

Сахно В.П., завідувач кафедри автомобілів, доктор технічних наук, професор
Яценко Д.М., доцент кафедри автомобілів, кандидат технічних наук
Диких О.В., аспірант кафедри автомобілів
Національний транспортний університет

ДО ВИБОРУ ТИПУ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ БТР-70

Внутрішні війська МВС України укомплектовані переважно БТР-60 та БТР-70 [1]. Слід мати на увазі те що, БТР-60 ПБ, БТР-70, БТР-80, а також БРДМ-2 є машинами російського виробництва, їх використання в Національній гвардії України, після виготовлення достатньої кількості бронемашин українського виробництва буде припинено. Проте, на сьогодні актуальним залишається питання модернізації цих машин [2].

Виготовлення та модернізація спеціальної колісної техніки (СКТ) повинні проводитися з додержанням затверджених вимог, зокрема таких як максимальна швидкість руху по шосе – не менше 85-100 км/год; мінімальна стійка швидкість – 2-3 км/год; максимальний динамічний фактор на нижчій передачі у коробці передач (КП) та додатковій коробці передач (РК) – 0,7-0,9, а на прямій передачі – 0,06-0,15; вага буксируемого причепа до 70 % від повної маси автомобіля; середня швидкість руху по дорогам з твердим покриттям – 40-50 км/год, по ґрунтовим – 30-40 км/год; середня швидкість руху по дорогам, які розмоклі та засніжені або колонним шляхам – 15-20 км/год; впевнено подолання труднопрохідних ділянок місцевості; подолання крутих підйомів до 35⁰, затяжних спусків, косягорів до 25⁰, порогових перешкод висотою 0,8-1,0 та ровів шириною 1,0-1,3 радіуса колеса [3].

Перелічені вимоги повинні виконуватися як при модернізації спеціальної колісної техніки, так і при її переобладнанні. Модернізація включає заміну системи двигун-трансмсія існуючої моделі, яка включає в себе два двигуни ЗМЗ-4905 і дві механічні чотириступеневі коробки передач і двоступеневі додаткові коробки передач, головну передачу і колісні редуктори, на більш сучасну і прогресивну. Окрім механічних та гідромеханічних передач при модернізації СКМ використовують і інші моторно-трансмісійні установки, такі як гібридна електромеханічна трансмісія і гідромеханічна трансмісія з мікропроцесорною системою автоматичного управління [4], електро-механічну трансмісію і чисто електричну трансмісію [5-6], кожна з яких має свої переваги і недоліки, які потрібно враховувати при модернізації СКТ.

При переобладнанні СКТ заміні підлягають, як правило, тільки двигуни базової машини. Сама ідея подібної модернізації техніки в Україні не нова і до початку бойових дій на Донбасі вже були вдало реалізовані проекти на ДП «Миколаївський бронетанковий завод» під назвою БТР-7(БТР-70Ді) тоді штатні силові установки замінили 2 двигунами FPT IVECO Tector P4 потужність 150 к.с. кожний, що на 30 к.с. більше ніж в рідного двигуна марки ГАЗ. Також були і інші варіації ремоторизації машини, так вітчизняний ХБКМ ім. Морозова у середині 2000-х років представив БТР-70 з встановленим двигуном вітчизняного виробництва УТД-20 на бронетранспортер [7].

Можна вважати, що описаний вище досвід був зважений спеціалістами ДП «Житомирський бронетанковий завод» та обрано варіант з встановленням на вже існуючу агрегатну базу дизелів виробництва марки General Motors та потужністю 140 к.с. [7].

Як при модернізації, так і при переобладнанні СКТ не до кінця вирішеним є питання потужності силової установки, яка задовольнила б усім вимогам, що висуваються до подібної техніки, та її розподіл між двома двигунами.

Потрібну ефективну потужність двигуна автомобіля визначають за вказаними величинами максимальної швидкості руху V_{max} і коефіцієнта опору кочення f_v із рівняння потужнісного балансу при русі автомобіля з максимальною швидкістю:

$$N_v \eta_m = \frac{f_v G_a V_{max} + K_B F V_{max}^3}{1000} = N_{оп}, кВт \quad (1)$$

де f_v - коефіцієнт опору дороги за максимальної швидкості V_{max} автомобіля;

G_a – сила тяжіння від повної маси автомобіля, Н;

K_B - коефіцієнт опору повітря, Н×с²/м⁴;

F - площа Міделя (для автомобілів приймається рівною площі проекції автомобіля на площину, що перпендикулярна його поздовжній осі),

$F = B \times H, м^2$; B – колія, H – висота автомобіля;

η_m – коефіцієнт корисної дії трансмісії автомобіля.

Для забезпечення швидкості руху автомобіля 25 м/с (90 км/год) потужність $N_{оп}$ складе 129 кВт, а при русі зі швидкістю 30 м/с (108 км/год) – 200 кВт.

Для СКТ дуже важливим параметром є механічний коефіцієнт корисної дії (ККД), який залежить від кількості і властивостей кінематичних пар, що передають механічну енергію від колінчастого валу двигуна до ведучих коліс автомобіля:

$$\eta_m = \eta_{kn} \times \eta_{pk} \times \eta_{крп} \times \eta_{гп} \times \eta_{кр}, \quad (2)$$

де $\eta_m, \eta_{kn}, \eta_{pk}, \eta_{крп}, \eta_{гп}, \eta_{кр}$ - відповідно ККД трансмісії, коробки передач, роздавальної коробки, карданного шарніру, головної передачі, колісного редуктора.

У роботі [8] пропонується ККД трансмісії визначати за виразом

$$\eta_m = 0,98^k 0,97^l 0,995^m 0,999^n, \quad (3)$$

де k - кількість пар циліндричних шестерень, через які передається в трансмісії крутний момент, коли автомобіль рухається на певній передачі; l - кількість пар конічних (гіпоїдних) шестерень у трансмісії; m - кількість карданних шарнірів у трансмісії; n - кількість шлицевих з'єднань у трансмісії.

Для трансмісії БРТ при роботі одного двигуна $\eta_m=0,837$, а при роботі двох двигунів $\eta_m=0,701$.

Таким чином, при роботі двох двигунів сумарна їх потужність повинна бути не меншою N_{Σ} за швидкості 25 м/с – 184 кВт, а за швидкості 30 м/с – 285 кВт. Разом з тим, при роботі тільки одного двигуна з приводом тільки на два мости необхідна потужність складе: за швидкості 25 м/с – 154 кВт, що може забезпечити двигун DEUTZ TCD2013 L44V потужністю 161 кВт при частоті обертання 2300 хв-1. За потужності 154 кВт момент, що реалізується на ведучих колесах, визначиться як

$$M_k = \frac{1000 \times N_k \times r_k}{v_a} = 2737 \text{ Нм} \quad (4)$$

При цьому тягова сила на ведучих колесах складе $P_T=5164$ Н і достатньо тільки однієї ведучої осі для її реалізації ($P_m \leq P_{\varphi} = M_o \times g \times \varphi = 17640$ Н, де M_o – маса машини, що приходиться на одну вісь, $M_o=3000$ кг, g – прискорення вільного падіння, φ - коефіцієнт зчеплення, $\varphi=0,6$). З цього можна зробити висновок, що рух з максимальною швидкістю може бути забезпечено при передачі потужності тільки на дві осі машини. Разом з тим, і трансмісія за своїми кінематичними параметрами повинна забезпечити рух автомобіля з максимальною швидкістю. Заміна бензинового двигуна на дизель з меншою частотою обертання колінчастого валу двигуна потребує корекції трансмісії.

Другим обмежуючим фактором для машини, що розглядається, є подолання автомобілем максимального підйому (трансмісія автомобіля залишається незмінною). За технічних вимог величина максимального підйому складає 30° . При цьому сила опору підйому визначиться як

$$P_{\square} = G_a \times \sin \alpha,$$

(5)

а сила опору дороги $P_{\psi} = P_{\square} + P_f = G_a \times \sin \alpha + G_a \times \cos \alpha \times f$.

За кута підйому 30° реальна дорога може бути тільки ґрунтовою, для якої опір кочення можна прийняти рівним $f=0,03...0,035$ (коефіцієнт зчеплення 0,4...0,5) [8]. Тоді сила опору дороги складе $P_{\psi}=61804$ Н, а необхідна потужність при русі зі швидкістю 5 км/год $N_{\psi}=85,84$ кВт, тобто визначальною є потужність, що визначена за умови руху автомобіля з максимальною швидкістю.

Окрім руху з максимальною швидкістю силова установка автомобіля повинна забезпечити і можливість руху в складних дорожніх умовах, для руху в яких максимальний динамічний фактор на нижчій передачі у КП та РК повинен бути в межах $D_{\max}=0,7-0,9$. За незмінної трансмісії БТР максимальний динамічний фактор визначиться як:

$$D_{\max} = (P_{\max} - P_{\square}) / G_a, \quad (6)$$

$$P_{\max} = \frac{M m_{k1} p k_{n0} \eta_{кр} e_{max}}{r_d}, \quad (7)$$

$$P_n = k_v F V^2. \quad (8)$$

За швидкості до 5 м/с силу опору повітря можна не враховувати. Тоді

$$P_{\max} = D a_{\max},$$

що забезпечується при роботі тільки одного двигуна.

При русі в складних дорожніх умовах при значних величинах опору руху і відносно низьких коефіцієнтів зчеплення ($\psi=0,3$; $\varphi=0,4$ – ґрунтові дороги у період бездоріжжя [8]) автомобіль повинен бути повнопривідним. Зважаючи на те, що для повнопривідного автомобіля у даних умовах сила опору руху менше за силу зчеплення, то необхідний крутний момент на колесах кожної осі повинен визначитися за умови подолання опору руху. Сила опору руху визначиться як

$$P_{\psi} = \psi a_{2\max}, \quad (9)$$

де G_{a2} – навантаження на дві інші осі автомобіля, $G_{a2}=6000$ кг.

Приймаючи нормальні опорні реакції на усіх осях автомобіля однаковими (без урахування перерозподілу нормальних опорних реакцій на осях автомобіля), отримаємо

$$P_{\psi}=0,3 \times 6000 \times 9,8=17640 \text{ Н,}$$

а необхідний крутний момент на обох осях - $M_{\psi}=P_{\psi} \times r_d=9349,2 \text{ Нм.}$

За однієї і тієї трансмісії крутний момент, що створюється другим двигуном визначиться як

$$M \frac{M_{\psi}}{\eta_m \times u_{k1} \times u_{pkn} \times u_0 \times u_{кр} \times \eta_{max}} = 111,2 \text{ Нм} \quad (10)$$

За умови установки на автомобілі двигунів однієї фірми з однаковими частотними параметрами як для потужності, так і крутного моменту, у якості додаткового можна прийняти двигун D 914L3 потужністю 43 кВт за частоти обертання 2300 хв⁻¹ і максимального крутного моменту 204 Нм за частоти обертання 1700 хв⁻¹.

Сумарна потужність двох двигунів складе 204 кВт, тобто на 26 кВт менше за потужність двох двигунів Д245.30Е2, проте задані показники тягово-швидкісних властивостей забезпечуються.

Для остаточного прийняття рішення стосовно заміни двигунів необхідно визначити і інші показники тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності БТР-70 при установці різних типів двигунів, а також визначитися з передаточними відношеннями механізмів трансмісії.

Висновки. Розглянуті варіанти переобладнання БТР-70. Показано, що одним із можливих варіантів заміни штатних двигунів ЗМЗ-4905 є варіант установки двох дизелів фірми DEUTZ різної потужності. При цьому потужність (161 кВт) від основного двигуна DEUTZ TCD 2013 L4 4V передається тільки на першу і третю вісь, збільшуючи ККД трансмісії до 0,837, що забезпечує режим руху з максимальною швидкістю. Другий двигун D 914L3 потужністю 43 кВт поряд з першим двигуном забезпечує рух БТР в складних дорожніх умовах при значних величинах опору руху і відносно низьких коефіцієнтів зчеплення ($\psi=0,3$; $\varphi=0,4$ – ґрунтові дороги у період бездоріжжя).

Сумарна потужність двох двигунів складе 204 кВт, що на 26 кВт менше за потужність двох двигунів Д245.30Е2, проте задані показники тягово-швидкісних властивостей забезпечуються.

Література

1. Р. І. Топчий. Формування підходів до системи оцінювання умов експлуатації бронетехніки шляхом впровадження енергетичних характеристик транспортного потоку/Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. 2013. Ви. 1 (21). – С. 67-333.
2. С.П. Мазні, Г.М. Маренко, А.Г. Скиба, В.М. Франкова Пропозиції щодо вдосконалення конструкції бронетранспортерів Національної гвардії України/ Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". Луцьк, 2017. Випуск № 60 (111). – С.156-160.
3. Літвінов О.В. Експериментальне оцінювання показників динаміки та опору руху спеціалізованої колісної техніки/Механіка та машинобудування, 2017, №1, с.278-288
4. Стримовский С.В., Слюсаренко Ю.А., Соловьев В.М. Анализ трансмиссий современных легкобронированных колесных военных машин и их влияние на параметры подвижности/ Интегровані технології та енергозбереження 3'2014. С 97-110.
5. Волонцевич Д.О., Ключка Р.В., Собко А.П., Стримовский С.В. Анализ режимов работы гибридной силовой установки с электромеханической трансмиссией на перспективном колесном бронетранспортере/ Интегровані технології та енергозбереження 4'2018. – С.34-47.
6. Д. О. Волонцевич, С. О. Веретенников, Я. М. Мормило, А. С. Яремченко, В. О. Карпов Тяговый баланс перспективного колесного бронетранспортера с электромеханической трансмиссией// Вісник НТУ «ХП». Серія: Транспортне машинобудування. – Харків : НТУ «ХП», 2017. – № 5 (1227). – С. 168–172.
7. http://www.ukrrudprom.com/digest/Radikalnaya_modernizatsiya_Kak_iz_starogo_sovetskogo_BTR
8. Сахно В.П. та ін. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів. В 3 ч. Ч 1. Динамічність та паливна економічність автотранспортних засобів: [навчальний посібник] /В.П.Сахно, А.П.Костенко, М.І.Загороднов та ін. – Донецьк: Вид-во «Ноулідж» (донецьке відділення), 2014. – 444 с.
9. С.П. Мазін, Г.М. Маренко, А.Г. Скиба, В.М. Франков Пропозиції щодо вдосконалення конструкцій бронетранспортерів Національної гвардії України /Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ». Луцьк, 2017, Випуск №60. С. 156-160