

**В. В. Біліченко**  
**Д. М. Матвійчук**

## **ПОКРАЩЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАСОБУ РУХОМОСТІ ОЗБРОЄННЯ ШЛЯХОМ ВСТАНОВЛЕННЯ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ПРИ ПРОВЕДЕННІ МОДЕРНІЗАЦІЇ**

Вінницький національний технічний університет

*Ця стаття розглядає можливості покращення динамічних властивостей засобу рухомості озброєння шляхом встановлення дизельних двигунів під час модернізації. Вона пропонує низку практичних заходів для досягнення цієї мети, як-от заміна бензинового двигуна на дизельний. У статті проведено порівняльний аналіз тягово-динамічних характеристик базового бензинового силового агрегату та встановленого після проведення модернізації дизельного силового агрегату на прикладі БТР 70. Обґрунтовано необхідність проведення модернізації шляхом заміни бензинових двигунів на дизельні агрегати за допомогою проведення порівняльного тягово-динамічного розрахунку та економічних показників силових агрегатів. Виконано порівняльний аналіз витрат палива та проведено порівняння потужностей силових агрегатів. Проаналізовано недоліки при використанні бензинових силових агрегатів. За результатами розрахунків досягнуто оптимального співвідношення параметрів що визначають динамічні властивості засобу рухомості озброєння. Для розрахункового визначення основних показників тягово-швидкісних властивостей дослідного зразку використовуються числові значення параметрів конструкції виробу БТР 70, що наведені в довідковій літературі. Розглянута у статті модернізація передбачає подальше доопрацювання відділення силової установки БТР 70, яке розташоване в кормовій частині корпусу. В ньому розміщено два силових агрегати ЗМЗ 4905 у зборі зі зчепленнями та коробками передач, які змонтовані на загальній рамі. Заміна бензинових силових агрегатів відбувається в зборі зі зчепленнями та 4-ступінчастими коробками передач. Дизельні силові агрегати у зборі зі зчепленнями, обладнанні 5-ступінчастими коробками передач та встановлюються із незначними доопрацювання штатного підрамника, на який монтуються агрегати. Зі свого боку заміна силових агрегатів тягне за собою подальше доопрацювання системи охолодження, подачі палива, системи випуску газів, системи підігріву двигунів, а також частини електрообладнання силових агрегатів. Роздавальні коробки та подальша трансмісія виробу залишається без змін. Проведені дослідження надають цінну інформацію для фахівців із військової техніки та інженерів, які цікавляться покращенням характеристик бойових засобів.*

**Ключові слова:** дизельний двигун, швидкість руху, тягова характеристика, розгінна характеристика, ЗРО.

### **Вступ**

Переміщення озброєння та військової техніки вимагає реалізації тактики «...вичікування – інтенсивний рух в режимі розгону – вичікування – ...». Зумовлено це тим, що значна частина шляхів (доріг) ретельно прострілюється ворогом. Отже, вичікування слушної миті для початку руху – важливий елемент тактики пересування озброєння та військової техніки (ступеневе переміщення) з однієї безпечної зони в іншу (часто взагалі без використання режиму руху зі сталою швидкістю). Але насамперед успіх такої транспортної активності залежить водночас і від швидкісних, і від динамічних властивостей засобу рухомості озброєння (далі – ЗРО). Конструктивно закладена висока максимальна швидкість руху ЗРО мало чого важитиме, якщо інтенсивність набуття ЗРО цієї швидкості буде надто малою. Основним показником динамічності ЗРО є запас крутного моменту двигуна.

### **Постановка проблеми**

У світі довгий час ведуться роботи щодо підвищення запасу крутного моменту двигунів внутрішнього згорання. Покращення цього показника сприяє підвищенню продуктивності роботи агрегатів ЗРО, зниженню витрати палива, спрощення трансмісії, підвищенню зручності керування автомобілем. Найбільш прогресивним рішенням у цьому напрямі є створення двигунів постійної потужності. Від звичайного двигуна двигун постійної потужності відрізняється високим значенням запасу крутного моменту і постійністю потужності в широкому діапазоні частот обертання при роботі на режимі зовнішньої характеристики. Завдяки цьому забезпечуються безступінчасте й автоматичне регулювання тягового зусилля і швидкості руху ЗРО за практично стовідсоткового використання потужності двигуна постійної потужності і високої паливної економічності. Прийомистість двигуна характеризується проміжком часу, протягом якого відбувається підвищення частоти обертання та потужності двигуна. Чим швидше здійснюються розкручування двигуна, підвищення частоти

обертання та потужності, тим вища його прийомистість. Внутрішні війська МВС України мають значний ресурс переважно БТР-60 та БТР-70 [5]. Зазначені зразки були розроблені та прийняті на озброєння у 1960 та 1970 рр. відповідно. Тому під час розробки нової техніки, а також модернізації наявної, одним з основних питань є вибір силової установки, саме тому роботи у цьому напрямі слід вважати актуальними.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Виготовлення та модернізація спеціальної колісної техніки (СКТ) мають проводитися з дотриманням затверджених вимог, зокрема, максимальної швидкості руху по шосе – не менше 85–100 км/год, максимального динамічного фактора на нижчій передачі у коробці передач і роздавальної коробці не менше 0,7–0,9, впевненого подолання важкопрохідних ділянок місцевості, подолання крутих підйомів до 30° тощо [1]. Водночас у роботах [2, 3] вказано, що випробування військової техніки повинні забезпечувати: – максимальне приближення до реальних умов експлуатації об'єкта випробувань, характерних до реальної військової експлуатації та бойового застосування техніки; – забезпечення максимальної достовірності результатів випробувань; – використання адекватних методів та засобів випробувань; – скорочення трудомісткості та вартості випробувальних робіт; – використання різних засобів автоматизації випробувань. Наявні на сьогодні методи [4] не дають можливості повною мірою оцінити тягово-швидкісні показники. Відсутні методи із визначення динамічного фактора в дорожніх умовах, що не відповідає вимогам [2, 3] до ефективності випробувань. Зазначені питання потребують подальших досліджень.

*Метою роботи є проведення порівняльного тягово-динамічного розрахунку базового бензинового двигуна ЗМЗ-4905 та запропонованого дизельного двигуна Д-245.30Е2, який встановлений на БТР-70, внаслідок чого спостерігається покращення динамічних показників ЗРО. Двигун як можливо менший проміжок часу працював на несталих режимах зі зміною потужності і частоти обертання. На дизельному двигуні Д245.30Е2 порівняно з бензиновим ЗМЗ-4905 при високій прийомистості скорочується тривалість роботи на перехідних режимах у разі зміни частоти обертання колінчастого вала. Скорочення тривалості роботи на перехідних режимах відбувається також і при збільшенні пристосовності, так як у випадку збільшення опору руху ЗРО підвищується крутний момент, що розвивається двигуном, і зростає сила тяги дизельного двигуна. При використанні на ЗРО бензинових двигунів ЗМЗ-4905, які мають менше значення коефіцієнта пристосовності, у разі збільшення опору руху відбувається значне зниження частоти обертання і необхідне часте перемикання передач, що пов'язано зі збільшенням тривалості роботи на перехідних режимах. Під час роботи двигуна на перехідних режимах знижується його паливна економічність порівняно з паливною економічністю на сталих режимах, оскільки порушується оптимальне співвідношення між окремими параметрами. Тому скорочення тривалості роботи на перехідних режимах підвищує економічність роботи ЗРО. Крім того, якщо немає необхідності часто перемикати передачі, то, відповідно, підвищується продуктивність роботи агрегату ЗРО, зменшується знос коробки передач і трансмісії загалом.*

### Результати дослідження

Основні параметри БТР-70 із двигуном ЗМЗ-4905 (1) та із двигуном Д-245.30Е2 (2) наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

#### Основні параметри силових агрегатів

Параметри	(1)	(2)
1	2	3
Паливо	АІ-76	ДП
Повна (бойова) маса, кг	Не більше 12000 + 3 %	Не більше 12000 + 3 %
Габаритні розміри, мм		
довжина	7535	7535
ширина	2800	2800
висота	2235	2235
База, мм	4400	4400
Колія, мм:	2380	2380
Двигун, кількість одиниць	ЗМЗ-4905 (2 шт.)	Д-245.30Е2 (2 шт.)

Продовження таблиці 1

1	2	3
Максимальна потужність $N_{e_{max}}$ , кВт (к.с) при об/хв	2 x 36(140) при 3400	2 x 115 (156) при 2400
Максимальний крутний момент, Н·м при об/хв	225 при 1600–1800	515 при 2000
Коробка передач	Дві, механічні, ступінчасті з коробкою відбору потужності на водометний рушій, 4-ступеневі	Дві, механічні, ступінчасті, 5-ступеневі
передавальні числа передач:		
першої	6,55	5,63
другої	3,09	2,64
третьої	1,70	1,48
четвертої	1,0	1,0
п'ятої		0,81
задньої	7,77	5,36
Колісна формула	8x8	8x8

Зовнішня характеристика для обох силових установок приведена на рисунках 1 та 2.

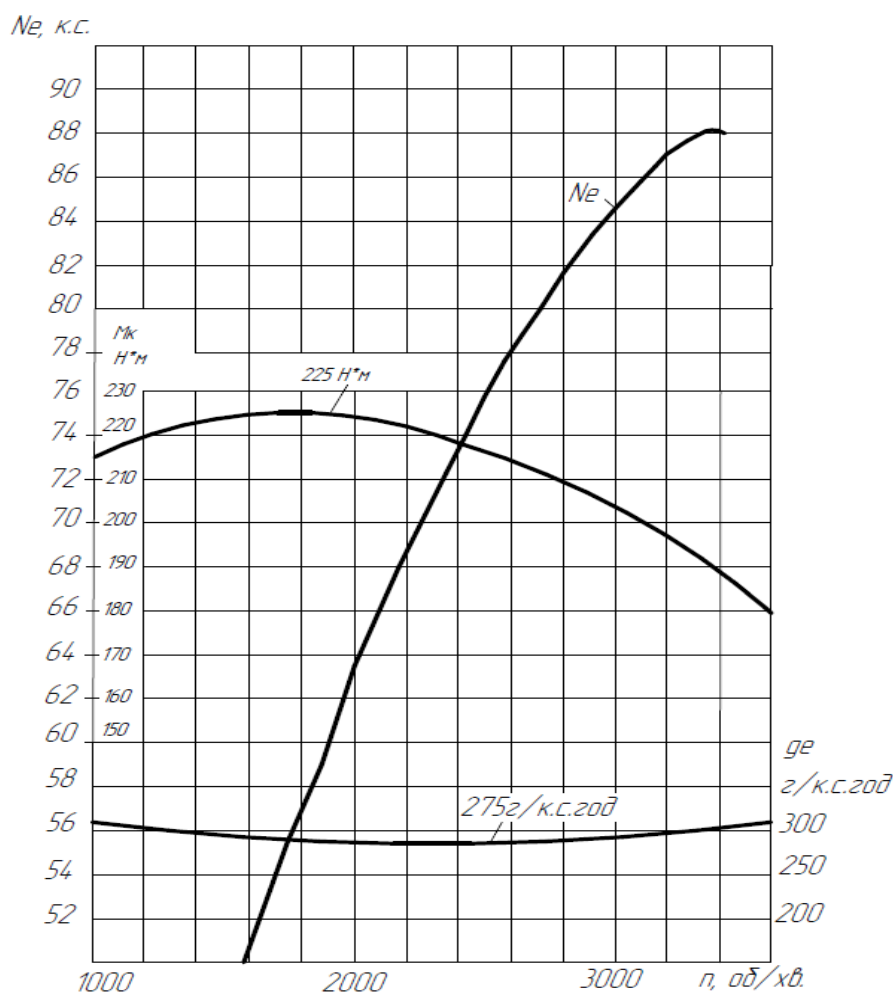


Рис. 1. Швидкісна характеристика двигуна ЗМЗ-4905 при повному натисненні педалі акселератора

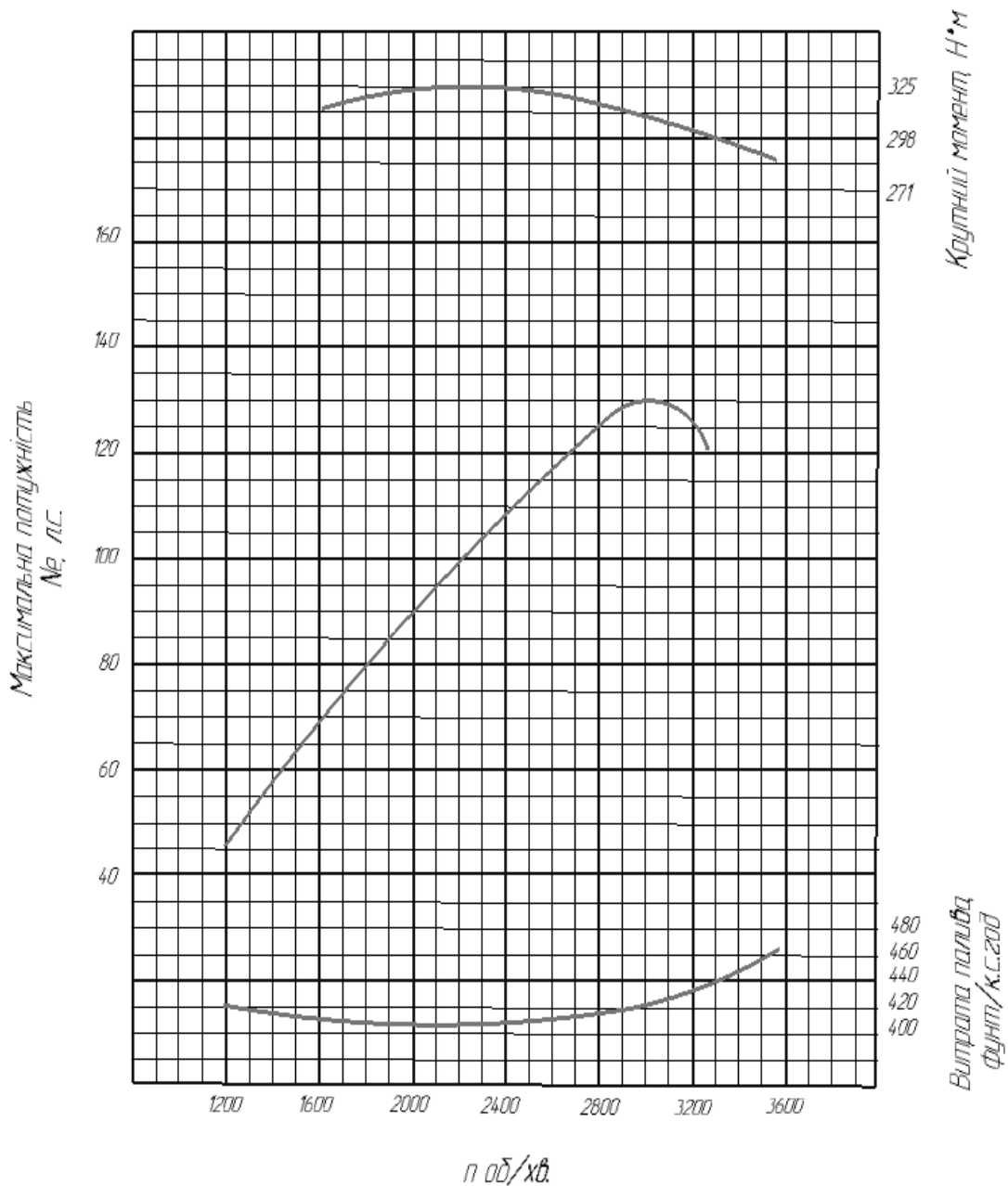


Рис. 2. Швидкісна характеристика двигуна Д-245.30 при повному натисненні педалі акселератора

### Тягові та динамічні характеристики

Вихідні дані: кількість передач  $m = 5$ ; маса машини  $G = 12000$  кг; кінематичний радіус ведучих коліс  $r_k = 0,67$  м; передавальне число та КПД колісних редукторів  $i_{m1} = 4,33$ ;  $\eta_{m1} = 0,98$ ; передавальне число та КПД роздавальних коробок  $i_{m2} = 1,98$ ;  $\eta_{m2} = 0,97$ . Передавальні числа коробки передач  $i_{kn}$  наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Передавальні числа коробки передач ( $i_{kn}$ )

Передача	ЗМЗ-4905	Д-245.30Е2
1	6,55	5,63
2	3,09	2,64
3	1,70	1,48
4	1,00	1,0
5		0,81
R	7,77	5,36

Передавальні числа трансмісії визначимо за формулами. Постійне передавальне число трансмісії:

$$i_c = i_{m1} \cdot i_{m2} = 9,009. \quad (1)$$

Передавальні числа трансмісії з КПП:

$$i_{yp,j} = i_c \cdot i_{kn}. \quad (2)$$

Результати розрахунку передавальних чисел трансмісії з коробкою передач наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Передавальні числа трансмісії на передачах ( $i_{Tp,i}$ )

Передача	3М3-4905	Д-245.30Е2
1	59,009	50,720
2	27,838	23,783
3	15,315	13,333
4	9,009	9,009
5		7,29
R	69,999	48,228

ККД трансмісії. Повний ККД трансмісії:

$$\eta_{Tp} = \eta_{m1}^8 \cdot \eta_{m2}^2 \cdot \eta_m = 0,835. \quad (3)$$

Швидкість руху визначається за формулою:

$$V_{i,j} = \frac{0,001 \cdot (r_k \cdot n_{o,j} \cdot 2_{TT} \cdot 60)}{i_{Tp,i}}, \quad (4)$$

де  $n_{o,j}$  – швидкість обертання колінчатого вала (об/хв).

Втрати потужності двигуна. Втрати потужності на всмоктуванні, к. с.:

$$N_{BO} = 0,05 \cdot Ne_{\max}, \quad (5)$$

де  $Ne_{\max}$  – максимальна ефективна потужність.

Втрати потужності на випуску, к. с.:

$$N_B = 0,025 \cdot Ne_{\max}. \quad (6)$$

Втрати потужності на привід вентилятора, к. с.:

$$N_{BEHT} = 0,09 \cdot Ne_{\max}. \quad (7)$$

Сумарні втрати потужності, к. с.:

$$N_{nom,\max} = N_{BO} + N_B + N_{BEHT} = 25,7. \quad (8)$$

Сумарні втрати потужності залежно від обертів двигуна, к. с.

$$N_{nom,j} = N_{nom,\max} \cdot \left( \frac{n_{oj}}{n_N} \right)^3. \quad (9)$$

Потужність двигуна з урахуванням втрат, к. с.:

$$N_{D,j} = N_{o,j} - N_{nom,j}. \quad (10)$$

де  $N_{o,j}$  – потужність двигуна для даної швидкості обертання.

Сила тяги силової установки:

$$P_{D,j} = T_{D,j} \cdot i_{kn} \cdot \frac{\eta_{Tp}}{r_k}, \quad (11)$$

де  $T_{д,j}$  – крутний момент силової установки.

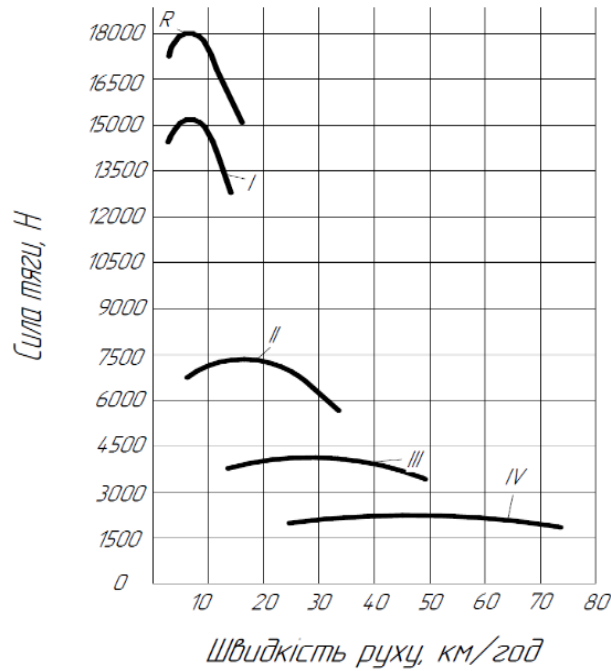


Рис. 3. Сила тяги силової установки ЗМЗ 4905 та сила опору руху

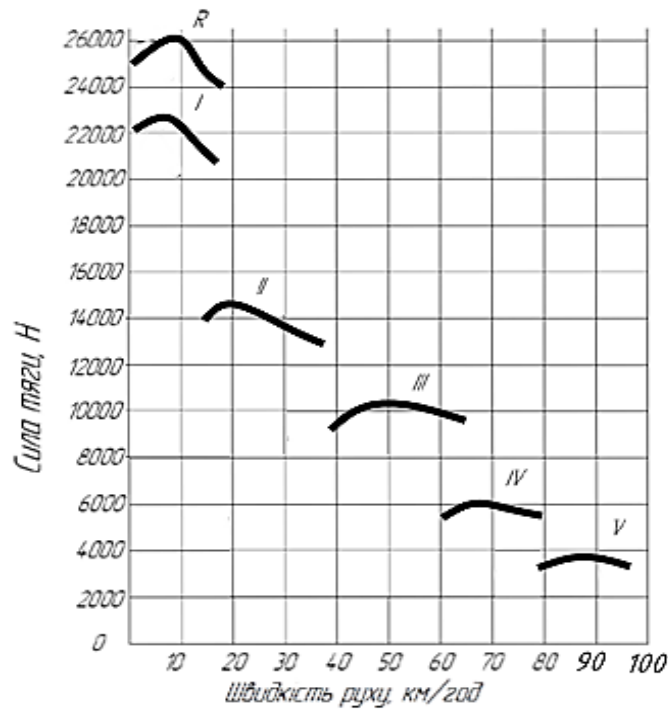


Рис. 4. Сила тяги силової установки Д-245.30Е2 та сила опору руху

Тягова характеристика (питома сила тяги):

$$f = \frac{P_{д}}{G}. \quad (12)$$

Тягова характеристика машини зображена на рисунку 5.

Визначимо розгінну характеристику. Прискорення при розгоні, м/с визначимо за формулою:

$$A = \frac{g \cdot (f - f_c)}{\delta}, \quad (13)$$

де  $\delta$  – коефіцієнт обертових мас ( $\delta = 1,1$ );  $f_c$  – коефіцієнт опору руху по шосе ( $f_c = 0,0015$ );  $t_2$  – час перемикання передач ( $t_2 = 3$  с).

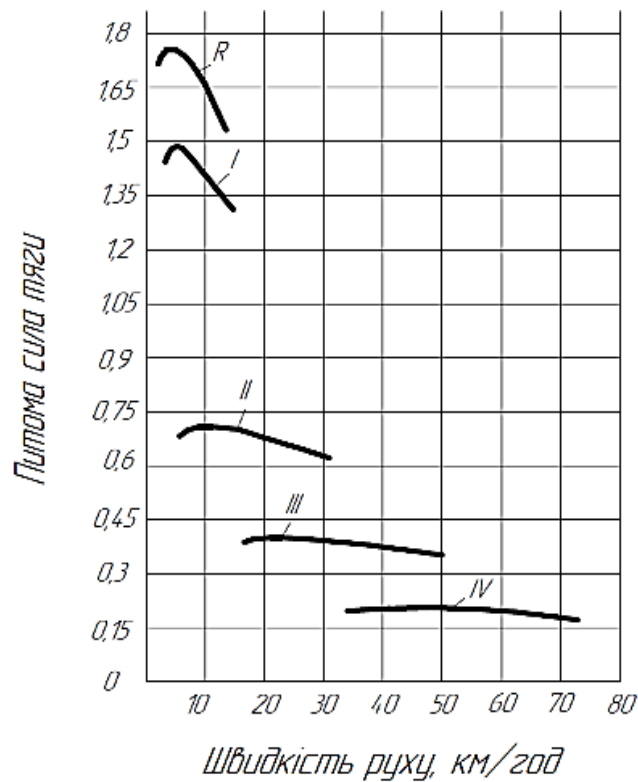


Рис. 5. Тягова характеристика ЗМЗ 4905 для максимально допустимої маси машини

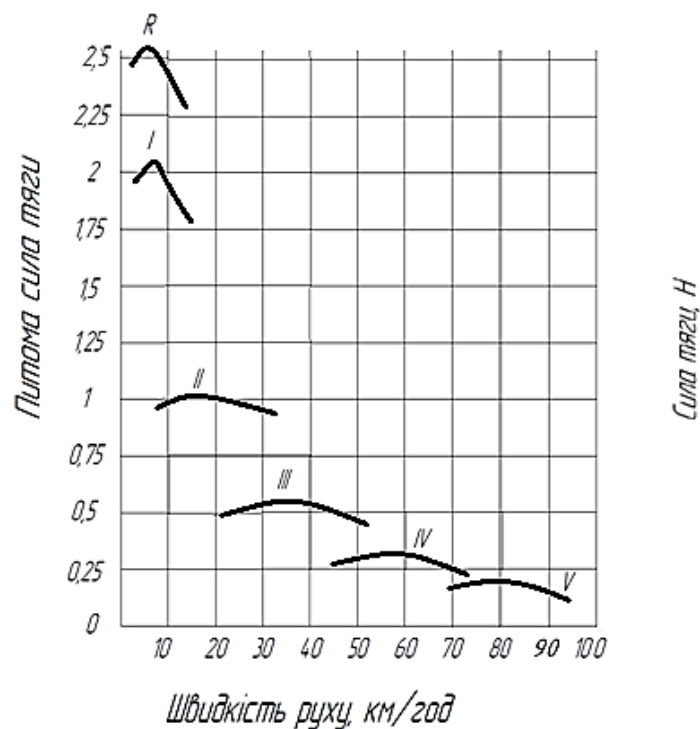


Рис. 6. Тягова характеристика Д-245.30Е2 для максимально допустимої маси машини

Проведемо обчислення розгінної характеристики. Прискорення на 1-му етапі розгону:

$$X_{i1} = \frac{g \cdot (f_{i,j} - f_c)}{\delta}; X_2 = \frac{-f_c \cdot g}{\delta}. \quad (14)$$

Падіння швидкості при перемиканні передач, км/год:

$$\Delta V_2 = \frac{X_2 \cdot t_2 \cdot 2400}{1000}. \quad (15)$$

Час розгону на 1-му етапі:

$$t_{1,0} = \frac{V_{0,j}}{X_{1,0}}. \quad (16)$$

Швидкість на 1-му етапі розгону:

$$V_{2,k} = V_{k,j} + \Delta V_2. \quad (17)$$

Час розгону на  $k$ -му етапі:

$$t_{1k+1} = \frac{V_{k+1,j} - V_{2k}}{X_{1k+1}}. \quad (18)$$

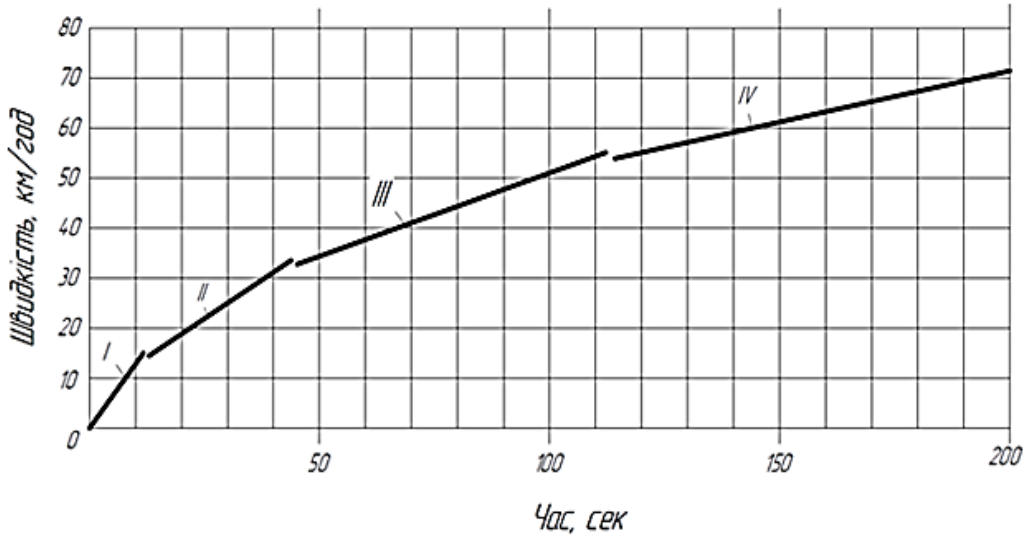


Рис. 7. Розгінна характеристика БТР-70 із двигуном ЗМЗ-4905

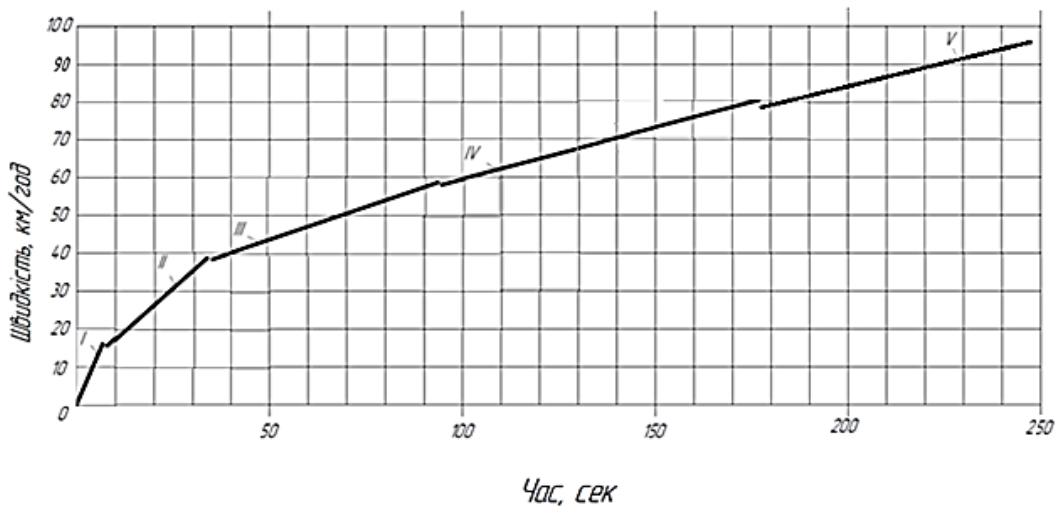


Рис. 8. Розгінна характеристика БТР-70 із двигуном Д-245.30Е2

### Висновки

Проведений тягово-динамічний розрахунок свідчить, що два силових агрегати Д-245.30Е2 дослідного зразка мають більший запас крутного моменту на мінімальних обертах ніж силові агрегати ЗМЗ-4905, досягають свого максимального значення при менших обертах і за менший проміжок часу, що значно покращує динамічні показники виробу БТР-70, які необхідні для зменшення проміжку часу роботи двигуна на несталих режимах зі зміною потужності і частоти обертання. Порівняльний аналіз витрати пального показує, що при досягненні максимальних обертів силовим агрегатом ЗМЗ-4905 розхід пального значно зростає, а потужність падає у той момент, як на силовому агрегаті Д-245.30Е2



потужність досягає максимального значення. Наведені в розрахунку тягово-динамічні та економічні показники силового агрегату переобладнаного бронетранспортера БТР-70 свідчать, що:

- силовий агрегат забезпечує запас крутного моменту для скорочення тривалості роботи на перехідних режимах і підвищує якість та економічну роботу бронетранспортера;
- тягові характеристики силового агрегату будуть забезпечувати динамічне пересування зразка озброєння на всіх видах доріг;
- вибір силового агрегату для переобладнання виробу БТР-70 виконаний правильно та відповідає вимогам до засобів рухомості озброєння;
- конструктивно забезпечує адаптацію його до наявної системи технічного обслуговування і ремонту озброєння та військової техніки у Збройних Силах України. Тому проведене аналітичне дослідження із заміною силового агрегату ЗМЗ-4905 на агрегат Д-245.30Е2 на сьогодні є являється оптимальним та економічно вигідним для вирішення наявної нагальної проблеми щодо покращення характеристик засобів рухомості виробу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Літвінов О. В. Експериментальне оцінювання показників динаміки та опору руху спеціалізованої колісної техніки. *Механіка та машинобудування*. 2017. № 1. С. 278–288.
- [2] ГОСТ 22576-90. Автотранспортні засоби. Швидкісні властивості. Методи випробувань. [Чинний від 1992-01-01]. Москва: Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1991. 13 с.
- [3] Кайдалов Р. О., Літвінов О. В. Оцінка показників динамічності броньованих автомобілів при визначальних випробуваннях. *Збірник тез доповідей науково-практичної конференції 27 жовтня 2016*. Харків: Нац. Академія НГУ, 2016.
- [4] Подригало М. А., Коробко А. І., Клец Д. М., Назарько О. О. Метод визначення сумарної сили опору руху автомобіля за допомогою датчиків лінійних прискорень. *Наукові нотатки Луцького національного технічного університету*. Вип. 78. Луцьк, 2010. С. 432–434.
- [5] Літвінов О. В. Метод визначення параметрів опору руху спеціальної колісної техніки в дорожніх умовах. *Збірник наукових праць Національної академії національної гвардії України*. Вип. 1(29). Харків, 2017. С. 48–51.

**Біличенко Віктор Вікторович** – д-р техн. наук, професор, ректор, e-mail: [bilichenko.v@gmail.com](mailto:bilichenko.v@gmail.com)

**Матвійчук Дмитро Миколайович** – аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: [ndirir95@gmail.com](mailto:ndirir95@gmail.com)

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**V. Bilichenko**  
**D. Matvijchuk**

## Improving the dynamic properties of the vehicle by installing diesel engines during modernization

Vinnitsia National Technical University

*This article examines the possibilities of improving the dynamic properties of a weapon vehicle by installing diesel engines during modernization. It proposes a number of practical measures to achieve this goal, such as replacing a gasoline engine with a diesel engine.*

*The article conducts a comparative analysis of the traction and dynamic characteristics of the basic gasoline power unit and the diesel power unit installed after modernization on the example of APCS 70. The necessity of modernization by replacing gasoline engines with diesel units is substantiated by means of a comparative traction and dynamic calculation and economic indicators of power units. A comparative analysis of fuel consumption is carried out and the power of the power units is compared. The disadvantages of using gasoline power units are analyzed. According to the results of the calculations, the optimal ratio of parameters that determine the dynamic properties of the vehicle of the weapon is achieved.*

*For the calculation of the main indicators of traction and speed properties of the prototype, the numerical values of the design parameters of the APCS 70 product, which are given in the reference literature, are used.*

*The modernization discussed in this article involves further refinement of the APCS 70's power plant compartment, which is located in the aft part of the hull. It contains two ZMZ 4905 power units assembled with clutches and gearboxes mounted on a common frame. The gasoline power units are replaced with clutch assemblies and 4-speed transmissions. Diesel power units are assembled with clutches, equipped with 5-speed gearboxes and are installed with minor modifications to the standard subframe on which the units are mounted. In turn, the replacement of the power units entails further modifications to the cooling system, fuel supply, exhaust system, engine heating system, as well as part of the electrical equipment of the power units. The transfer case and subsequent transmission of the product remain unchanged.*

*The research provides valuable information for military equipment specialists and engineers interested in improving the performance of combat vehicles.*

**Key words:** diesel engine, speed, traction characteristic, acceleration characteristic, weapons of war.

**Bilichenko Viktor** — Dr. Sc. (Eng.) Professor, Rector, e-mail: [bilichenko.v@gmail.com](mailto:bilichenko.v@gmail.com)

**Matvijchuk Dmytro** – Post-Graduate Student the Chair of automobiles and transportation management, e-mail: [ndirir95@gmail.com](mailto:ndirir95@gmail.com)