

**В. П. Сахно<sup>1</sup>**  
**В. М. Поляков<sup>1</sup>**  
**І. С. Мурований<sup>2</sup>**  
**С. М. Шарай<sup>1</sup>**

## ДО ВИБОРУ ТИПУ АВТОМОБІЛЯ-ТЯГАЧА ДЛЯ АВТОПОЇЗДА ВЕЛИКОЇ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ

<sup>1</sup>Національний транспортний університет  
<sup>2</sup>Луцький національний технічний університет

*Дослідження впливу конструктивних параметрів на тягово-швидкісні властивості, продуктивність та економічність рухомого складу є необхідною умовою удосконалення транспортних послуг. Правильне, обґрунтоване дослідженнями та досвідом, поєднання параметрів автомобілів, напівпричепів та причепів на основі завдань, які стоять перед перевізником, умов експлуатації рухомого складу є потужним засобом підвищення його продуктивності та економічності. Вибір вантажівки-тягача і причепа для вантажних перевезень повинен здійснюватися на основі безпеки їх конструкцій, а також з урахуванням експлуатаційних характеристик, умов, за яких планується транспортування, цілей, встановлених організаторами транспортного узгодження. В основі порівняння автомобілів-тягачів за показниками тягово-швидкісних властивостей прийнята середня швидкість на дорозі, оскільки вона визначає продуктивність транспортного засобу. Розрахунок тягових характеристик автопоїзда здійснюється шляхом вирішення диференціального рівняння руху. Сумарна витрата палива на маршруті визначається на основі математичної моделі двигуна, яка дозволяє встановлювати значення погодинної витрати палива двигуна, залежно від його режиму роботи – відповідно до відомої частоти обертання і крутного моменту на валу двигуна (або коефіцієнта використання потужності двигуна). Ця залежність побудована на основі дванадцяти відомих (еталонних) значень погодинної витрати палива двигуном, вимірених при випробуваннях двигуна відповідно до Правил ЄК ООН № 49 в умовах циклу випробування ESC. При визначенні витрати палива на експлуатаційному маршруті режим холостого ходу не використовується.*

*Встановлено, що за показниками тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності транспортні засоби, що складаються з автомобілів-тягачів DAF, MAN, IVECO, SCANIA та Volvo і напівпричепів Kropе майже ідентичні для вибраних параметрів двигуна та трансмісії. Покращення тягово-швидкісних характеристик і ефективності використання палива має бути оптимізацією параметрів системи «двигун-трансмісія» тягачів.*

**Ключові слова:** *автомобіль-тягач, напівпричеп, автопоїзд, вантажопідйомність, двигун, тягово-швидкісні властивості, паливна економічність, ефективність.*

### Вступ

У найближчій перспективі основні напрямки розвитку галузі вантажних перевезень автомобільним транспортом будуть визначатися, перш за все, необхідністю збільшення обсягів перевезень вантажів за рахунок інтенсифікації використання рухомого складу при одночасному зменшенні витрат на перевезення, зокрема витрати палива.

Дослідження впливу конструктивних параметрів на тягово-швидкісні властивості, продуктивність та економічність рухомого складу є необхідною умовою удосконалення транспортних послуг. Правильне, обґрунтоване дослідженнями та досвідом, поєднання параметрів автомобілів, напівпричепів та причепів на основі завдань, які стоять перед перевізником, умов експлуатації рухомого складу є потужним засобом підвищення його продуктивності та економічності.

В Україні, на жаль, відсутнє власне виробництво колісних транспортних засобів (КТЗ) великої вантажопідйомності. Очевидним є той факт, що придбання КТЗ іноземного виробництва – автомобілів-тягачів, причепів та напівпричепів для цілей створення нового виду рухомого складу має передувати детальний порівняльний аналіз їх технічних характеристик з огляду на забезпечення ними задоволення вимог, які встановлюються національним та міжнародним законодавством, а також замовниками (споживачами) цієї продукції щодо таких експлуатаційних властивостей автопоїздів, як активна та пасивна безпека, тягово-швидкісні властивості, паливна економічність, екологічні показники, керованість, стійкість. Вибір типу автомобіля-тягача і причіпних ланок для вантажних перевезень має здійснюватись з урахуванням безпечності їх конструкцій, інтенсивності споживання енергії, а також з урахуванням відповідності їх експлуатаційних характеристик умовам, за яких планується здійснення перевезень та цілям, які встановлені організаторами перевезень [1].

Тягово-швидкісні властивості мають важливе значення при експлуатації автомобіля, оскільки вони безпосередньо пов'язані із середньою швидкістю руху та продуктивністю. Поліпшення тягово-швидкісних властивостей означає збільшення потенційної середньої швидкості та зменшення часових втрат перевезення вантажів, а також підвищення продуктивності автомобіля [2]. У зв'язку з цим метою роботи є порівняльна оцінка автопоїздів, що виконують перевезення у міжміському та міжнародному сполученнях, за середньою швидкістю руху і паливною економічністю, що визначають ефективність їх використання.

В Україні перевезення вантажів у міжміському і міжнародному сполученнях виконують автопоїзди у складі автомобілів-тягачів MAN, DAF, IVECO, VOLVO та ін. їм подібні, а також напівпричепів Krone, Schmitz, Fliegle та ін. подібні, ефективність використання яких залежить від вантажопідйомності, паливної економічності і середньої швидкості руху.

Середня швидкість руху залежить від взаємодії основних елементів системи «Транспортний засіб–дорога–водій–навколишнє середовище». Перші два елементи є такими, що задають, два останні – обмежують, оскільки їх вплив завжди зменшує швидкість руху, яку б міг розвинути той чи інший автопоїзд при повному використанні своїх технічних можливостей на заданій дорозі [2]. Цей показник тягово-швидкісних властивостей КТЗ може бути покладений в основу порівняння автопоїздів різних автовиробників.

### Результати досліджень

В основу порівняння автомобілів-тягачів за показниками тягово-швидкісних властивостей покладено середню швидкість руху на маршруті, оскільки вона визначає собою транспортну продуктивність колісних транспортних засобів (КТЗ). Розрахунок показників тягово-швидкісних властивостей автопоїздів виконано шляхом розв'язання диференціального рівняння руху.

Диференціальне рівняння, яке використовується в теорії автомобіля, справедливе для прямолінійного руху і тому може бути використане для моделювання руху на ЕОМ в умовах визначення основних оцінних показників тягово-швидкісних властивостей [2]:

$$\frac{dv}{dt} m_a \delta_{об} = P_{кo}(v) - P_o(v, v^2) \pm G_a \sin \alpha, \quad (1)$$

де  $m_a$  – маса автомобіля (автопоїзда);  $\delta_{об}$  – коефіцієнт, що враховує обертові маси автомобіля;  $P_{кo}(v)$  – повна колова сила на ведучих колесах автомобіля;  $P_o(v, v^2)$  – сума сил опору руху автомобіля, що залежать від швидкості його руху;  $G_a \sin \alpha$  – сила опору підйому;  $G_a$  – сила тяжіння від повної маси автомобіля;  $\alpha$  – кут нахилу поверхні дороги;  $v$  – швидкість руху автомобіля;  $\frac{dv}{dt}$  – прискорення автомобіля.

Середня швидкість визначається умовами руху та можливостями автомобіля на кожній із передач [2]. У зв'язку з цим розв'язання задачі визначення середньої швидкості КТЗ можна шукати на основі зіставлення сил опору руху та тягових сил, які може розвинути КТЗ на ведучих колесах.

Сумарна витрата палива на заданому маршруті, що виражена у л/100 км, є показником, який надає найбільш точне уявлення про паливну економічність КТЗ – як правило, одну з найбільш важливих його експлуатаційних властивостей. Вона визначається на основі математичної моделі двигуна, яка дозволяє встановити значення його годинної витрати палива в залежності від режиму роботи – за відомих частоти обертання та крутного моменту на валу двигуна (або коефіцієнта використання потужності двигуна). Така залежність може бути побудована на основі дванадцяти відомих (опорних) значень годинної витрати палива двигуна, виміряних при випробуваннях двигуна за Правилами ЄЕК ООН № 49 [3] в умовах випробувального циклу ESC. Цей випробувальний цикл складають 13 режимів роботи двигуна, один з яких – режим холостого ходу, решта 12 режимів «перекривають» робочий діапазон частот обертання та навантажень двигуна (площина  $s$  на рис. 1). При визначенні витрати палива на експлуатаційному маршруті режим холостого ходу не використовується. Опорні значення годинних витрат палива, визначених для решти 12 режимів, формують поверхню  $s'$  (див. рис. 1), яка складається з точок, що визначають годинну витрату палива для будь-якого режиму роботи двигуна.

Аналітична інтерпретація зазначеної математичної моделі базується на розв'язанні системи з 12 умов:

$$\begin{aligned}
 G(n_A, M_{100A}) &= G_{100}^A; G(n_B, M_{50B}) = G_{50}^B; G(n_B, M_{75B}) = G_{75}^B; \\
 G(n_A, M_{50A}) &= G_{50}^A; G(n_A, M_{75A}) = G_{75}^A; G(n_A, M_{25A}) = G_{25}^A; \\
 G(n_B, M_{100B}) &= G_{100}^B; G(n_B, M_{25B}) = G_{25}^B; G(n_C, M_{100C}) = G_{100}^C; \\
 G(n_C, M_{25C}) &= G_{25}^C; G(n_C, M_{75C}) = G_{75}^C; G(n_C, M_{50C}) = G_{50}^C,
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

де  $G(n_i, M_j)$  – значення годинної витрати палива, визначене за допомогою математичної моделі для режиму роботи двигуна, який характеризується частотою обертання  $n_i$  та крутним моментом  $M_j$ ;  
 $G_X^Y$  – годинна витрата палива, виміряна при випробуваннях двигуна в режимі циклу ESC, за якого встановлено – крутний момент  $X$  і частоту обертання –  $Y$ .

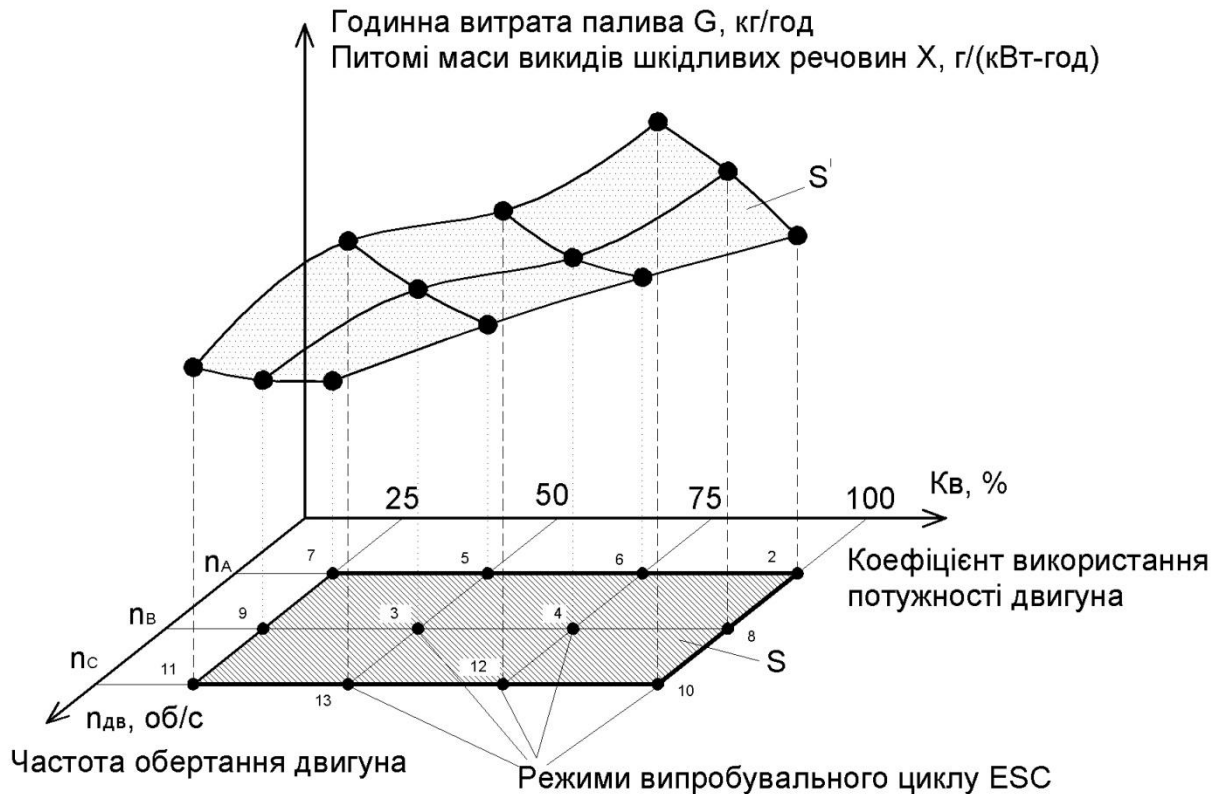


Рис. 1. До визначення годинної витрати палива та питомої маси викидів шкідливих речовин

Математична модель двигуна для визначення витрати палива визначається за двовимірною функцією виду

$$G(n, M) = A(M) \cdot n^2 + B(M) \cdot n + C(M), \text{ кг/год.}
 \tag{3}$$

Коефіцієнти  $A(M)$ ,  $B(M)$ ,  $C(M)$  залежать лише від поточного крутного моменту та опорних частот обертання.

Розрахунок показників тягово-швидкісних властивостей КТЗ базується на характеристиках автомобілів-тягачів і причіпного складу та умов експлуатації. Найбільшого розповсюдження в Україні при перевезеннях вантажів у міжміському і міжнародному сполученні отримали автопоїзди з тягачами MAN TGA/70.156, Iveco Magirus, Scania Rseries, DAF XF 105, Volvo FH16 та напівпричепами Krone, Fliegle, Schmitz тощо, технічна характеристика яких наводиться у довідковій літературі. Основні параметри автомобілів-тягачів і типового напівпричепи (Krone), що необхідні для розрахунку показників тягово-швидкісних властивостей, а відповідно і середньої швидкості руху і витрати палива, наведені у табл. 1, 2.

Вхідними даними для розрахунків окремих та комплексних оціночних показників у цьому випадку є: маса автопоїзда  $m=40000$  кг; фактор обтічності автопоїзда «сідельний тягач – напівпричіп»  $W=1,00$  Н·с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, коефіцієнт корисної дії трансмісії  $\eta_{тр}=0,9$ , коефіцієнт опору коченню  $f=0,01$ .

Таблиця 1

## Технічна характеристика автомобілів-тягачів

Автомобіль-тягач/двигун	КП: кількість передач (діапазон передаточних чисел)	Передаточні числа головних передач	Шини
MAN TGA/70.156/MAND2876LF13 390 кВт, 2400 Н·м	12 (12,33–0,78)	3,7	11R22,5 (або 315/75R22,5)
Iveco Magirus/ Iveco F3BE0681A*D 397 кВт, 2350 Н·м	12 (12,2–0,78)	4,39	14.00R20
Scania Rseries /Scania DC 1605 412 кВт, 2700 Н·м	8 (9,15–1)	3,96	12.00–20
DAF XF 105/DAF MX375S1 375 кВт, 2500 Н·м	12 (10,37–0,81)	3,07	315/60R22,5
Volvo FH16/Volvo D16C610 449 кВт, 2800 Н·м	14 (12,96–0,8)	3,78	495/45R22,5

Таблиця 2

## Технічна характеристика типового напівпричепа категорії O4

Виробник ДТЗ	KRONE
Тип ДТЗ	SDP – 27
Категорія ДТЗ	O <sub>4</sub>
Загальна маса, т	24 (27)
Кількість осей/коліс	3/6
Габаритні розміри, мм довжина/ширина/висота:	13680/2,550/4,000
База, мм:	7700+1310+1310
Колія, мм:	2040

Розрахунки середньої швидкості руху і паливної економічності виконані на маршруті, параметри якого наведені у табл. 3.

Таблиця 3

## Характеристика експлуатаційного маршруту

Довжина ділянки L, км	1,00	2,00	0,90	1,00	2,00	1,00	2,00	1,50	2,00	3,00	3,00
Ухил дороги	0,01	0,03	0,02	0,03	0,01	0	0,05	0,01	0,015	0,02	0,005

Для усіх автопоїздів були визначені показники тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності, табл. 4. У цій таблиці поряд з абсолютним значенням показника наведено і його відносне значення щодо еталонного тягача, показники якого є кращими серед тягачів, що розглядаються.

Таблиця 4

## Показники тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності автопоїздів з тягачами, що розглядаються

Назва показника відносного показника	Торгові назви виробників; абсолютні і відносні значення оціночних показників					
	DAF	MAN	IVECO	SCANIA	Volvo	Еталон
Середня швидкість на маршруті, м/с	<u>17,97</u> 0,89	<u>18,37</u> 0,91	<u>18,65</u> 0,92	<u>19,25</u> 0,95	<u>20,24</u> 1,00	20,24
Сумарний відносний показник тягово-швидкісних властивостей	15,15	14,64	14,56	14,38	15,13	
Витрата палива на експлуатаційному маршруті, л/100 км	<u>133,71</u> 1,00	<u>136,92</u> 0,98	<u>134,6</u> 0,99	<u>134,27</u> 0,99	<u>133,6</u> 1,00	133,71
Витрата палива в їздовому циклі ГОСТ 20306, л/100 км	<u>64,15</u> 0,96	<u>63,85</u> 0,96	<u>61,44</u> 1,00	<u>64,20</u> 0,96	<u>64,93</u> 0,95	61,44
Витрата палива в їздовому циклі ЕРА, л/100 км	<u>48,46</u> 0,88	<u>49,10</u> 0,87	<u>42,50</u> 1,00	<u>44,31</u> 0,96	<u>44,16</u> 0,96	42,5

Назва показника відносного показника	Торгові назви виробників; абсолютні і відносні значення оціночних показників					
	DAF	MAN	IVECO	SCANIA	Volvo	Еталон
Сумарний відносний показник паливної економічності	2,84	2,81	2,99	2,91	2,91	
Сумарний відносний показник	17,99	17,45	17,55	17,29	18,04	

Аналіз даних табл. 4 показує, що як показники тягово-швидкісних властивостей, так і паливної економічності автопоїздів з тягачами DAF, MAN, IVECO, SCANIA і Volvo за обраних параметрів потужності двигуна і передаточних відношень трансмісії майже однакові. Розбіжність між показниками тягово-швидкісних властивостей не перевищує 5 %, а паливної економічності – 6 %. Поліпшення показників тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності слід шукати в оптимізації параметрів системи «двигун–трансмісія» тягачів для експлуатації в умовах України.

### Висновки

Встановлено, що за показниками тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності автопоїзди з тягачами DAF, MAN, IVECO, SCANIA і Volvo за обраних параметрів потужності двигуна і передаточних відношень трансмісії майже однакові. Поліпшення показників тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності слід шукати в оптимізації параметрів системи «двигун–трансмісія» тягачів для експлуатації в умовах України.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Heavy-duty Vehicle Emissions and Fuel Consumption Improvement Project. Northeast States Center for a Clean Air Future. 04-2006. [Online]. Available: [www.nescaum.org/documents/heavy-duty-rfp.pdf](http://www.nescaum.org/documents/heavy-duty-rfp.pdf). Accessed on: Sep 19, 2019.

[2] В. П. Сахно, К. С. Жаров, «Продуктивність та економічність дво- та триланкових автопоїздів», *Автомобильный транспорт*, № 29, с. 48–51. 2011.

[3] Правило ЕЭК ООН № 49 Единые предписания, касающиеся подлежащих принятию мер по ограничению выбросов загрязняющих газообразных веществ и твердых частиц из двигателей с воспламенением от сжатия и двигателей с принудительным зажиганием, предназначенных для использования на транспортных средствах. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902259078>. Дата обращения: Сен. 20, 2019.

**Сахно Володимир Прохорович** – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автомобілів, e-mail: [svr\\_40@ukr.net](mailto:svr_40@ukr.net).

**Поляков Віктор Михайлович** – канд. техн. наук, доцент, професор кафедри автомобілів, e-mail: [poljakov\\_2006@ukr.net](mailto:poljakov_2006@ukr.net).

Національний транспортний університет, м. Київ.

**Мурованій Ігор Сергійович** – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри автомобілів і транспортних технологій, e-mail: [igor\\_lntu@ukr.net](mailto:igor_lntu@ukr.net).

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк.

**Шарай Світлана Михайлівна** – канд. техн. наук, доцент, професор кафедри міжнародних перевезень і митного контролю, e-mail: [Svetasharai@gmail.com](mailto:Svetasharai@gmail.com).

Національний транспортний університет, м. Київ.

**V. Sakhno<sup>1</sup>**  
**V. Polyakov<sup>1</sup>**  
**I. Murovaniy<sup>2</sup>**  
**S. Sharai<sup>1</sup>**

## To the choice of the truck-tractor type for heavy duty semi-trailer

<sup>1</sup>National Transport University  
<sup>2</sup>Lutsk National Technical University

*Investigation of the influence of design parameters on traction-speed properties, productivity and efficiency of rolling stock is a prerequisite for the improvement of transport services. Correct, grounded by research and experience, combining the parameters of trucks, semi-trailers and trailers based on the tasks that the carrier faces, the conditions of rolling stock operation are powerful means to increase its productivity and efficiency. The choice of the truck-tractor and trailer for freight transportation should be made based on the safety of their constructions, as well as taking into account the performance characteristics,*

conditions under which the transportation is planned, goals set by the organizers of transportation matching. The basis of comparison of truck-tractors on the parameters of traction characteristics is the average speed on the road, since it determines the transport performance of the heavy-duty vehicle. Calculation of the traction characteristics of road trains is performed by solving the differential equation of motion. The total fuel consumption on the route is determined on the basis of a mathematical model of the engine, which allows setting the value of the hourly fuel consumption of the engine, depending on its mode of operation - according to the known frequency of rotation and torque on the engine shaft (or the coefficient of engine power utilization). This dependence can be constructed on the basis of the twelve known (reference) values of hourly fuel consumption of the engine measured at engine tests according to UN Regulation No. 49 under the conditions of the ESC test cycle. When determining the fuel consumption on the operating route, the idle mode is not used.

It is established that according to the indicators of traction characteristics and fuel efficiency, vehicles consisting of semi-trailer with DAF, MAN, IVECO, SCANIA and Volvo truck-tractors are almost identical for the chosen engine power settings and transmission ratios. Improvement of traction characteristics and fuel efficiency should be done by optimizing the parameters of the "engine-transmission" system of tractors.

**Key words:** car-tractor, semi-trailer, auto-train, load-carrying capacity, engine, traction-speed properties, fuel efficiency, efficiency.

**Sakhno Volodymyr** – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of Automobiles Department, e-mail: [sakhno@ntu.edu.ua](mailto:sakhno@ntu.edu.ua).

**Polyakov Viktor** – Ph. D. (Eng.), Associate professor, Professor of «Automobiles», e-mail: [poljakov\\_2006@ukr.net](mailto:poljakov_2006@ukr.net).

**Murovaniy Igor** – Ph. D. (Eng.), Assoc. Professor, Head of Motor Cars and Transport Technologies Department, e-mail: [igor\\_lntu@ukr.net](mailto:igor_lntu@ukr.net).

**Sharai Svitlana** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Professor, Department of International Transport and Customs Control, e-mail: [Svetasharai@gmail.com](mailto:Svetasharai@gmail.com).

**В. П. Сахно**<sup>1</sup>  
**В. М. Поляков**<sup>1</sup>  
**І. С. Мурованій**<sup>2</sup>  
**С. М. Шарай**<sup>1</sup>

## К выбору типа автомобиля-тягача для автопоезда большой грузоподъемности

<sup>1</sup>Национальный транспортный университет  
<sup>2</sup>Луцкий национальный технический университет

*Исследование влияния конструктивных параметров на тягово-скоростные свойства, производительность и экономичность подвижного состава является необходимым условием совершенствования транспортных услуг. Правильное, обоснованное исследованиями и опытом, сочетание параметров автомобилей, полуприцепов и прицепов на основе задач, стоящих перед перевозчиком, условий эксплуатации подвижного состава является мощным средством повышения его производительности и экономичности. Выбор седельного тягача и прицепа для грузовых перевозок должен быть сделан исходя из безопасности их конструкций, а также с учетом эксплуатационных характеристик, условий, при которых планируется перевозка, целей, поставленных организаторами сопоставления перевозок. Основой сравнения седельных тягачей по параметрам тяговых характеристик является средняя скорость на дороге, так как она определяет транспортные характеристики большегрузного транспортного средства. Расчет тяговых характеристик автопоездов осуществляется путем решения дифференциального уравнения движения. Общий расход топлива на трассе определяется на основе математической модели двигателя, которая позволяет устанавливать значение почасового расхода топлива двигателя в зависимости от его режима работы – в соответствии с известной частотой вращения и крутящим моментом на валу двигателя (или коэффициент использования мощности двигателя). Эта зависимость может быть построена на основе двенадцати известных (эталонных) значений почасового потребления топлива двигателем, измеренных в ходе испытаний двигателя в соответствии с Правилами № 49 ООН в условиях цикла испытания ESC. При определении расхода топлива на эксплуатационном маршруте режим холостого хода не используется.*

*Проведенными расчетами установлено, что по показателям тягово-скоростных свойств и топливной экономичности автопоезда с тягачами DAF, MAN, IVECO, SCANIA и Volvo при выбранных параметрах мощности двигателя и передаточных отношений трансмиссии почти одинаковые. Улучшение показателей тягово-скоростных свойств и топливной экономичности следует искать в оптимизации параметров системы «двигатель-трансмиссия» тягачей.*

**Ключевые слова:** седельный тягач, полуприцеп, автопоезд, грузоподъемность, двигатель, тягово-скоростные свойства, топливная экономичность, экономичность.

**Сахно Владимир Прохорович** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Автомобили», e-mail: [sakhno@ntu.edu.ua](mailto:sakhno@ntu.edu.ua).

**Поляков Виктор Михайлович** – канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры «Автомобили», e-mail: [poljakov\\_2006@ukr.net](mailto:poljakov_2006@ukr.net).

**Мурованій Игорь Сергеевич** – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой автомобилей и транспортных технологий, e-mail: [igor\\_lntu@ukr.net](mailto:igor_lntu@ukr.net).

**Шарай Светлана Михайловна** – канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры международных перевозок и таможенного контроля, e-mail: [Svetasharai@gmail.com](mailto:Svetasharai@gmail.com).