

Данило Юрійович Череватський,*канд. техн. наук, завідувач відділу*

Інститут економіки промисловості НАН України

вул. Марії Капніст, 2, м. Київ, 03057, Україна

E-mail: cherevatskyi@nas.gov.ua<https://orcid.org/0000-0003-4038-6393>;**Роман Георгійович Смірнов,***PhD, професор Департаменту математики та статистики*

Dalhousie University

6316 Coburg Road PO BOX 15000

Halifax, Nova Scotia Canada B3H 4R2

E-mail: roman.smirnov@dal.ca<https://orcid.org/0000-0001-5971-8541>

ПРО ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ВАЛОВОГО ВНУТРІШНЬОГО ПРОДУКТУ ТА СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ У МАКРОЕКОНОМІЧНОМУ РОЗВИТКУ

Проблематиці залежності енергетичних витрат щодо економічного розвитку національних господарств у світовій практиці присвячено велику кількість досліджень. Проте багаторічна дискусія про взаємозв'язок валового внутрішнього продукту та споживання первинних енергетичних ресурсів, яка налічує тисячі пов'язаних із математичною статистикою публікацій, перетворилася на суперечку про економетричні методи і не дала остаточних результатів, що викликало необхідність залучення інших методів.

Статтю присвячено вирішенню даної проблеми із застосуванням апарату теоретичної механіки і регресійного аналізу. Об'єктами дослідження є господарства Німеччини, Франції, Італії, Японії, Росії, Туреччини та України, властивості кожного з яких характеризує валовий внутрішній продукт, перерахований за паритетом купівельної спроможності в цінах 2017 р., і споживання первинних енергетичних ресурсів (вугілля, нафта, природний газ, гідро- та ядерна енергія, енергія з відновлюваних джерел).

Прийнято допущення, що розвиток будь-якого національного господарства протягом часу є його шляхом в економічному просторі, а споживання первинних енергетичних ресурсів обумовлене притаманними макроекономіці динамічними характеристиками, зокрема умовною «масою», яка є мірою інертності господарського комплексу країни, наявності неформального сектору та ін. Шляхом, який проходить макроекономіка в економічному просторі, зазначено накопичений часом валовий внутрішній продукт. Період спостережень становить 30 років (з 1990 по 2019 р.).

Використання теорії класичної механіки, зокрема кінематики і динаміки, виправдане тим, що макроекономіка потребує витрат енергетичних ресурсів і це уподібнює її до машини, яка рухається в певному просторі.

Розкрито методичні підходи до визначення умовної маси макроекономіки, прискорення її переміщення в економічному просторі, витрат енергетичних ресурсів на функціонування формального сектору національного господарства, ефективності використання енергоносіїв у формальному секторі.

Ключові слова: макроекономіка, національна економіка, валовий внутрішній продукт, первинні енергетичні ресурси, теоретична механіка, математична статистика.

JEL: C40

If you want to find the secrets of the universe, think in terms of energy, frequency and vibration.

Nikola Tesla

Ресурсне забезпечення національних господарств є найважливішим питанням не тільки їх економічного зростання, але і самого існування. Тому вивчення взаємозалежності двох змінних – виробництва валового внутрішнього продукту та споживання первинних енергетичних ресурсів (ПЕР), до яких відносять вугілля, нафту, природний газ, гідро- та атомну енергію, енергію з відновлюваних джерел, – є вельми поширеною темою досліджень.

Зарубіжні дослідники при вивченні причинно-наслідкових зв'язків у системі зазначених змінних в основному приділяють увагу перевірці чотирьох гіпотез: 1) не існує причинно-наслідкового зв'язку між економічним зростанням і енергоспоживанням – ані консервативна, ані експансивна політика щодо витрачання енергоресурсів не мають впливу на економічне зростання; 2) економічний підйом викликає збільшення енергоспоживання, але обмеження енергоспоживання на темпах економічного зростання негативно не позначаються (неенергоємні економіки); 3) збільшення енергоспоживання сприяє підвищенню темпів економічного зростання, а придушення енергоспоживання зменшує їх, тобто енергетичний фактор за впливом є порівнянним із впливом інших факторів виробництва, зокрема праці та капіталу; 4) зв'язок є двостороннім (зворотним) (Ozturk, 2010).

Багаторічна дискусія про взаємозв'язок ВВП та енергоспоживання, що налічує тисячі публікацій, перетворилася на суперечку про економетричні методи (Григорьев, Кудрин, 2013) і не дала остаточних результатів. Й. Чентанават зі співавторами, проаналізувавши показники 30 країн ОЕСР і 78 країн не-членів ОЕСР, дійшли висновку про те, що зв'язки, які йдуть від енергоспоживання до ВВП, характерні для високорозвинутих країн (які входять в ОЕСР) і

не властиві економікам, що розвиваються (Chentanavat, Hunt, Pierce, 2008). Група ж фахівців із Міжнародного валютного фонду на чолі з Т. Хелблінгом дотримується протилежної думки, а саме: у країнах ОЕСР економічне зростання може підтримуватися без залучення додаткових енергетичних ресурсів (питома витрата ПЕР протягом досить довгого періоду часу зберігається практично незмінною), а в країнах, які не є членами ОЕСР, еластичність зростання енергоспоживання близька до одиниці – на кожен відсоток збільшення ВВП на душу населення вони відповідають одним відсотком душевого зростання витрат ПЕР (Хелбінг, Кан, Кумхор и др., 2011).

На тлі такої невизначеності І. Озтурк закликав до використання нових підходів замість звичних, заснованих на наборі загальних змінних для різних країн і різних інтервалів часу (Ozturk, 2010, с. 340).

Пропонується використати класичну механіку саме як новий підхід і довести, що співвідношення економічних та енергетичних характеристик національних господарств є закономірним: кожній макроекономіці властива своя функціональна, а не стохастична, залежність енергоспоживання від ВВП.

Метою статті є визначення чинників і тенденцій розвитку паливно-енергетичних комплексів держав.

Перша спроба використання апарату класичної (ньютонівської) механіки, зокрема її розділів кінематики та динаміки, була призначена для вирішення мікроекономічних проблем інвестиційного розвитку вугільних підприємств (Череватский, 2005). Подальшого застосування, уже у сфері макроекономіки, теоретична механіка набула також у працях науковців Інституту економіки промисловості НАН України (Череватський, Котляренко та ін., 2013, с. 52-55; Котляренко, 2009; Череватский, Сол-

дак, 2015). Але за останні роки авторська концепція «макроекономіки як машини» дещо змінилася, перш за все, через поглиблення розуміння енергетичної ефективності національних економік, механізму процесів перетворення енергетичних ресурсів на валовий внутрішній продукт та ін.

Рух у кінематиці (яка є складовою частиною механіки) – це зміна з часом розташування матеріальної точки у просторі. У класичній механіці безперервну лінію, яку описує точка щодо системи відліку, називають траєкторією, а відстань, пройдену від нерухомої точки на траєкторії, яка є точкою відліку, – шляхом, який вимірюють у лінійних або кутових одиницях. Завдання вимірювання умовного шляху, який проходить точка, дуже спрощується, якщо можна скористатися величиною фізичної природи. Так, величина «видобуток вугілля» доволі точно характеризує «шлях» точки, якою є шахта, під впливом капіталовкладень (Череватський, 2005). Інша справа – макроекономіка як точка, що здійснює свій шлях в економічному просторі, – той самий валовий внутрішній продукт, який є найбільш поширеним економічним показником розвитку національних економік, через впливи інфляції не має повної визначеності. Потрібна спеціальна система координат і система відліку. У цій статті одиницею виміру руху макроекономіки прийнято міжнародний долар, перерахований за паритетом купівельної спроможності в цінах 2017 р. (constant 2017 International doll.)¹. Кожен рік міжнародні організації публікують дані ВВП за паритетом купівельної спроможності (GDP, PPP), кумуляція яких відповідає шляху певної макроекономіки.

Тобто

$$\sum GDP_t = X, \quad (1)$$

де GDP_t – валовий внутрішній продукт у рік t ;

X – шлях макроекономіки за t років.

$$X = \alpha t^2 + \beta t + X_0, \quad (2)$$

¹ World Bank Open Data. URL: <https://data.worldbank.org> (дата звернення: 08.04.2021).

де α, β – коефіцієнти полінома;

X_0 – шлях, який пройшла макроекономіка на момент $t=0$.

За своєю природою перша похідна функції шляху ($X' = \frac{dX}{dt}$) означає швидкість зростання значення ВВП у момент t , а друга похідна ($X'' = \frac{d^2X}{dt^2}$) – прискорення або похідну швидкості зростання обсягу ВВП певної національної економіки в зазначений момент часу. Прискорення економіки у традиційній практиці виражається відсотками зростання ВВП. У той же час, оскільки функція зростання ВВП від часу описується квадратним поліномом, можна стверджувати, що розвиток економіки за 30-річний період відбувався з постійним прискоренням.

На рис. 1 наведено шлях, який здійснили економіки Франції та України за 30 років (з 1990 по 2019 р.).

Приклад французької економіки, як і італійської, зручний тим, що, на відміну від Німеччини або України, господарство цієї країни не зазнало реструктуризаційних процесів, пов'язаних з об'єднанням або розподіленням частин країни.

Закони переміщення точок, що символізують економіки Франції та України в економічному просторі, описано в рівняннях

$$X_{FRA} = 20 \cdot 10^{-6} t^2 + 6,2 \cdot 10^4 t - 2,6 \cdot 10^{11}, \text{ дол.} \quad (3)$$

$$X_{UKR} = 3 \cdot 10^{-6} t^2 + 1,2 \cdot 10^4 t + 9,9 \cdot 10^{11}, \text{ дол.} \quad (4)$$

Отже, економіка Франції протягом тридцяти років, незважаючи на коливання обсягів ВВП, у цілому рухалася рівноприскорено з показником $40 \cdot 10^{-6}$ дол./с², тоді як прискорення економіки України складало $6 \cdot 10^{-6}$ дол./с².

Динаміку ВВП Франції та України наведено на рис. 2.

Віртуальний рух макроекономіки – точки в економічному просторі – потребує реальних витрат енергетичних ресурсів.

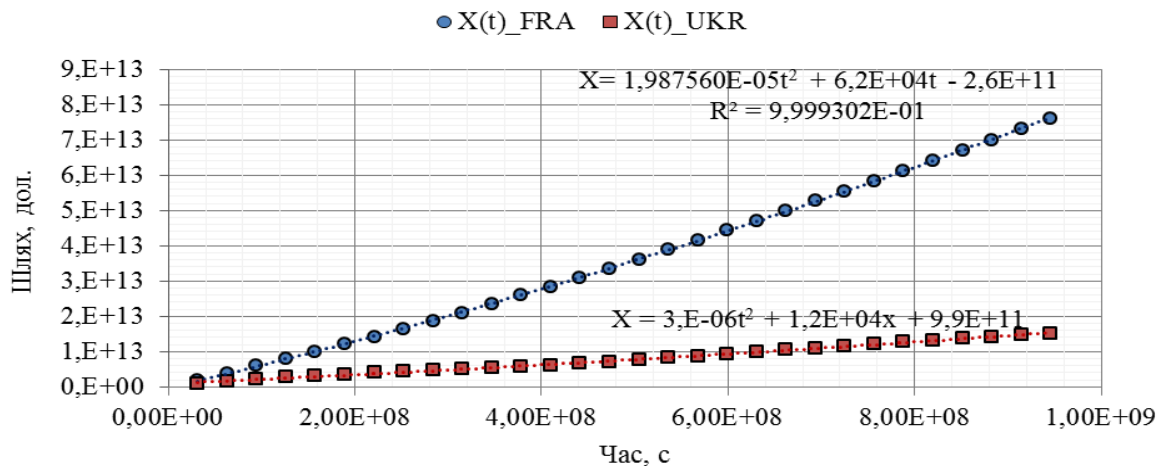


Рисунок 1 – Шлях національних господарств Франції та України в економічному просторі з 1990 по 2019 р.

Джерело: складено авторами.

На рис. 3 наведено залежність кумулятивних витрат ПЕР від шляху, який пройшли національні господарства Франції та України¹.

$$E_f = \sum CE_t, \quad (5)$$

де E_f – фактичні кумулятивні витрати ПЕР, ексаджоулів;

CE_t – споживання макроекономікою ПЕР у рік t ;

$\sum CE_t$ – сумарне споживання ПЕР за період спостережень.

Ще не так давно обсяги споживання енергетичних ресурсів традиційно вимірювалися в мільйонах тонн нафтового еквіваленту (н.е.), але останнім часом через посилення тенденції застосування одиниць системи СІ їм на заміну стали ексаджоулі (1 ЕДж=10¹⁸ Дж; 1 т н.е.= 41868 МДж).

Господарство України при тих самих показниках ВВП споживає набагато більше енергоресурсів, ніж Франція (див. рис. 3).

Діаграма також свідчить, що існує функціональна залежність обсягів спожитих енергоресурсів від шляху, який пройшло національне господарство, тобто зв'язок

економічного розвитку з енергоспоживанням і навпаки є суто детермінованим.

Для Франції формула економіко-енергетичного розвитку національного господарства, одержана за результатом регресійного аналізу даних фактичних спостережень, має такий вигляд:

$$E_{FRA} = -1 \cdot 10^{-26} X^2 + 5 \cdot 10^{-12} X - 1,03, \text{ ЕДж.} \quad (6)$$

Для України:

$$E_{UKR} = -4 \cdot 10^{-25} X^2 + 2 \cdot 10^{-11} X - 6,28, \text{ ЕДж,} \quad (7)$$

де E – кумулятивне споживання первинних енергетичних ресурсів за даними апроксимації фактичних показників.

За наведеними залежностями зростання функції шляху сприяє зменшенню споживання енергетичних ресурсів, на що вказує наявність у формулі від'ємної змінної X^2 . Для України значення коефіцієнта перед цією складовою є на порядок більшим за Францію.

Підтвердженням феномену може бути друга похідна функції кумулятивного споживання ПЕР (рис. 4).

Друга похідна функції, характерної для Франції,

$$E = -16,6t^2 + 3,51 \cdot 10^{11} t - 4,56 \cdot 10^{18}, \text{ Дж}$$

дорівнює -33,2 Дж/с², що означає рівносповільнений характер процесу споживання енергоносіїв. Від'ємний показник прискорення енергетичної функції, як буде пока-

¹ Statistical Review of World Energy 2020 | 69th edition. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf> (дата звернення: 08.04.2021).

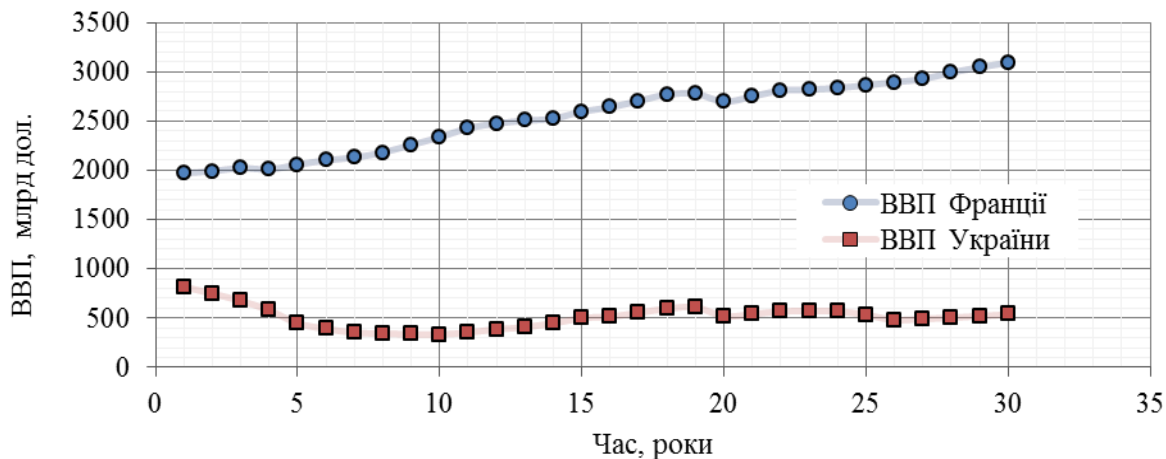


Рисунок 2 – ВВП Франції та України з 1990 по 2019 р.

Джерело: складено авторами.

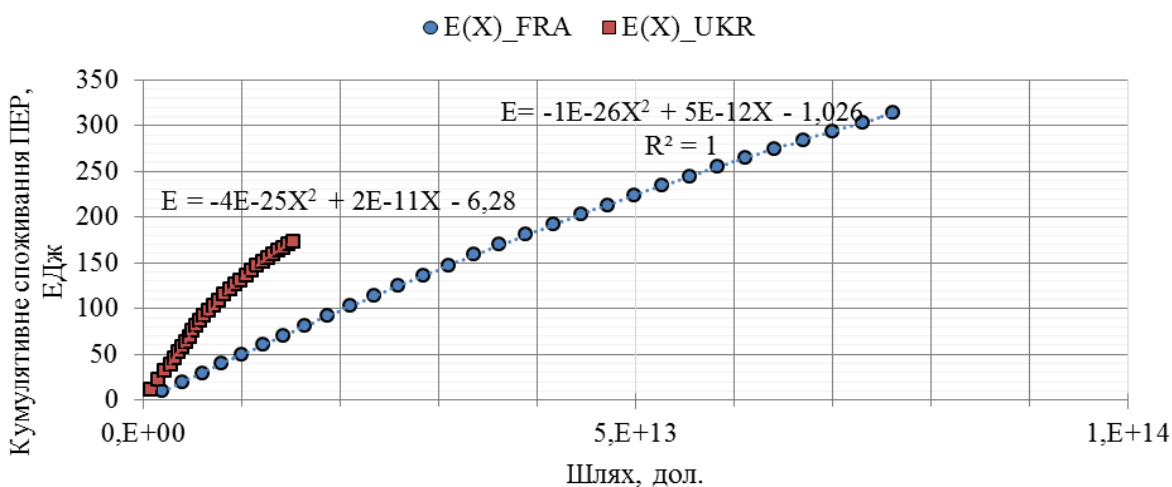


Рисунок 3 – Залежність витрат первинних енергетичних ресурсів від шляху, який пройшли економіки Франції та України за 30 років

Джерело: складено авторами.

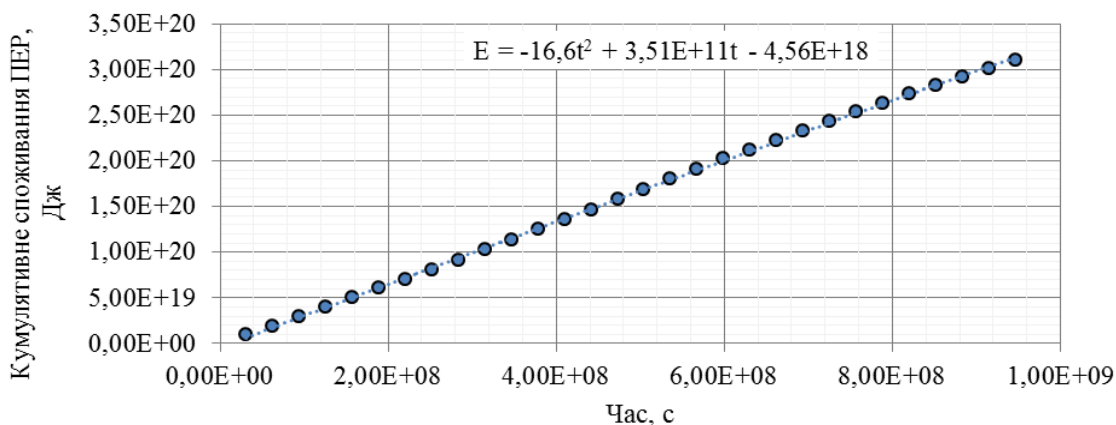


Рисунок 4 – Залежність споживання енергетичних ресурсів у Франції за часом

Джерело: складено авторами.

зано далі, притаманний більшості країн із потужним та інноваційно розвинутим господарством: з часом енергоемність їх економік поступово зменшується. Навпаки, емерджентним економікам здебільшого властиві додатні другі похідні та прискорення енергоспоживання.

Динаміка як розділ теоретичної механіки містить поняття механічної роботи – фізичної величини, яка є скалярною кількісною мірою дії сили (рівнодіючої сили) на точку.

$$A = FX, \quad (8)$$

де A – механічна робота;

F – результуюча сил, що впливають на точку (макроекономіку).

За другим законом Ньютона

$$F = M \cdot X'', \quad (9)$$

де M – маса (міра інертності) точки.

Енергоспоживання реально існуючих національних економік є більшим, ніж потрібно для здійснення механічної роботи, пов'язаної з виробленням валового внутрішнього продукту. Причини цього полягають у тіньовій економіці, обсягах валового випуску, які є суттєво більшими, ніж ВВП, та ін.

До тіньової, точніше безпосередньо неспостережуваної, економіки належить будь-яка виробнича діяльність, не відображена в національних рахунках, а саме: тіньове виробництво, незаконне виробництво, виробництво в неформальному секторі і виробництво домашніх господарств з метою власного кінцевого споживання (Харазішвілі, 2017). Проте навіть неспостережувана економіка потребує наявних енергетичних ресурсів.

Валовий випуск (Gross Output) через наявність у своєму складі продуктів проміжного споживання за обсягом є набагато більшим, ніж ВВП, – у США показник валового випуску в 1,8 рази більше¹. Для вироблення такої великої кількості продукції проміжного споживання також необ-

хідна потужна енергетична база. Постіндустріальні країни перебувають у кращому становищі, ніж країни з розвинутим машинобудуванням, металургією та ін.

Тому на національному рівні доцільно розглядати витрати первинних енергетичних ресурсів за двома складовими

$$E = A + E_z = MX''X + E_z, \quad (10)$$

де E_z – витрати первинних енергетичних ресурсів на механічну роботу, яка не пов'язана з виробленням валового внутрішнього продукту.

Розв'язок рівняння з двома невідомими (M та E_z) потребує складання системи з двох залежностей. Якщо припустити непринципові зміни економічного стану національних господарств протягом коротких проміжків часу, то зазначена система може мати такий вигляд:

$$\begin{cases} E_{t_1} = MX''X_{t_1} + E_z; \\ E_{t_2} = MX''X_{t_2} + E_z, \end{cases} \quad (11)$$

де t_1 і t_2 – моменти спостережень розвитку макроекономіки.

Розв'язком системи рівнянь (11) є

$$M = \frac{E_{t_1} - E_{t_2}}{X''(X_{t_1} - X_{t_2})}; \quad (12)$$

$$E_z = \frac{E_{t_2}X_{t_1} - E_{t_1}X_{t_2}}{X_{t_1} - X_{t_2}}. \quad (13)$$

Для зручності доцільно оперувати не значенням E_z , а часткою енергетичних ресурсів, що використовуються безпосередньо на вироблення ВВП.

$$\eta = (E - E_z)/E, \quad (14)$$

де η – частка енергетичних ресурсів, що використовуються для вироблення ВВП, тобто у формальному секторі економіки.

Потреба енергетичних ресурсів на одиницю шляху, який проходить національна економіка, дає об'єктивну характеристику ефективності формальної частини її господарського комплексу.

$$\mu = E\eta/X, \quad (15)$$

де μ – питомі витрати енергоресурсів на одиницю ВВП (пройденого макроекономікою шляху).

¹ Measuring Gross Output. URL: https://www.jec.senate.gov/public/_cache/files/b2d2e244-ec8c-40e4-bb0d-599580a9291f/measuring-gross-output-4-29-14.pdf (дата звернення: 08.04.2021).

У таблиці наведено основні економіко-енергетичні характеристики деяких макроекономік світу. Розрахунки щодо вели-

чин M , η , μ виконано за даними, які відповідають $t_1=2018$ р. і $t_2=2019$ р.

Таблиця – Економіко-енергетичні характеристики макроекономік (1990-2019 рр.)

| Показник | DEU (Німеччина) | FRA (Франція) | ITA (Італія) | JAP (Японія) | RUS (Росія) | TUR (Туреччина) | UKR (Україна) |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|------------------|
| Прискорення економічного розвитку, мкдол./с ² | 48 | 40 | 12 | 38 | 96 | 60 | 8 |
| Прискорення енергоспоживання, Дж/с ² | -70 | -33 | -22 | -96 | 108 | 158 | -114 |
| Умовна маса макроекономіки, ТДж ^{**} ·с ² /дол. ² | 0,058 | 0,075 | 0,214 | 0,096 | 0,055 | 0,046 | 0,696 |
| Частка ПЕР, що використовуються на вироблення ВВП, ч. од. | 0,73 | 0,94 | 0,88 | 0,83 | 0,56 | 0,93 | 0,48 |
| Витрати енергетичних ресурсів на одиницю ВВП, Дж/кдол. ^{***} | 2751 | 3826 | 2562 | 3660 | 5291 | 2759 | 5468 |

* мкдол. – мікродолар = 10⁻⁶ дол.

** ТДж – Тераджоуль = 10¹² Дж.

*** кдол. – кілодолар = 10³ дол.

Джерело: розраховано авторами.

За результатами досліджень усі національні економіки протягом відносно великого періоду здійснюють рівноприскорений рух в економічному просторі, але з різними параметрами. Так, для Німеччини, Франції та Японії прискорення економічного розвитку склало близько 40 мкдол./с², розвиток Італії протягом тридцяти років був повільнішим – 12 мкдол./с², а Росії та Туреччини – набагато інтенсивнішим (96 і 60 мкдол./с² відповідно). Тривала економічна криза в Україні залишила відбиток на прискоренні макроекономіки – лише 8 мкдол./с².

Важливою закономірністю є нелінійна залежність енергоспоживання від обсягу кумулятивного ВВП: чим більшим є «шлях», який проходить макроекономіка, тим меншою є інтенсивність потреби господарського комплексу в енергоносіях. Цей ефект демонструють країни з потужними інноваційно розвинутими економіками – їм притаманний рівносповільнений характер енергоспоживання. Японія має прискорення витрат ПЕР -96 Дж/с², навіть Італія демонструє -22 Дж/с². Країнам же з емерджентними економіками властиві до-

датні показники, тобто вони нарощують споживання енергоносіїв, і досить інтенсивно: Росія – 108, Туреччина – 158 Дж/с². Україна має показники, як розвинена країна (-114 Дж/с²), але це не досягнення, а ознака жорстокої довготривалої економічної кризи.

«Маса» національного господарства характеризує енергоємність його економічного прискорення: чим меншим є цей показник, тим менш інерційним є господарський комплекс, тим менше енергетичних ресурсів потрібно для прискорення розвитку. За даними спостережень серед розвинутих країн дуже інертною є Італія – 0,24 ТДж·с²/дол.², «масивною» є Японія – 0,1 ТДж·с²/дол.², тоді як Росії та Туреччині притаманні показники 0,06-0,08 ТДж·с²/дол.². Україна має дуже інерційне господарство: 0,7 ТДж·с²/дол.² – майже втричі масивніше за Італію.

Як свідчить показник η , Україна і Росія мають великі сектори тіньової економіки. За розрахунками частка формального сектору в енергоспоживанні України складає лише 0,48, Росії – 0,56, що суттєво

відрізняє їх від європейських країн, Японії і навіть не настільки інституціонально та інноваційно розвинутої Туреччини.

Однак і стосовно формального сектору України економіко-енергетична ефективність є недостатньою: кожні 1000 дол. ВВП потребують застосування майже 5,5 тис. Дж енергетичних ресурсів, тоді як італійська економіка, як найбільш енерго-ефективна, споживає 2,6 тис. Дж/кдол. Ефективність формальної складової економіки Росії (5,3 тис. Дж/кдол.) є майже такою самою, як і України.

Певним чином невисока енергетична ефективність вітчизняної економіки обумовлена технологічною відсталістю господарського комплексу. Україна, наприклад, є потужною металургійною державою, але на кожну тонну виплавленого чавуну витрачається приблизно 530 кг коксу, тоді як у Європі – 350 кг/т (Амоша, Аптекарь и др., 2003).

Таким чином, макроекономіки у процесі розвитку поводять себе як машини, споживання енергетичних ресурсів якими детерміновано і нелінійно залежить від накопиченого з часом ВВП: країнам з емерджентними економіками притаманна тенденція прискорення енергоспоживання, розвинуті ж національні господарства демонструють уповільнення темпів споживання первинних енергетичних ресурсів.

Виявлене на основі довгострокових спостережень існування стійких функціональних залежностей різних за типом та інноваційним станом макроекономік дозволяє стверджувати про наявність економіко-енергетичного path dependence їх розвитку. На цьому тлі очікування великих змін щодо інтенсивності енергоспоживання можуть виявитися марними. Незважаючи на те що економіка України зазнала великих кризових подій як протягом останніх, так і попередніх часів, це не «вибило» її зі своєї економіко-енергетичної колії, про що свідчать тридцять років спостережень. Український, як і польський, німецький, французький, path dependence існує. Тому впевненість у перетворенні на заса-

дах четвертої промислової революції (завдяки цифровізації та поширенню циркулярної економіки) енергоефективності на «first fuel – перше паливо» (Fisher, 2021) підлягає перевірці практикою. І навіть якщо це так, то історія має приклади «ефекту рикошету» (rebound effect), коли підвищення енергетичної ефективності приводить не до зменшення споживання ресурсів, а до суттєвого зростання всієї економіки загалом. «Ефекту рикошету» присвячено доповідь Генеральної дирекції з питань екології Єврокомісії (European Commission DG ENV) (Maxwell, Owen, McAndrew et al., 2011).

Висновки. У результаті дослідження із застосуванням апарату теоретичної механіки і математичної статистики на підставі даних тридцятирічних спостережень доведено, що залежності споживання первинних енергетичних ресурсів економічного розвитку національних економік є функціональними і суто детермінованими. Розвиток макроекономік трактовано як шлях, який господарства проходять в економічному просторі; річний обсяг ВВП – швидкість руху; прискорення руху економіки – швидкість зростання ВВП. Введено поняття умовної маси як міри інерційності розвитку національної економіки.

Аналіз економіко-енергетичного розвитку Німеччини, Франції, Італії, Японії, Росії, Туреччини, України свідчить, що всі перелічені національні господарства протягом тридцятирічного періоду здійснювали в економічному просторі рівноприскорений рух. Німеччина, Франція та Японія – з прискоренням близько 40 мкдол./с², рух Італії був повільнішим – 12 мкдол./с², а Росії та Туреччини – набагато інтенсивнішим (96 і 60 мкдол./с² відповідно). Тривала економічна криза України залишила відбиток на прискоренні макроекономіки – лише 8 мкдол./с².

Споживання енергетичних носіїв економіками різного типу мало принципові відмінності. Країни з потужними інноваційно розвинутими економіками продемонстрували рівносповільнений характер прискорення витрат ПЕР від -96 Дж/с²

(Японія) до -22 Дж/с^2 (Італія). Країни ж з емерджентними економіками інтенсивно нарощували споживання енергоносіїв: від 108 Дж/с^2 (Росія) до 158 Дж/с^2 (Туреччина). Україна має показники як розвинута країна (-114 Дж/с^2), але це є наслідком жорстокої тривалої економічної кризи.

«Маса» національного господарства, яка характеризує енергоємність його економічного прискорення, відрізнялася суттєво: дуже інертною є Італія – $0,24 \text{ ТДж}\cdot\text{с}^2/\text{дол.}^2$, «масивною» є Японія – $0,1 \text{ ТДж}\cdot\text{с}^2/\text{дол.}^2$, Росії та Туреччині притаманні показники $0,06-0,08 \text{ ТДж}\cdot\text{с}^2/\text{дол.}^2$. Україна є дуже інерційним господарством – $0,7 \text{ ТДж}\cdot\text{с}^2/\text{дол.}^2$.

Розроблено аналітичний підхід до оцінювання частки витрат енергоресурсів на формальну економіку. Згідно з розрахунками Україна та Росія мають великі сектори тіньової економіки – частка формального сектору в енергоспоживанні України складає лише $0,48$, Росії – $0,56$, що суттєво відрізняє їх від інших національних господарств.

Оцінено ефективність функціонування формальних секторів зазначених макроекономік. Так, в Україні кожні 1000 дол. ВВП потребують застосування майже $5,5 \text{ тис. Дж}$ енергетичних ресурсів, тоді як італійська економіка, як найбільш енергоефективна, споживає $2,6 \text{ тис. Дж/кдол.}$ Ефективність формальної складової економіки Росії ($5,3 \text{ тис. Дж/кдол.}$) є майже такою самою, як і України. Причина неефективності полягає у фізичній та моральній зношеності основних виробничих і комунальних фондів пострадянських господарств, неінноваційній структурі їх економік.

Виявлене на основі довгострокових спостережень існування стійких функціональних залежностей різних за типом та інноваційним станом макроекономік дозволяє стверджувати про наявність економіко-енергетичного path dependence їх розвитку. На цьому тлі очікування великих змін щодо інтенсивності енергоспоживання можуть виявитися марними.

Подальші дослідження щодо економіко-енергетичного розвитку національних

економік доцільно здійснювати з метою визначення таких характеристик: умовної маси і чинників, що на неї впливають, характеру руху, процесів зміни інтенсивності енергоспоживання, чинників, що обумовлюють енергетичну ефективність господарств та ін. Одним із кінцевих етапів дослідження може бути створення системи класифікації національних економік за їх економічними й енергетичними ознаками.

Література

- Амоша А. И., Аптекарь С. С. и др. (2003). Экономические проблемы черной металлургии Украины: монография. Под общ. ред. С. С. Аптекаря, А. И. Амоши. Донецк: ДонГУЭТ. 383 с.
- Григорьев Л. М., Кудрин А. А. (2013). Экономический рост и спрос на энергию. *Экономический журнал ВШЭ*. № 3. С. 390-406.
- Котляренко Д. В. (2009). Действующие силы развития национальных экономик. *Економіка промисловості*. № 4 (48). С. 115-120.
- Харазішвілі Ю. М. (2017). Світло і тінь економіки України: резерви зростання та модернізації. *Економіка України*. № 4. С. 22-45.
- Хелбинг Т., Кан Д. Ш., Кумхор М. и др. (2011). Дефицит нефти, рост глобального дисбаланса. *Перспективы развития мировой экономики*. Вашингтон: Международный валютный фонд. С. 95-133.
- Череватский Д.Ю. (2005). Оптимизация инвестиционной стратегии производственных систем в условиях ограниченный. *Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки*. Ч. 2. Т. 1. № 5. С. 141-144.
- Череватский Д. Ю., Солдак М. А. (2015). О влиянии финансирования исследований и разработок на повышение энергоэффективности национальных экономик. *Економіка промисловості*. № 4. С. 17-32. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry2015.04.017>
- Череватський Д. Ю., Котляренко Д. В. та ін. (2013). Мега- і макроекономічні моделі. *Формування та реалізація держав-*

ної політики стосовно вугільної промисловості з урахуванням інтеграції України у світову економіку: монографія. НАН України, Ін-т економіки пром-сті. Донецьк. С. 45-57.

Chentanavat J., Hunt L.C., Pierce R. (2008). Does energy consumption cause economic growth?: Evidence from a systematic study of over more 100 countries. *Journal of policy modelling*. Vol. 30. P. 209-220.

Fischer A. Energy efficiency is the “first fuel”, making decarbonisation easier for all other sectors. URL: <https://energypost.eu/energy-efficiency-is-the-first-fuel-making-decarbonisation-easier-for-all-other-sectors/> (дата звернення: 10.04.2021).

Maxwell D., Owen P., McAndrew L., Muehmel K., Neubauer A. (2011, April 26). Addressing the Rebound Effect, a report for the European Commission DG Environment. URL: http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/rebound_effect_report.pdf (дата звернення: 10.04.2021).

Ozturk I. (2010). A literature survey on Energy-growth nexus. *Energy Policy*. Vol. 38, Iss. 1. P. 340-349. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.024>

References

Amosha, O. I., Aptekar, S. S. et al. (2003). Economic problems of ferrous metallurgy of Ukraine: monograph. In S. S. Aptekar, O. I. Amosha (Eds). Donetsk: Donetsk State University of Economics and Trade [in Russian].

Grigoriev, L. M., Kudrin, A. A. (2013). Economic growth and energy demand. *HSE Economic Journal*, 3. pp. 390-406 [in Russian].

Kotlyarenko, D. V. (2009). The current forces of development of national economies. *Econ. promisl.*, 4 (48), pp. 115-120 [in Russian].

Kharazishvili, Yu. M. (2017). Light and shadow of Ukraine's economy: reserves of growth and modernization. *Ukraine economy*, 4, pp. 22-45 [in Ukrainian].

Helbing, T., Kahn, D. Sh., Kumhor, M. et al. (2011). Oil shortage, growing global imbalance. *Prospects for the development of the*

world economy. Washington: International Monetary Fund, pp. 95-133 [in Russian].

Cherevatskyi, D Yu. (2005). Optimization of investment strategy of production systems in the conditions of restrictions. *Bulletin of Khmelnytsky National University. Economic sciences*, Pt. 2, Vol 1, No 5, pp. 141-144 [in Russian].

Cherevatskyi, D Yu., & Soldak, M. A. (2015). On the impact of research and development funding on improving the energy efficiency of national economies. *Econ. promisl.*, 4 (72), pp. 17-32. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry2015.04.017> [in Russian].

Cherevatskyi, D Yu., & Kotlyarenko, D.V. et al. (2013). Mega- and macroeconomic models. *Formation and implementation of state policy regarding the coal industry taking into account the integration of Ukraine into the world economy: a monograph*. NAS of Ukraine, Institute of Industrial Economics. Donetsk. pp. 45-57 [in Ukrainian].

Chentanavat, J., Hunt, L.C., & Pierce, R. (2008). Does energy consumption cause economic growth?: Evidence from a systematic study of over more 100 countries. *Journal of policy modeling*, 30, pp. 209-220.

Fischer, A. Energy efficiency is the “first fuel”, making decarbonisation easier for all other sectors. Retrieved from <https://energypost.eu/energy-efficiency-is-the-first-fuel-making-decarbonisation-easier-for-all-other-sectors/>

Maxwell, D., Owen, P., McAndrew, L., Muehmel, K., & Neubauer, A. (2011, April 26). Addressing the Rebound Effect, a report for the European Commission DG Environment. Retrieved from http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/rebound_effect_report.pdf

Ozturk I. (2010). A literature survey on Energy-growth nexus. *Energy Policy*, 38 (1), pp. 340-349. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.024>

Даниил Юрьевич Череватский,

канд. техн. наук, заведующий отделом

Институт экономики промышленности НАН Украины

ул. Марии Капнист, 2, г. Киев, 03057, Украина

E-mail: cherevatskyi@nas.gov.ua

<https://orcid.org/0000-0003-4038-6393>;

Роман Георгиевич Смирнов,

PhD, профессор Департамента математики и статистики

Dalhousie University

6316 Coburg Road PO BOX 15000

Halifax, Nova Scotia Canada B3H 4R2

E-mail: roman.smirnov@dal.ca

<https://orcid.org/0000-0001-5971-8541>

О ВЗАИМОСВЯЗИ ВАЛОВОГО ВНУТРЕННЕГО ПРОДУКТА И ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В МАКРОЭКОНОМИЧЕСКОМ РАЗВИТИИ

Существует обширная коллекция научных трудов, посвящённых изучению зависимости между потреблением энергии и экономическим развитием. Вместе с тем давняя дискуссия о взаимосвязи между валовым внутренним продуктом и расходом первичных энергоресурсов, насчитывающая тысячи публикаций, со временем вылилась в спор об эконометрических методах, но не дала окончательных результатов, что вызвало необходимость прибегнуть к другим подходам.

Данная статья представляет собой попытку найти решение этой проблемы с использованием методов теоретической механики и регрессионного анализа. Предпринятое изучение приурочено к экономикам Германии, Франции, Италии, Японии, России, Турции и Украины. В каждом случае использованы показатели валового внутреннего продукта, пересчитанного по паритету покупательной способности в ценах 2017 г., и потребление первичных энергоресурсов (уголь, нефть, природный газ, гидро- и атомная энергия, энергия из возобновляемых источников).

Сделано предположение о том, что развитие любой национальной экономики во времени – это её путь в экономическом пространстве, а потребление первичных энергоресурсов обусловлено динамическими характеристиками, присущими макроэкономике, в частности, «массой», которая служит мерой инертности хозяйственного комплекса страны, наличием неформального сектора и т. д. Путь, пройденный макроэкономикой в экономическом пространстве, – это валовой внутренний продукт, накопленный с течением времени. Срок наблюдения составляет 30 лет (с 1990 по 2019 г.).

Использование теории классической механики, в частности кинематики и динамики, оправдано тем, что макроэкономика в своём развитии требует затрат энергетических ресурсов, что уподобляет её машине, которая движется в определенном пространстве.

Представлены методологические подходы к определению условной массы макроэкономики, ускорения её движения, расходов энергоресурсов на функционирование формального сектора национальной экономики, эффективности использования энергии в формальном секторе.

Ключевые слова: макроэкономика, национальная экономика, валовой внутренний продукт, первичные энергетические ресурсы, теоретическая механика, математическая статистика.

JEL: C40

Danilo Yu. Cherevatskyi,

Phd in Technics, head of the department
Institute of Industrial Economics of the NAS of Ukraine
2 Maria Kapnist Street, Kyiv, 03057, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4038-6393>;

Roman G. Smirnov,

PhD, Professor of the Department of Mathematics and Statistics
Dalhousie University
6316 Coburg Road PO BOX 15000
Halifax, Nova Scotia Canada B3H 4R2
E-mail: roman.smirnov@dal.ca
<https://orcid.org/0000-0001-5971-8541>

ON THE CORRELATION BETWEEN GDP AND ENERGY CONSUMPTION IN MACROECONOMIC DEVELOPMENT

There is substantial literature devoted to the study of the dependence between energy production and economic development. At the same time, the long-standing discussion of the relationship between the gross domestic product and consumption of primary energy resources, numbering thousands of publications, eventually degenerated into a dispute about econometric methods but did not give final results, which caused the need to resort to other approaches.

This paper is an attempt to find a solution to this problem by the methods of theoretical mechanics and regression analysis of the relationship between GDP and energy production in macroeconomic development. Our case studies include the economies of Germany, France, Italy, Japan, Russia, Turkey, and Ukraine. In each case, we characterize the gross domestic product, recalculated at purchasing power parity in 2017 prices, and the consumption of primary energy resources (coal, oil, natural gas, hydro and nuclear energy, energy from renewable sources).

Within the framework of the study, it was assumed that the development of any national economy over time is its path in the economic space, and the consumption of primary energy resources is due to dynamic characteristics inherent in macroeconomics, in particular, "mass", which serves as a measure of the inertia of the country's economic complex, the presence of an informal sector, etc. The path, traversed by macroeconomics in the economic space, is the gross domestic product accumulated over time. The observation period is from 1990 to 2019, that is – 30 years.

The use of the theory of classical mechanics, in particular – kinematics and dynamics, is justified by the fact that macroeconomics in its development requires the expenditure of energy resources, and this likens it to a machine that moves in a certain space that models a given economy.

The article introduces methodological approaches to defining the conventional mass of macroeconomics, accelerating its movement, expenditure of energy resources for the functioning of the formal sector of the national economy, the efficiency of energy use in the formal sector.

Keywords: macroeconomics, national economy, gross domestic product, primary energy resources, theoretical mechanics, mathematical statistics.

JEL: C40

Формат цитування:

Череватський Д. Ю., Смірнов Р. Г. (2021). Про взаємозв'язок валового внутрішнього продукту та споживання енергоресурсів у макроекономічному розвитку. *Економіка промисловості*. № 2 (94). С. 59-70. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry2021.02.059>

Cherevatskyi, D. Yu., & Smirnov, R. G. (2021). On the correlation between GDP and energy consumption in macroeconomic development. *Econ. promisl.*, 2 (94), pp. 59-70. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry2021.02.059>

Надійшла до редакції 13.04.2021 р.