

УДК 629.421.8

DOI: 10.34029/2311-4061-2019-133-4-13-18

*Д-р техн. наук Капіца М.І.**Канд. техн. наук Мартишевський М.І.**Канд. техн. наук Гончаров О.М.*

ПІДВИЩЕННЯ ОБ'ЄКТИВНОСТІ ОЦІНКИ ТРАНСПОРТНОЇ РОБОТИ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

Ключові слова: транспортна робота, одиниця вимірювання роботи, локомотив, енергетична установка, сила тяги, тяговий рухомий склад.

Транспортні послуги підприємств залізничного транспорту полягають в переміщенні в просторі пасажирів та вантажів і забезпечуються за рахунок виконання взаємопов'язаного комплексу виробничих процесів. Реалізація транспортних послуг підприємствами залізничного транспорту є результатом виконання кожним структурним підрозділом певних функцій. Процес їх створення є досить складним і потребує узгодженості дій всіх виконавців. Окремим питанням є справедливий розподіл понесених витрат і одержаного прибутку при виконанні транспортної роботи, який повинен базуватись на прийнятних об'єктивних методах визначення внеску кожного підрозділу.

На теперішній час основним кількісним показником оцінки величини транспортної роботи є вантажообіг, який дорівнює добутку маси перевезеного за визначений час вантажу на відстань перевезення. Традиційно, в якості основного вимірника виконаної роботи застосовують 10000 тонно-кілометрів бруто. Поширене вживання даного показника пояснюється простотою розрахунку обсягів виконаної роботи, зручністю її планування та обліку. В той же час застосування зазначеного показника не забезпечує очікуваний рівень достовірності оцінки величини виконаної транспортної роботи, з урахуванням особливостей роботи локомотивного господарства.

В сучасних умовах постає потреба в більш об'єктивній оцінці транспортної роботи, ви-

конаної локомотивами. Вирішення зазначеної проблеми набуває особливої актуальності в умовах реформування АТ «Укрзалізниця» та побудови нової структури взаємовідносин учасників перевізного процесу, організаційного та фінансового розділення оператора інфраструктури та перевізника всередині Товариства. Сутність вживаного філософського поняття «об'єктивності» стосується характеристики предмета, змісту знання чи способу існування (дійсності), які полягають в їх незалежності від людської свідомості (суб'єкта пізнання) [1,2].

Для подальшого ілюстрації ступеня об'єктивності оцінки транспортної роботи для локомотивів варто розглянути складову роботи за зміною «потенціальної енергії», - скалярної фізичної величини, яка представляє собою частину повної механічної енергії системи, що знаходиться в полі консервативних (потенціальних) сил, робота яких не залежить від виду траєкторії, точки прикладення цих сил і закону руху, а визначається тільки початковим і кінцевим положенням точки (маси) [3,4]. Рівнозначним за суттю (для енергетичної оцінки механічної системи) визначенням є поняття *консервативних сил*, тобто сил, робота яких за любою замкненою траєкторією дорівнює нулю. Якщо не відходити від положень теоретичної механіки, виявляється, що закінчений тур одного і того ж поїзда, наприклад, «Дніпро-Київ-Дніпро» не приведе до зміни консервативної (потенціальної) енергії поїзда, тобто від того, яким маршрутом буде перевезено вантаж за вказаним туром, його кінцева потенціальна енергія не зміниться.

Наразі також, при порівнянні виконаної тонно-кілометрової роботи, при переміщенні, одного і того ж поїзда зі ст. Дніпро до ст. Київ, чи зі ст. Київ до ст. Дніпро кількісна різниця відсутня, бо як маса поїзда (m), так і відстань перевезення (s) є незмінними. Однак робота локомотивів з подолання опору руху може суттєво відрізнитись, в залежності від профілю колії та режиму ведення поїзда. Відрізнятимуться також величини навантаження на основні деталі та вузли локомотивів, що, в кінцевому випадку, спричинить зміну ступеня впливу на їх показники надійності, енергоефективності, очікуваних витрат на ремонті тощо. Таким чином традиційний

підхід до виміру транспортної роботи (тонно-кілометри) не враховує змін роботи, виконаної тяговим рухомим складом (ТРС) на практиці.

Слід звернути увагу на відносну кількісну незначущість потенційної енергетичної складової в частині подолання різниці між потенціальною енергією одного й того поїзда в пункті його відправлення і в пункті прибуття, що, в певній мірі, нівелює абсолютну похибку в межах дільниці. Точна оцінка виконаної транспортної роботи локомотивів ускладнюється також наявністю *неконсервативних сил*, прикладом яких є сили тертя, робота (енергія) яких залежить від траєкторії та швидкості переміщення маси поїзду.

Потенціальна енергія згаданого вище поїзда не є повною потенціальною енергією тіла, а являє собою тільки зміну потенціальної енергії при піднятті (опусканні) тіла на висоту h , оскільки початок підрахунку (вертикальна координата) вибирається довільно:

$$W_{II} = Gh = mgh, \quad (1)$$

де: W_{II} – потенціальна енергія тіла (енергія положення), Дж;

G – гравітаційна сила, Н;

h – висота положення над точкою відліку, м;

m – маса тіла, кг;

g – прискорення вільного падіння, (м/с²).

Абсолютне значення зміни потенційної енергії (енергії положення) в процесі переміщення поїзда по ділянках, при незмінній його вазі $Q_{бн}$ і усередненому ухилі профілю шляху $i_{сер}$, в ході поточного переміщення поїзда ΔL на кожній дільниці може бути суттєвим:

$$\Delta W_{II} = (mg) \cdot \Delta h = Q_{бн} \cdot (i_{сер} \cdot \Delta L), \quad (2)$$

де: Δh – зміна висоти положення, м;

$Q_{бн}$ – вага поїзда (брутто), т;

$i_{сер}$ – усереднений розрахунковий ухил колії, ‰;

ΔL – переміщення поїзда, км.

Різниця за висотою над рівнем моря міст Київ і Дніпро, згідно з даними «Балтійської системи висот» (БСВ), складає не менше

22 м [1]. Для прикладу: «підняття» вантажного поїзда масою 3000 т від ст. Дніпро до ст. Київ тільки за параметром «накопичення потенціальної енергії» вимагає витрат енергії близько 180 кВт-год або 643223 кДж. Зазначені витрати енергії приведені без урахування коефіцієнту корисної дії (ККД) ТРС технологічно задіяного для виконання транспортної роботи. Очевидно, що кількісна оцінка консервативних сил дозволяє оцінити виконану ТРС транспортну роботу з точки зору витрат енергії точніше і більш об'єктивно.

Як показали виконані розрахунки, величина співвідношення витрат енергії на «накопичення» потенціальної енергії поїзда в процесі виконання транспортної роботи (консервативні сили) і витрат енергії на подолання неконсервативних сил (сил механічного тертя, аеродинамічного опору і т. ін.) буде незначним і чим більш похилими будуть перегони, тим це співвідношення буде менше, а крайня межа цього значення для горизонтального профілю колії дорівнює нулю. Для великих перепадів висот, наприклад, рівнів технологічних горизонтів гірничозбагачувальних кар'єрів (ГЗК) названі вище співвідношення будуть мати суттєву співмірність.

Якщо повернутись до «умовного» поїзда, то наявність сил тертя в елементах його складових в процесі їх руху по елементах верхньої будови колії (по рейках) при зміні траєкторії руху поїзда (маршруту поїзда) обов'язково викличе зміни витрат енергії ТРС. Важливість питання *об'єктивності* оцінки прямих транспортних енерговитрат повстає в більшій мірі для магістральних локомотивів і, в меншій мірі, – для енергетичної характеристики виконаної маневрової роботи (для умов станційної маневрової роботи швидкість переміщення невелика, перепади висот Δh (2) в межах станції практично відсутні, або ж за своєю довжиною (ΔL) дуже короткі). Як вказано вище, проблема підвищення об'єктивності обліку виконаної транспортної роботи залізничним ТРС не вичерпується врахуванням змін потенціальної енергії поїзда ΔW_{II} .

¹ Балтійська система висот (БСВ) – прийнята в СРСР у 1977 році система абсолютних висот, відлік яких ведеться від нуля кронштадтського футштока. Від цієї позначки відраховані висоти опорних геодезичних пунктів, які позначені на місцевості різними геодезичними знаками та нанесені на карти.

В класичному вигляді робота сил формулюється наступним чином: «при прямолінійному русі матеріальної точки і постійному значенні прикладеної до неї сили, робота A (цієї сили) дорівнює добутку проекції вектора сили на напрям руху и довжини вектора переміщення, здійсненого точкою» [3,4]. Спрощено формулювання зазначеного алгоритму визначення виконуваної роботи для ТРС наступне: «робота переміщення поїзда дорівнює добутку сили тяги локомотива на відстань переміщення поїзда». Правомірність спрощення полягає в тому, що вектор сили тяги локомотива практично завжди співпадає з вектором переміщення локомотива ($\alpha = 0$).

$$A = F \cdot s \cdot \cos(\overline{F}, \overline{s}) = F \cdot s \cdot \cos(\alpha) = F \cdot s, \quad (3)$$

де: F – сила тяги локомотива;
 s – відстань переміщення поїзда.

В загальному випадку, коли сила (тяги) змінна за величиною, а рух ТРС – непрямолінійний, робота локомотива визначається за криволінійним інтегралом другого роду за траєкторією точки.

$$A = \int \overline{F} \cdot d\overline{s}. \quad (4)$$

Якщо відома залежність сили тяги від координати локомотива $\overline{F}(\overline{r})$, то його робота (4) визначається наступним чином:

$$A = \int_{r_0}^{r_1} \overline{F}(\overline{r}) \cdot d\overline{r}, \quad (5)$$

де \overline{r}_0 і \overline{r}_1 – радіус-вектори початкового і кінцевого положення тіла відповідно.

Напрошється очевидний висновок, що більш об'єктивним було б при визначенні виконаної ТРС транспортної роботи, незалежно від роду служби (виду роботи), як мінімум, необхідно оцінювати реалізовану величину сили тяги локомотива. Але впровадження додаткової (паралельної) одиниці вимірювання виконаної транспортної роботи для деяких господарств в складі інфраструктури управління залізницями України є суперечним та мало важливим, проте питання «справедливого розподілу» отриманого за рахунок виконаних перевезень прибутку між господарствами до сих пір не вирішено. Ос-

новні труднощі при реалізації даного підходу можуть виникнути при визначенні сили тяги ТРС в функції переміщення (лінійної координати знаходження), а також в частині розробки необхідної сучасної контрольно-реєстраційної приладової бази.

Потреба впровадження додаткового, а з точки зору рівня достовірності оцінки, більш досконалого вимірника виконаної транспортної роботи, може бути проілюстрована при розгляді деяких відмінностей виконання маневрової роботи. Наразі питання оцінки кінцевого обсягу виконаної, а тим більше запланованої маневрової тягової роботи, при опрацюванні двох вантажних поїздів однакової маси після їх прибуття на сортувальну станцію в процесі практичної реалізації плану роботи з метою формування нових поїздів, повстають, до прикладу, якщо вони будуть, згідно з маршрутними документами, «розірваними»: перший – на дві частини, а другий – на 10 частин. При цьому, для традиційного підходу проблемним буде визначення різниці виконаних обсягів роботи, коли фактична кількість перероблених вантажних вагонів в обох випадках однакова.

Для подальшого розгляду пропонується оцінити співвідношення виконаної роботи в «традиційних» сьогодні одиницях добутку маси перевезеного за визначений час вантажу на відстань перевезення і одиницях виміру, що враховують реалізовану силу тяги, визначених за формулами (4) і (5). Порівняння отриманих результатів виконаних тягових розрахунків [5] для вантажних поїздів різної маси, дільниць різного профілю довжиною 30-50 км і ТРС різних серій для подальшого аналізу з відповідною оцінкою і подальшими висновками зручно представити у вигляді таблиці 1.

Очевидно, що співвідношення обсягів виконаних робіт буде залежати, в першу чергу, від профілю дільниці, тягових властивостей локомотива, режиму руху поїзда. Як видно з наведених даних у таблиці 1 розбіжність величина перевізної роботи, отриманими за різними підходами може бути суттєвою, причому характер залежності між значеннями може бути різним. Співставлення величин перевізної роботи, визначених традиційним методом та з урахуванням сили тяги локомотива наведено у вигляді графіку на рисунку 1.

Табл. 1 – Порівняння обсягів виконаної роботи при перевезенні вантажу для тепловозів, при різній довжині дільниці та масах поїздів

№ п/п	Серія локомотива	Довжина дільниці, км	Розрахункова маса складу (брутто), т	Обсяг виконаної роботи (брутто), т-км, визначений		Співвідношення обсягів виконаних робіт (гр. 5/гр. 6)
				«традиційно» (добуток гр.3 і гр. 4)	за тяговими розрахунками	
1	2	3	4	5	6	7
1	2TE10M	44	5650	248600	1003*	251
2	2TE10M	44	5050	222200	862**	292
3	2M62	40	3750	150000	588*	255
4	2M62	40	3050	122000	492**	248

*) парний напрям руху;

**) непарний напрям руху.

Робота, визначена за інтегральною силою тяги, т-км

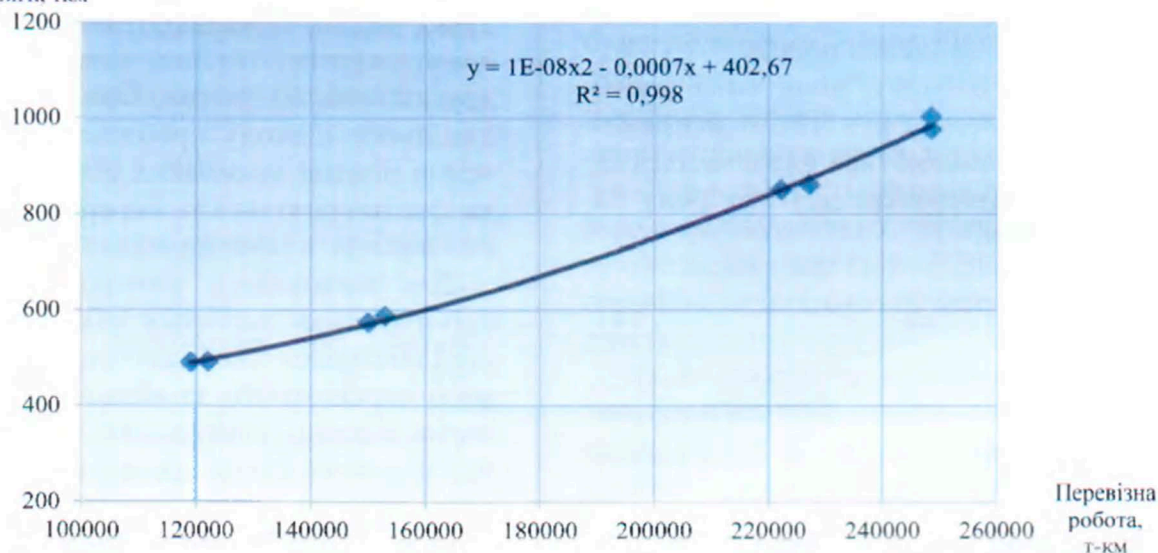


Рис. 1 – Співставлення величин перевізної роботи локомотива, визначених традиційним методом та з урахуванням його сили тяги

Величина механічної роботи, виконаної локомотивом для переміщення поїзда в межах дільниці, залежить від довжини дільниці, важкості її профілю, маси поїзда, швидкості і та інших факторів. В теорії тяги поїздів для оцінки важкості профілю і траси колії користуються віртуальними (еквівалентними) характеристиками [5], до яких відносяться віртуальний коефіцієнт важкості ділянки колії (коефіцієнт складності) - відношення обсягів витраченої механічної роботи. Важкість профілю дільниці при русі поїзда в парному і непарному напрямках при оцінці обсягу виконаної роботи за тяговими розрахунками різна.

Традиційні одиниці виміру транспортної роботи, виконаної ТРС (табл. 1, гр. 5), не дозволяють (за своїм визначенням) оцінити ділянку колії за коефіцієнтом її важкості, оскільки в самій оцінці не врахована складова механічної роботи. Використання співвідношення виконаних робіт в якості достовірного показника (табл. 1, гр. 7), – очікувано малоінформативне, бо чисельник співвідношення (табл. 1, гр. 5), як зазначалося вище, відношення до обсягу виконаної механічної роботи ТРС не має.

Для спрощення моделі визначення віртуального коефіцієнта, механічну роботу, яка виконується локомотивом при переміщенні

поїзда по ділянці пропонується вважати пропорційною витратам дизельного палива (тепловозом) або витратам електроенергії (електровозом) [5]. Таке твердження кілька суперечливе, бо спрощене оцінювання обсягу виконаної механічної роботи за витратою палива (електроенергії) залишає без уваги один з основних техніко-економічних показників силових установок ТРС – їх ККД, тобто рівень енергетичної досконалості. ККД тягової одиниці в процесі експлуатації змінний і залежить від рівня потужності силової установки і швидкості руху поїзда.

За викладеним, при визначенні перевізної роботи локомотиву виникає необхідність забезпечення вирішення декількох принципово важливих питань організаційно-технічного характеру:

1) підвищення *об'єктивності* кількісної оцінки обсягу транспортної роботи, виконаної конкретною одиницею ТРС (4);

2) можливості *«справедливого утримання»* ТРС (за обсягом дійсно виконаної роботи), наприклад, в частині ремонту конкретного локомотива;

3) *технічної можливості і достовірності* статистичної цільової оцінки обсягів виконаної роботи (для локомотива чи залізничної станції, за зміну, добу чи інший звітний період).

Потребує вирішення також проблема впливу виконаної перевізної роботи на систему утримання локомотивів. Величини планово-попереджувальних (директивних) міжремонтних пробігів для ТРС багато років традиційно обґрунтовувались інформацією стосовно усередненого технічного стану локомотивів, незалежно від регіону експлуатації і визначались в часових термінах (для маневрового ТРС) або величиною лінійного пробігу без урахування конкретного обсягу виконаної механічної роботи (магістральні локомотиви). Сьогодні питання призначення величини міжремонтних пробігів теж носить директивний характер, але якщо для магістральних локомотивів міжремонтні пробіги визначаються в якійсь мірі пропорційно виконаній «традиційній» транспортній роботі, то для маневрових тепловозів «енергетичний аргумент завантаженості силової установки» взагалі відсутній, внаслідок специфіки мане-

врової роботи. Деяким виключенням можуть слугувати окремі види маневрових локомотивів, наприклад пароаккумуляторних [6], які крім достатньо високої експлуатаційної енергетичної ефективності (наприклад, порівняно з маневровими тепловозами), дозволяють достатньо точно визначати обсяг виконаної транспортної маневрової роботи через витрату пари.

Відкритим залишається питання планування обсягів транспортної роботи маневрового характеру. Сьогодні, навіть при стабільних вантажоперевезеннях, стабільний кореляційний зв'язок між завантаженістю маневрових і тонно-кілометровою роботою магістральних локомотивів практично відсутній, оскільки залежить як від багатьох відомих, але тимчасово не діючих факторів, так і факторів, що можуть вплинути на транспортний процес неочікувано. Інформації стосовно кількості раніше опрацьованих в процесі виконання маневрової роботи вагонів (поїздів) і навіть знання величини інтегрально виконаної локомотивами (4) тягової роботи для виконання її цільового аналізу з метою якісного планування витрат дизельного палива, наприклад, маневровими тепловозами буде недостатньо.

В підсумку викладеного, автори статті не пропонують відмовитися від традиційного показника виконаної ТРС залізниць транспортної роботи вже сьогодні, бо ні технічна система утримання локомотивів, ні система відповідного обліку обсягів виконаної транспортної роботи, а тим більше система комерційно-економічних взаємовідносин між перевізником і замовником зараз не є досконалими і вимагають в подальшому ретельного дослідження. Враховуючи масштабність необхідної організаційно-технічної роботи зі зміни системи обліку виконаної транспортної роботи, річ може йти про дублювання «традиційної» системи обліку роботи виконаної локомотивом з метою покращення її *об'єктивності*.

Не менш важливим впровадження більш досконалої системи обліку транспортної роботи може бути для великих промислових підприємств, у яких експлуатаційний парк маневрово-вивізних чи маневрово-технологічних тепловозів нараховує десятки,

а іноді і сотні одиниць, для яких в системі кількісної оцінки виконаної транспортної роботи на підприємстві не вигідно використовувати традиційний сьогодні показник транспортної роботи залізниць (10^4 т-км бр.), бо сама специфіка маневрово-технологічної роботи на цих підприємствах не схожа на традиційну технологічну маневрову роботу залізничних станцій.

Система індивідуального обліку виконаної тепловозами транспортної роботи, притаманної для промислових підприємств з їх можливою специфікою основних технологій, дозволяє додатково і, головне, більш *об'єктивно* оцінити ефективність енергетичного використання ТРС внутрішнього промислового залізничного транспорту.

Висновки

Використання інтегральних «тонно-кілометрів», з вживанням тонн або (тс) в розумінні реалізації сили тяги, є універсальним способом пасивного контролю транспортної роботи ТРС, що дозволить його привести до єдиного енергетичного знаменника в частині визначення *енергетичної собівартості* виконаної транспортної роботи (кг/ткм – для тепловозів і (кВт-год)/ткм – для електровозів) та оцінити через відповідні порівняння перспективність чи безперспективність технічних рішень транспортного менеджменту.

З метою *підвищення об'єктивності* оцінки отриманих результатів, пропонується замінити або ліпше, – доповнити діючу систему обліку виконаної транспортної роботи з використанням *позасистемних* одиниць (тонно-км брутто) системою обліку з класичними (з точки зору теоретичної механіки) одиницями вимірювання механічної роботи в тонно-кілометрах, де «тонна», – інтегральна сила тяги локомотива.

Вважаємо, що доречно було б провести широку дискусію серед зацікавлених фахівців-транспортників, за результатами якої прийняти відповідні організаційно-технічні рішення стосовно зазначених пропозицій.

Література

1. Філософський енциклопедичний словник / В.І. Шинкарук [та ін.]. - Київ: Абрис, 2002. - 742 с.

2. Добронравова І.С. Філософія та методологія науки / І.С. Добронравова, Л.І. Сидоренко. – Київ: ВПЦ «Київський університет», 2008. – 223 с.

3. Федорченко А.М. Теоретична механіка / А.М. Федорченко. – Київ: Вища школа, 1975. – 516 с.

4. Иродов И. Е. Основные законы механики / И.Е. Иродов. – М.: Высшая школа, 1985. – 317 с.

5. Осипов С.И. Основы тяги поездов: учебн. для студ. техникумов и колледжей жел. трансп. / С.И. Осипов, С.С. Осипов. – М.: УМК МПС России, 2000. – 592 с.

6. Капіца М.І. Оновлення парку маневрових тепловозів пароаккумуляторним тяговим рухомим складом / М.І. Капіца, М.І. Мартишевський, О.Ю. Сербулов // Залізничний транспорт України. - 2017. - № 4. – С. 30-38.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Капіца Михайло Іванович,

д. т. н., професор, завідувач кафедри «Локомотиви» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010.
Тел. +38 0562 33 19 61.

E-mail: m.i.kapica@ua.fm .

Мартишевський Михайло Іванович,

к. т. н., доцент кафедри «Локомотиви» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010.
Тел. +38 0562 33 19 61.

E-mail: sosnovka49@gmail.com .

Гончаров Олександр Михайлович,

к. т. н., доцент, головний фахівець науково-дослідного відділу рухомого складу філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» АТ «Укрзалізниця».

Вул. І.Федорова, 39, м. Київ, 03038, Україна.
Тел.: +38 044 465 39 92.

E-mail: goncharov1520mm@gmail.com.