

*П.М. Гащук, д-р техн. наук, професор, М.І. Сичевський, А.М. Домінік, канд. техн. наук
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ПРО ЗМІСТ ПОНЯТТЯ «КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ АВТОМОБІЛЯ»

Вивчається зміст поняття коефіцієнта корисної дії (ККД) і досліджується його придатність для оцінювання (вимірювання) досконалості чи ефективності автомобіля. Наводяться наукові аргументи, що спростовують статус коефіцієнта корисної дії автомобіля як об'єктивного вимірника чи критерію. Стверджується, що досконалість автомобіля (навіть з погляду екологічності) можна оцінювати, «вимірюючи» суто його енергоощадність. Але водночас з'ясовано, що енергоощадність однозначно з ККД не пов'язана. Акцентується увага на тому, що позбутися цілком суб'єктивності в процесі оцінювання досконалості автомобіля неможливо. Наводяться приклади оцінювання енергетичної ефективності автомобіля із застосуванням тестових транспортних циклів, що є виразниками певного суб'єктивного консенсусу.

Ключові слова: автомобіль, транспортна робота, коефіцієнт корисної дії, якість транспортного процесу, ефективність транспортного процесу, досконалість автомобіля.

П.М. Гащук, М.И. Сичевский А.М. Доминик

О СОДЕРЖАНИИ ПОНЯТИЯ «КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ АВТОМОБИЛЯ»

Изучается содержание понятия коэффициента полезного действия (КПД) и исследуется его пригодность для оценивания (измерения) совершенства или эффективности автомобиля. Приводятся научные аргументы, которые опровергают статус коэффициента полезного действия автомобиля как объективного измерителя или критерия. Утверждается, что совершенство автомобиля (даже с точки зрения экологии) можно оценивать, «измеряя» сугубо его энергетическую экономичность. Но вместе с тем выяснено, что энергетическая экономичность однозначно с КПД не связана. Акцентируется внимание на том, что избежать целиком субъективности в процессе оценивания совершенства автомобиля невозможно. Приводятся примеры оценивания энергетической эффективности автомобиля с применением тестовых транспортных циклов, которые являются выразителями определенного субъективного консенсуса.

Ключевые слова: автомобиль, транспортная работа, коэффициент полезного действия, качество транспортного процесса, эффективность транспортного процесса, совершенство автомобиля.

P.M. Hashchuk, M.I. Sychevskiy A.M. Dominik

ABOUT THE MAINTENANCE OF CONCEPT «A CAR EFFICIENCY»

The maintenance of concept of efficiency is studied and its suitability for estimates (measurements) of perfection or efficiency of the car is investigated. Scientific arguments which deny the status of efficiency of the car as an objective measuring instrument or criterion are resulted. Affirms, that perfection of the car (even from the point of view of ecology) can be estimated, "measuring" especially its power profitability. But at the same time it is found out, that power profitability unequivocally with efficiency is not connected. The attention is focused what to avoid entirely subjectivity in estimate process of the car perfection it is impossible. Examples of estimation power efficiency of the car with application of test transport cycles which are spokesmen of a certain subjective consensus are resulted.

Keywords: a car, transport work, efficiency, quality of transport process, efficiency of transport process, perfection of a car.

Мотивація. Деякі «здобутки» науки інколи подають як безальтернативне комільфо (франц. *Comme il faut* — як треба, як належить). Допоки Великий Новгород був незалежний від Москви, чоботи там викроювали справді комільфо — на ліву й праву ноги відповідно порізно. Втрата незалежності від Москви — це, як виявилось, море крові, тортури над тілом, наруга над душею, та ще й однакові викройки чобіт — що на ліву ногу, що на праву. Століттями потому в народі побутувала думка, що новгородці проявили слабкість духу у боротьбі за свободу, за що їх нещадно висміювали самі ж московіти. «Новгородці такали-такали, та й

Новгород протакали» — народна поговорка (ой, щось подібно...). Отож комільфо бувають різні: можуть відбивати в собі як світлий розум, так і свавільний диктат, якому обов'язково треба противитися. Мета статті обґрунтовано спростувати сентенцію-комільфо, що нав'язує «коефіцієнт корисної дії» як об'єктивний вимірник досконалості чи ефективності автомобіля.

Огляд літературних джерел та результатів досліджень в контексті задекларованої теми виявилось доцільним розосередити в основному матеріалі роботи. Але вже тут можна підкреслити таке.

У своїй найважливішій книзі «Філософія науки» Філіп Франк (Frank), ретельно аналізуючи зв'язки між спостережуваними фактами й вибудованими науковими теоріями, розвіяв міф, що наукові теорії можна логічно висновувати з наявних фактів і що вони однозначно залежать від спостережень даваного нам у феноменах Світу. Такого ж висновку доходили й інші вчені.

Загально про поняття «коефіцієнт корисної дії» автомобіля. Скільки зусиль докладено, аби збагнути суть корисності автомобіля. Скільки зусиль докладено, аби створити формалізоване підґрунтя для вимірювання його ефективності (чи його досконалості) так званим коефіцієнтом корисної дії (ККД). ККД (англ. Efficiency — дієвість, здатність-спроможність, успішність, роботоздатність, роботоспроможність, ефективність, корисна дія; віддача, рентабельність, продуктивність; Efficient — дійовий, ефективний; умілий, кваліфікований; фактор, множник/множене), неможливо сперечатись, надзвичайно привабливий критерій, але означувати його і оперувати ним дуже непросто. Деколи зміст ККД окреслюють безапеляційно [1, 2] як цілком змістовно очевидний вимірник, частіше висувають пропозиції для обговорення-обмірковування [3 — 5], інколи поняттями, близькими своїм змістом до поняття ККД, широко оперують в теоретичних міркуваннях [6, 7], але без нав'язливого наголошування на їх особливому статусі...

Пам'ятаймо, коефіцієнт [лат. *coefficientis (coefficientis)* — сприятливий; від лат. *co...* — з, разом і *efficiens (efficientis)* — той, що виробляє] — 1) Сталий чи відомий множник при якійсь — зазвичай змінній чи невідомій — величині в алгебричному виразі, що визначає якусь ще іншу величину. 2) Відношення, зіставлення двох значень фізичної величини. Напр.: к. опору повітря — множник, що стоїть перед квадратом швидкості взаємного руху повітря й автомобіля у виразі для визначення сили аеродинамічної дії довкілля на одиницю вітрильної площі автомобіля; к. корисної дії (ККД) перетворювача (трансформатора) енергії — відношення кількості корисної енергії (роботи), яку одержують від перетворювача, до кількості енергії, що надсилається до нього; к. тертя (зчеплення) — відношення сили тертя (зчеплення) до сили взаємного притискання тертьових (зчіпних) поверхонь; радіус кочення колеса — відношення поступної швидкості руху колеса до обертової...

Колись економіст Б. Г. Кузнецов, приміром, висловлював таку думку: «...за висхідний показник цивілізації править відношення виражених в якихось фізичних одиницях сил природи, які приведені в доцільну дію і доцільно скомпоновані людиною, до затрачених на те ініціативних сил самої людини». А інтелект людини малими засобами тепер може ініціювати величезні потенції. А ще: ключовим в натурфілософії було поняття *Weltseele* (нім. — світова душа) — духовна сила Світу, яка ніби пронизує все матеріальне, наповнює його собою, творячи єдине буття. Ця містична сила чи сила від бога визнавалась новою енергією, пізнаючи яку, можна дійти розуміння досконалості.

Але у цій роботі зовсім не йдеться про показник цивілізації в зазначеному сенсі. Взагалі кажучи, коефіцієнт ефективності (корисності) мав би означуватись просто як відношення «корисного ефекту» до «затрачених зусиль» [7, 8]. У ККД «корисний ефект» і «затрачені зусилля» фігурують в однакових енергетичних одиницях, через що ця величина безрозмірна. Затрачені зусилля, виявляється, легко обліковувати, а от користь...

В роботі [5], приміром, аргументовано висловлено невдоволення критеріями «витрата пального на одиницю транспортної роботи» $q_{\text{тг}} = Q_p / (m_w S)$, «витрата пального на одиницю

транспортної продуктивності» $q_{\text{tr пр}} = Q_p / (m_w v)$ та деякими іншими (Q_p — загальна витрата пального; m_w — маса перевезеного вантажу; v — швидкість усталеного руху автомобіля; S — шлях). Натомість, ще раз висунуто пропозицію звернутись до фізики в такому тлумаченні.

Стверджується: мета, яку закладено в транспортний процес, — надати «тілу найбільшу кінетичну енергію» $E_{\text{kin}} = m_w v^2 / 2 \rightarrow \max$, а далі підтримувати «її на цьому рівні якомога довше за мінімальних витрат потенціальної енергії» $E_{\text{pot}} = Q_p H_u \rightarrow \min$ (H_u — нижча теплотворна здатність пального). Звісно, поєднання понять «найбільша кінетична енергія», «якомога довше», «мінімум витрат потенціальної енергії» — не можливе. Щоправда, згодом уточнюють, що мінімальною мала б бути потенціальна потужність $E_{\text{pot}} / T \rightarrow \min$ (T — тривалість). І нарешті, підсумком є заклик до компромісу, визначуваного енергетичним критерієм ефективності

$$\eta_{\text{ef}} = 2 \frac{Q_p H_u}{m_w v^2}.$$

Але насправді в цьому критерії більше «інтуїції», ніж «фізики».

Робота сили — це фізично змістовний скаляр, що впливає із формального сумування скалярних добутків вектора сили \mathbf{F} і вектора елементарного переміщення $d\mathbf{l}$ вздовж лінії L переміщення точки прикладання сили:

$$W = \int_L \mathbf{F} \cdot d\mathbf{l} \quad (1)$$

(переміщення — це завжди векторна величина на противагу шляхові — скаляру). Якщо, приміром, вантаж масою m рівномірно строго вертикально піднімати на висоту h , то ніби буде виконана робота

$$W = -\mathbf{G} \cdot \mathbf{h} = -m\mathbf{g} \cdot \mathbf{h} = Gh = mgh, \quad (2)$$

де $\mathbf{G} = m\mathbf{g}$ — сила ваги, G — модуль сили ваги, \mathbf{h} — вектор вертикального переміщення. Якщо при цьому витрачено енергію E , то можна говорити, що відношення

$$\eta = \frac{W}{E} = -\frac{\mathbf{G} \cdot \mathbf{h}}{E} = -\frac{m\mathbf{g} \cdot \mathbf{h}}{E} = \frac{mgh}{E} \quad (3)$$

— це власне і є ККД.

Здавалося б, $W = mgh$ (див. (2)) — це корисна робота у фізичному сенсі, яка дорівнює набутій вантажем потенціальній енергії. Насправді ж ця оцінка надто спрощена: процес підіймання вантажу — це транспортний цикл, який повинен включати в себе принаймні фази розгону, усталеного руху, гальмування вантажу. До того ж, хіба йдеться про якесь перетворення енергії чи про надання вантажеві потенціальної енергії?

Оманлива простота критерію (3) зумовлена тим, що рушійна сила $\mathbf{F} = -\mathbf{G}$ і переміщення \mathbf{h} мають однакові напрями. А от у разі горизонтального прямолінійного переміщення \mathbf{l} вантажу $\mathbf{G} \cdot \mathbf{l} = 0$, а тому є підстави критикувати вимірник $W = Gl \neq 0$ чи вимірник $W = ml$, який називають перевізною чи транспортною роботою, як абсурдні у фізичному сенсі [2] (l — шлях автомобіля з вантажем).

Коли будівельний блок підіймають на певну висоту, аби там, у споруді, залишити його назавжди, — це одне. А коли вантаж в коморі підіймають на стелажний поверх аби заощадити робочу площу комори, — це цілком інше: раніше чи пізніше вантаж доведеться знімати звідти, що може потребувати більше енергії, ніж її було витрачено на підіймання вантажу (не йдеться про вантажопідіймальну техніку з якимись акумуляторами енергії). Але все ж спільним в цих двох ситуаціях є те, що ніхто насправді не ставив собі за мету саме накопичити енергію у формі потенціальної, треба було лише відповідно бажанням перемістити вантаж.

Ніхто, звісно, не заперечуватиме, що енергія в житті людини відіграє визначальну роль. З фізіократичного погляду Ф. Кене (що суперечить, приміром, поглядам А. Сміта, Д. Рікардо, К. Маркса) рушійною силою суспільства є Сонце, а радше енергія від нього, що сезонно нагромаджується в гумусному шарі землі та щорічно надходить до Людини у формі нового врожаю. З земних глибин Людина також черпає сонячну енергію давніх епох (згадаймо нафту й газ). А от харч продукується поточним сонячним фотосинтезом, а не фотосинтезом минулих епох. За М. Руденком «чистий продукт, енергія прогресу чи абсолютна земельна рента — це те саме» [9]. Рух товарів — це обіг сонячної енергії (як рух крові в організмі).

Оминаючи проблему формального означення ККД, але при цьому все ж ніби покладаючись на нього, можна висувати важливі сентенції. Приміром, в [7] запропоновано уявити собі ситуацію, коли ексергетичний ККД автомобіля дорівнює одиниці (ста відсоткам). Це означає, що ексергія пального використовується в такій мірі вичерпно, що не залишається й натяку на хімічну й біологічну активність (агресивність, токсичність) викидів відпрацьованої субстанції у довкілля, нема місця акустичним випромінюванням (шумам), автомобілю не вистачає енергії на те, аби розкидати бруд навколо чи знімати порох на дорозі, на облявок автомобіля не може пересилатись коливальна і вібраційна енергія, здатна викликати відчуття дискомфорту чи загрожувати якості вантажу, неможлива дисипація енергії в елементах машини, яка спричиняє їх зношування, втому, старіння...

Сентенція, звісно, правильна. Вона стверджує, що досконалість автомобіля можна всебічно оцінити, «вимірюючи» лише його енергоощадність. Тому дуже дивними виглядають зусилля, спрямованні на «зведення» різних токсичних компонентів в єдиний інтегральний критерій отруйного впливу автомобіля на довкілля. Але що це за такі умови, за яких ексергетичний ККД може дорівнювати одиниці? І взагалі, що таке «ексергетичний ККД», який за якихось умов міг би дорівнювати одиниці?

Звісно, автомобіль не може залишатись цілком «непоміченим» у довкіллі (а саме в такому разі можна було б ККД ототожнити з одиницею). Він це довкілля «споживає», поглинаючи вміст надр Землі і «дихаючи» тим самим повітрям, що й людина (кількість повітря, необхідна для стехіометричного окиснення 1 кг пального в двигуні внутрішнього згоряння немала — 14,5...15 кг). Він ще й збурює повітряні потоки, штовхає під себе Землю, забруднює довкілля теплом і таким типово парниковим газом, яким є двооксид вуглецю (CO_2). До слова, законодавче лімітування викидів вуглекислого газу (вуглекислоти) CO_2 — це своєрідне хитрування, покликане стимулювати використовувати неуглецевого пального (приміром, водню). А насправді можна просто контролювати і щиро лімітувати загальну витрату традиційного вуглеводневого пального (цікаво, до чого це б призвело?).

Щоправда, доводиться розрізняти екологічні наслідки спалювання легкого (бензин), важкого (дизельне пальне), газового (природний газ) палив. Важке й газове автомобільні палива провокують значно негативніші екологічні наслідки. У 2012 році Всесвітня організація охорони здоров'я (ВОЗ) перенесла вихлипні гази дизелів у першу, найважчих за наслідками дії, групу канцерогенів — нарівні з плутонієм та сполуками миш'яку; викиди дизельними двигунами окислів азоту NO_x , до того ж, сприяють утворенню приземного озону, здатного руйнувати легені живих організмів). Ще трохи, і автомобілі з надзвичайно складними будовою і надмірно дорогими дизельними двигунами не будуть впускати у великі міста.

Це в однаковій мірі стосується використання будь-якого іншого ресурсу. Кожного року потреба, приміром, в сталі (матеріалу, що містить 98 % заліза, трохи вуглецю і децицю багато чого іншого) поки що зростає на мільйон тонн. Сталь продукують із заліза метеоритного походження. Його запаси на Землі не поповнюються. Але сталь можна нескінченну кількість разів переробляти. Елементи сталі — залізо й вуглець — не деградують. У Великобританії, приміром, 60 % нової сталі — результат переробки старої, а в деяких інших країнах цей відсоток ще більший. Якби було не так, то природні запаси заліза давно вичерпались би, і сталь давно зникла б з ужитку.

Корисна дія автомобіля. Згадаймо означення запровадженої Джеймсом Ваттом в кінці 18 століття і використовуваної донині одиниці вимірювання потужності машини: «кінська сила» — це, виявляється, середня робота за одну секунду, яку міг би виконувати сильний (?) англійський (!) тягловий кінь, рівномірно працюючи продовж цілого дня. Все, що робив кінь, — це користь? Відразу й не скажеш. Про ККД як про об'єктивний вимірник досконалості автомобіля ніби природно мова заходить, коли автомобіль трактують як «автономну ... енергетичну (тепломеханічну) систему ...» [2]. Але...

Про тепловий двигун справді можна казати, що це енергоперетворювальна машина, оскільки він в своїх циліндрах (в своєму робочому просторі) перетворює енергію доквілля (хімічну енергію пального й повітря) в механічну енергію (а проміжною формою перетворення є теплота). Про трансмісію — можна, бо вона перетворює механічну енергію з одними параметрами в механічну ж, але з іншими параметрами. І про колісні рушії — можна... А от про автомобіль — навряд.

Та й навіть з ККД колеса не все так просто. Рушійному (відному, привідному) колесу можна поставити у відповідність кінематичне та силове передатні відношення:

$$u = v / \omega_k \text{ (тільки не } u = v / (\omega_k r_k) \text{)} \text{ і } k = F_t / M_t \text{ (тільки не } k = F_t r_d / M_t \text{)},$$

де r_k і r_d — кінематичний і динамічний (силовий) радіуси колеса; v і ω_k — поступна і обертотва швидкості усталеного руху колеса; F_t і M_t — тягова сила і момент. Отож ККД рушійного колеса визначається як

$$\eta = uk = \frac{vF_t}{\omega_k M_t} = \frac{P_F}{P_M},$$

де P_F — потужність тягової сили, P_M — потужність обертального моменту.

Але чи можна означити ККД повідного (веденого) колеса? До повідного колеса підводиться штовхальна сила, що дорівнює силі F_r , яку називають силою опору коченню. А от який силовий чинник виникає на виході колеса? Можна впевнено казати, що фізично змістовний ККД повідного колеса дорівнює нулю, а ще краще казати, що ККД повідного колеса не існує. Насправді корисною дією повідного колеса є створення підтримувальної сили N , що протиставляється вертикальній навантазі на нього. Ця корисна дія має супроводжуватись якнайменшою штовхальною силою, що протиставляється силі опору. Відтак ефективність колеса доречно виміряти відношенням $f = F_r / N$, яке називається коефіцієнтом опору коченню і з ККД нічого спільного не має.

Ескапада проти критерію «транспортна (перевізена) робота», записаного у формі $w = m_v s$ (а загалом, і у формі $W' = G_v S$), яка була висловлена в [2], завершилась там пропозицією визначити роботу автомобіля за формулою

$$W = F_t S = \left(G \psi + \frac{c_w \rho_w A_w (v + w)^2}{2} + \delta_m m a \right) S, \quad (4)$$

де m_v — маса вантажу; S — подоланий автомобілем шлях; G_v — вага вантажу; F_t — тягова сила; $G = mg$ — повна вага автомобіля; g — гравітаційне пришвидшення; $m = m_v + m_a$ — повна маса автомобіля; m_a — маса автомобіля; ψ — коефіцієнт опору дороги; c_w — коефіцієнт аеродинамічності автомобіля; A_w — площа вітрильності автомобіля; ρ_w — густина повітря; v — швидкість автомобіля; w — зустрічна швидкість вітру; δ_m — коефіцієнт, що обліковує інерцію обертотвих мас; $a = dv/dt$ — пришвидшення автомобіля (сповільнення — від'ємна величина), t — поточний час. Але насправді користатись формулою дуже ризиковано. По-перше, вона не впливає з означення (1), а отже суперечить фізичному змісту механічної роботи. По-друге, величина S є інтегральною, а в такому разі інтегральними, середніми, усталеними (а не миттєвими) мають бути й інші фізичні величини — ψ , v , w , a , що

входять в цю формулу; якщо йдеться про усталений рух автомобіля, то в формулі не може фігурувати величина a ($a(t) \equiv 0$); якщо ж йдеться про транспортний цикл, то може йтися хіба що про середнє значення добутку $\delta_m a$, а не окремо величин δ_m , a . По-третє, що дає підстави вважати роботу (4) корисною? Змістовно досконалішою є запропонована П. П. Євсєєвим формула ККД

$$\eta_a = \frac{\int_0^T (G\psi + c_w \rho_w A_w (v+w)^2 / 2 + \delta_m m a) v dt}{q_e Q_e},$$

де T — тривалість руху, q_e — питома теплота згоряння пального (теплота від згоряння одиниці маси пального, його теплотворна здатність), Q_e — витрата пального за час T .

А якщо в першому наближенні знехтувати опором повітря, опором дороги? В такому разі поняття корисності майже втратить сенс? То що, долання сил шкідливого опору це і є корисною дією?

Не вдаючись до подробиць, згадаймо (лише для прикладу) означення миттєвого ККД автомобіля М. І. Погосбекова:

$$\eta_a = \frac{f_e m_v g}{f(m_v + m_a)g + k_w A_w v^2} \eta_t \eta_b,$$

де f_e і f — ефективний (корисний) і фактичний коефіцієнти опору коченню коліс, η_t і η_b — ККД трансмісії і так званий ККД буксування. Отож $(f(m_v + m_a)g + k_w A_w v^2) / \eta_t \eta_b$ — це затрачене, а $f_e m_v g$ — це корисне? І що: ККД автомобіля, зростаючи із зростанням маси вантажу, має зменшуватись із зростанням швидкості його пересування?

Натомість А. А. Токарев під миттєвим ККД автомобіля бачив величину

$$\eta_a = \frac{k_s m v^2}{\rho_p Q_s H_u},$$

де m [кг] — маса автомобіля, v [м/с] — швидкість, k_s [—] — коефіцієнт пропорційності за шляхом вибігу, ρ_p [кг/дм³] — густина пального, Q_s [дм³/(100 км)] — шляхова витрата пального, H_u [кДж/кг] — нижча теплотворність пального. А от Н. Я. Говорущенко — величину

$$\eta_a = \eta_i \eta_m \eta_t \eta_k = \frac{N_i}{Q_i H_u} \frac{N_e}{N_i} \frac{N_k}{N_e} \frac{N_d}{N_k} = \frac{N_d}{Q_i H_u},$$

де η_i , η_m , η_t , η_k — коефіцієнти корисної дії — індикаторний двигуна, механічний двигуна, трансмісії автомобіля, колеса; N_i , N_e , N_k , N_d — потужності — індикаторна двигуна, ефективна двигуна, підведена до колеса, підведена до дороги; Q_i — швидкість витрати пального; H_u — теплотворність пального.

Пропозиції [2] означати ККД-брутто автомобіля як відношення потужності, що підводиться до колісних рушіїв, до енергії пального, що вивільняється в двигуні за одиницю часу, та ККД-нетто як відношення потужності, що витрачається суто на переміщення корисного вантажу, до енергії пального, що вивільняється в двигуні за одиницю часу, також не належать до конструктивних. Зокрема не збагнути, що слід розуміти під потужністю корисного опору: опір повітря, приміром, суттєво залежить від кількості та розташування вантажу на облявку автомобіля з відкритим кузовом (див., приміром, [8, 10]); чи означає це, що погане розташування вантажу на облявку автомобіля сприяє зростанню корисності? При цьому, який ККД (брутто чи нетто) справді характеризує досконалість автомобіля?

Переміщаючи вантаж заданої ваги G_v на задану віддаль S за наперед заданий проміжок часу T , автомобіль може, тим не менше, втілювати різні програми $v = v(t)$ (чи $v = v(s)$, S — поточний шлях) зміни швидкості руху, здійснювати різні транспортні цикли. Отже різними будуть витрати енергії на подолання опору доквілля, а також різними будуть витрати пального. Скоріш за все, кожного разу іншими будуть і відношення енергії на подолання опору доквілля до витрати пального. В такому разі як розпізнати корисну роботу, як оцінювати досконалість автомобіля?

Оцінюючи протидію доквілля частиною

$$F_{tv} = G\psi(v) + \frac{c_w \rho_w A_w v^2}{2} \quad (5)$$

сили тяги колісних рушіїв, яка протиставляється дорожньому опору $F_{\psi} = G\psi(v)$ та опору повітря $F_w = \rho_w c_w A_w v^2 / 2$, робота автомобіля проти доквілля визначатиметься (на противагу (4)) як (див. (5))

$$W_v = \int_0^S F_{tv} ds = G \int_0^S \psi(v(s)) ds + \frac{c_w \rho_w A_w}{2} \int_0^S v^2(s) ds. \quad (6)$$

Виявляється, у разі допустимих S і T величина (6) набуває мінімального значення тоді, коли автомобіль втілює простий цикл *Ob'e* «якнайінтенсивніший розгін — усталений рух з певною швидкістю V — якнайінтенсивніше гальмування», рис. 1. Скидається на те [8], що саме цю мінімальну плату доквіллю за надану Природою можливість перемістити вантаж доречно вважати корисною роботою, а все, що понад те, слід — шкідливим.



Рисунок 1 — Простий транспортний (перевізний) цикл автомобіля

Тепер — про інерційність автомобіля...

Загалом, на i -й передачі інерцію автомобіля визначає зведена маса

$$m_{ai} = \left(\delta_{ma} + \frac{\delta_{mc}}{u_i^2} \right) m_a = \delta_{mi} m_a, \quad (7)$$

де m_a — маса транспортного засобу, $\delta_{ma} > 1$ — коефіцієнт інерційної маси автомобіля, який додатково враховує інерцію обертових мас, що незмінно пов'язані з колесами — самих коліс, головної передачі, карданних валів, частини деталей скриньки передач; δ_{mc} — коефіцієнт додаткової маси, який обліковує інерцію обертових мас, що доєднуються до коліс при вмиканні передачі і зчіпника (зокрема й двигуна); δ_{mi} — загальний коефіцієнт інерційної маси автомобіля на i -й передачі (ця величина і подібна за позначенням у виразі (4) не збігаються за зміс-

том); u_i — передатне відношення (не передатне число) трансмісії на i -й передачі. Виявляється, що δ_{m_e} / u_i^2 нижчій передачі може перевищувати δ_{m_a} , а отже значущість впливу доєднаних обертових мас є очевидною.

Припустімо, що автомобіль з вантажем масою m_v спочатку розганяється до деякої швидкості $v_{rn} = V$, використовуючи n передач механічної ступеневої трансмісії, потім рухається зі сталою швидкістю $v_{rn} = V$ ($a = dv/dt \equiv 0$), а завершує транспортний цикл сповільненням (можливо, вибігом і гальмуванням робочою гальмівною системою) з розімкнутим зчипником. В такому разі робота автомобіля проти своєї інерції визначатиметься як (див. також (7))

$$\begin{aligned}
 W_{in} &= (m_v + \delta_{m_1} m_a) \int_0^{S_{r1}} a(s) ds + (m_v + \delta_{m_2} m_a) \int_{S_{r1}}^{S_{r2}} a(s) ds + \dots + \\
 &+ (m_v + \delta_{m_n} m_a) \int_{S_{r(n-1)}}^{S_n} a(s) ds + (m_v + \delta_{m_a} m_a) \int_{S_g}^S a(s) ds = \\
 &= (m_v + \delta_{m_1} m_a) \int_0^{V_{r1}} v dv + (m_v + \delta_{m_2} m_a) \int_{V_{r1}}^{V_{r2}} v dv + \dots + (m_v + \delta_{m_n} m_a) \int_{V_{r(n-1)}}^{V_n} v dv - (m_v + \delta_{m_a} m_a) \int_0^{V_n} v dv = \\
 &= (m_v + \delta_{m_1} m_a) \frac{V_{r1}^2}{2} + (m_v + \delta_{m_2} m_a) \frac{V_{r2}^2 - V_{r1}^2}{2} + \dots + (m_v + \delta_{m_n} m_a) \frac{V^2 - V_{r(n-1)}^2}{2} - (m_v + \delta_{m_a} m_a) \frac{V^2}{2} = \\
 &= \frac{\delta_{m_e} m_a}{2} \left(\frac{V_{r1}^2}{u_1^2} + \frac{V_{r2}^2 - V_{r1}^2}{u_2^2} + \dots + \frac{V^2 - V_{r(n-1)}^2}{u_n^2} \right), \tag{8}
 \end{aligned}$$

де S_{ri} ($i = \overline{1, n}$) — шлях, у мить долання якого завершується розгін автомобіля з використанням i -ї передачі в трансмісії; S_g — шлях початку сповільнення; S — загальний шлях циклу; V_{ri} ($i = \overline{1, n}$) — швидкість автомобіля в мить завершення розгону автомобіля на i -й передачі; a — пришвидшення-сповільнення автомобіля ($a \geq 0$ — у разі розгону, $a < 0$ — у разі сповільнення).

Як випливає з (8), робота проти інерції є тим меншою, чим меншою є максимальна швидкість V руху в циклі. Бажаною була б також відмова від використання вищої передачі (чи кількох вищих передач), якщо б це дало змогу ще суттєвіше зменшити V . Тому у разі заданих S і T доцільно гранично інтенсифікувати процеси розгону й гальмування автомобіля, відмовляючись від реалізації процесу вибігу. Тож транспортний цикл «якнайінтенсивніший розгін — рух зі сталою швидкістю — якнайінтенсивніше гальмування» справді репрезентує транспортний процес з мінімальною роботою проти довкілля, яку хочеться трактувати як корисну [8].

Але виявляється, що найенергоощадливішим з огляду на витрату пального (витрату природної енергії, а не витрату суто механічної енергії на подолання опору рухові) є цикл «розгін — рух зі сталою швидкістю — вибіг — гальмування» з цілком певними, однозначно відповідними заданим S і T параметрами [7]. В такому разі може саме такі оптимальні цикли вважати такими, що репрезентують корисну енерговитратність автомобіля?

Чи існують фізичні ознаки корисності дії автомобіля? Було б добре, аби той, хто переконує, що ККД — бездоганний вимірник ефективності-досконалості машини, з'ясував спочатку, що таке «корисна дія» машини. І саме того, хто впорався б з цим, можна було б слухати далі.

Ось, приміром, вислів Саді Карно (1824 рік): «Ми використовуємо ... вираз «рушійна сила», щоби позначити корисну дію, яку може здійснити двигун». Отож у С. Карно рушійна сила — це і корисна дія. Зауважмо, єдина надрукована при житті (помер у віці 36 років) пра-

ця видатного французького вченого називалася «Роздуми про рушійну силу вогню та про машини, здатні розвивати цю силу». Цю назву твору можна було б узяти за означення науки термодинаміки на противагу дуже абстрактним класичним означенням. І взагалі, спочатку все тлумачилось прозоріше: в 1816 році Роберт Стирлінг запатентував «машину, що продукує рушійну силу (! — автори) за посередництва нагрітого повітря». Ця рушійна сила і є корисним ефектом, задля якого саме мала б бути створена машина Стирлінга.

Розгляньмо тепер транспортний цикл автомобіля «розгін Oa — усталений рух ab — вибіг (інерційний чи/та потенціальний) bc — гальмування двигуном cd — гальмування de (ретардером і робочими гальмами)», рис. 2. Аби не ускладнювати міркування, тут розглядаємо рух автомобіля суто горизонтальною дорогою (отож про потенціальний вибіг на змінному подовжньому профілі дороги, тобто про вибіг за рахунок накопиченої потенціальної енергії, не йтиметься). Усталений рух (рух зі сталою швидкістю V) — енергоощадний, а тому завжди бажаний. Аби досягнути цього режиму автомобілю доведеться прийняти вантаж, рушити й розігнатись до бажаної усталеної швидкості. Аби завершити транспортний цикл (і передати вантаж замовнику), доведеться вдатись до гальмування автомобіля робочими гальмами. Режим вибігу цінний тим, що дозволяє використати вимушено акумульовану раніше кінетичну енергію автомобіля й вантажу. Гальмування двигуном приваблює особливо тоді, коли на гальмівних режимах роботи двигуна відсікають надсилання в його циліндри пального.

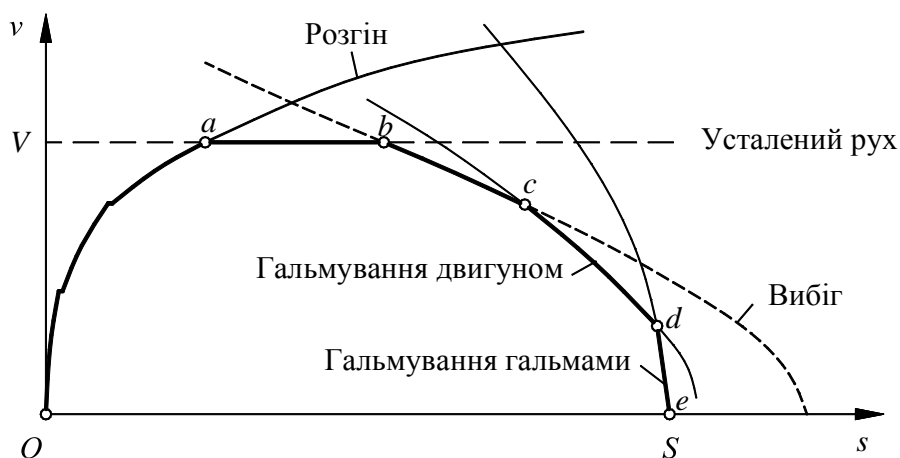


Рисунок 2 — Загальної структури транспортний цикл автомобіля

Мета реалізації фази розгону — надати автомобілю бажаної швидкості V , з якою можна буде деякий час енергоощадно пересуватись. Рушійним чинником тут є вивільнювана в робочому просторі двигуна енергія пального, яка далі трансформується в тяговий (рушійний) чинник на колісних рушійях. Затрачені зусилля — енергія задіяного пального, виміряна в одиницях нижчої, а може, й вищої теплотворності (те, що двигун внутрішнього згорання не здатен використати теплову енергію водяної пари, також доречно облікувати як негатив).

Тягова (рушійна) сила — чинник, що сприяє досягненню мети. А от протидіють досягненню мети інерція мас автомобіля, опір дороги, опір повітря. Чи можна назвати цю протидію корисним опором? Очевидно, що опір дороги й опір повітря — це беззастережно шкідлива протидія. До слова, на переконання Леонардо да Вінчі «кожне важке тіло породжує опір тертя, який дорівнює чверті ваги цього тіла». Жодного сумніву: тертя тут безпелаяційно зараховано до сили шкідливого опору. По-іншому є сенс ставитись до інерційної протидії: усталений рух машини можливий тільки у тому разі, якщо її внутрішня, цього разу накопичена кінетична енергія, точно відповідає бажаному режимові, бажаній швидкості усталеного руху автомобіля. Отже інерцію можна з певною пересторогою вважати корисним опором. Пересторога, насамперед, зумовлена тим, що важко бути впевненим у тому, чи слід брати до уваги разом і інерцію власне автомобіля, і інерцію власне вантажу.

На режимі усталеного руху автомобіля зникає інерційний чинник. До всіх решти чинників ставлення має бути таким самим, як у разі розгону: рушійним чинником є тягова сила на колесах, а корисного опору щось не видно.

У процесі вибігу автомобіля за рушійний чинник править інерція мас автомобіля і інерція вантажу разом. Отже затрачені зусилля — це кількість кінетичної енергії, яку втратив автомобіль у процесі падіння швидкості від значення V на усталеному режимі руху до значення, при якому започатковується процес гальмування двигуном. Якщо двигун при цьому не вимикався, то до затрачених зусиль доведеться віднести також енергію пального, витраченого двигуном на режимі марного ходу. Протидія довкілля — шкідливий опір.

Цікаво, режим гальмування двигуном — це більше процес використання акумульованої кінетичної енергії машини чи більше процес гальмування? Є підстави вважати доцільним суміщати процес гальмування двигуном і процес гальмування робочими гальмами. Тож мета загалом процесу гальмування — зупинити автомобіль у мить $t = T$, коли $s = S$. Сприяють досягненню мети гальмівні сили на колесах. Ці сили — своєрідний рушійний чинник. Корисними, сприятливими стають також і опір дороги, і опір повітря. А от інерція — шкідливий чинник, оскільки він протидіє досягненню мети.

Декому здається, що ККД «підказує», як далеко від ідеалу перебуває реальний рівень досконалості енергоперетворювальної машини. Але це справді так хіба що стосовно машин, які перетворюють форми енергії одного і того самого рівня ексергетичності. Такими можна вважати перетворення форм енергії «теплова — теплова (теплопересилання)», «механічна — механічна», «електрична — електрична», «механічна — електрична», «електрична — механічна». Навіть звичний коефіцієнт Карно [14]

$$\eta_{\text{к}} = \frac{W}{Q} = 1 - \frac{T_0}{T} \quad (9)$$

(W — корисна механічна робота; Q — підведена теплота; T_0 — абсолютна температура довкілля; T — максимальна абсолютна температура робочого тіла, температура підведеної теплоти), який оцінює енергетичну ефективність рівноважного (з нульовою потужністю) термодинамічного циклу Карно, мало що говорить про саму машину, а більше про середовище, в якому ця машина працює.

Отож він є дуже примарним орієнтиром щодо межі досконалості теплової машини. До того ж, у вимірнику (9) закарбована певна наукова парадигма. Але вона — не абсолют: доведено, приміром, що в рамках так званої лінійної нерівноважності (у разі білінійного взаємозв'язку між термодинамічними силами і термодинамічними потоками) ККД теплової машини має задовольняти умову [15]

$$\eta = \frac{W}{Q} < 1 - \sqrt{\frac{T_0}{T}}. \quad (10)$$

Вираз (10) за жодних обставин не збіжний до (9).

Таке враження, що субстанція користі (корисності) не підвладна розумові (?).

До слова, спляюючи в циліндрах двигуна один міліграм бензину отримують десь 40 джоулів теплової енергії, з яких лише мала частка перетворюється на механічну енергію (нижча теплотворна здатність бензину — 44,0 МДж/кг; для порівняння: дизельного пального — 42,5, гасу — 43,1). Натомість один міліграм цукру дарує живому організму ті самі 40 джоулів енергії, які значно ефективніше (в цьому чомусь всі переконані) використовуються для підтримування температури тіла (а отже на забезпечення життєдіяльності організму). Але для двигуна теплота — це лише проміжна форма енергії на шляху до механічної. Натомість в організмі вона має цілком іншу цінність. Чому б на це не звертати увагу?

А якою є світова практика? Звернімо увагу на відносно віднедавна (починаючи десь з 2009 року) розроблюваний Всесвітнім комітетом з гармонізації випробувальних процедур

так званий WLTC (Worldwide harmonized light vehicles test cycle, Всесвітній гармонізований тестовий цикл легкового автомобіля) — елемент випробувальних процедур (WLTP — Worldwide harmonized light vehicles test procedures, Всесвітньо гармонізованих тестових процедур для легкового автомобіля). WLTC має замінити NEDC (New European driving cycle — новий європейський їздовий цикл), застосовуваний в Європі (відповідно до приписів Economic Commission for Europe, Європейської господарської (економічної) комісії), FTP 75 (Federal test procedures), застосовуваний в США (відповідно до приписів EPA — Environmental Protection Agency, Агенції охорони довкілля), JC 08, застосовуваний в Японії. Комплекс вимірювальних процедур має охоплювати й особливі тести: за низької температури повітря, за низького атмосферного тиску, у разі роботи кондиціонера, на дорогах загального користування... Існують плани ввести на підставі нього жорсткіші регламентації щодо викидів двооксиду вуглецю.

WLTC — це підсумок ретельного, проникливого статистичного аналізу режимів руху автомобілів в найрізноманітніших кутках на різних континентах світу. В ньому (на відміну від інших відомих їздових циклів) взагалі відсутні режими руху зі сталою швидкістю, рис. 3. Якщо не брати до уваги зупинок, то середня швидкість пересування автомобіля в циклі становить 53,8 км/год (NEDC — 44,7 км/год, FTP 75 — 42,4, JC08 — 34,7). Натомість максимальна швидкість — 131,3 км/год (NEDC — 120 км/год, FTP-75 — 91,3, JC 08 — 81,6). Подібно до NEDC в ньому передбачено процес прогрівання тривалістю 11 с услід холодного пуску.

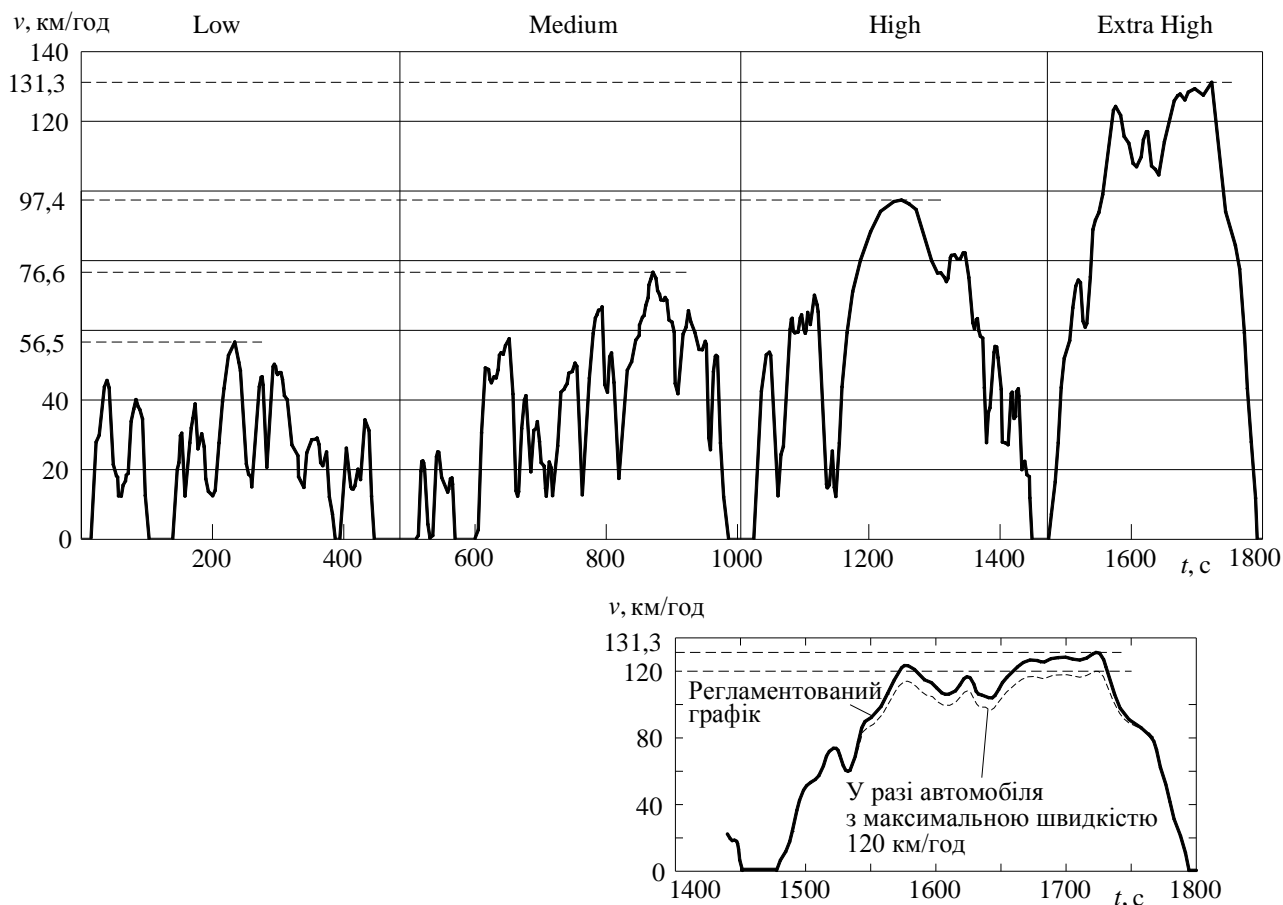


Рисунок 3 — Загальне відображення гармонізованого тестового їздового циклу легкового автомобіля: максимальна швидкість на ділянках Low — 56,5 км/год, Medium — 76,6, High — 97,4, Extra High — 131,3; перші дві ділянки репрезентують міську частину циклу, дві наступні — заміську (ділянку Extra High повторено окремо внизу)

Повний WLTC триває 1800 с (NEDC — 1180 с, FTP 75 — 1874, JC 08 — 1204). Тривалість зупинок — 13,4 % від загальної тривалості циклу (NEDC — 24,8 %, FTP 75 — 19,6, JC 08 — 29,7). У країнах, де заборонено їхати зі швидкістю 130 км/год, фаза Extra High тривалістю 323 с за рішенням місцевої влади може бути вилучена з тесту.

Взагалі кажучи, один і той самий їздовий цикл для різних автомобілів можна втілювати на навантажувальних стендах за однаково програмованих режимів навантаження так, ніби всі автомобілі мають однакові значення коефіцієнта аеродинамічності та однакові значення коефіцієнта опору коченню коліс. Це по-своєму цікаві тести. Але більшим є інтерес до їздових циклів, в яких тестовані автомобілі «володіють» всіма параметрами й характеристиками, притаманними власне їм (а не якомусь абстрактному автомобілю). Отож їздовий WLTC мають проводити на інерційних стендах з біговими барабанами. Але тестуванню мають передувати дорожні випробування з метою ідентифікації тих параметрів і характеристик автомобіля, які визначають опір доквілля і які слід закласти в програму навантажування автомобіля стендом.

Нова WLTP зобов'язує проводити дорожні випробування автомобіля саме в такій з усіх можливих комплектації (їдеться про колеса, підвіску, аеродинамічні пристосування, додаткове обладнання...), якій властивий прояв максимального опору доквілля пересуванню автомобіля. Керовані антикрила й усілякі спойлери, активні радіаторні жалюзі, а також інші причадалля, придумані для «особливих водіїв», мають під час визначення протидії доквілля, мають працювати як зазвичай, як задумано. Регламентовано навіть рівень зношення шин (глибина канавок біжника не повинна бути меншою за 80 % від глибини рисунка нової шини). Використовувати особливі економічні режими руху автомобіля, приміром, з автоматичною трансмісією можна тільки в тому разі, якщо виробник доведе, що саме цей режим передбачений як звичайний основний. Капот має бути закритий, аби штучно не зменшувалось навантаження вентилятора. Оцінка енергетичного балансу акумуляторної батареї і переоблік ват-годин електроенергії в літри пального здійснюватиметься за єдиною формулою і у разі звичайних, і у разі гібридних автомобілів. Отож у виробника можливостей надурити суспільство стає набагато менше. Відтак існують чіткі й однозначні правила порівнювання автомобілів. Отож їздовий цикл однозначно визначає механічну роботу автомобіля проти опору доквілля, витрату енергії безпосередньо на подолання протидії доквілля.

Разом з тим, існують обставини, що нівелюють універсальність WLTC...

Тестуванню відповідно до WLTP підлягають автомобілі повною масою до 3500 кг, але поділені на класи за спорядною, якщо можна так казати, питомою потужністю, вимірюваною відношенням максимальної потужності двигуна до спорядженої маси автомобіля: клас 1 — питома потужність менша за 22 Вт/кг, клас 2 — вона становить 22...34 Вт/кг, клас 3 — вона більша за 34 Вт/кг. Передбачені й підкласи — за величиною максимальної швидкості пересування. Тест для автомобілів класу 1 регламентує, приміром, максимальне пришвидшення $0,76 \text{ м/с}^2$ (менше за $0,833 \text{ м/с}^2$ в NEDC, $1,48$ в FTP 75, $1,53$ в JC 08), для автомобілів класу 2 — $0,96 \text{ м/с}^2$, для автомобілів класу 3 — $1,58 \text{ м/с}^2$. Автомобілі розвинутих країн світу — це зазвичай представники класу 3 і його швидкісного підкласу, ознака якого — максимальна швидкість руху понад 120 км/год. Якщо максимальна швидкість становить 120 км/год, то програма зміни швидкості вимушено має бути ніби пропорційно скоректована на ділянці Extra High, див. рис. 3. До того ж, WLTP пропонує використовувати найпоширеніше в регіоні пальне. У Фінляндії, приміром, — це може бути бензин Super E10 з містом десятої частки спирту, через що, звісно, витрата пального буде більшою, ніж тоді, коли б використовувався чистий бензин.

З одного боку, все ніби вмотивовано: навіщо вимагати від автомобіля те, що йому в експлуатаційних умовах не дано чи/та не дозволено. Але з іншого боку, спотворюється шкала порівнянь. Приміром, автомобіль, призначений для Америки (де діє обмеження швидкості на рівні $104,61 \text{ км/год}$ — 65 mile/h) не порівняти з автомобілями для Європи.

З таким явищем доводиться стикатись часто. Приміром, відповідно до регламентацій-рекомендацій ЄЕК ООН (йдеться про правила ЄЕК № 15) споживання пального визначають дослідно з використанням спеціальних програм комп'ютерної обробки даних. Метод ЄЕК випробовування легкового автомобіля з двигуном внутрішнього згорання передбачає три вимірювання: визначення витрати пального в тестовому транспортному циклі відповідно до правил ЄЕК № 15, що «змальовують» типовий алгоритм водіння автомобіля в крупних європейських містах з високою щільністю дорожнього руху (високою густиною транспортного потоку); визначення витрат пального при сталих швидкостях руху 90 і 120 км/год.

Аби полегшити й універсалізувати порівнювання паливної ощадності різних автомобілів, вдаються до «змішування» оцінок за формулою, приміром, середнього арифметичного

$$Q_{s(\text{Euro mix})} = \frac{1}{3}(Q_{s(\text{ECE})} + Q_{s(90)} + Q_{s(120)}),$$

де $Q_{s(\text{ECE})}$, $Q_{s(90)}$, $Q_{s(120)}$ — шляхові витрати пального, зафіксовані відповідно при втіленні транспортного циклу ЄЕК ООН та відтворенні сталих швидкостей руху 90 і 120 км/год. А от колись в НДР замість величини $Q_{s(120)}$ у розрахункову формулу заносили величину $Q_{s(60)}$, відповідну швидкості руху 60 км/год [11] — це ще один приклад нівелювання універсальності вимірника, деформації шкали досконалості. Існувала ще й така версія «змішування» оцінок:

$$Q_{s(\text{Euro mix})} = 0,5Q_{s(\text{ECE})} + 0,25(Q_{s(90)} + Q_{s(120)}).$$

Цікаво, що чинна сьогодні Директива Євросоюзу № 443/2009 зобов'язує, аби до 2020 року усі фірми Європи звели викиди двооксиду вуглецю новими моделями продукуваних ними автомобілів до 95 г/км, що відповідає витраті бензину 4,1 $\text{дм}^3/(100 \text{ км})$ та дизельного пального 3,6 $\text{дм}^3/(100 \text{ км})$. А впровадження WLTP надзвичайно ускладнить виконання цих настанов.

Отож тестувальні цикли регламентують правила порівнювання автомобілів. Їздовий цикл — це своєрідне завдання автомобілю, в процесі виконання якого, він має проявити себе, спровокувавши цілком певну програму механічної протидії довкілля, і витратити при цьому певну кількість механічної енергії на подолання саме цієї протидії. Витрачену механічну енергію можна точно облікувати, але за вимірники ефективності транспортного процесу чи досконалості автомобіля все ж мають правити витрата пального та, можливо, інші (приміром, екологічні) натуральні вимірники. І хоча ніщо не заважає й тут визначати ККД, але тепер в контексті висловленого цей вимірник буде похідним і таким, що не нестиме принципово нової інформації у порівнянні з витратою пального.

Мотиви й наслідки застосування типових тестувальних транспортних циклів детальніше розглянуто в [8]. Тут наголосімо лише: тестувальні цикли можуть суттєво позначитись на тому, що доведеться вважати досконалим, а що ні. Оскільки тривалість зупинок в WLTC є відносно малою (13 % від тривалості циклу; порівняймо, тривалість зупинок в FTP 75 — 20 %, NEDC — 25 %, JC 08 — 30 %), то вплив так званої системи «старт-стоп», приміром, на оцінку енергоощадності автомобіля тепер буде помітно знівельований.

Але ж завдання автомобілю можна поставити суттєво простіше: виконати певну транспортну роботу у звичному сенсі за певний проміжок часу. Може це той випадок, коли абстракція робить світ конкретним?

Транспортна робота. Отож навряд чи можливо у повній мірі втілити задекларовану в праці [1] ідею розглядати роботу, продуктивність, ККД автомобіля суто з позицій фізики. До слова, французькому вченому Ж. Понселе належить категоричний вислів: «Механічна робота — це те, за що платять гроші». Але саме те й кажуть (і не просто кажуть, а керуються цим повсякденно) про транспортну (перевізну) роботу автомобіля, про здійснений обіг вантажу.

Свого часу (ще 1950 року) Н. Г. Винниченко протиставив звичній транспортній роботі $m \cdot s$ (тонно-кілометрам) так звану транспортну одиницю дії — добуток $m \cdot sv$ транспортної

роботи (тонно-кілометрів) на швидкість V транспортування (в кілометрах за годину). Ця одиниця була покликана врахувати тривалість виконання транспортної послуги. Мотивація була простою: якщо ніхто не штрафує (ніяк не наказує) транспортників за несвоєчасне (пересічно з затримками) доправлення пасажирів чи вантажу, то це сприймається ними як можливість заощаджувати пального, знижуючи швидкість транспортування; а от завадити цьому може обліковування їх роботи саме в транспортних одиницях дії. Була також і пропозиція отожднювати транспортну роботу з величиною, подібною на кінетичну енергію — $m_v V^2 / 2$, в якій віддаль S транспортування вантажу безпосередньо не фігурує.

Згодом було запропоновано використовувати для вимірювання ефективності роботи транспорту таку незвичну одиницю як «тран»: 1 тран транспортної послуги дорівнює роботі $m_v S V^2$, затраченій на перевезення вантажу масою 1 т на віддаль 1 км із середньою рейсовою швидкістю руху 1 км/год з урахуванням тривалості можливих зупинок в дорозі; розмірність трана — $t \cdot \text{км}^3 / \text{год}^2$. Міркування тут такі: робота транспортного засобу пропорційна добутку потужності на час; а оскільки потужність пропорційна добутку кубу швидкості на масу вантажу, то критерієм оцінювання роботи транспорту має бути величина, що дорівнює добутку маси вантажу на віддаль транспортування і на квадрат швидкості.

Виявляється, розмірність звичної транспортної роботи W (зазвичай визначуваної як тонно-кілометри) можна записати як $\dim W = L^4 T^{-2}$, а продуктивності P автомобіля (зазвичай визначуваної як тонно-кілометри за годину) — як $\dim P = L^4 T^{-3}$. Натомість, нова розмірність транспортної роботи — $\dim W = L^6 T^{-4} = (\dim m)^2 = \dim m^2$ (чи не дивно?). Зрозуміло, тут ідеться про LT-систему фізичних одиниць (звану також кінематичною; див., приміром, [12]). У цій системі одиниць розмірність маси, як з'ясував ще 1873 року Дж. Максвелл, — $\dim m = L^3 T^{-2}$. Наголосімо, через $\dim \dots$ або $[\dots]$ зазвичай позначають розмірність. Наприклад:

$$\dim v = L/T = LT^{-1} \text{ або } [v] = L/T = LT^{-1},$$

де $v = ds/dt$ — швидкість, S — шлях (розмірність — L), t — час (розмірність — T).

Вантаж стає реально корисним, коли потрапляє безпосередньо до рук саме того, хто на нього претендує. А претендує споживач, звісно, власне на замовлену кількість вантажу саме задекларованої якості обов'язково у заздалегідь обумовлену мить часу (не раніше й не пізніше — саме так повсюдно повинно бути). Тому не дивно, що вимірювати послугу є сенс «тонно-кілометрами (радіше і тоннами, і кілометрами) строго в обумовлений час» — обумовлений спільно постачальником, споживачем вантажу та транспортувальником. Це цілком природно. Невчасна послуга — це те саме, що й послуга, так би мовити, повз споживача, не точно «в руки».

Якщо транспортувальник (надавач транспортних послуг, учасник технологічного ланцюга), приймаючи всі вигідні заявки на перевезення, уклав оптимальний план перевезень, провів оптимальну їх маршрутизацію, оптимально закріпив за маршрутами наявні транспортні засоби тощо, то у нього з'явилася можливість висунути обґрунтовану ціну за свою послугу. Рівень ціни обов'язково якимось позначиться на взаєминах «постачальник — споживач». Якщо чи постачальник, чи споживач вирішать скоректувати якимось запропонованим перевізником оптимальні для нього миті відправлення та приймання вантажу, то це обов'язково призведе до зростання ціни перевізної послуги, бо зростуть витрати транспортувальника. В такому разі, не можна, нема жодного сенсу, сліпо будь-що стимулювати зменшення тривалості виконання транспортної послуги. Розумно кажуть: жити означає ухвалювати рішення і терпіти їхні наслідки.

Якість, ефективність, досконалість. Отож параметри отриманого споживачем вантажу і мить його отримання доречно перенести в площину якості. Послуга або річ не можуть бути більш якісними, менш якісними чи більш-менш якісними. Вони можуть бути або якісними, або неякісними. Взагалі кажучи, погано працювати має бути навіть небезпечно, а не просто збитково.

Не зайве наголосити, що існує й альтернативне бачення якості — як відношення основного результату дії до мети дії [16]. При цьому метою вважають завбачуваний максимально можливий ефект, а основним результатом — позитивно оцінюваний (визнаний) реально досягнутий ефект, що не може перевищити мету. Але такий показник цілком не обов'язково називати якістю дії.

А от ККД — це критерій, побудований як ідентифікатор так званого справедливого компромісу: якщо затрачені зусилля зменшилися в n разів, і в такій самій мірі зменшився корисний ефект, то ККД не помітить жодних зусиль і жодного ефекту. Але якщо зменшилася робота проти доквілля, то це означає, що автомобіль у доквіллі залишив менш помітний «слід», завдав йому меншого збурення, меншої шкоди. А це, як сперечатись, — позитивний ефект. До того ж, зменшиться витрата пального, а це також — позитивний економічний ефект, який має ще й позитивні екологічні наслідки. Миритися з викритим недоліком ККД не гоже. Принагідно зауважмо, «слід» у доквіллі залишає будь-який транспорт: свого часу кінний возовий (гузовий) транспорт, приміром, перетворив великі промислові міста майже на конюшні [13].

У своїй «Теорії наземних транспортних засобів» Дж. Вонг [17], також погоджується з тим, що для оцінювання ефективності транспортної системи (!) можна вдаватись до так званої «питомої транспортної ефективності (!)» (не покладаючись на «фізику»)

$$\eta_{tr} = \frac{G_v v}{P} = \frac{G_v v}{F_r v / \eta_t} = \frac{G}{F_r} \frac{G_v}{G} \eta_t = \eta_G \eta_v \eta_t, \quad (11)$$

де $P = F_r v / \eta_t$ — вхідна потужність системи; F_r — сила сумарного опору рухові (опір доквілля); η_t — тяговий ККД автомобіля, що враховує ККД трансмісії та так званий коефіцієнт ефективності проковзування машини. Транспортна ефективність відповідно до формального означення (11) має три складові — відношення $\eta_G = G / F_r$ повної ваги автомобіля до сумарного опору рухові, питому вантажність $\eta_v = G_v / G$, тяговий ККД автомобіля η_t .

Але формула (11) застосовна тільки до режиму усталеного руху транспортної машини (руху із сталою швидкістю v). Використати її можна й у разі неусталеного руху, замінюючи, приміром, інтенсивні величини v , F_r , η_t на середні їх значення $v_{sr} = v = S / T$, F_{rsr} , η_{tsr} (T і S — час руху і подоланий автомобілем шлях, екстенсивні параметри). Можна також безпосередньо оперувати й середніми потужністю P_{sr} і швидкістю $v_{sr} = v = S / T$. Впадає в вічі, щоправда, певна неоднозначність, бо $F_{rsr} \neq F_r(v)$ та $P_{sr} \neq P(F_{rsr}, v) \neq P(F_r(v), v)$ (оскільки всі зв'язки в автомобілі є переважно суттєво нелінійними). Але важливішим є те, що суто формальна заміна інтенсивних величин на екстенсивні суперечить фізичному трактуванню транспортного процесу. З погляду фізики названі середні величини — це абстракції. Отож — знову неминуче відхилення від «фізики».

Жодного сумніву, витворюючи інструментарій вимірювання досконалості й ефективності автомобіля, доводиться орієнтуватися на якесь цілком певне розуміння цінності. А загалом цінність — це значення, що його суб'єкт чи суспільство визнає за сподіваним результатом, закарбованим ще у меті певної вмотивованої дії. Продукт будь-якої діяльності саме і є носієм цінності. Але кожна небайдужа сторона певної діяльності має свою усталену систему цінностей, що проявляється по-різному навіть у часі (хоча б у міру поглиблення пізнання). Цінності, відбивають у собі навіть спосіб мислення. Але, як не крути, існує ще й загальна для всіх небайдужих проекція цінності.

Отримання споживачем певної матеріальної цінності, яким власне і є вантаж заданої якості в обумовленому місці і в обумовлену мить, — це нова, більша за суто матеріальну,

цінність одночасно і для постачальника (власника вантажу), і для споживача (претендента на вантаж з подальшими планами щодо нього), і перевізника (учасника взаємин, функції якого, зрештою, може виконувати чи постачальник, чи споживач). У разі ширшої порядності перевізник, постачальник, споживач розумітимуть якість-цінність однаково.

Виглядає так, що «тонни» (з незмінними у процесі перевезення властивостями), «кілометри», «години» (з розрізненням, можливо, митей початку й кінця перебування вантажу на об'їзді автомобіля) — це ознаки якості транспортних функцій. «Тонно-кілометри» — менш інформаційні, менш конкретні, ніж сукупно і «тонни», і «кілометри». Якість, зрозуміло, має бути задекларована наперед.

Самі по собі будь-які вимірники, як зазначено в [8], не можуть правити за критерії. Приміром, «час розгону» автомобіля, «швидкість кінця розгону» автомобіля — це лише вимірники. А от критеріями динамічності розгону автомобіля (узагальненими вимірниками, що об'єктивно дають змогу виміряти, розпізнати краще й гірше) можуть бути «тривалість розгону автомобіля до заданої швидкості» чи «досягнута автомобілем швидкість впродовж виділеного для розбігу часу». Тобто критерій постає як такий тільки у тому разі, якщо вказані система цінних вимірників та спосіб, механізм, технологія одночасного оперування цими вимірниками, алгоритм згортання вимірників у критерій.

Отож, коли йдеться про енергоощадність (досконалість) автомобіля чи енергоємність перевізного процесу (та й навіть про їх екологічність, за великим рахунком), то поряд з вимірниками «кількість вантажу» m_v , «шлях транспортування» S , «тривалість перебування вантажу в русі» T повинен фігурувати такий важливий вимірник, як витрата пального Q_v (чи ексергетичний, тепловий абощо її еквівалент). Вимірником енергетичної досконалості автомобіля вважають також обсяг викидів вуглекислого газу (див., приміром, [18]). Але якщо навіть задано m_v , S , T , то все-одно існує надмірно велика свобода в маніпулюванні вимірниками. Тому не зникає потреба ще додатково технологічно доозначити процес вимірювання-оцінювання.

Провести це доозначення можна різними способами...

Серед таких способів — втілення законодавчо регламентованих тестових циклів, про які йшлося раніше. Повсюдне і стосовно всіх автомобілів використання WLTC, приміром, дало б у певному сенсі «змішане» уявлення і про досконалість, і про ефективність кожного конкретного автомобіля у порівнянні з іншими. Передбачено й «регіональне розуміння» досконалості-ефективності автомобіля, оскільки вся множина реальних і можливих автомобілів поділена, згадаймо, на класи за відношенням максимальної потужності двигуна до спорядженої маси автомобіля, а ці класи певним чином є репрезентативними для окремих регіонів світу. Треба зважити ще на те, що параметри m_v , S , T у рамках процедури WLTC жорстко обумовлені (зокрема, заданому T відповідає цілком певне значення S). Отож за критерій енергетичної досконалості-ефективності автомобіля цього разу має правити витрата пального, спостережувана у разі відтворення заданої програми руху (приміром, WLTC чи якийсь інший типовий їздовий цикл). Параметри m_v , S , T при цьому регламентовані, тобто свобода варіювання цих параметрів обмежена. Звісно, при цьому можна побіжно визначити й ККД автомобіля відповідно до того чи іншого його означення.

Звісно, було б зручно принаймні для кожного окремо класу автомобілів синтезувати свій всесвітньо єдиний перевізний цикл, який би мав статус типового. Звісно, це уповні не можливо. Але прагнути цього бажано-бажано. У разі тестування автомобілів за єдиним їздовим циклом стало б можливим об'єктивне ранжування як самих автомобілів, так і його систем, засобів удосконалення, організаційних заходів в експлуатації, транспортних процесів тощо за рівнем досконалості чи/та ефективності. Саме в такому разі ніщо не заважає запровадити оцінювання за допомогою ККД, означуваного як відношення енергії протидії довіклля (вона для всіх одна-

кова) до енергії, що містилась у спаленому пальному. Отож критерійна об'єктивність мусить спиратись на суб'єктивну домовленість, а не на якусь сумнівну фізичну зумовленість, подібно до того, як запанувала над світом домовленість щодо системи одиниць вимірювання.

Згадаймо «модульор» (фр. *modulor*, від лат. *modulus* = міра) — систему архітектурних пропорцій, запропоновану в далеких 1940-х рр. французьким архітектором Ш. Ле Корбюзьє. Ш. Ле Корбюзьє був прихильником фути (оскільки все будується людиною і для людини, а тому повинно вимірятися на основі пропорцій людського тіла; засновано модульор на зрості людини 1,829 м і так званому золотому перерізі). А от архітектура на основі метричної міри, на його переконання, «зійшла з правильного шляху», зневажила віками визнані здобутки й перервала непорушні досі традиції архітектури на основі фути. Але хто наважиться пристати на бік Ш. Ле Корбюзьє, порівнюючи архітектуру Англії (на основі фути) з архітектурою Франції (на основі метра). Але з іншого боку, повсюдно панують усілякі модулі, в яких так чи інакше затаєна антропометричність, і за допомогою яких стандартизують та уніфікують все штучно творене на світі, а тому вони правлять за одиниці вимірювання, вимірювальні інструменти й прилади.

Отож щодо засобів, критеріїв, одиниць вимірювання досконалості й ефективності не може існувати якоїсь категоричності на користь однозначності і нетерпимості до різноманіття. Дуже правильно кажуть, що якби гама складалась не з семи основних звуків, а, скажімо, зі ста, то все-дно це не завадило б Моцарту й Бетховену (та й Михайлові Вербицькому) написати відомі шедеври. Абетки не можуть позначитися на творчому доробку поезії, терміни — на доробку науки. Заледве чи хтось колись зможе сказати, покладаючись на свій копил: був такий стан речей, тепер — такий, і тільки такий.

Існують певні класи (умовно середні) автомобілів, представники яких здатні відтворити тестувальні цикли, передбачені для автомобілів деяких одних (умовно нижчих) класів, але не здатні впоратись із тестовими завданнями, регламентованими для автомобілів деяких інших (умовно вищих) класів. Якщо автомобіль вищого класу, відтворюючи один і той самий тест разом з автомобілем нижчого класу, виявився енергоощаднішим, то він — беззастережно (цілковито) досконаліший. Але якщо ні, то виникає неоднозначність в оцінці: автомобіль, здатний охопити ширшу множину режимів руху, мав би мати, завдяки цьому, статус досконалішого; але якщо він погано впорався із завданням автомобіля нижчого класу, то... А якщо саме цей автомобіль — найдосконаліший у своєму вищому класі? Виникає підозра, що цей вищий клас автомобілів взагалі не має права на існування, навіть якщо він покликаний обслуговувати багатші нації: Земля ж бо — спільний Дім для Всіх, а екологія не знає кордонів.

Але якщо автомобілі вищого класу виявилися досконалішими в зазначеному сенсі за автомобілі нижчого класу, то нижчий клас номінально має перебрати до себе всі автомобілі вищого класу, накладаючи необхідні з якихось причин технічні (за допомогою регуляторів-обмежувачів), правові, організаційні тощо обмеження. Інакше кажучи автомобілі атрибутивно вищого класу мають перейти в модус автомобілів нижчого класу. Цінові аспекти не повинні стати на заваді: вищість класу не може визначатись вищим рівнем екологічності; ціну, вартість задля примарної престижності можна нагнітати як завгодно інакше.

Коли доквілля й обставини надто помітно позначаються на результатах роботи автомобіля, то є сенс говорити радше про ефективність автомобіля (про прояв (!) досконалості за тих чи інших умов і обставин, а не про власне досконалість). Аби оцінити власне досконалість автомобіля треба надати йому можливість якнайповніше проявити свої кращі властивості. А для цього доведеться принаймні створити відповідні умови руху та грамотно висунути завдання. Тож виникає проблема синтезу оптимальних чи навіть ідеальних транспортних тестових циклів. За так звані ідеальні мали б правити згадувані раніше найпростіші цикли штибу «розгін — усталений рух — вибіг — гальмування», втілювані, модельовані, симульовані за різних значень параметрів m_v , S , T . Оптимальні ж цикли, натомість, мали б бути змістовнішими, відображаючи найважливіші (не надто дріб'язкові, як у разі WLTC) особли-

вості транспортування. Приміром, коли синтезують типові перегони (див., приміром, [19]), то беруть до уваги, скажімо, ймовірність надібати на перегоні перехрестя та ймовірність вмикання на ньому заборонного сигналу світлофора... Навіть сказаного досі достатньо, аби збагнути, що неоднозначності оцінок не оминуть, що мають бути вмотивовані домовленості щодо інструментарію і технології оцінювання-вимірювання досконалості автомобіля.

Тож поряд з проблемою ідентифікації досконалості автомобіля як такої постає дуже складна за суттю, широка за змістом і застосовуваним інструментарієм проблема ідентифікації ідеальних чи оптимальних режимів і програм пересування автомобіля й вантажу. Трудомісткість дій, спрямованих на розв'язання цієї проблеми, — не аргумент, аби її уникати. Саме таким є шлях до досконалого автомобіля. Досконалий автомобіль матиме суттєво довший життєвий цикл, він обов'язково у більшій мірі буде серійно помножений, а отримуваний унаслідок цього зиск раніше чи пізніше окупить зусилля. Теорія оптимальних циклових програм стане перепорою для маніпулювання інтересами, бо існують реальні загрози, що за ускладненням тестувальних процедур — процедур, що потребуватимуть залучення надскладного (недосяжного для більшості) обладнання, — ховатиметься монопольне бажання заробляти гроші на продажі «сумнівних істин» і лобіюванні сумнівних ціннісних чи просто ринкових орієнтирів.

Зарадити справі можна, «втягуючи у проблему» все ширше коло носіїв інтелекту, спрямованого у науку. Звісно, тестування автомобілів на динамічних випробувальних стендах — ефективний засіб оптимізації їх параметрів і властивостей, зокрема параметрів і властивостей автомобільної трансмісії [20]. Але вже зараз можна говорити про тверде розуміння того, що основний масив поточної корисної інформації доцільно добувати, досліджуючи віртуальний автомобіль, а стендове обладнання є сенс використовувати суто для верифікації властивостей віртуальної машини. Коли ж вдасться синтезувати ідеальні й оптимальні тестові програми пересування автомобіля й вантажу та й домовитись про повсюдне їх використання, знову ж таки, ніщо не заважатиме запровадити оцінювання досконалості автомобіля за допомогою ККД (спираючись на фізичні уявлення [21]). Мова тестів у певній мірі заступає мову формул.

Фізичне й нефізичне. Саме такий підхід слід протиставити також, так би мовити, нефізичному вимірюванню [22] ефективності роботи автомобіля за допомогою критерію

$$E = \frac{m_v v_{sr}}{Q_{sr}}$$

(m_v — маса вантажу в т; v_{sr} — середня технічна швидкість пересування автомобіля в км/год; Q_{sr} — середня експлуатаційна витрата пального, що припадає на одиницю пройденого автомобілем шляху, в $\text{дм}^3/(100\text{км})$) та корисності автомобіля за допомогою ККД

$$\eta_a = \frac{v_{sr}}{i_0 \kappa_{sr} H_u Q_{sr}} \sqrt{\frac{M_{em} m_v g}{r_k}}, \quad (12)$$

(i_0 — передатне число головної передачі; κ_{sr} — середня густина ряду передатних чисел в трансмісії; H_u — нижча теплотворна здатність пального в Дж/кг; Q_{sr} — середня швидкість витрати пального в кг/с; M_{em} — максимальний обертальний момент двигуна в Н·м; m_v — маса вантажу в кг; g — гравітаційне прискорення в м/с^2 ; r_k — радіус кочення привідного колеса в м. Останні два вирази безпосереднього відношення до науки «Фізика» не мають. Щоправда, величина η_{tr} ніби означена на засадах теорії подібності і розмірностей.

Алгоритм висновування формули (12) методом розмірностей фізичних величин вельми простий. Відстежмо його на прикладі формування подібної ж формули в [23]. Відводячи роль особливо значущих величинам m_v , v_{sr} , ρ_p (густині пального), g , H_u , Q_{sr} (шляховій витраті пального), означмо ККД автомобіля як величину

$$\eta_a = \rho_p^x m_v^y v_{sr}^z g^\alpha H_u^\beta Q_{ssr}^\gamma. \quad (13)$$

В такому разі (див. (13)) співвідношення між розмірностями матиме вигляд

$$[\eta_a] = [—] = [\text{кг}/\text{дм}^3]^x [\text{кг}]^y [\text{м}/\text{с}]^z [\text{м}/\text{с}^2]^\alpha [\text{м}^2/\text{с}^2]^\beta [\text{дм}^3/\text{м}]^\gamma = [\text{кг}]^{x+y} [\text{м}]^{z+\alpha+2\beta-\gamma} [\text{с}]^{-z-2\alpha-2\beta} [\text{дм}^3]^{-x+\gamma},$$

звідки випливають рівності $x + y = 0$, $z + \alpha + 2\beta - \gamma = 0$, $-z - 2\alpha - 2\beta = 0$, $-x + \gamma = 0$. Тут враховано, що $[H_u] = \text{Дж}/\text{кг} = \text{Н} \cdot \text{м}/\text{кг} = (\text{кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2) \cdot \text{м}/\text{кг} = \text{м}^2/\text{с}^2$.

Невідомих — шість, а рівнянь — лише чотири. Тож існує недовизначеність. Тому в [23], беручи до уваги, що ККД автомобіля обов'язково додатний і менший за ККД двигуна, та покладаючись уже цілком на евристику, доходять формули

$$\eta_a = \sqrt{\frac{m_v v_{sr} g}{\rho_p Q_{ssr} H_u^{1,5}}}. \quad (14)$$

В останній формулі з'явилася ніби «транспортна продуктивність» $m_v v_{sr}$, щоправда під квадратним коренем (як і середня витрата пального на одиницю шляху Q_{ssr} — також під квадратним коренем).

Формула (12) застосовна лише до ступеневої трансмісії, а от формулу (14) вважають загальною. Хай там як, але разом вони свідчать хіба що про відсутність змістовної однозначності. А ще — вони визрівають унаслідок надто штучних, не дуже природних у «фізичному сенсі» міркувань.

Видобування енергоємної сировини з надр Землі, переробка її на паливо для двигунів внутрішнього згоряння, розподілення і доставання палива споживачам — це також процеси, кожному з яких можна поставити у відповідність свій «енергетичний ККД» (відповідно до термінології, вживаної в перекладі [24]; але в оригіналі англійською «Future automotive fuels: Prospects. Performance. Perspective» використовують, мабуть, термін «Efficiency» — ефективність). В [24] загальну енергоефективність (загальний ККД) означають як добуток енергоефективності (ККД) виробництва палива на енергоефективність (ККД) використання палива. При цьому енергоефективність виробництва палива визначають як $e = H_p / H$ (H_p — вища теплота згоряння корисної частини палива, до якої не відносять, скажімо, аміак і сірководень, хоча це також теплотворні сполуки; H — вища теплота згоряння матеріалу-сирцю, з якого виготовляють паливо, разом з енергією, витраченою в процесі безпосередньо його виробництва та експлуатації всіх допоміжних устав — при виробництві технологічно потрібної електроенергії, приміром). А от енергоефективність використання палива означають як відношення енергії, що витребувана для долання інерції автомобіля та сил опору його рухові, до зужитої водночас паливної енергії.

Але тут перед автомобілем висувалось конкретне завдання — здійснити регламентовані ЕРА (США) їздові цикли (міський завдовжки 11,99 км і тривалістю 1373 с та шосейний завдовжки 16,48 км і тривалістю 765 с; цикли ЕРА синтезовані у свій час на підставі результатів спостережень за автомобільним рухом у місті Лос-Анджелес). При цьому робота автомобіля проти власної інерції і опору довкілля визначалася теоретично, а зужита паливна енергія — експериментально. Формула для визначення енергоефективності використання палива мала вигляд

$$\eta_a = \frac{0,55 E_{ms} + 0,45 E_{sh}}{H (0,55 Q_{ms} + 0,45 Q_{sh})},$$

де E_{ms} і E_{sh} — теоретично необхідні кількості механічної енергії для здійснення регламентованого руху в міському циклі і шосейними дорогами; H — теплотворна здатність пального; Q_{ms} і Q_{sh} — експериментально зафіксовані витрати пального в регламентованих ЕРА міському циклі і циклі руху шосейними дорогами.

Проте... були й підстави висловлювати невдоволення тим, що реальні витрати пального автомобілями надто відрізнялись від ідентифікованих у тестових циклах ЕРА. Виявилося, зокрема, що розбіжність між дійсними і тестовими витратами пального залежить від величини витрати пального на одиницю шляху як такої. І приміром, стосовно автомобілів з витратою пального $11,7 \text{ дм}^3/(100 \text{ км})$ зазначена різниця сягала 20 % [25]. Тому Федеральне управління США з питань енергії вдалося до широкого порівняльного аналізу дійсних і ідентифікованих витрат пального легковими автомобілями 1974...1978 років випуску. Бралися до уваги дані про дійсні витрати пального за відносно великий період експлуатації різних автомобілів, отримані від різних фірм, нафтопереробних компаній, дослідних організацій... Кількість даних за роками сягала від тисячі до трьох тисяч, а кількість моделей автомобілів за роками випуску — від 36 до 120. Порівняння здійснювалося за витратою пального на одиницю шляху. Поза увагою залишилися 3 % даних, які на понад 50 % відрізнялись від тестових.

І хоча самі по собі самі по собі добуті дані за давністю літ не мають якоїсь ваги сьогодні, проте виявлені тенденції і тренди цікаві-важливі й тепер. Скажімо, було синтезовано рівняння регресії

$$Q_{\text{Sreal}} = 0,76457 Q_{\text{SEPA}} + 5,12328 ,$$

де Q_{Sreal} і Q_{SEPA} — реальна і тестова (в циклі ЕРА) усереднені шляхові витрати пального в $\text{дм}^3/(100 \text{ км})$. То ж з рівняння регресії випливає, що із зростанням паливної економії автомобіля, тобто у разі його удосконалення, відносна розбіжність реальних і оцінних витрат пального зростає — в ідеалі ж бо мало б справджуватись співвідношення $Q_{\text{Sreal}} = Q_{\text{SEPA}}$. Отож з роками, у міру переходу від старіших до все новіших і новіших моделей автомобілів, тест ЕРА ніби «стає» все менш і менш «точним». Але доречно зауважити, що стосовно автомобілів з дизельними двигунами зазначені розбіжності в середньому удвічі менші ніж стосовно автомобілів з бензиновими двигунами.

В [24] ще наголошувалось, що обліковування затрат енергії на додання власної інерції — це можливість опосередковано взяти до уваги масу автомобіля. Але як бути тоді, коли в автомобілі передбачено систему акумуляування-рекуперування механічної енергії?

Принагідно зазначмо ще таке. Цикл ЕРА — один з найретельніше вивчених (до цього багато доклалися G. Sovran, M. S. Bohn). З'ясовано, зокрема, що середня квадратична в сенсі

формули $v_{\text{sr}s} = \sqrt{\int_0^S v^2(s) ds}$ швидкість $v_{\text{sr}s}$ руху автомобіля в міському циклі становить

53,3 км/год (проти реально середньої $v_{\text{sr}} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt = 38,4 \text{ км/год}$), а в шосейному —

81,9 км/год (проти реально середньої $v_{\text{sr}} = 77,6 \text{ км/год}$). Тут v , S і T — поточна швидкість руху автомобіля, довжина їздового циклу і тривалість руху в ньому. Величина $v_{\text{sr}s}$, зрозуміло, безпосередньо характеризує роботу протидії повітря в їздовому циклі. Звідси випливає, що звична величина v_{sr} загалом не може характеризувати аеродинамічні втрати енергії (вони будуть надто заниженими проти реальних).

Коефіцієнт опору. А може втрати енергії в двигуні взагалі не приписувати автомобілю як такому? Автомобілю, як деколи вважають, доречно приписати витрати тільки тієї суто механічної енергії, що знімається вже з вала двигуна: частина енергії витрачається на додання тертя в трансмісії; частина — на додання сил опору коченню всіх коліс і проковзування привідних з них; частина протиставляється протидії повітря й вітру; деяка частина енергії розвіюється в ходовій частині. Тож ефективність використання пального автомобілем, зрозуміло, загалом визначається рівнем досконалості двигуна, трансмісії, кузова, ходової частини. Проте стосовно власне автомобіля виникає бажання (див. [26]), оперувати ось таким «інтегральним вимірником ступеня досконалості конструкції трансмісії, шин і кузова», а в певному сенсі — і автомобіля як такого:

$$f_d = \frac{F_{tr} + F_k + F_w}{G},$$

де F_{tr} , F_k , F_w — сили опору в трансмісії, коченню коліс, повітря; G — вага автомобіля.

Йдеться, звісно, про усталений рух на гладкій дорозі, коли ходова не має можливості поглинати енергію. Відношення $f_k = F_k / G$ — це звичний коефіцієнт опору коченню. Але в такому разі і величину $f_{tr} = F_{tr} / G$ слід було б назвати коефіцієнтом опору трансмісії (протиставляючи її в певному сенсі звичному ККД трансмісії), а величину $f_w = F_w / G$ — коефіцієнтом аеродинамічного опору. Отож f_d — це фізично змістовна величина, яка має сенс коефіцієнта опору (протидії) доквілля рухові автомобіля.

Одні покладають $f_k = \text{const}$, інші — $f_k = \alpha + \beta v$ (v — швидкість руху автомобіля) чи $f_k = \alpha + \beta v^2$, чи $f_k = \alpha + \beta v^2 + \gamma v^3$, чи $f_k = \alpha + \beta v^{3.7}$ (В. І. Кнороз)... А в [26] доходять висновку, що й залежність f_d від v є резон апроксимувати поліномом третього степеня $\alpha + \beta v^2 + \gamma v^3$. Очевидно, досконалішому автомобілю властиві менші значення f_d за будь-якого значення v . Але частіше буває так, що в одному діапазоні швидкостей f_d є меншим, в іншому — більшим.

Зауважмо, такий «простий» коефіцієнт загального опору як вимірник досконалості автомобіля є переконливим частіше, аніж «досконалий» ККД. Щоправда, якщо штучно ввести силу F_{kh} опору в ходовій і відповідний коефіцієнт опору $f_{kh} = F_{kh} / G$, то відразу не зрозуміти, коли підвіска автомобіля досконаліша: чи коли f_{kh} є меншим, чи коли — більшим, чи коли — якимсь оптимальним. Але очевидно, що з ККД можуть конкурувати багато інших вимірників, навіть простіших за означенням та зручніших у використанні. ККД є цілком поза конкуренцією хіба що як вимірник енергетичної ефективності теплових систем [27].

Резюме. Зростання механічної роботи проти доквілля (не називатимемо її корисною роботою чи корисним ефектом — жодних для цього аргументів) разом із зростанням витрат пального (а їх слушно вважати затраченими зусиллями) нема твердих підстав безпелеяційно оцінити позитивно навіть, якщо відношення роботи проти доквілля до витрат пального та коефіцієнт корисної дії (ККД), як би його не означувати, стають меншими. А от те, що одночасно зростають і робота проти доквілля, і витрата пального, — це беззастережно негативний ефект, навіть якщо при цьому ККД не змінився.

Автомобіль аж ніяк не належить до енергоперетворювальних машин. Він — знаряддя для надання транспортних послуг (щоправда, й проти того, що транспорт — одна з галузей матеріального (!) виробництва, а не просто послуга, сперечатися також нема сенсу). Хіба автомобіль на своєму облавку в загальному підсумку надає якусь енергію вантажу, хіба вантаж на облавку автомобіля в кінцевому пункті транспортування володіє якоюсь фізичною енергією понад ту, якою володів на облавку безпосередньо перед рушенням автомобіля? Отож не дарма не вдається означити бездоганно — чи змістовно, чи формально — такий, здавалося б, привабливий і змістовно ніби прозорий критерій, як коефіцієнт корисної дії автомобіля. І не треба думати, що вертикальне переміщення вантажу чимось надзвичайно особливим відрізняється від горизонтального переміщення. Там такі ж самі проблеми (щоправда, менш очевидні).

Отож нема можливості розглядати досконалість автомобіля суто на фізичних засадах, керуючись суто принципами раціонального чи оптимального перетворення форм енергії. Нема й підстав відмовитись від критерію «транспортна робота», покликаною виміряти ефективність експлуатації автомобіля. Аби оцінити автомобіль, йому треба будь-що «поставити» завдання, в процесі якого він мав би уповні проявити свої властивості, свою досконалість, свою ефективність. Але саме у завданні завжди міститиметься суб'єктивність. Умовно подолати її можна, вибудовуючи консенсус щодо змісту цього завдання. Чи законодавчо регламентовані так звані тестувальні цикли, чи енергетично оптимальні цикли руху, чи типові ізодові цикли — це все різні формулювання такого завдання.

Список літератури:

1. Евсеев П. П. Работа, производительность и КПД автомобиля с позиций физики, стандартизации и метрологии // Автомобильная промышленность. — 2003. — № 4. — С. 7—10.
2. Евсеев П. П. Некоторые вопросы энергетики автомобиля. Сборник научно-технических разработок. — Киев: ЗАО «Випол», 2006. — 236 с.
3. Подригало М. А., Подригало Н. М. Полезная работа и КПД автомобиля. Одно уточнение (В порядке обсуждения) // Автомобильная промышленность.— 2007.— № 8.— С. 19 — 21.
4. Подригало М. А., Подригало Н. М., Файст В. Л. Мощность двигателя и КПД автомобиля при его разгоне (В порядке обсуждения) // Автомобильная промышленность, 2008, № 8.— С. 12 — 16.
5. Романченко М. И. Энергетический коэффициент эффективности транспортного процесса (В порядке обсуждения) // Автомобильная промышленность.— 2008.— № 4. — С. 24 — 26.
6. Siłka W. Energochłonność ruchu samochodu.— Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1997.— 144 s.
7. Гащук П. Н. Оптимизация топливно-скоростных свойств автомобиля.— Львов: Вища школа, 1987.— 168 с.
8. Гащук П. Н. Энергетическая эффективность автомобиля.— Львов: Свит, 1992.— 208 с.
9. Руденко М. Д. Енергія прогресу. — Київ: Журналіст України, 2008. — 716 с.
10. Евграфов А. Н., Высоцкий М. С., Титович А. И. Аэродинамика магистральных автопоездов.— Минск: Наука и техника, 1988. — 232 с.
11. Drechsel E., Bouchetara M. Möglichkeiten zur Verringerung des Streckenkraftstoffverbrauchs // Kraftfahrzeugtechnik. — 1985. — Н. 1. — S. 8—12.
12. Гащук П. М. Енергія та упорядкований рух. — Львів: Українські технології, 2004. — 608 с.
13. Блэк Э. Внутреннее сгорание: Пер. с англ. — Москва: Издательство «Добрая книга», 2010. — 576 с.
14. Гащук П. М., Вайда І. Р., Нікіпчук С. В. Фазові переходи в речовинах. Нагромадження та перетворення енергії. — Львів: Українські технології, 2006.— 224 с.
15. Van den Broeck C. Thermodynamic Efficiency at Maximum Power // Physical Review Letters. — 2005. — 95. — С. 190602-1 — 190602-3.
16. Гаспарский В. Праксеологический анализ проектно-конструкторских разработок: Пер. с польск. — Москва: Мир, 1978. — 174 с.
17. Вонг Дж. Теория наземных транспортных средств: Перев. с англ. — Москва: Машиностроение, 1982. — 285 с. Wong J. Y. Theory of ground vehicles. — New York — Chichester — Brisbane — Toronto: A Wiley-Interscience Publication “John Wiley & sons”.
18. Антошків О. Менеджмент енергопотоків автомобіля. — Львів: Світ, 2014. — 168 с.
19. Гащук П. М., Дубно М. В., Нефьодов О. Ф. Ідентифікація й нормування потенціалу автомобіля. — Львів: Тріада ПЛЮС, 2007. — 240 с.
20. Feigl E., Jenewein Th. Antrieboptimierung von Nutzfahrzeugen mit Hilfe eines dynamischen Entwicklungsprufstandes (Optimization of the Drivetrains of Commercial Vehicles with the Aid of Dynamic Development Test Stand) // Automobiltechnische Zeitschrift. — 87 (1985). — Н. 7/8. — S. 345—349.
21. Цукуров А. М. Физическая основа теории движения АТС (В порядке обсуждения) // Автомобильная промышленность.— 2004. — № 10. — С. 12—14.
22. Карабцев В. С., Валеев Д. Х. О КПД и коэффициенте эффективности автотранспортного средства // Автомобильная промышленность.— 2002. — № 10. — С. 16—19.

23. Карабцев В. С., Валеев Д. Х. Универсальный метод расчета КПД транспортных средств // Автомобильная промышленность.— 2004. — № 5. — С. 2—4.
24. Стебар Р. Ф., Даниэль В. А., Сарпе А. Р., Петерс Б. Д. Выбор автомобильных топлив и двигателей для достижения оптимальной энергетической эффективности в будущем / В кн.: Перспективные автомобильные топлива: Виды. Характеристики. Перспективы. / Перев. с англ. — Москва: Транспорт, 1982. — 319 с. — С. 90 — 111.
25. McNutt B. D., McAdams H. T., Dulla R. Comparison of EPA and inuse fuel economy results for 1974—1978 automobiles — an analysis of trends // SAE Techn. Paper Ser. — 1979. — No 790932. — 13 p.
26. Ечеистов Ю. А., Бартенев С. П., Смирнов В. А. К вопросу экспериментальной оценки энергетики автомобиля // Автомобильная промышленность.— 1978.— № 1.— С. 26 — 27.
27. Димо Б. В., Пилипчак В. І. Оцінка енергетичної ефективності теплових систем. — Київ: Технології і Ремонт, 2008.— 144 с.

References:

1. Evseev P.P. Employment, productivity and efficiency of the vehicle from the standpoint of physics, standardization and metrology // Automotive industry. — 2003. — № 4. — p. 7—10.
2. Evseev P.P. Some car energy issues. Collection of scientific and technical developments. - Kiev: CJSC "Vipol", 2006. — p. 236.
3. Podryhalo M.A., Podryhalo N.M. Useful work and vehicle efficiency. One clarification (in order of discussion) // Automotive industry.— 2007.— № 8.— P. 19 — 21.
4. Podryhalo M.A., Podryhalo N.M., Faust V.L. The power of the engine and vehicle efficiency with its acceleration (in order of discussion)// Automotive industry, 2008, № 8.— P. 12 — 16.
5. Romanenko M.I. Energy efficiency ratio of the transport process (in order of discussion) // Automotive industry.— 2008.— № 4. — P. 24 — 26.
6. Siłka W. Energochłonność ruchu samochodu.— Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1997.— 144 s.
7. Hashchuk P.M. Optimization of fuel and speed of the car properties.— Lviv: High school, 1987.— 168 p.
8. Hashchuk P.M. The energy efficiency of the vehicle.— Lviv: Svit, 1992.— 208 p.
9. Rudenko M.D. Energy progress. — Kiev: Journalist Ukraine, 2008. — 716 p.
10. Evgrafov A.N., Vysotsky M.S., Titovich A.I. Aerodynamics mainline trains.— Minsk: Science and technics, 1988. — 232 p.
11. Drechsel E., Bouchetara M. Möglichkeiten zur Verringerung des Streckenkraftstoffverbrauchs // Kraftfahrzeugtechnik. — 1985. — H. 1. — S. 8—12.
12. Hashchuk P.M. Energy and orderly movement. — Lviv: Ukrainian technologies, 2004. — 608 p.
13. Blake E. Internal combustion: Trans. from English. — Moscow: Publisher "Good Book", 2010. — 576 p.
14. Hashchuk P.M., Wajda I.R., Nikipchuk S.V. Phase transitions in materials. The accumulation and transformation of energy. — Lviv: Ukrainian technologies, 2006.— 224 p.
15. Van den Broeck C. Thermodynamic Efficiency at Maximum Power // Physical Review Letters. — 2005. — 95. — C. 190602-1 — 190602-3.
16. Gasparskij V. Prakseologičeskij analizy proektno-constructors razrabotok: Per. s Polska. — Moscow: World, 1978. — 174 h.
17. Wong J. Theory of ground vehicles: Trans. from English. — Moscow: Engineering, 1982. — 285 p. Wong J. Y. Theory of ground vehicles. — New York — Chichester — Brisbane — Toronto: A Wiley-Interscience Publication "John Wiley & sons".

18. Antoshkiv A. Management of energy flows car. — Lviv: Svit, 2014. — 168 p.
19. Hashchuk P.M., Dubno M.V., Nefedov A.F. Identification and valuation potential of the car. — Lviv: Triad PLUS, 2007. — 240 p.
20. Feigl E., Jenewein Th. Antrieboptimierung von Nutzfahrzeugen mit Hilfe eines dynamischen Entwicklungsprüfstandes (Optimization of the Drivetrains of Commercial Vehicles with the Aid of Dynamic Development Test Stand) // *Automobiltechnische Zeitschrift*. — 87 (1985). — H. 7/8. — S. 345—349.
21. Tsukur A.M. The physical basis of the theory of exchanges of motion (in order of discussion) // *Automotive industry*.— 2004. — № 10. — P. 12—14.
22. Karabtcev V.S., Valeev D.H. About the efficiency and effectiveness of the coefficient of the vehicle // *Automotive industry*.— 2002. — № 10. — P. 16—19.
23. Karabtcev V.S., Valeev D.H. Universal method for calculating the efficiency of vehicles // *Automotive industry*.— 2004. — № 5. — P. 2—4.
24. Stebar R.F., Daniel V.A., Sarpe A.R., Peters B.D. Selection of motor fuels and motion-motors to achieve optimum energy efficiency in the future / *Proc. : Prospective automotive fuel: Species. Characteristics. prospects. / Transferred with english*. — Moscow: Transport, 1982. — 319 p. — P. 90 — 111.
25. McNutt B. D., McAdams H. T., Dulla R. Comparison of EPA and inuse fuel economy results for 1974—1978 automobiles — an analysis of trends // *SAE Techn. Paper Ser.* — 1979. — No 790932. — 13 p.
26. Echeystov U.A., Bartenev S.P., Smirnov V.A. Echeystov UA., Experimental question evaluation of energy car // *Automotive industry*.— 1978.— № 1.— P. 26 — 27.
27. Dymo B.V., Pylypchak V.I. Assessment of the energy efficiency of heating systems. — Kyiv: Technology and repair,, 2008.— 144 p.

