

АНАЛІЗ ТРАНСПОРТНОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ АВТОПОЇЗДІВ У МІСЬКИХ УМОВАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ

Крупнов В.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна, sniv@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2111-4678

ANALYSIS OF TRANSPORT ENERGY EFFICIENCY OF VEHICLES IN URBAN CONDITIONS OF FUNCTIONING

Krupnov V.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine, sniv@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2111-4678

Постановка задачі. Автотранспортні послуги матеріально створюються в процесах автомобільних перевезень з використанням властивостей автотранспортних засобів (АТЗ) як ресурсно-технічних і технологічних засобів вантажних перевезень в умовах їх адаптивно-дискретного руху як на міських, так і на міжміських маршрутах [1]. При чому відомо, що частина міжміських маршрутів реалізується в умовах міського руху. Основними експлуатаційно-технологічними особливостями автомобільних перевезень є [2]:

- 1) висока енерго- і ресурсоемність автотранспортних послуг (особливо при русі у міських умовах);
- 2) широкий діапазон змінних конструктивно-технічних характеристик нових АТЗ на світовому ринку автомобілів при високій динаміці змін їх параметрів;
- 3) різноманіття станів дорожньо-трафікових і термінальних факторів транспортно-технологічної експлуатації АТЗ;
- 4) недосконалість структур ресурсно-технологічних баз автотранспортних підприємств та низькі рівні технологічної (енергетичної і енергоресурсної) ефективності автотранспортних процесів.

У зв'язку з цим, проблема підвищення транспортної енергоефективності автотранспортних засобів з урахуванням експлуатаційно-технологічних особливостей є актуальною.

Методи організації вантажних автомобільних перевезень [3] базуються на теоретичній схемі віртуального (нематеріального) транспортування предметів рухомим складом, у якій не враховуються ресурсно-технічні та технологічні властивості АТЗ. Крім того, також не враховуються вищезгадані особливості автомобільних перевезень. Ці методи забезпечують спрощений організаційний вибір рухомого складу (як віртуальне-мобільного кузову). Вони дозволяють вирішувати оперативні задачі організації автомобільних перевезень по критеріях їх противитратної і комерційної ефективності, при чому, без врахування важливих технічних параметрів автопоїздів та умов їх руху.

Метою статті є встановлення закономірностей впливу технічних параметрів на показники транспортної енергоефективності автопоїздів з урахуванням зміни їх швидкісних режимів в умовах міського трафіко-адаптивного руху. Одним із важливих таких параметрів є максимальна потужність двигуна N_M (кВт). Вона, крім того, характеризує ще й транспортно-енергетичний потенціал АТЗ як ресурсно-технічного і технологічного засобу виробництва автотранспортних послуг. Зміна трафіко-адаптивних режимів в транспортних операціях автопоїздів характеризується величинами дискретних приростів їх швидкості dv (м/с) на фазах розгонів ($dv_{\max} > dv(u_d, u_r) > 0$), де u_d і u_r – параметри керування двигуном і трансмісією АТЗ.

На основі результатів багатоваріантного моделювання трафіко-адаптивного руху автопоїзду MB Astros 1840 у тестовій операції міського циклу (з довжиною пробігу АТЗ $l_{\text{оп}}=1000$) отримані наступні закономірності впливу величин приросту його швидкості dv на важливі показники функціонування АТЗ: машинно-технологічної віддачі T_B , ($T_B=f(dv)$); транспортної енергоефективності P_e , ($P_e=f(dv)$); операційно-циклової витрати палива ($Q_{\text{оп}}=f(dv)$); коефіцієнту тестової енергоефективності $P_{\text{ер}}$, ($P_{\text{ер}}=f(dv)$). При цьому величини максимальної потужності двигуна N_M автопоїзду MB Astros 1840 змінюються у діапазоні $N_M \in (300, 450)$ квт. Залежності представлені на рисунках 1-4.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах Гальони І.І. [4] міститься досить докладний опис методики аналізу впливу технічних параметрів та машинно-технологічних процедур на енергоефективність автомобілів малої вантажопідйомності. Стаття також містить детальні результати досліджень та їх аналіз.

Однак, у статті представлені результати аналізу тільки автомобілів малої вантажопідйомності. Також у статті відсутній порівняльний аналіз: стаття не надає порівняльних даних про енергоефективність різних автомобілів малої вантажопідйомності для різних видів перевезень, що може обмежувати можливість порівняння ефективності методики з іншими методами.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Для підвищення технологічної та енергетичної ефективності нового рухомого складу необхідно використати вищезгаданий комплекс закономірностей трафіко-адаптивного функціонування АТЗ. При чому, максимізація показника машинно-технологічної віддачі – (ТВ→max) забезпечує підвищення технологічної ефективності автопоїзду шляхом зросту транспортної віддачі його чотирьох машинних процедур в умовах міського руху (енерго-перетворювальних, трансмісійних, тягово-динамічних, траєкторно-кінетичних). Друга стратегія- максимізація показника P_e ($P_e \rightarrow \max$) забезпечує підвищення технологічної та транспортно-енергетичної ефективності нового рухомого складу. Комплексне підвищення транспортної енергоефективності автопоїздів і формування енергозберігаючих технологій перевезень вантажів здійснюються за умовами максимізації величин двох показників тестових транспортних операцій: а) транспортної енергоефективності – P_e ; б) транспортної машинно-технологічної віддачі машинних процедур – ТВ.

Показник ТВ необхідно враховувати у комплексі з показником енергетичної ефективності. У багатофазовій операції руху автомобіля цей показник визначається як для окремих і-тих його фаз (сталі рухи, розгони, гальмування) руху АТЗ (ТВ_i), так і для тестового циклу в цілому (ТВС). Це дозволяє здійснювати більш точний аналіз енергоефективності транспортного засобу [5]. Показником результативності машинно-технологічної віддачі технологічних процедур АТЗ у тестовій операції називається відношення дискретної транспортної роботи $W(\Delta l)$, яка відповідає пробігу автопоїзда Δl , до величини імпульсів сили тяги АП $P_m \Delta t$:

$$ТВ_i = \frac{q\gamma_{ст} l_i}{P_{mi} t_i^2} \rightarrow opt, i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

де $q\gamma_{ст}$ – вантажопідйомність автомобіля (кг) та коефіцієнт її використання;

n – кількість фаз в операції руху;

l_i – довжина пробігу автомобіля у і-й фазі операції, м;

P_{mi} – середня сила тяги автомобіля у і-й фазі операції, Н;

t_i – час руху автомобіля у і-й фазі операції, с;

Показник транспортної енергоефективності АТЗ P_e є відношенням транспортної енерговіддачі автопоїзда у тестовій операції p_e до транспортної енерговіддачі еталонного автомобіля у еталонній операції $p_{ет}$ [6].

$$P_e = \frac{p_e}{p_{ет}} = \frac{K_v * \gamma_{ст} * \eta_{т}}{K_e * (\eta_q + \gamma_{ст})} \rightarrow max \quad (2)$$

де K_v – коефіцієнт швидкості АМВ на розрахунковому маршруті (відношення середньої швидкості АТЗ на розрахунковому маршруті до постійної швидкості еталонного АТЗ);

$\gamma_{ст}$ – коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності АТЗ;

K_e – енергетичний коефіцієнт пробігу АТЗ в тестовій операції (відношення витрати палива даного АТЗ на розрахунковому маршруті до витрати палива еталонного АТЗ, який рухається з постійною еталонною швидкістю);

$\eta_{т}$ – ККД трансмісії АТЗ;

η_q – коефіцієнт спорядженої маси АТЗ.

Основні техніко-експлуатаційні показники автопоїзду Mercedes-Benz Actros 1840, які використані при багатоваріантному аналізі, представлені в табл. 1

Таблиця 1 – Технічні характеристики автопоїзда
Table 1 – Technical characteristics of the road train

№ п/п	Марка АТЗ	Mercedes-Benz Actros 1840
1	Вантажопідйомність, т	18
2	Власна маса, т	16,3
3	Повна маса, т	35
4	Навантаження на задню вісь, т	11500
5	Максимальна потужність, кВт	450
6	Лінійна норма витрати палива, л/100 км	30
7	Коефіцієнт спорядженої маси	0,91
8	Витрати палива в міському циклі, л/100 км	32,3
9	Витрати палива в магістральному циклі, л/100 км	29,2
10	Час розгону – до 40 км/год, с	15,7
11	до 60 км/год, с	34,8
12	до 80 км/год, с	61,48
13	до 100 км/год, с	95,78

Аналізуючи вплив потужності двигуна N_m на показники результативності технологічного впливу автомобіля встановлено, що при збільшенні значень N_m відбувається збільшення показника технологічного впливу ТВ (рис 1). Чим вищою є величина підвищення швидкості dv (м/с), тим більшим є вплив величини N_m на приріст значення показника технологічного впливу ТВ. Результати розрахунків приведені в табл. 2.

Графік залежності показника результативності технологічного впливу автопоїзда Mercedes-Benz Actros 1840 від потужності двигуна N_m в міському циклі демонструє зростаючу лінію в діапазоні 0,07 – 1,08.

Таблиця 2 – Значення показника транспортної віддачі ТВ (результативності) машинно-технологічних процедур автопоїзда Mercedes-Benz Actros 1840 в міському циклі – при зміні потужності двигуна.

Table 2 – The value of the indicator of the transport return TR (efficiency) of the mechanical and technological procedures of the Mercedes-Benz Actros 1840 road train in the urban cycle – when the engine power changes.

N_m	dv			
	5	8	11	14
	ТВ			
300	0,11	0,23	0,68	1,08
350	0,09	0,19	0,56	1,00
400	0,08	0,21	0,48	0,96
450	0,07	0,19	0,49	0,89

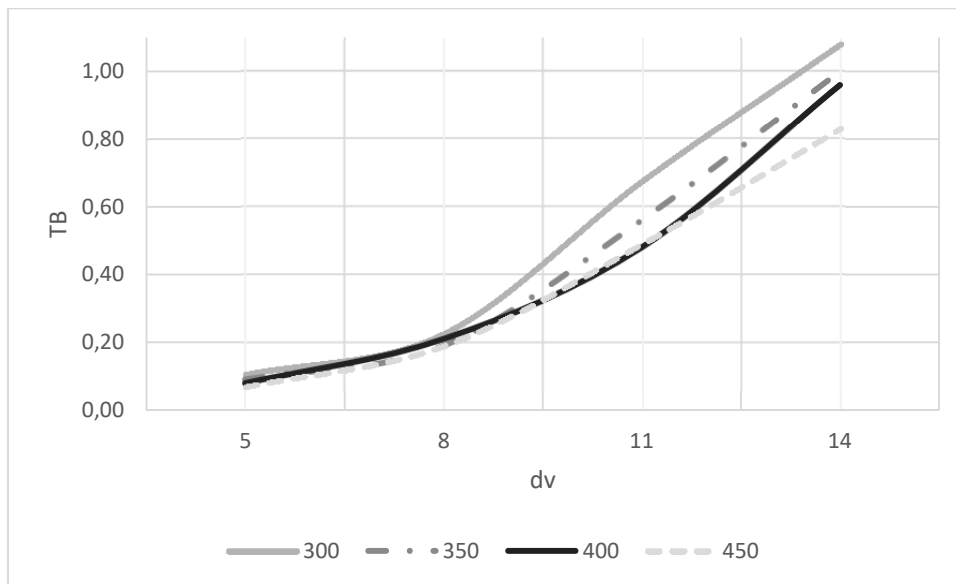


Рисунок 1 — Графіки залежності безрозмірного показника транспортної віддачі машинне-технологічної віддачі автопоїзда МВ Actros 1840 від величин приросту його швидкості dv (м/с) при різних значеннях максимальної потужності двигуна N_m (кВт) в міському циклі

Figure 1 – Graphs of the dependence of the dimensionless indicator of the transport return of the machine-technological return of the MB Actros 1840 road train on the values of its speed increase dv (m/s) at different values of the maximum engine power N_m (kW) in the urban cycle

Рисунок 2 демонструє, що зміна потужності двигуна N_m впливає на енергетичну ефективність автопоїзда. При збільшенні максимальної потужності двигуна збільшується коефіцієнт енергетичної ефективності на маршруті. При $N_m=300$ кВт показник $Pe=0,34$. Але, при збільшенні N_m на 33% показник Pe збільшується на 15% і складає 0,4.

Графік залежності показника енергоефективності автопоїзда Mercedes-Benz Actros 1840 від величин приросту його швидкості dv (м/с) при різних значеннях максимальної потужності N_m в міському циклі демонструє зростаючу лінію в діапазоні 0,32 – 0,44.

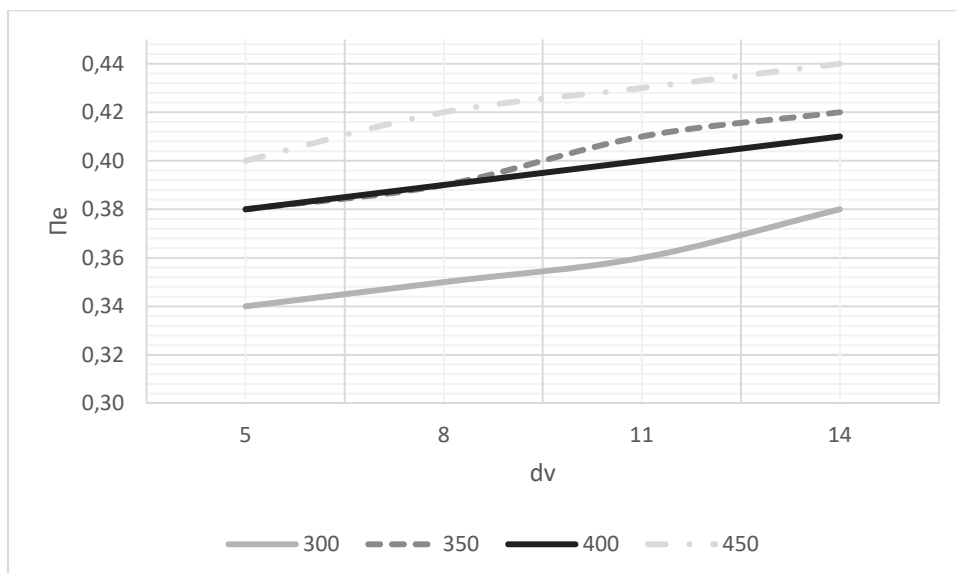


Рисунок 2 — Графіки залежності показника транспортної енергоефективності Pe автопоїзда МВ Actros 1840 від величин приросту його швидкості dv (м/с) при різних значеннях максимальної потужності двигуна N_m (кВт) в міському циклі

Figure 2 – Graphs of the dependence of the transport energy efficiency indicator Pe of the MB Actros 1840 road train on the values of its speed increase dv (m/s) at different values of the maximum engine power N_m (kW) in the urban cycle

Рисунок 3 демонструє, що при $N_m=300$ і $dv=5$ м/с витрати палива становлять 642 грами, однак при $N_m=350$ та $dv=5$ м/с витрати палива зростають на 14 % і становлять вже 746 грам. Із рисунку 3 видно, що при зростанні величини N_m до $N_m=450$ при $dv=5$ витрати палива різко зростають на 47%, і становлять майже 1200 грам у циклі тестової операції.

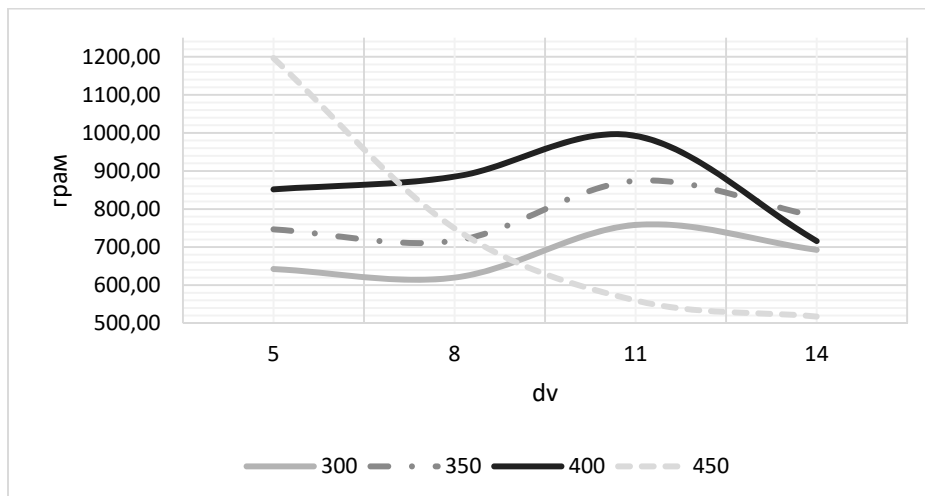


Рисунок 3 – Графіки залежності витрат палива Q_c (гр.) АТЗ MB Actros 1840 від величин приросту його швидкості dv (м/с) при різних значеннях максимальної потужності двигуна N_m (кВт) – в міському циклі

Figure 3 – Graphs of the dependence of fuel consumption Q_s (gr.) of the MB Actros 1840 on the values of its speed increase dv (m/s) at different values of the maximum engine power N_m (kW) – in the urban cycle

При порівнянні варіантів Mercedes-Benz Actros 1840 з двигунами різної потужності 350 кВт та потужністю 450 кВт виявлено, що при збільшенні величини N_m на 100 кВт відбувається зміна характеру закономірності $Q_c = f(dv)$. З локально-екстремальної (при 350 кВт), вона стає гіперболічною (Рис.3). Тобто, зі збільшенням потужності двигуна АТЗ та інтенсивності його розгону в діапазоні від $dv=5$ м/с до $dv=14$ м/с відбувається значне зменшення витрати палива (у 2,32 рази) у циклі тестової операції. Таким чином, АТЗ з $N_m=450$ кВт при $dv>9,5$ м/с має найменші витрати палива серед усіх інших варіантів двигунів.

Рисунок 4 демонструє залежність величини тестового коефіцієнту енергетичної ефективності Per автопоїзду від величин приросту його швидкості dv (м/с) при різних значеннях максимальної потужності N_m в міських умовах. При цьому, при значеннях $dv=5$ та потужності двигуна $N_m=300$ кВт транспортна енергетична ефективність $Per=0,67$, однак при збільшенні dv до 14 м/с та збільшенні N_m до 450 кВт транспортна енергетична ефективність зростає на 16% та становить $Per=0,79$.

В цілому, графіки залежності величини тестового коефіцієнту енергетичної ефективності Per автопоїзду Mercedes-Benz Actros 1840 від величин приросту його швидкості dv (м/с) при різних значеннях його максимальної потужності N_m у тестовій міській операції представляються закономірностями зростаючого характеру. При підвищенні потужності двигуна АТЗ від 300 кВт до 450 кВт величини тестового коефіцієнту Per зростають у діапазоні 0,67 – 0,79.

Висновки.

1) Встановлено актуальність методу технологічного вибору нових автопоїздів для міжміських перевезень з урахуванням рівнів їх транспортної енергоефективності у міських умовах руху при реалізації операцій збору або розвозу вантажів у містах.

2) Встановлено кількісні закономірності показників транспортної енергоефективності та машинне-технологічної віддачі автопоїзду у міських умовах руху при його трафіко-адаптивному функціонуванні. При збільшенні значень N_m відбувається збільшення показника технологічного впливу ТВ. Чим вищою є величина підвищення швидкості dv (м/с), тим більшим є вплив величини N_m на приріст значення показника технологічного впливу ТВ.

3) Виявлено, що зміна потужності двигуна N_m впливає на енергетичну ефективність автопоїзда. При збільшенні максимальної потужності двигуна збільшується коефіцієнт енергетичної ефективності на маршруті. При $N_m=300$ кВт показник $Pe=0,34$. Але, при збільшенні N_m на 33% показник Pe збільшується на 15%. Збільшення максимальної потужності двигуна N_m та приросту швидкості автопоїзда (dv) впливає на зростання тестового коефіцієнту енергетичної ефективності (Per). Графіки показують зростання Per зі збільшенням потужності двигуна та швидкості.

4) У подальших дослідженнях необхідно провести порівняльний аналіз показників транспортної енергоефективності міжміських автопоїздів з урахуванням різних співвідношень часток їх пробігів міжміських і міських умовах руху.

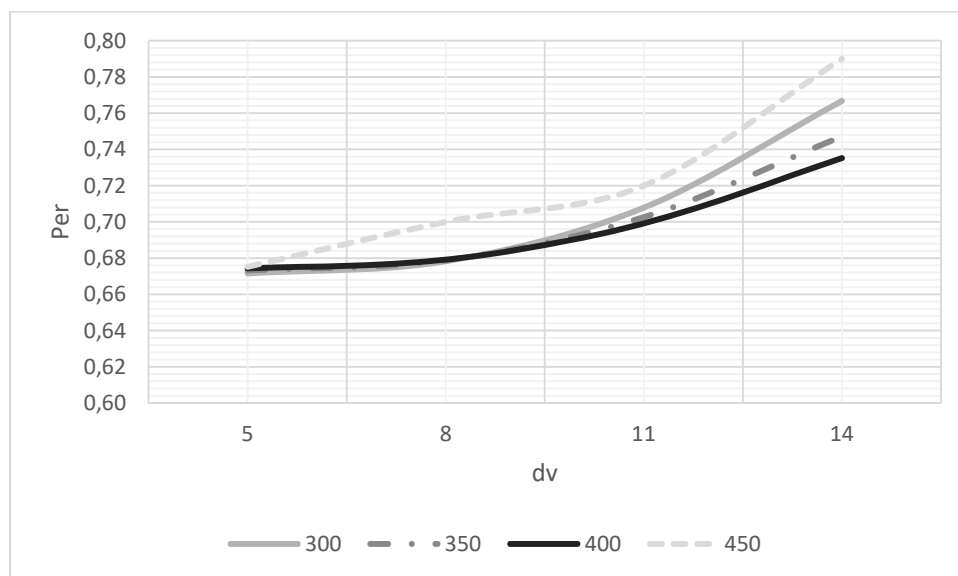


Рисунок 4 – Графіки залежності тестового коефіцієнту енергетичної ефективності Per автопоїзда МВ Actros 1840 від величин приросту його швидкості dv (м/с) при різних значеннях максимальної потужності N_m в міському циклі

Figure 4 – Graphs of the dependence of the test coefficient of energy efficiency Per of the MB Actros 1840 road train on the values of its speed increase dv (m/s) at different values of the maximum power N_m in the urban cycle

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Хабутдінов Р.А., Коцюк О.Я. Энергоресурсна ефективність автомобіля. – К.: УТУ. – 1997. – 197 с.
2. Хабутдінов Р.А. Принципи і методи концептуального підвищення енергоресурсної ефективності автотранспортних засобів і послуг в їх життєвих циклах. – К.: Вісник НТУ. – вип. 53. – 2022. – част. 3. – С 389-398.
3. Воркут А. И. Грузовые автомобильные перевозки. 2-е изд., перераб. и доп. — К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. — 447с.
4. Гальона І.І. Підвищення енергоефективності перевезень дрібних партій вантажів в рамках життєвого циклу автомобіля : автореф. дис ... канд. техн. наук : [спец.] 05.22.01 / Інеса Іванівна Гальона, Нац. транспортний ун-т. – Київ : [б.в.], 2021. – 20 с.
5. Хмельов І. В. Методика аналізу транспортно-технологічної якості автопоїздів за енергетичним критерієм / І. В. Хмельов // Вісник Національного транспортного університету. – 2011.

REFERENCES

1. Khabutdinov R., Kotsyk A. Energy-resource efficiency of car. – K.: UTU. – 1997. – 197 p. (Ukr)

2. Khabutdinov R. Principles and methods of conceptual improvement of energy resource efficiency of motor vehicles and services in their life cycles. -K.: Visnyk NTU.– Issue 53.–2022.–Part 3.–С 389-398. (Ukr)
3. Vorkut A. Freight transportation by road. K.: High-school.– 1986.– 447 p. (Rus)
4. Galyona I.I. Increasing the energy efficiency of the transportation of small consignments of goods within the framework of the life cycle of the car: autoref. thesis ... candidate technical Sciences: [specialist] 05.22.01 / Inesa Ivanovna Galyona, National University of Transport – Kyiv: [b.v.], 2021. – 20 p. (Ukr).
5. I. V. Khmelov. Methodology for the analysis of the transport and technological quality of road trains according to the energy criterion / I. V. Khmelov // Bulletin of the National Transport University. – 2011. (Ukr).
6. Khabutdinov R.A., Khmelov I.V., Methods of monitoring the energy efficiency of road trains//Bulletin of the National Transport University. – 2006. – No. 11. – P.6-10. (Ukr)

РЕФЕРАТ

Крупнов В.М. Аналіз транспортної енергоефективності автопоїздів у міських умовах функціонування / В.М. Крупнов // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

У статті проаналізована транспортна енергоефективність автопоїздів у міському сполученні. На основі результатів багатоваріантного моделювання трафіко-адаптивного руху автопоїзду у тестовій операції міського циклу отримані закономірності впливу величин приросту його швидкості dv на важливі показники функціонування АТЗ: машинно-технологічної віддачі, транспортної енергоефективності, операційно-циклової витрати палива та коефіцієнту тестової енергоефективності.

Стаття є актуальною через те, що методи організації вантажних автомобільних перевезень базуються на теоретичній схемі віртуального (нематеріального) транспортування предметів рухомим складом, у якій не враховуються ресурсно-технічні та технологічні властивості АТЗ.

Об'єкт дослідження – технічні ресурси та технологічний процес автомобільних перевезень.

Мета роботи – встановлення закономірностей впливу технічних параметрів на показники транспортної енергоефективності автопоїздів з урахуванням зміни їх швидкісних режимів в умовах міського трафіко-адаптивного руху.

Результати статті можуть бути використані в транспортних компаніях, що здійснюють перевезення в Україні.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АНАЛІЗ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ПРОЦЕСИ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ, АВТОТРАНСПОРТНІ ПОСЛУГИ, МІСЬКИЙ ЦИКЛ, РЕСУРСИ, РЕЗУЛЬТАТИВНІСТЬ.

ABSTRACT

Krupnov V.M. Analysis of transport energy efficiency of road trains in urban operating conditions. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The article analyzes the transport energy efficiency of road trains in urban traffic. Based on the results of multivariate modeling of the traffic-adaptive movement of the road train in the test operation of the urban cycle, the laws of the influence of the increase in its speed dv on the important indicators of the operation of the vehicles were obtained: machine-technological efficiency, transport energy efficiency, operational-cycle fuel consumption and the test energy efficiency coefficient.

The article is relevant due to the fact that the methods of organizing cargo transportation by road are based on the theoretical scheme of virtual (intangible) transportation of objects by rolling stock, which does not take into account the resource-technical and technological properties of vehicles.

The object of research is technical resources and the technological process of automobile transportation.

The purpose of the work is to establish the regularities of the influence of technical parameters on the indicators of transport energy efficiency of road trains, taking into account the change in their speed regimes in the conditions of urban traffic-adaptive traffic.

The results of the article can be used in transport companies carrying out transportation in Ukraine.

KEY WORDS: ANALYSIS, ENERGY EFFICIENCY, ROAD TRANSPORT PROCESSES, ROAD TRANSPORT SERVICES, URBAN CYCLE, RESOURCES, PERFORMANCE.

АВТОРИ:

Крупнов Владислав Михайлович, аспірант, Національний транспортний університет, Київ, email: sniv@ukr.net, tel.+380982095552, Україна, м. Київ, вул. Героїв Дніпра 3, orcid.org/0000-0002-2111-4678

AUTHOR:

Krupnov Vladyslav Mykhailovych, graduate student, National Transport University, Kyiv, e-mail: sniv@ukr.net, tel. + 380982095552, Ukraine, Kyiv, st. Heroiv Dnipra, 3, orcid.org/0000-0002-2111-4678

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мнацаканов Р.Г., доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет, кафедра підтримання льотної придатності повітряних суден, e-mail: mnatsakanov@ukr.net, тел. +380679714862, Київ, Україна.

Петрашевський О.Л., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, кафедра аеропортів, вул. Омеляновича-Павленка,1, e-mail: olp47@ukr.net, тел. +380996092476, Київ, Україна.

REVIEWER:

Mnatcakanov R., Doctor of Technical Sciences Engineering (Dr.), professor, National Aviation University, department of maintaining the airworthiness of aircraft, e-mail: mnatsakanov@ukr.net, тел. +380679714862, Kyiv, Ukraine.

Petrashevski O., Doctor of Technical Sciences, professor, National Transport University, Department of Airports, e-mail: olp47@ukr.net, тел. +380996092476, Kyiv, str. Omelyanovich-Pavlenko, 1, Ukraine.