



П. М. Гащук¹, І. Р. Вайда²

¹Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

²Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2345-4879> – П. М. Гащук

<https://orcid.org/0000-0001-9437-9944> – І. Р. Вайда



petroh@meta.ua

ЗМІСТ І ПРИНЦИПИ ВИМІРЮВАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ РОБОТИ НА ТРАНСПОРТІ

Мета дослідження — знайти об'єктивний принцип, яким слід керуватись в алгоритмах оцінювання ефективності транспортного процесу, та водночас з'ясувати рівень об'єктивності таких оцінних вимірників, як «тонно-кілометр» і «тран».

Дослідження проведено на таких засадах. Оптимізація використання будь-якого утилітарного ресурсу зводиться в загальному підсумку до заощадження часу — найціннішого з усіх ресурсів. Ресурс «час» вагомий у двох аспектах — тривалості і вчасності. Протиставним йому в обох цих аспектах є ресурс «енергія»: більша швидкість споживання користи від будь-якої транспортної активності обов'язково супроводжується зростанням витрат енергії на транспорті. Зіставляючи час і енергію доводиться зважати ще на логічно вмотивовані умови, які правлять за інваріантами. У разі транспортного процесу за інваріант має слугувати добуток вантажного потоку (кількості вантажу, що потрапляє на транспорт за одиничний проміжок часу) на швидкість руху цього потоку. Оперування цим інваріантом руйнує підвалини, на які спирається колись сформульоване поняття «тран». Тож не дивно, що не зважаючи на потуги теоретичної аргументації, практика інтуїтивно досі не береться його застосовувати.

З'ясовано, що «тонно-кілометри» є корисним на транспорті вимірником, до якого нема сенсу висувати якісь претензії — він якісно виконує свої доволі вузькі функції. Так само й швидкість вантажопотоку — потрібний і корисний показник, який має бути незалежною характеристикою. А ще було б добре оцінювати транспортний процес механічною роботою у фізичному сенсі. Про економічні вимірники — окрема розмова.

Ключові слова: транспорт, транспортний процес, вантажний потік, швидкість руху вантажного потоку, ресурс «час», ресурс «енергія», транспортна робота, вимірник «тонно-кілометр», вимірник «тран», інваріант транспортного процесу.

P. M. Hashchuk¹, I. R. Vayda²

¹Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

²Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, Ukraine

CONTENT AND PRINCIPLES OF TRANSPORT WORK MEASUREMENT ON TRANSPORT

The purpose of the study is to find an objective principle that should be guided by algorithms for evaluating the efficiency of the transportation process, and at the same time to find out the level of objectivity of such evaluation metrics as «tonne-kilometre» and «tran».

The research was conducted on the following basis. Optimizing the use of any utilitarian resource boils down time saving – the most valuable of all resources. The resource «time» is important in two aspects – duration and timeliness. In contrast to it in both these aspects is the resource «energy»: a higher rate of consumption of benefits from any transport activity is necessarily accompanied by an increase in energy consumption in transport. When comparing time and energy, it is necessary to take into account logically motivated conditions that rule as invariants. In the case of the transport process, the invariant should be the product of the cargo flow (the amount of cargo entering the transport in a time unit) by the speed of movement of this flow. Operation with this invariant destroys the foundations on which the once formulated concept of «tran» rests. Therefore, it is not surprising that despite the efforts of theoretical argumentation, practice intuitively still does not undertake to apply it.

It turned out that «tonne-kilometres» is a useful measure in transport, to which there is no point in making any claims - it qualitatively fulfils its rather narrow functions. In the same way, the speed of cargo flow is a necessary and useful indicator that should be an independent characteristic. And it would be good to evaluate the transport process by mechanical work in the physical sense. About economic indicators — separate conversation.

Key words: transport, transporting process, freight stream, rate of movement of freight stream, «time» resource, «energy» resource, transport work, «tonne-kilometre» measuring device, «tran» measuring device, invariant of transport process

Вступ. Уся сукупність транспортних засобів у технічному сенсі потенційно здатна виконати якийсь обсяг транспортної роботи за певний проміжок часу. У вартісному вираженні ця сукупність засобів — це фонди. Усі чинники, через які технічні можливості транспортних засобів не задіяні на виконання перевезень (не реалізовані), можна трактувати як причини зниження фондівіддачі. Народна господарка (економіка) за цей проміжок часу здатна (має підстави) зробити запит на виконання певного обсягу транспортної роботи. Це не означає, що потреба і можливість збігаються у кожному поточному мить часу, але загалом до гармонії будь-що треба прагнути.

Якщо рухомий склад простоє під завантаженням/вивантаженням і тому не перебуває в русі з певною потенційно можливою технічною швидкістю якоюсь досконалою дорогою, то це може розглядатися як «гандж» процесу використання рухомого складу. На тлі запиту від економіки ефективність сприймається як узгодження альтернативи: або залучити достатню кількість транспортних засобів для освоєння заданого обсягу перевезень, або підвищити потужність завантажувально-вивантажувальних механізмів, щоби скоротити тривалість простоювання рухомого складу (тривалість перебування в непродуктивному стані). А загалом слід підтримувати тенденцію одночасного зростання потужності парку транспортних засобів та завантажувально-вивантажувального обладнання. Тож стосовно транспортного процесу доречно говорити не про технічну швидкість переміщення вантажу, а радше про швидкість його доставання, про ефективну швидкість вантажного потоку.

Швидкість доставання (а не переміщення) продукту трубопровідним транспортом — десь 5 км/год, істотно відрізняється від швидкості доставання вантажу залізницею — десь 10...15 км/год, автомобільним транспортом — десь

30...40 км/год. Літак в цьому сенсі взагалі — щось особливе. Швидкість доставки — дуже важливий вимірник. Від неї істотно залежить вартість залучення того чи іншого транспорту. Але в інтересах людини кожен вид транспорту завжди займатиме свій щабель і від жодного з них не вдасться відмовитись.

Тож загалом є сенс говорити про властивий транспортіві в заданих економічних умовах певний вантажопотоковий інваріант, що його не можна ігнорувати, маніпулюючи параметрами транспортного процесу. Проте відносно легко означити, що таке обсяг вантажу, і якось його виміряти, а от з означенням змісту і вимірюванням обсягу транспортної роботи все принципово складніше.

Мета дослідження — визначити вантажопотоковий інваріант, яким є сенс керуватись в алгоритмах оцінювання ефективності транспортного процесу, та водночас з'ясувати рівень об'єктивності таких оцінних критеріїв як звичний «тонно-кілометр» і такий собі «тран» — вимірник, що його час од часу намагаються рекламувати.

Поняття (утямок) транспортної роботи. Звісно, транспорт мав би покладати на себе обов'язок доставити погоджену кількість вантажу без втрати його кондицій з одного обумовленого пункту в інший обумовлений пункт за узгоджений/регламентований період часу [1, 2]. До домовлених митей що постачальник, що отримувач вантажу повинні мати можливість підготувати кожен свої засоби і фронт маніпулювання вантажем: невчасне ж подання транспортних засобів під завантаження й вивантаження провокує надмірне перебування у непродуктивному стані чи транспортних засобів, чи завантажувально-вивантажувального обладнання, чи водночас і тих, і інших машин. А от узвичаєна кваліметрія, так склалось цілком суб'єктивно, трактує ситуацію надто спрощено: корисну роботу транспорту вимірюють в тонно-кілометрах (раніше писали тонна-кілометри, що мабуть логічніше; а от на тоннокілометри не варто погоджуватись), у яких час (і швидкість) доставання не побачити. Зрештою, транспортну

роботу морського судна віддавна повсюдно ніщо не заважало вимірювати в «тонна-милях».

Але от про що варто було б посперечатись, так це про те, як правильно: «тонна» (з двома *n*) чи «тона» (з одним *n*). Тонна (фр. *tonne*, від старофранцузького слова *tunne* — бочка, з кельтської) — метрична міра маси, вона дорівнює 1 000 кг.

Але існує ще й англійська тонна, довга тонна (англ. *ton*, *long ton*, *gross ton*, *weight ton*; = 1016,0469088 кг точно) — неметрична міра маси, що використовується у Великій Британії та Співдружності націй і називається там просто тонна, а також в США — здебільшого для вимірювання водомісткості (водотоннажності) суден. А ще є американська тонна, коротка тонна (англ. *ton*, *short ton*; = 907,18484 кг точно) — неметрична міра маси. В США її часто називають просто тонна, а от якщо йдеться чи про метричну тонну (її англійською пишуть з двома *n* — *tonne*) чи про довгу тонну, то на цьому особливо наголошують.

Як бути українцям? Колись (приміром, у 1920-і) українці писали «тона». Тепер ми знаємо, що іноземного походження слова з подвоєнням приголосних у нас, що дуже слушно, треба писати без подвоєння (це, правда, не стосується імен і прізвищ). Але водночас у нас є чотири винятки: «ванна», «брутто», «нетто» і «тонна». Звісно, є сенс позбутися винятків. Звернімо увагу: у чехів — *tuna*, у поляків — *tona*. Чому б не брати приклад зі справжніх слов'ян?

Різні види транспорту сприймаються, звісно, цілком по-різному, на те вони різні види. То й користь від кожного з них має сприйматись ніби по-різному. Натомість такий вимірник як «транспортна робота — тонна-кілометри» аж ніяк не «бачить» цієї різниці. Але чи повинен це він бачити?

Ситуацію намагались виправити. Здебільшого — в Московії (колишньому Радянському Союзі) — осередку свавілля, де обліковування і звітування засадничо були мистецтвом спотворювати і приписувати здобутки. Приміром, М. Винниченко (Москва, 1950 р.) пропонував запровадити замість тонна-кілометрів таку собі «транспортну одиницю дії» — добуток тонна-кілометрів на швидкість доставлення в км/год. Далі П. Кузнецов і Р. Образцова закликали у разі вимірювання транспортної роботи вдатися до особливої «транспортної одиниці дії» на ймення «тран».

Тран відповідає умовній роботі (умовній розвіюваній енергії) $w' = msv^2$ у процесі

переміщення маси m вантажу (т) на шляху s (км) із середньою (з урахуванням можливих зупинок) швидкістю v (км/год). Розмірність трану — $t \cdot \text{км}^3/\text{год}^2$. Порівняймо, транспортну одиницю дії виражає формула $w' = msv$ — розмірність $t \cdot \text{км}^2/\text{год}$. Натомість розмірність фізичної роботи (енергії) $w = mv^2$ — $t \cdot \text{км}^2/\text{год}^2$ (таку розмірність мають, приміром, механічні потенціальна $e = mgh$ і кінетична $e = mv^2/2$ форми енергії: g — пришвидження вільного падіння, h — висотне переміщення в полі тяжіння).

За критерій оцінювання транспортного процесу брали й годинну продуктивність $w = mv$ ($t \cdot \text{км}/\text{год}$). Звертались також до поняття кінетичної енергії $e = mv^2/2$ ($t \cdot \text{км}^2/\text{год}^2$). Тут до уваги безпосередньо не бралась віддаль перевезення.

Навіть можна було в науковій літературі зустріти твердження, ніби в технічних науках давно з'ясовано, що задля збільшення удвічі швидкості горизонтального переміщення вантажу (на хоч-яку відстань) будь-яким транспортним засобом доведеться збільшити питому потужність двигуна у вісім разів. Якщо це так, то у такій самій пропорції мали б зрости витрати пального та інших експлуатаційних речовин і матеріалів. Пропорційно до витрати пального зростає спрацьовування транспортного засобу, зменшується ресурс його систем. Тож витрата пального мала б слугувати мірилом зношеності для регламентування періодичності технічного обслуговування транспортних засобів. У разі теплових двигунів навіть не має значення різновид пального, оскільки можна орієнтуватись на теплотворну здатність (нижчу зазвичай). За повчальний приклад подають перевезення зерна з поля: автопоїздами (застосовуючи причепи) перевозять вантаж, який у 8 разів більший за номінальну вантажомісткість (основного) автомобіля, втрачаючи при цьому у швидкості лише вдвічі. І здається, що таким чином (не прагнучи швидкості) доречно задовольняти потреби народної господарки, якщо вони об'єктивно вимірювані тонна-кілометрами.

Отже формально означити і виміряти транспортну роботу — не просте завдання.

Транспортна робота з позиції виконавця перевезень: абстрактне бачення. Але наука володіє значно точнішою інформацією. Зокрема стосовно автомобіля зазвичай керуються співвідношенням [3, 4]

$$\frac{F}{\text{Сила тяги}} = \frac{mgf \cos \alpha}{\text{Опір коченню}} + \frac{\frac{\rho}{2} c_w A v^2}{\text{Опір повітря}} + \frac{ma}{\text{Інерційний чинник}} + \frac{mg \sin \alpha}{\text{Профільний опір дороги}} + \frac{F_r}{\text{Сповільнювальний чинник}} \quad (1)$$

яке прийнятно спрощено пов'язує силу тяги F з масою автомобіля $m = M + Q$ та швидкістю його пересування v : M і Q — маса спорядженого автомобіля і маса вантажу; f — коефіцієнт опору коченню; g — пришвидження вільного падіння в полі тяжіння; α — кут подовжнього схилу (профілю) дороги; ρ — густина повітря; c_w — коефіцієнт вітривності (аеродинамічного опору); A — площа вітривності (площа міделя); $a = dv/dt$ — пришвидження автомобіля; t — час; F_r — сила дії сповільнювача (гальмового пристрою). Подібні співвідношення існують і для трубогонів, суден, літаків, залізничних поїздів. Потужність, що спонукає рух, в такому разі визначається як добуток $P = Fv$. У разі усталеного продуктивного руху ($a(t) = dv(t)/dt \equiv 0$, $v = \text{const}$; $F_r(t) \equiv 0$) тільки

потужність аеродинамічного опору $P_w = \frac{\rho}{2} c_w A v^3$

зростає у вісім разів із зростанням швидкості вдвічі. Але поряд з нею вдвічі зростає потужність, якщо можна так казати, інфраструктурного опору: $P_\psi = mg\psi v$, де $\psi = f \cos \alpha + \sin \alpha$ — сумарний опір дороги (інфраструктурний опір рухові машини; до нього можна долучити ще й опір унаслідок кривини дороги в плані).

Отже в згадуваній ситуації, коли маса m вантажу зросла у вісім разів, а швидкість v впала вдвічі, величина P_w мала б впасти у $8c_w/c'_w$ разів (c'_w — коефіцієнт аеродинамічності автопоїзда), але водночас величина P_ψ мала б зрости в 4 рази.

При цьому приріст потужності $P = -3\psi mgv + \frac{\rho}{2} \left(c_w - \frac{c'_w}{8} \right) A v^3$ «істотно не дорівнює»

нулю — початкова й похідна ситуації не дуже й порівняльні.

Транспортний процес як такий найяскравіше виражений на трубопроводному транспорті. Відволікаючись від прояву профілю місцевості і вважаючи постійною швидкість руху продукту трубогоном, легко переконатись, що потрібна для реалізації транспортного процесу сумарна рушійна потужність компресорних станцій зростає лінійно із збільшенням довжини трубопроводу. І зрештою можна говорити про певну незмінну вздовж трубогону питому потужність (потужність, що розвіюється на одиниці довжини трубопроводу). Зрозуміло, через будь-який поперечний перетин (швидкість

стала) проходить певна однакова маса продукту — та сама, що на вході і на виході трубопроводу. Здавалося б, якщо швидкість руху продукту збільшити вдвічі, то й вдвічі зросте транспортна робота. Але з погляду виконавця транспортної роботи його власні зусилля, зрозуміло, зросли, але не вдвічі. Та й не у вісім разів, як на цьому наполягали П. Кузнецов, Р. Образцова і С. Пшеничников в монографії «Інженерно-економічний аналіз транспортних систем. Методологія проектування автоматизованої системи управління», коли йшлося про повну потужність компресорних станцій, яка мала б зрости у 8 разів для того, щоб зросла вдвічі швидкість транспортування продукту трубопроводом).

Подібним чином доречно трактувати й транспортний процес, здійснюваний автомобілями чи будь-яким іншим різновидом транспорту. Хай ψ — умовно репрезентативний параметр усієї дорожньої мережі (такий собі інфраструктурний параметр), а Q — кількість вантажу, що потрапляє на однакові транспортні засоби за одиницю часу, аби рухатись з деякою середньою швидкістю V . Вантаж переміщується зі сфери виробництва у сферу споживання, і у разі роботи економіки в режимі простого відтворення величина QV повинна бути сталою: скільки виробляється продукту за одиницю часу, стільки й споживається в такому самому темпі.

Механічна робота транспорту за проміжок часу T визначається як $W = \int_0^T P(t) dt$, і в цьому випадку можна писати:

$$W = PT = \psi \frac{Q}{q} (m_a + q) g V T + \frac{Q}{q} \frac{\rho}{2} c_w A V^3 T = \psi \left(\frac{m_a}{q} + 1 \right) Q g S + \frac{Q}{q} \frac{\rho}{2} c_w A V^2 S, \quad (2)$$

де q — умовна типова вантажомісткість транспортних засобів, $S = VT$ — умовний узагальнений шлях переміщення вантажів. Очевидно, що у разі зростання швидкості у k разів у стільки ж разів зменшиться величина Q .

Тож у k разів зростає величина $\frac{Q}{q} \frac{\rho}{2} c_w A V^2 S$, але у стільки ж разів зменшиться величина $\psi \left(\frac{m_a}{q} + 1 \right) Q g S$. Але в жодному разі — аж ніяк не в k^3 разів.

Якщо вираз (2) читати як баланс витрат на реалізацію транспортного процесу, то відповідна першому доданку величина $QS = QVT = Q_S V$ ніби наполягає, що в енергетичній валюті треба заплатити за весь обсяг перевезень $Q_S = QT$, помножений на швидкість переміщення V (а отже не за тонна-кілометри). Відповідна другому

доданку величина $\frac{Q}{q} V^2 S$ пропорційна кількості задіяних транспортних засобів, квадратів швидкості, шляхові (а отже це знову ж таки не тонна-кілометри). Тож тарифікація перевезень є сутнісно непростою справою. Зрештою, вимірник $QV^2 S$ тут побачити можна лише дуже умовно. До того ж, він об'єктивно декларує, що у разі простого відтворення зростання V у k разів спричинить збільшення кількості транів у стільки ж разів. Бо чого б це мала зростати ще й величина Q .

Особливе ставлення до вимірювання транспортної роботи можна зустріти, приміром, в теорії оцінювання досконалості літальних машин [5]. Тут розмовлятимемо акуратно: машина — пристрій, що перетворює енергію (з однієї форми в іншу чи в роботу), натомість апарат перетворює речовини, а прилад — сигнали. Не можемо собі дозволити говорити про літальний чи космічний апарат (хоча так говорять багато хто), а от про самогонний (вибачте) — можемо.

Ті самі загалом принципи можна помітити у випадку оцінювання ефективності залізничних перевезень. В [6], зокрема, запропоновано розширити існуючу систему обліку транспортної роботи і визначати ще транспортну роботу через так звану «тонну-брутто», оперуючи «тонна-кілометрами», у яких «тонна» — «інтегральна» сила тяги (відповідно до співвідношення (1), застосованого до локомотива).

Про економічні вимірники. Перед суспільним виробництвом завжди постає проблема вибору: або перевозити потрібний продукт звідкілься, або продукувати його безпосередньо на місці споживання. Якщо місцеве виробництво потребуватиме занадто великих затрат суспільної праці, то без перевезення не обійтись. Тож процес виготовлення десь і перевезення звідти сюди сукупно можна умовно тлумачити як виготовлення тут. Простими словами: транспорт є підстави сприймати як такий, що технологічно завершує процес виготовлення. Транспорт — учасник виробництва, а категоричне протиставлення послуги й продукту одне одному — це часто просто емоції.

Аби якось розв'язати проблему вибору було б доречно, як багатьом здається, вдатись до економічних критеріїв. Але от, приміром, ціни

пересічно коливаються істотно сильніше за зміни визначальних параметрів оцінюваних цінностей. Вони рідко повертаються на попередній рівень, коли збурення, що спричинило їх зростання, зникає. Тому часом виринає думка, що ринки насправді не настільки ефективні, як на цьому наполягає економічна теорія.

Зрештою, розрізняють дві економічні науки: нормативну (що дає рекомендації) і позитивну (що лише описує і пояснює). Економісти, що є прихильниками нормативної економіки, вірять в ефективність ринків, бо спираються на гіпотезу про раціональність людей, а отже постулюють раціональність їхніх рішень, оскільки це ніби оптимальний спосіб поведінки. Щось подібне до принципу мінімаксу. Але насправді так воно не є.

Вибудовуючи корисні тренди, ми послуговуємося старими даними, на основі яких формуємо суто власну інформацію, поглиблюємо свою обізнаність. Старе ніби стає фундаментом майбутнього. Але, як бачимо на прикладі оцінювання ефективності транспортного процесу, часом від старого намагаються беззастережно відмовлятися. І для цього знаходять ніби тверді аргументи.

А чи не покластися, бува, на філософію? Як, приміром, з діалектикою від Г.-В.-Ф. Гегеля? Усе просто: Гегеля називають батьком усіх псевдомислителів. Про нього влучно сказали: він створив жаргон, безглуздий за межами гуманітарного факультету університету, надійно ізольованого від реального життя. Продукція філософа Гегеля — це хіба-що прототип писанини, створеної не дуже досконалим штучним інтелектом. Не дивно, що гегельянський спосіб мислення ліг в основу «не дуже наукового» підходу до історії — марксизму.

Тож є сенс аналізувати і оцінювати транспорт тільки засобами природничих наук. Можливість збільшити швидкість транспортування не може зумовити в такій самій мірі зростання продукування і споживання краму.

Це приблизно як у Нільса Бора: фізика займається тим, що ми можемо сказати про природу, а не тим якою вона є. А ще цікаве твердження: те, що можна сказати про природу, визначає й те, що може, в принципі, існувати — ніщо не існує без можливості щось про нього сказати. Успішними були не ті, що відповідали на запитання, що це таке, а ті, що переймалися тим, що можна поміряти і як спостерігати, щоб бачити бодай щось.

Поняття інваріанту. Аби щось виміряти, потрібно вказати певні умови, вказати якісь інваріанти. Інваріантами тут є добуток QV і величина S . Ніхто ж не буде закликати скористатись можливістю переслати вантаж на віддаль понад S , якщо це й вигідно (бо вантаж

має-таки потрапити саме на віддаль S , та й годі). Так само нема сенсу порушувати умову $QV = \text{idem}$, бо ж чи в локальному, чи в глобальному вимірі завжди погоджують обсяг перевезень (транспорт не може впливати на баланс «пропозиція — попит»). Складається дивна ситуація: практика не поспішає користуватись траном, а теоретики наполегливо доводять його прогресивність (з-посеред новіших досліджень тут доречно вирізнити [7]).

Інколи за інваріант може правити час $T = S/V$. Це, скажімо, — через особливі режими роботи терміналів: вантаж бо треба належно відправити і належно зустріти (вчасно використовуючи, приміром, вчасно заангажоване ефективне вантажне обладнання). В такому разі інваріантом стає й величина $Q = \text{idem}$. Якщо ж відповідно до [7] за інваріант взяти «тран за одиницю часу», тобто покласти $QV^3 = \text{idem}$, то із зростанням вдвічі вантажного потоку Q його швидкість має зменшитися в $\sqrt[3]{2} = 1,26$ разу. І що з того? Тут насправді нема підґрунтя для узагальнень.

LT-Розмірність. Зазвичай корисною є інформація, яка впливає з аналізу розмірностей. Окрім традиційних систем одиниць вимірювання звертають увагу й на незвичні — LT-систему (систему «довжина — час») чи M-систему (систему маси) [8]. Інколи нагадують про VT-систему (систему «швидкість — час»).

Думку про те, що для побудови системи одиниць вимірювання достатньо двох величин — довжини L і часу T , висловив ще в 1873 році видатний Дж. Максвелл, а з 1941 р. її активно просував англійський вчений Б. Браун.

Тож [7, 8] розмірність маси — $[L^3T^{-2}]$, швидкості достачання — $[L^1T^{-1}]$, потужності — $[L^5T^{-5}]$, енергії і роботи — $[L^5T^{-4}]$, транспортної роботи (вантажобігу) — $[L^4T^{-2}]$, транспортної одиниці дії — $[L^5T^{-3}]$, трану — $[L^6T^{-4}]$. Розмірність величини «тран за одиницю часу», транспортна продуктивність за одиницю часу» впливає з такої дії:

$$[L^6T^{-4}] \cdot [L^0T^{-1}] = [L^6T^{-5}]$$

— це добуток маси $[L^3T^{-2}]$ на куб швидкості достачання $[L^3T^{-3}] = ([L^1T^{-1}]^3)$. Натомість величина (2) — це робота. Її розмірність $[L^5T^{-4}]$ не збігається з розмірністю трану. Відповідно, транспортну потужність слід виміряти в одиницях $[L^5T^{-5}]$. Ці ж величини в VT-системі матимуть відповідно розмірності $[V^5T^1]$ і $[V^5T^0]$. Цікаво, що в M-системі одиницями вимірювання швидкості є M^0 , а енергії і роботи — M^1 .

Резюме. Оптимізація використання будь-якого утилітарного ресурсу зводиться в загальному підсумку до заощадження часу —

найціннішого з усіх ресурсів. Ресурс «час» вагомий у двох аспектах — тривалості і вчасності. Протиставним йому в обох цих аспектах є ресурс «енергія»: більша інтенсивність споживання користи від будь-якої транспортної активності обов'язково супроводжується зростанням витрат енергії на транспорті. Зіставляючи час і енергію доводиться зважати на логічно вмотивовані умови, які правлять за інваріанти. У разі транспортного процесу за інваріант має слугувати добуток вантажного потоку (кількості вантажу, що потрапляє на облавок транспорту за одиничний проміжок часу) на швидкість цього потоку. Чинність цього інваріанту руйнує підвалини, на які спирається використання поняття «тран». Тож не дивно, що ігноруючи теоретично мотивуючі потуги, практика інтуїтивно досі не береться його застосовувати.

Звісно, розглядаючи транспортний процес у глобальному вимірі, довелося істотно спростити причинно-наслідкові зв'язки. Змусили до цього труднощі з виконанням операцій інтегрування аналітичних співвідношень або з виконанням операцій усереднення чи ідентифікації типового. Зокрема, середнє/типове значення будь-якого нелінійно залежного вимірника на множині значень впливових чинників не дорівнюватиме значенню цього вимірника на середньому/типовому елементі множини. Та все ж сформульовані принципи і судження можна за певних умов у всій повноті перенести на нетривіальні локальні ситуації, де на цілій множині маршрутів використовуються транспортні засоби різної вантажності чи навіть різної модальності.

У разі зростання швидкості переміщення вантажів у певну кількість разів у стільки ж разів зросте одна з двох складових фізично означеної транспортної роботи і у стільки ж разів зменшиться інша. Але в жодному разі не може йтися про «кубічне» зростання транспортної роботи, як на цьому наполягають прихильники «трану». Тож не існує підстав спростити тарифікацію послуг транспорту.

Список літератури:

1. Дмитриченко М. Ф., Яцківський Л. Ю., Ширяєва С. В., Докуніхін В. З. Основи теорії транспортних процесів і систем. Навчальний посібник для ВНЗ. — Київ: Видавничий Дім «Слово», 2009. 336 с. ISBN 978-966-8407-99-4
2. Босняк М. Г. Вантажні автомобільні перевезення. Навчальний посібник. Київ: Видавничий Дім «Слово», 2010. 408 с. ISBN 978-966-194-035-1
3. Mitschke M., Wallentowitz H. Dynamik der Kraftfahrzeuge. 5th Ed. Springer Vieweg,

Wiesbaden, 2014. XXI, 914 s. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-05068-9>

4. Jazar R. N. *Vehicle Dynamics: Theory and Application*. Third Edition. Springer International Publishing AG. 2017. XXIV, 985 p. ISBN 978-3-319-53440-4 ISBN 978-3-319-53441-1 (eBook). DOI 10.1007/978-3-319-53441-1

5. Мураховська О. А., Українець Н. А. Алгоритм визначення оцінки ефективності літальних апаратів транспортної категорії / Системи управління, навігації та зв'язку. 2022. № 4, 10—15. doi: 10.26906/SUNZ.2022.4.010.

6. Капіца М. І., Мартишевський М. І., Гончаров О. М. Підвищення об'єктивності оцінки транспортної роботи тягового рухомого складу залізниць / Залізничний транспорт України. 2019, № 4, 13—18. DOI: 10.34028/2311-4061-2019-133-4-13-18

7. Залевський А. В., Чорногор Н. О. Оцінка транспортної роботи при виконанні авіаційних перевезень Науковий вісник Льотної академії. Серія: Економіка, менеджмент та право 2021, Випуск 3; 4. 62—71. DOI 10.33251/2707-8620-2021-3-4-62-71

8. Гашук П. М. *Енергія та упорядкований рух*. — Львів: Українські технології, 2004. — 608 с. ISBN 966-666-103-9

References:

1. Dmytrychenko, M. F., Yatskivskyi, L. Yu., Shyryaeva, S. V., and Dokunikhin, V. Z. (2009). *Fundamentals of the theory of transport processes and systems*. Study guide for universities. Kyiv: Slovo Publishing House, 336 p. ISBN 978-966-8407-99-4

2. Bosnyak, M. G. (2010). *Freight automobile transportation*. Tutorial. Kyiv: Slovo Publishing House, 408 p. ISBN 978-966-194-035-1

3. Mitschke, M., and Wallentowitz, H. (2014). *Dynamik der Kraftfahrzeuge*. 5th Ed. Springer Vieweg, Wiesbaden, XXI, 914 s. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-05068-9>

4. Jazar, R. N. (2017). *Vehicle Dynamics: Theory and Application*. Third Edition. Springer International Publishing AG. XXIV, 985 p. ISBN 978-3-319-53440-4 ISBN 978-3-319-53441-1 (eBook). <http://doi/10.1007/978-3-319-53441-1>

5. Murahovska, O., and Ukrayinets, N. (2022). Algorithm for determining efficiency assessment of transport category aircraft. *Control, Navigation and Communication Systems*, 4, 10—15. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.4.010>

6. Kapitsa, M. I., Martyshevskiy, M. I., and Goncharov, O. M. (2019). Increasing the objectivity of the evaluation of the transport work of traction rolling stock of railways. *Railway transport of Ukraine*, 4, 13—18. DOI: 10.34028/2311-4061-2019-133-4-13-18

7. Zalevsky, A. V., and Chornohor, N. O. (2021). Evaluation of transport work during air transportation. *Scientific Bulletin of the Aviation Academy. Series: Economics, Management and Law*, 3; 4, 62—71. DOI 10.33251/2707-8620-2021-3-4-62-71.

8. Hashchuk, P. M. (2004). *Energy and orderly motion*. L'viv: Ukrainian technologies, 608 p. ISBN 966-666-103-9

© П. М. Гашук, І. Р. Вайда, 2025.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 28.08.2025.

Прийнято до публікації 26.11.2025.