

DOI: 10.55643/fcaptp.5.52.2023.4174

Петро Макаренко

д.е.н., професор, завідувач кафедри економіки та міжнародних економічних відносин, Полтавський державний аграрний університет, Полтава, Україна;
ORCID: [0000-0002-8967-9122](https://orcid.org/0000-0002-8967-9122)

Олександр Белов

к.е.н., докторант, Полтавський державний аграрний університет, Полтава, Україна;
e-mail: rdnaxel@gmail.com
ORCID: [0000-0002-7910-8174](https://orcid.org/0000-0002-7910-8174)
(Corresponding author)

Юлія Макаренко

д.е.н., професор кафедри фінансів, банківської справи та страхування, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна;
ORCID: [0000-0002-9970-7377](https://orcid.org/0000-0002-9970-7377)

Людмила Дорогань-Писаренко

к.е.н., професор кафедри фінансів, банківської справи та страхування, Полтавський державний аграрний університет, Полтава, Україна;
ORCID: [0000-0002-4027-567X](https://orcid.org/0000-0002-4027-567X)

Олександр Безкровний

к.е.н., доцент кафедри фінансів, банківської справи та страхування, Полтавський державний аграрний університет, Полтава, Україна;
ORCID: [0000-0003-1939-8090](https://orcid.org/0000-0003-1939-8090)

Received: 11/09/2023

Accepted: 24/10/2023

Published: 31/10/2023

© Copyright
2023 by the author(s)



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

ЗАЛЕЖНІСТЬ ВВП КРАЇНИ ВІД ВАРТОСТІ МАТЕРІАЛЬНО-РЕЧОВОГО Й ЛЮДСЬКОГО КАПІТАЛУ ТА ФІНАНСУВАННЯ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ СФЕРИ

АНОТАЦІЯ

У сучасних економіках країн ринкового розвитку спостерігається високий темп змін і на макро-, і мікрорівнях. Це здійснюється через ряд об'єктивних причин. Серед них найбільш вплив на зростання валової внутрішньої продукції здійснює ряд вагомих зовнішніх і внутрішніх факторів. Тож метою дослідження є питання вибору й формування моделей та методів впливу на валовий внутрішній продукт країни матеріально-речового, людського капіталу та фінансування науково-технічної сфери.

Визначено, що в основу вибору моделі впливу на валовий внутрішній продукт ряду факторів можна покласти виробничу функцію Кобба-Дугласа, яка визначає залежність створеної вартості суспільного продукту від загальних витрат живої праці й обсягу використаних основних активів.

Сформована модель функції, яка, крім фактора матеріально-речового капіталу, враховує величину людського капіталу у вартісному виразі та доповнюється фактором фінансування науково-технічної сфери. Вплив фінансування науково-технічної сфери на результативний показник залежить від часового лага вкладення інвестицій у науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи, оскільки фінансування науково-технічного рівня не одразу запускає продуктивність знань.

Визначені параметри трендів результативного показника валового внутрішнього продукту та трьох вищезазначених факторів за тригонометричною функцією показують циклічність їх зростання й спадання з майже однаковою синусоїдою, періодичність якої перебуває в межах 15-19 років.

Побудована ізоквантна площина ретроспективного аналізу економіки України показала, що за умови збільшення темпів зростання матеріально-речового забезпечення на 5%, людського капіталу на 2% та зростання науково-технічної сфери в 1,72 раза можна було б досягти темпів зростання валового внутрішнього продукту до 5%.

Незначний рівень фінансування науково-технічної сфери та низькі наукомісткість і технічний рівень економіки України у 2000-2020 рр. практично не впливали на зростання валового внутрішнього продукту. З іншого боку, розрахунок для економіки Сінгапуру, що входить у першу п'ятірку держав світу за обсягами високотехнологічного експорту, показує кореляційний зв'язок і суттєвий вплив фінансування науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт на темпи зростання національної економіки.

Ключові слова: фінансування науки, науково-технічна сфера, капітал, економічний розвиток, моделювання економічного зростання

JEL Класифікація: G32, O12, O33, O40, O57

ВСТУП

В умовах високої турбулентності сучасного глобального розвитку кожна національна економіка прагне досягати сталості, протистояти зовнішнім і внутрішнім ризикам нестабільності та підвищувати в економічному розвитку країни такий інтегрований показник як валовий внутрішній продукт (ВВП). Як відомо, ВВП є сумою валових доданих вартостей за видами економічної діяльності та податків на продукти за виключенням продуктових субсидій, він містить у собі таку складову, як первинні доходи, створені суб'єктами виробництва. Доходи тісно пов'язані з поняттям «капітал». У різних тлумаченнях змісту капіталу в країнах Заходу є спільна риса – капітал є джерелом доходу для його власника. А. Маршалл у зв'язку з цим писав: «Капітал охоплює все, що призначене для торговельно-промислових цілей, будь то машини, сировина або готові вироби, театри й готелі, сімейні ферми й будинки, але не меблі чи одяг, які перебувають у власності тих, хто їх використовує. Оскільки повсюди прийнято вважати, що перші приносять, а другі не приносять дохід, про що свідчить і практика інспекторів із податків на дохід» (Marshall, 1890). В іншому місці він зазначив: «Майже кожне відоме історії вживання терміну «капітал» розглядається як частина майна людини, із якого вона сподівається мати прибуток». Отже, капітал є певною цінністю, благом, ресурсом, який здатний приносити його власникові впродовж тривалого часу дохід (Melnyk et al., 2003).

Джерелом доходу в складі ВВП може бути не тільки матеріально-речовий капітал, а й людський капітал. Під ним розуміють витрати на розвиток людини («інвестиції в людину»), що сприяють збільшенню фізичних та розумових здібностей людини, а відповідно її доходів (загальноосвітня й професійна підготовка, піклування про власне здоров'я та інше). Величина людського капіталу оцінюється потенційним доходом, який він здатний принести. І тут виникає запитання: як оцінити вартість людського капіталу на ринку робочої сили? Джерело вартості слід шукати в товарі «робоча сила». На ринку робочої сили її оцінюють за заробітною платою, яка може відхилятися залежно від попиту й пропозиції на неї.

Наступним, на наш погляд, важливим чинником, що впливає на ВВП країни, є фінансування науково-технічної сфери (ФНТС). Особливостями формування ВВП ринково розвинених країн сьогодення є те, що він створюється в умовах технологічної революції, яка характеризується суттєвим зниженням вартості й підвищенням якості продукції, швидким поліпшенням характеристик систем машин і технологічних процесів (наприклад, оновлення мікроелектронних компонентів у Японії відбувається щو 2-3 місяці); соціальним і політичним сприйняттям нових технологічних систем; великим впливом нововведень на економічну систему. Крім того, на заміну технологічної революції йде інформаційна. Усі високорозвинені країни вступили в нову економічну еру, головним господарським чинником якої стає інформація. Її матеріально-технічну базу формують принципово нові засоби передавання інформації (космічні, волоконно-оптичні засоби зв'язку) Інформація створює принципово нові продукти творчої праці. Тобто наука в сучасному інформаційному просторі випереджає розвиток техніки та виробництва, стає потужним генератором ідей. У системі «наука – техніка – виробництво» науці відводиться роль пріоритетного фактора. Таким чином, підвищення вартості науково-технічної сфери може підтримувати економічну стійкість і сталий розвиток та прокласти шлях до довгострокового економічного зростання.

У контексті функціональних зав'язків, які справляють вплив на ВВП країни, важливо знайти кореляційну модель, що дозволяє визначити зміни результативного показника під дією вищезазначених чинників та враховувати вплив їх сукупності, що мають імовірнісний, невизначений характер.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Напрями стабільного економічного розвитку тієї чи іншої країни в ринковому середовищі та підвищення її ВВП досліджували науковці: Сполучених Штатів Америки (Antràs, 2004), Японії (Sato & Morita, 2009), Південної Кореї (Hong, 2017 та Sawng et al., 2021), Китаю (Zhu et al., 2023 та Jin et al., 2023), Тайваню (Lin & Park, 2023), Бангладеш (Husain & Islam, 2016), Німеччини (Okhten & Dasiv, 2021 та Andreini et al., 2023), Румунії (Pavelescu, 2014), України (Gavriluk, 2012; Krekoten et al., 2018) та інших.

Зокрема, багато науковців із різних країн вважають ролі науки й науково-технічного прогресу головними в економічному зростанні та формуванні ВВП. Це стосується рівня фінансування науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР), впливу державної політики на бізнес-НДДКР (Minniti & Venturini, 2017); державної підтримки високотехнологічних галузей (Ponomarenko et al., 2018; Shmygol et al., 2021); міжнародного фінансування НДДКР (Huang et al., 2017); невизначеності в інвестиціях та дослідженнях і розробках (Vo & Le, 2017).

Стверджують, що дотримання переваг стратегії випередження, впливу та зниження інфляційних процесів суб'єктами економіки в конкурентному середовищі залежить від інтенсивності фінансування НДДКР (Chu et al.,

2015). Разом із тим зазначають, що ефективність інноваційної політики, яка спирається виключно на підвищення інтенсивності науково-дослідних робіт та рівень продуктивності праці, не може здійснюватися без інвестицій у людину й формування інтелектуального капіталу (Pessoa, 2010) та пов'язується з питанням технологічної конкурентоспроможності країн (Matyushenko et al., 2022) і рівнем розвитку їхнього високотехнологічного виробництва (Belov et al., 2023).

Дослідники виходили з того, що ВВП як результативна ознака економічного розвитку має стохастичний зв'язок із рядом факторів і залежить від контрольованих та неконтрольованих складових, які справляють найсуттєвіший вплив на його формування. Нелінійності зв'язку розглядали між фінансуванням НДДКР і продуктивністю (Herzer, 2022), а для оцінки впливу на загальну динаміку економіки країни поряд з іншими факторами використовували показники технічного прогресу та цифровізації у виробничій функції Кобба-Дугласа (Daw, 2014), (Zhang & Gong, 2018), (Jin et al., 2023) та (Okhten & Dasiv, 2021).

У цілому побудова й реалізації кореляційно-регресійної залежності впливу на ВВП країни факторів матеріально-речового й трудового капіталу та фінансування науково-технічної сфери вимагають визначити ці показники з урахуванням трендів динаміки та часового лага віддачі фінансування НДДКР на економіку країни.

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ

Метою цієї роботи є визначення рівня впливу вартості матеріально-речового й людського капіталу та фінансування науково-технічної сфери на валовий внутрішній продукт економіки при різних темпах її зростання.

Для досягнення цієї мети виконані такі завдання:

- запропонувати модель виробничої функції зв'язку ВВП з факторами фінансового забезпечення матеріально-речового й людського капіталу та науково-технічної сфери;
- установити часовий лаг впливу фінансування науково-технічної сфери на величину ВВП;
- побудувати ізокванти факторів впливу на ВВП вартості матеріально-речового й людського капіталу та фінансового забезпечення науково-технічної сфери.

Гіпотеза

Робоча гіпотеза цього дослідження базується на існуванні об'єктивних закономірностей впливу на ВВП не тільки матеріально-речового й людського капіталу, а й рівня фінансування науково-технічної сфери економіки країни. Припускаємо, що в майбутньому при заданому зростанні ВВП необхідно підтримувати відповідний рівень фінансового забезпечення матеріально-речового, людського капіталів та науково-технічної сфери розвитку національної економіки.

МЕТОДИ

Для проведення детермінованого факторного аналізу впливу на ВВП матеріально-речового й людського капіталу та науково-технічної сфери за основу була взята виробнича функція Кобба-Дугласа (Cobb & Douglas, 1928), яка визначає залежність створеної вартості суспільного продукту від загальних витрат живої праці й обсягу використаних основних активів:

$$Y = A \cdot K^{\alpha} \cdot L^{\beta}, \quad (1)$$

де: A – коефіцієнт, що враховує вплив факторів, які не входять у це рівняння, або факторів, що складають зовнішній технологічний рівень економіки (Solow, 1957); K – обсяг використовуваного матеріально-речового капіталу (поточна вартість основних активів, що, згідно з термінологією Світового банку, – Gross fixed capital conversion); L – загальні витрати живої праці (у межах країни цей показник визначався кількістю економічно активного населення на ринку праці – Labor force, total, згідно з термінологією Світового банку); α й β – коефіцієнти, що враховують вплив кожного з факторів (K й L) на виробництво суспільного продукту.

Конкретні значення α , β й A визначаються на основі статистичних даних методами математичної статистики. Уважається, що α й β повинні бути менші за одиницю, але їх сума може набувати різних значень відносно одиниці, що, відповідно, характеризує різний тип ефекту від спільної взаємодії цих факторів.

Функцію Кобба-Дугласа пропонується модифікувати та запропонувати модель, у якій загальні витрати живої праці показати як вартість витраченого людського капіталу та додати фактор – обсяг фінансування науково-технічної сфери (Belov et al., 2018).

Модель впливу на ВВП матеріально-речового й людського капіталу та фінансування науково-технічної сфери матиме вигляд:

$$Y = A \cdot K^{\alpha} \cdot L1^{\beta} \cdot S^{\gamma}, \quad (2)$$

де: $L1$ – вартість людського капіталу країни в млн дол. США; S – кількісний обсяг фінансування науково-технічної сфери (ФНТС) країни, визначений за допомогою показника «Витрати на НДДКР у грошових одиницях» (валові внутрішні витрати на дослідження та розвиток); γ – коефіцієнт, що враховує вплив ФНТС країни на виробництво суспільного продукту.

Як результативний показник Y було обрано:

- ВВП в постійних цінах;
- ланцюговий темп зростання ВВП, що відображає короткостроковий розвиток;
- базисний темп зростання ВВП, що відображає довгостроковий розвиток.

Фактори виробничої функції Кобба-Дугласа (1) мають різні одиниці виміру (Cobb & Douglas, 1928; Chyzhevska et al., 2022; Zhu et al., 2023). У запропонованій моделі всі три фактори (K , L , S) передбачається розраховувати у вартісному виразі. Пропонується фактор L (людський капітал) визначати через добуток кількості робочої сили в країні, скоригованої на рівень безробіття, та середньої заробітної плати зайнятого населення. Тоді:

$$L1_i = ELF_i \cdot AS(\$)_i \cdot 12, \quad (5)$$

де: $L1_i$ – вартість зайнятого трудового ресурсу країни за i -й рік (*Cost of Employed Labor force per year*) у млн дол. США; ELF_i – кількість зайнятого трудового ресурсу країни за i -й рік у млн осіб (*Employed Labor force*). Розраховується за формулою:

$$ELF_i = \frac{L0_i \cdot (100 - U_i)}{100} \%, \quad (6)$$

де: $L0_i$ – кількість робочої сили в країні (*labor force, total*), всього в млн осіб у i -тому році; U_i – рівень безробіття в країні (*Unemployment, total*) відсоток від обсягу робочої сили; $AS(\$)_i$ – середня заробітна плата зайнятих у країні (*Average salary*), перерахована за курсом долара США в i -тому році. Розрахунок здійснюється за формулою:

$$AS(\$)_i = AS(LCU)_i \cdot OER_i, \quad (7)$$

де: $AS(LCU)_i$ – середня заробітна плата в місцевій валюті (*Average salary*) в i -тому році; OER_i – офіційний обмінний курс до долара США в i -тому році; 12 – кількість місяців на рік.

Вплив фактора S (ФНТС) на результативний показник ВВП країни залежить від часового лага здійснення інвестицій у НДДКР. Логічно допустити, що вплив ФНТС має бути не рік у рік, а із затримкою в кілька років, оскільки отримане фінансування запускає процес «виробництва нових знань», які мають пройти певну апробацію, а потім уже бути запроваджені в інших галузях економіки країни через інновації, що має давати нові види технологій, товарів, а також підвищення продуктивності праці, зниження собівартості, підвищення ефективності. Щоб визначити рік максимального ефекту вкладених у НДДКР коштів, використовують метод кореляційної матриці.

Для знаходження лага часу використані:

- a) дві країни: Україна як головний об'єкт дослідження та Сінгапур як контрольний об'єкт. Щоб порівняти розвиток України з однією з найуспішніших країн світу в науково-технічному напрямі, оскільки Сінгапур належить до першої десятки країн за обсягами експорту високотехнологічної продукції в світі;
- b) залежні показники, на яких досліджували вплив динаміки ФНТС, складаються з динаміки ВВП:
 - у поточних дол. США (GDP (current billion USD));
 - за паритетом купівельної спроможності в дол. 2017 року (GDP, PPP (constant 2017 billion USD));
 - у постійних дол. США 2010 року (GDP (constant 2010 billion USD));

- с) незалежні показники – це фінансування науково-технічної сфери в постійних дол. США 2010 (GERD – Gross domestic expenditures on research and development, constant 2010 billion USD), які зсунуті на 1, 2, 3 й більше років відносно значення ВВП. Тобто зсув на 1 рік означає, що значенню ВВП у 2000 році буде відповідати значення ФНТС 1999 року, значенню ВВП 2001 року – ФНТС – 2000 й т.д. Зсув на 2 роки означає, що показникові ВВП 2000 року відповідає значення ФНТС 1998 року, ВВП 2001 – ФНТС 1999 року й т.д.;
- д) точки відліку. Їх обрано дві: перша – це 2000 рік як рік початку періоду, який обрано для дослідження, друга – це 2007 рік. Другу точку обрано з таких міркувань: а) дані про ФНТС доступні для України тільки з 1995 року, а для Сінгапуру – з 1997 року; б) у зв'язку з цим при першій точці дослідити зазначений вплив можна лише зі зміщенням до 3-4 років; в) щоб збільшити можливість зсуву до 10 років, було обрано другу точку відліку – 2007 рік.

Аналітичне забезпечення моделі залежності ВВП країни від вартості матеріально-речового й людського капіталів та фінансування науково-технічної сфери країни охоплює досліджуваний період у 21 рік із 2000 по 2020 р. Цей період обрано з міркувань, детальніше описаних у дискусії.

Аналітичне забезпечення моделі стохастичного зв'язку ВВП країни з визначеними факторами здійснювали за вихідними аналітичними даними Світового банку (Табл. 1).

Таблиця 1. Аналітичне забезпечення моделі (Україна). (Джерело: на основі даних World Development Indicators / DataBank, 2023)

Рік	ВВП, дол. США (Y)	Матеріально-речовий капітал, дол. США (K)	Економічно активне населення, осіб (L)	ФНТС, дол. США (S)
2000	32 375 081 951	6 392 372 876	10 436 885	597 956 585
2001	39 309 580 983	7 771 634 929	14 279 217	448 113 725
2002	43 956 163 612	8 442 306 338	17 468 899	306 231 174
2003	52 010 352 502	10 704 357 058	21 606 540	300 777 466
2004	67 220 154 164	15 073 698 064	27 622 527	388 944 727
2005	89 238 865 119	19 516 544 192	39 474 431	423 161 590
2006	111 884 752 475	27 288 118 812	51 650 210	557 374 165
2007	148 733 861 386	40 335 841 584	67 598 562	701 724 660
2008	188 110 375 779	48 732 714 973	86 264 342	888 087 348
2009	121 552 148 244	22 265 261 060	59 634 652	1 022 660 220
2010	141 209 163 013	25 440 546 048	69 129 326	1 217 669 253
2011	169 333 838 744	31 074 998 112	80 718 367	1 523 524 743
2012	182 591 746 211	35 429 227 974	92 374 548	1 003 972 100
2013	190 498 811 460	32 986 488 177	99 624 868	1 133 613 020
2014	133 503 867 182	18 872 165 184	68 971 413	1 203 794 274
2015	91 030 968 761	12 333 519 231	45 282 215	1 321 288 673
2016	93 355 868 978	14 429 422 680	47 377 251	1 396 356 251
2017	112 090 503 817	17 683 722 303	61 928 362	868 229 077
2018	130 891 086 690	23 098 699 549	75 793 367	559 631 082
2019	153 883 045 525	27 107 797 426	94 689 893	451 272 938
2020	156 617 719 786	20 933 487 511	96 193 804	503 050 988

Одиниці вимірювання початкових даних, представлених у Таблиці 1, і їхній змістовий склад такі:

- Y – ВВП у доларах США – поданий як сума валової доданої вартості всіх виробників-резидентів в економіці плюс будь-які податки на продукцію та мінус будь-які субсидії, не включені у вартість продукції. Він розраховується без вирахування амортизації виготовлених активів або виснаження та деградації природних ресурсів;
- K – матеріально-речовий капітал, показником якого виступає «валове нагромадження основного капіталу» (Gross fixed capital formation) – це сума валового нагромадження основного капіталу в доларах США, яка включає поліпшення землі (огорожі, канали, стоки тощо); придбання заводів, машин і обладнання; будівництво доріг, залізниць тощо, включаючи школи, офіси, лікарні, приватні житлові будинки, комерційні та промислові будівлі;

- S – фінансування науково-технічної сфери – це сума витрат на дослідження та розробки, вона включає: валові вітчизняні витрати на R & D в доларах США (GERD – Gross expenditures on research and development). До нього відносять і капітальні, і поточні витрати в чотирьох основних секторах: бізнес-підприємство, уряд, вища освіта та приватні некомерційні організації. Дослідження та розробки охоплюють фундаментальні дослідження, прикладні дослідження та експериментальні розробки;
- L – людський капітал, показником якого є «робоча сила» (Labor force) – це економічно активне населення віком 15-70 років, яке пропонує робочу силу для виробництва товарів і послуг протягом визначеного періоду. Сюди входять люди, які зараз працюють, і люди, які є безробітними, але шукають роботу, а також ті, хто вперше шукає роботу. Однак не всі, хто працює, включені: неоплачувані працівники, сімейні працівники та студенти часто опускаються.

Незважаючи на те, що дані представлені у дол. США, ця валюта також зазнала певних інфляційних впливів за період, що досліджується (The United States of America Annual and Monthly Inflation Tables, 2021) [19]. Тому для адекватного порівняння вихідні дані автори перерахували в дол. США в цінах 2000 року.

РЕЗУЛЬТАТИ

Оцінку вартості людського капіталу (фактора L1) представлено в Таблиці 2. Згідно з таблицями 1 і 2, з одного боку, зменшується й кількість економічно активного населення, і кількість зайнятої робочої сили країни протягом перших років XXI сторіччя, з іншого – у країні поступово підвищувався рівень оплати праці по відношенню до того низького рівня, на якому вона опинилася в результаті реформ у 1990-ті роки. Отже, спостерігається зростання вартості робочої сили при зменшенні кількості зайнятих.

Таблиця 2. Оцінка вартості людського капіталу України. Примітка: LCU, Local Currency Unit, – місцева валюта. (Джерело: власні розрахунки на основі даних (State Statistics Service of Ukraine, 2023; World Development Indicators | DataBank, 2023))

Рік	Безробіття, загальне (% від загальної кількості робочої сили) (національна оцінка) U	Офіційний обмінний курс (LCU за долар США, середній період) OER	Середня зарплата в гривнях AS (LCU)	Середня зарплата, поточні дол. США AS (USD)	Зайнята робоча сила = $L \cdot (100 - \text{безробіття}) / 100\%$, млн осіб ELF	Людський капітал = зайнята робоча сила * Середня зарбітна плата * 12 місяців, поточний млн дол. США L1
2000	11,7	5,4	231,0	42,5	20,5	10436,9
2001	11,1	5,4	311,6	58,0	20,5	14279,2
2002	10,1	5,3	376,0	70,6	20,6	17468,9
2003	9,1	5,3	462,6	86,7	20,8	21606,5
2004	8,6	5,3	590,5	111,0	20,7	27622,5
2005	7,2	5,1	806,1	157,3	20,9	39474,4
2006	6,8	5,1	1042,9	206,5	20,8	51650,2
2007	6,4	5,1	1352,8	267,9	21,0	67598,6
2008	6,4	5,3	1808,9	343,4	20,9	86264,3
2009	8,8	7,8	1909,3	245,1	20,3	59634,7
2010	8,1	7,9	2246,8	283,1	20,3	69129,3
2011	7,9	8,0	2639,2	331,2	20,3	80718,4
2012	7,5	8,0	3031,9	379,4	20,3	92374,5
2013	7,2	8,0	3273,8	409,6	20,3	99624,9
2014	9,3	11,9	3474,8	292,3	19,7	68971,4
2015	9,1	21,8	4207,3	192,6	19,6	45282,2
2016	9,4	25,6	5187,3	203,0	19,4	47377,3
2017	9,5	26,6	7105,4	267,2	19,3	61928,4
2018	8,8	27,2	8867,3	326,0	19,4	75793,4
2019	8,2	25,8	10503,8	406,4	19,4	94689,9
2020	9,5	27,0	11596,6	430,2	18,6	96193,8

Результати дослідження динаміки економічно активного населення, зайнятої робочої сили й людського капіталу та їх тенденції графічно показано на Рис. 1.

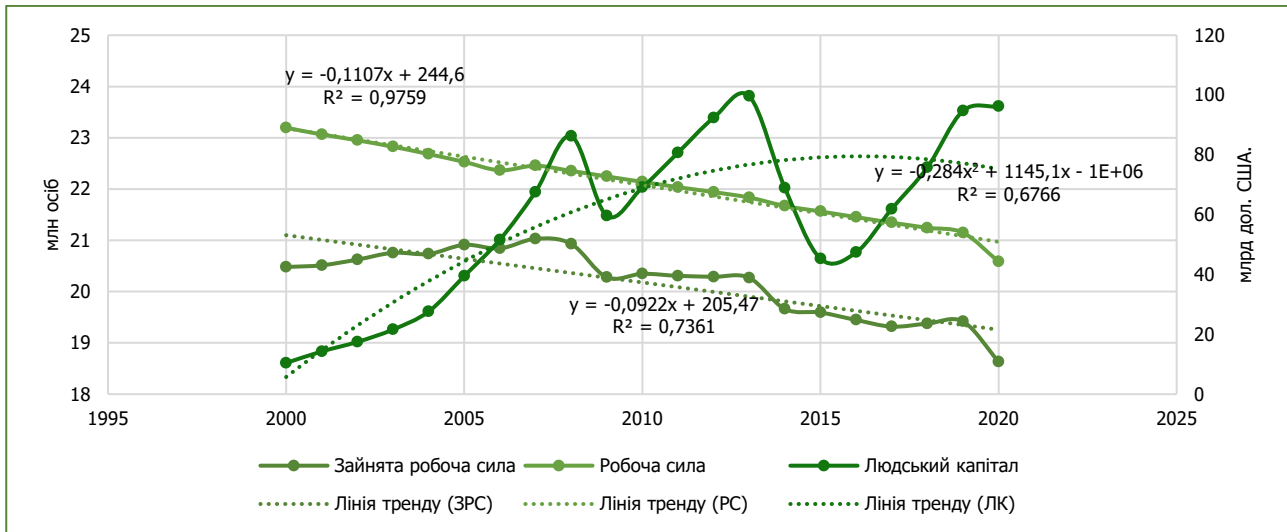


Рис. 1. Аналіз динаміки складових фактора «людський капітал».

Результати розрахунків визначення лага часу найбільшого впливу обсягів фінансування науково-технічної сфери на економіку країни представлено в Таблиці 3.

Для України відносно 2000 року (1-ї точки відліку), спостерігається найбільший рівень впливу ФНТС на ВВП рік у рік, і що більший зсув відбувається в минуле, то менший цей вплив. За різними показниками при зсуві на 4 роки (лаг 4) коефіцієнт кореляції зменшується з 0,907-0,957 до 0,374-0,644, що означає: впливу майже немає. У контрольному об'єкті – Сінгапурі – спостерігається значно менше зменшення коефіцієнту кореляції: з 0,967-0,971 до 0,939-0,974, тобто обсяги ФНТС, які були здійснені 4 роки тому, продовжують значно впливати на поточну динаміку ВВП.

Таблиця 3. Кореляційна матриця дослідження впливу фактора ФНТС на результативний показник ВВП.

	Україна			Сінгапур		
	Визначення лага часу відносно 2000 року					
	ВВП у поточних дол. США	ВВП за ППС	ВВП у постійних дол. США	ВВП у поточних дол. США	ВВП за ППС	ВВП у постійних дол. США
ФНТС	0,907949	0,95702	0,9502069	0,967084	0,9714	0,9688509
ФНТС зсув на 1 рік	0,854831	0,8111	0,8422574	0,947898	0,95	0,94379415
ФНТС зсув на 2 роки	0,741016	0,60924	0,6944524	0,952512	0,9537	0,94945282
ФНТС зсув на 3 роки	0,67904	0,45648	0,6157117	0,962537	0,9559	0,95941123
ФНТС зсув на 4 роки	0,644099	0,37398	0,5660404	0,947017	0,9415	0,93957351
	Визначення лага часу відносно 2007 року					
	ВВП у поточних дол. США	ВВП за ППС	ВВП у постійних дол. США	ВВП у поточних дол. США	ВВП за ППС	ВВП у постійних дол. США
ФНТС	0,400	0,865	0,754	0,903	0,896	0,855
ФНТС зсув на 1 рік	0,211	0,685	0,540	0,882	0,887	0,843
ФНТС зсув на 2 роки	-0,064	0,421	0,249	0,881	0,911	0,879
ФНТС зсув на 3 роки	-0,237	0,290	0,051	0,892	0,931	0,935
ФНТС зсув на 4 роки	-0,325	0,189	-0,087	0,898	0,938	0,932
ФНТС зсув на 5 років	-0,265	0,152	-0,116	0,902	0,947	0,913
ФНТС зсув на 6 років	-0,299	0,023	-0,261	0,925	0,962	0,911
ФНТС зсув на 7 років	-0,350	-0,248	-0,450	0,926	0,960	0,886
ФНТС зсув на 8 років	-0,311	-0,493	-0,565	0,894	0,941	0,831
ФНТС зсув на 9 років	-0,309	-0,716	-0,632	0,864	0,918	0,791
ФНТС зсув на 10 років	-0,268	-0,619	-0,561	0,898	0,919	0,821
ФНТС зсув на 11 років	-0,145	-0,549	-0,440	0,897	0,900	0,806

Відносно 2ї точки відліку – 2007 року – в Україні ситуація зазнала змін: по-перше, зменшився коефіцієнт кореляції між ФНТС та ВВП відносно 2000 року до 0,399–0,865. Тобто, якщо у 2000 вплив ФНТС спостерігався за всіма визначеними показниками ВВП, то у 2007 році – лише за ВВП за ППС та ВВП у постійних цінах; по-друге, тенденція до зменшення коефіцієнта кореляції при збільшенні лага між ФНТС та ВВП набуває від’ємних значень із мінімумом у 9 років. Таку ситуацію можна пояснити короткостроковим впливом ФНТС на динаміку ВВП: кошти, які йдуть на науку, одразу через забезпечення платоспроможного попиту забезпечують вплив саме рік у рік. Не спостерігається накопиченої віддачі через широке впровадження результатів науково-технічної сфери у виробництво. Навпаки, у Сінгапурі спостерігається такий накопичений вплив протягом усіх 11 років, із максимумом у 6–7 років. Лаг часу максимального впливу ФНТС для економіки Сінгапуру складає в середньому 6 років.

Таблиця 4. Результати визначення рівнянь ліній тренду досліджуваних факторів (показників).

Показник	Рівняння лінії тренду виду $y=a+b*\cos(c*t+d)$	Коефіцієнт кореляції R
ВВП, $y=Y(t)$	$y=37047,813+78961,237*\cos(0,14228843*t-1,8249182)$	0,77
МК, $y=K(t)$	$y=18743,783+9559,211*\cos(0,40710621*t-3,9638456)$	0,80
Вартість ЛК, $y=L1(t)$	$y=-638221,95+717791,89*\cos(0,028409163*t-0,48504611)$	0,82
ФНТС, $y=S(t)$	$y=687,11711+355,69324*\cos(0,35684334*t-4,6648053)$	0,92

Аналіз динаміки результативного і факторних трендів представлено в Таблиці 4 та на Рис. 2. Розрахунки здійснено за допомогою табличного процесора Excel 2019 CurveExpert 1.3.

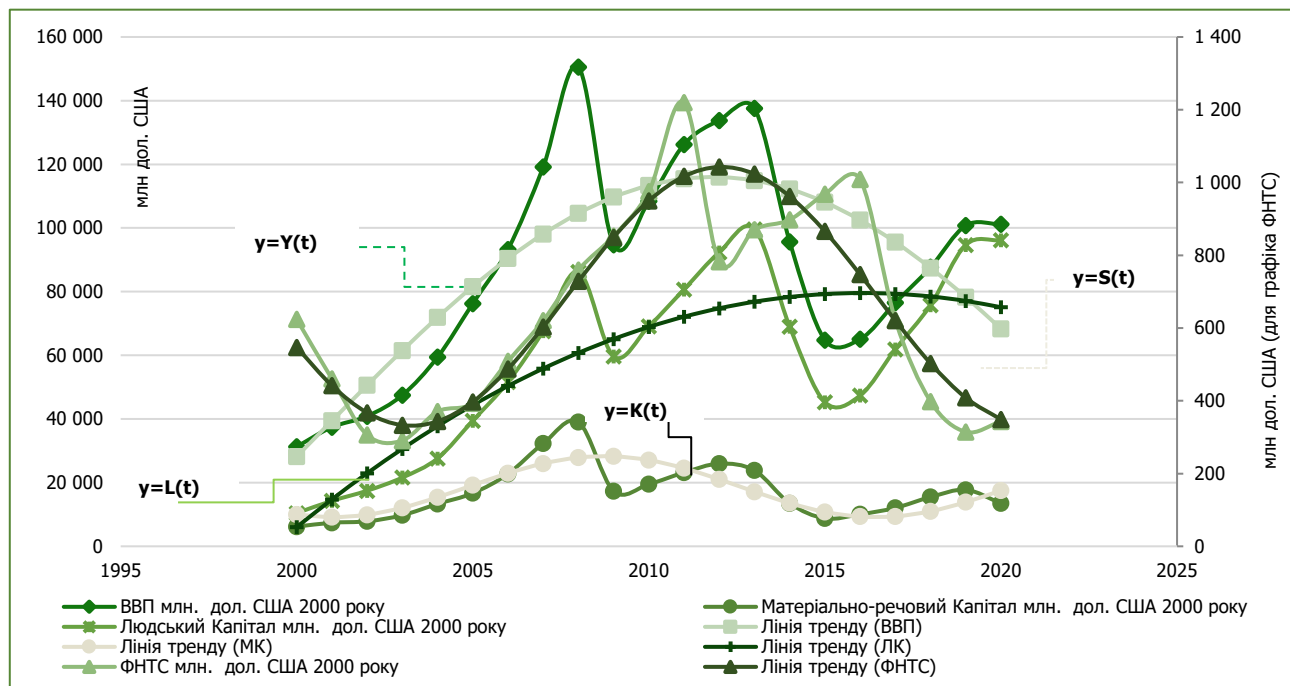


Рис. 2. Графічна інтерпретація фактичних даних результативного й факторних показників і їх трендів.

Сформовані рівняння трендів результативного показника (ВВП) та факторів матеріально-речового капіталу (ФК), людського капіталу (вартості ЛК) й фінансування науково-технічної сфери (ФНТС) за тригонометричною функцією показали що:

- абсолютні значення досліджуваних показників мають такі співвідношення: $Y > L > K > S$ – і характеризуються циклічними трендами;
- отримано кореляційно-регресійні рівняння динаміки для кожного з елементів нашої моделі (Y, L, K, S) виду:

$$y = a + b \cdot \cos(c \cdot t + d), \quad (8)$$

де: a, b – коефіцієнти рівняння; c – період циклу, одиниця вимірювання – радіан; d – фаза циклу, одиниця вимірювання – радіан;

- показано, що періоди циклів у показниках (K, S) приблизно однакові й перебувають у діапазоні від 0,356 до 0,407 радіанів, що в перерахунку являє собою період у 15-17 років, а в Y він удвічі більший – 44 роки; динаміка фактора L має більш складний характер, краще описується рівнянням $y=69,608728-9,915*t+0,642*t^2+45,081*\sin(0,3236*t-1,768)$ з рівнем кореляції у 0,92, і відповідно має період циклу 19 років;
- визначено, що фази коливань перебувають у межах від -4,665 до -0,485 радіанів, що в перерахунку на роки дає значення від 1,3 до 3,5 років. Це означає, що фактор L є проциклічним до показників Y, K, S. Фактор K є проциклічним до показника S та контрциклічним до L і Y. Фактор S буде контрциклічним до Y, L, K.

Ряди динаміки абсолютних величин показують фактичний розвиток зазначених у моделі факторів (вартості матеріально-речового й людського капіталу, фінансового забезпечення науково-технічної сфери). Вони є базовими для формування рядів відносних величин (наприклад, темпів зростання). Базові темпи зростання відображають інтенсивність розвитку залежно від часу, а ланцюгові — безперервну лінію розвитку й спадання.

Результати розрахунків ланцюгових і базових темпів зростання (Таблиця 5) підтвердили аксіому, що перемноження всіх ланцюгових темпів дає в результаті базисний, а співвідношення базисних індексів дорівнює прямому ланцюговому. Середньорічні темпи зростання показників мають співвідношення $TrL > TrY > TrK > TrS$.

Базові темпи зростання показують аналогічне з попереднім співвідношення $Tr^5L > Tr^5Y > Tr^5K > Tr^5S$, тобто зростання фактора вартості людського капіталу за 21 рік відбулося в 9,2 раза, ВВП – у 2,6 раза, матеріально-речового капіталу – у 2,4, а ФНТС – у 0,9 раза. Слід відзначити, що, згідно із Законом України «Про наукову і науково-технічну діяльність» (On Scientific and Scientific-Technical Activities, 1991; On Scientific and Scientific-Technical Activities, 2015), забезпечення ФНТС має бути на рівні 1,7% від ВВП. Тому й базові темпи зростання мають бути синхронізовані з ВВП (бути однаковими). Фактично Tr^5S менший за Tr^5Y у 2,6 раза.

Таблиця 5. Порівняння ланцюгових та базових темпів зростання показників за 2000-2020 роки.

Рік	ВВП		Матеріально-речовий капітал		Людський капітал		ФНТС	
	Ланцюговий темп зростання	Базовий темп зростання	Ланцюговий темп зростання	Базовий темп зростання	Ланцюговий темп зростання	Базовий темп зростання	Ланцюговий темп зростання	Базовий темп зростання
2000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2001	1,196	1,196	1,197	1,197	1,368	1,368	0,738	0,738
2002	1,092	1,306	1,061	1,270	1,223	1,674	0,666	0,491
2003	1,161	1,517	1,245	1,581	1,237	2,070	0,950	0,466
2004	1,252	1,898	1,364	2,156	1,278	2,647	1,273	0,594
2005	1,284	2,437	1,252	2,699	1,429	3,782	1,063	0,631
2006	1,223	2,980	1,364	3,680	1,308	4,949	1,293	0,816
2007	1,277	3,806	1,420	5,227	1,309	6,477	1,219	0,995
2008	1,264	4,809	1,207	6,309	1,276	8,265	1,224	1,217
2009	0,629	3,025	0,445	2,806	0,691	5,714	1,123	1,367
2010	1,145	3,462	1,126	3,159	1,159	6,624	1,144	1,564
2011	1,165	4,032	1,186	3,748	1,168	7,734	1,250	1,955
2012	1,060	4,274	1,121	4,200	1,144	8,851	0,642	1,254
2013	1,028	4,393	0,917	3,853	1,078	9,545	1,112	1,395
2014	0,696	3,055	0,568	2,188	0,692	6,608	1,031	1,439
2015	0,677	2,068	0,649	1,419	0,657	4,339	1,079	1,552
2016	1,005	2,078	1,146	1,627	1,046	4,539	1,041	1,616
2017	1,176	2,444	1,200	1,952	1,307	5,934	0,617	0,997
2018	1,146	2,800	1,282	2,503	1,224	7,262	0,640	0,638
2019	1,149	3,218	1,147	2,871	1,249	9,073	0,790	0,504
2020	1,004	3,231	0,762	2,187	1,016	9,217	1,092	0,550
Середньорічний темп	1,057	2,581	1,038	2,444	1,112	4,726	0,972	0,943
Максимум	1,284	4,809	1,420	6,309	1,429	9,545	1,293	1,955
Мінімум	0,629	1,000	0,445	1,000	0,657	1,000	0,617	0,466

Апробація моделі впливу на ВВП факторів (матеріально-речового й людського капіталу та фінансування науково-технічної сфери) показала, що максимальний вплив фінансування НДДКР на зростання економіки України здійснюється за нульовим лагом часу, тобто рік у рік. Контрольний об'єкт Сінгапур формує ВВП з лагом використання науково-дослідних робіт три роки.

Розрахунок коефіцієнтів моделі проводився за допомогою вбудованих функцій табличного процесора Excel 2019, шляхом здійснення логарифмування та знаходження параметрів множинної регресійної моделі. Фактор S було взято з лагом 3 роки для обох країн. Результати моделювання для економік України й Сінгапуру показано в Таблиці 6.

Таблиця 6. Результати моделювання для економіки України. (Джерело: власні розрахунки на основі даних (Labour Market Statistics and Publications, 2023; Statistical Table: Income, 2023; World Development Indicators DataBank, 2023)						
	Україна			Сінгапур		
	Абсолютні значення	Темпи зростання	Темпи зростання базисні	Абсолютні значення	Темпи зростання	Темпи зростання базисні
Статистичні характеристики моделі						
Множинний R	0,996	0,993	0,993	0,993	0,799	0,799
R-квадрат	0,993	0,986	0,986	0,985	0,638	0,638
Стандартна похибка	0,042	0,027	0,027	0,051	0,051	0,051
Спостереження	21	21	21	16,000	16,000	16,000
Критерій Фішера розрах.	759,933	390,937	759,933	265,0	7,1	265,0
Критерій Фішера табл.	5,953					
Достовірність моделі	Достовірна	Достовірна	Достовірна	Достовірна	Достовірна	Достовірна
Розраховані показники моделі						
A	16	0,98	1,01	35	1,03	0,97
α	0,41	0,18	0,41	0,14	0,44	0,14
β	0,38	0,70	0,38	0,32	-0,12	0,32
γ	0,08	0,09	0,08	0,42	0,28	0,42
Показник якості зростання α+β+γ	0,87	0,97	0,87	0,88	0,59	0,88
Висновок про характер розвитку	від'ємна віддача	від'ємна віддача	від'ємна віддача	від'ємна віддача	від'ємна віддача	від'ємна віддача
Статистична оцінка показників моделі за критерієм Стьюдента						
t0	13,942	-2,678	0,120	7,4233	1,3725	-0,7230
t1	13,959	3,493	13,959	0,8697	2,1422	0,8697
t2	16,749	9,665	16,749	2,1221	-0,4776	2,1221
t3	3,796	3,422	3,796	3,8141	1,7989	3,8141
tтабл при значимості 99%	2,681					
tтабл при значимості 95%	1,782					
tтабл при значимості 90%	1,356					
tтабл при значимості 80%	0,873					

Для України в короткостроковій перспективі функція має таке рівняння:

$$Y=0,98 \cdot K^{0,183} \cdot L^{0,696} \cdot S^{0,086} \quad (9)$$

Функція для довгострокової перспективи:

$$Y = 1,01 \cdot K^{0,413} \cdot L^{0,375} \cdot S^{0,083} \quad (10)$$

Для Сінгапуру в короткостроковій перспективі функція має таке рівняння:

$$Y=1,03 \cdot K^{0,439} \cdot L^{-0,121} \cdot S^{0,275} \quad (11)$$

Функція для довгострокової перспективи:

$$Y = 0,97 \cdot K^{0,143} \cdot L^{0,316} \cdot S^{0,421} \quad (12)$$

Слід зазначити, що перевірка за статистичними критеріями підтверджує адекватність і надійність отриманих нами функцій (див. Табл. 6).

Згідно з отриманими функціями, найбільш істотний вплив на економічний розвиток країни має обсяг витрат на підтримку людського капіталу, він однаковий і в довгостроковій, і в короткостроковій перспективі і складає більш ніж 50% впливу досліджуваних факторів. Це характеризує економіку України як трудомістку. Наступним за впливом фактором є матеріально-речовий капітал, його вплив майже вдвічі менший, ніж трудового капіталу, і також має однакові значення й у довгостроковій, і в короткостроковій перспективі. Фактор фінансування науково-технічної сфери для України впливає на її розвиток лише на 8-9%. Причому в короткостроковому періоді цей вплив більший, ніж у довгостроковому.

Реалізація одержаної функції (формула 9) при заданому темпі зростання ВВП України на 5% визначає такий вигляд ізоквантної площини (Рис.3).

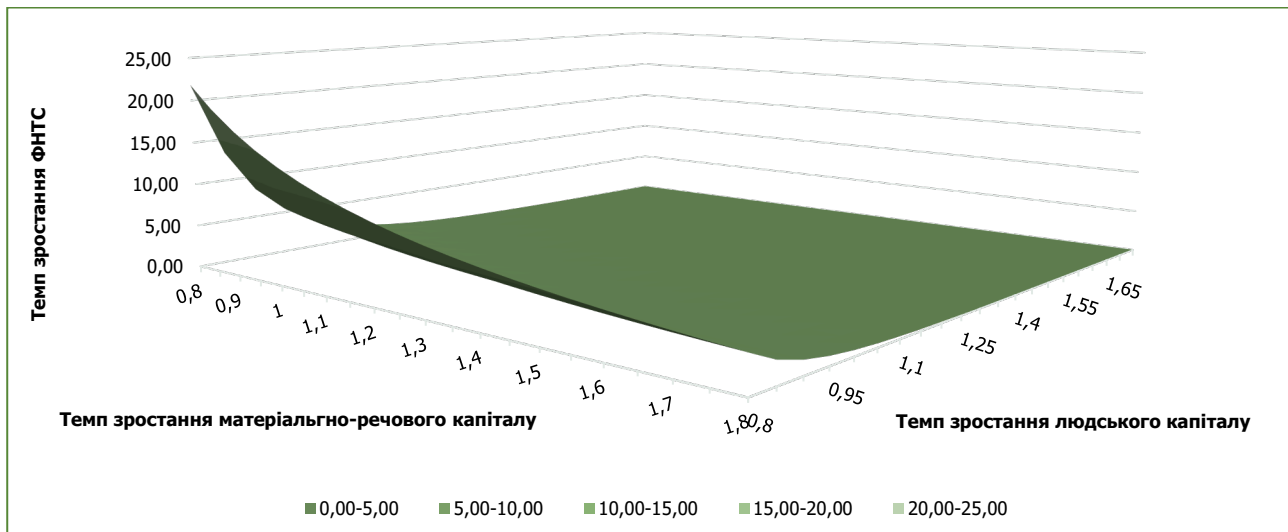


Рис. 3. Ізоквантна площина для забезпечення темпу зростання ВВП України на 5%.

ДИСКУСІЯ

Дослідження складових запропонованої кореляційно-регресійної моделі показало, що пропорційне збільшення за обсягом усіх факторів призводить до зростання валової внутрішньої продукції. При цьому темпи зростання валової внутрішньої продукції випереджають збільшення вкладів/них ресурсів за умови, коли сума впливу факторів більша за одиницю. А коли менша, це створює гальмівний ефект на розвиток економіки. Доведено, що при збільшенні людського капіталу кожна додаткова одиниця праці створює умови зростання економіки. Вплив фінансування науково-технічної сфери на результативний показник залежить від часового лага вкладення інвестицій у науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи, оскільки фінансування науково-технічного рівня не одразу запускає продуктивність знань. Визначені параметри трендів результативного показника валового внутрішнього продукту та трьох вищезазначених факторів за тригонометричною функцією показали циклічність їх зростання й спадання з синусоїдою, майже однаковою для всіх трьох факторів, періодичність циклів якої перебувають у межах від 15 до 19 років.

Побудована ізоквантна площина ретроспективного аналізу економіки України показала, що за умови збільшення темпів зростання матеріально-речового забезпечення на 5%, людського капіталу на 2% та зростання науково-технічної сфери в 1,71 раза можна було досягти темпів зростання валового внутрішнього продукту до 5%.

Визначені параметри функції для України згідно із запропонованою моделлю показали, що зростання валового внутрішнього продукту у 2000-2020 роках практично не залежало від фактичної динаміки фінансування науково-технічної сфери. Зазначений взаємозв'язок указує на низьку науковість та низький технологічний рівень економіки України. З іншого боку, розрахунки для економіки Сінгапуру, що належить до першої п'ятірки світу з обсягів високотехнологічного експорту, спостерігається міцний зв'язок та суттєвий вплив фінансування науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт на темпи зростання національної економіки.

Сформульована гіпотеза про значну роль ФНТС в економічному розвитку економіки за 2000-2020 роки не підтвердилася для України й підтвердилася для Сінгапуру.

Обмеження застосування отриманої моделі пояснюємо так:

- із 2014-2015 років виникли форс-мажорні обставини для країни з утратою її територій та населення;
- із цього періоду відбувається кардинальна перебудова виробничих ланцюгів в економіці країни – переорієнтація зі східного ринку на ринки Європи й зі збуту, і з постачання;
- збільшення прихованого безробіття;
- значна трудова міграція населення, яку важко виділити в статистичних даних: кілька мільйонів вітчизняних робітників працювали на підприємства інших країн посезонно, за контрактами та ін. Це становить великий відсоток і може забезпечити некоректні результати моделювання;
- стратегічна зміна ролі науки в економіці країни – переорієнтація її з однієї з основних виробничих сил на споживчий фактор у вигляді «гордість нації» (Стратегія України 2015 року), що відобразилось у вигляді значного зменшення обсягів її фінансування в країні й, відповідно, прискорення процесів зменшення вітчизняного науково-технічного потенціалу;
- переорієнтація характеру економіки України з промислово-аграрної на аграрну, що виводить на перший план у структурі матеріально-речового капіталу такий фактор виробництва, як ринкова ціна землі;
- зовнішні виклики: пандемія КОВІД-19 у 2020-2023 рр., повномасштабна російсько-українська війна з лютого 2022 р., які мають руйнівний характер для вітчизняної економіки.

ВИСНОВКИ

Модель і методика оцінки впливу на валовий внутрішній продукт ґрунтуються на врахуванні й матеріально-речових, людських факторів, і розвитку науково-технічної сфери. Тому сьогодні для підвищення темпів зростання національної економіки необхідне формування та постійне нагромадження вартості науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт у всіх царинах економічної діяльності. Вибір оптимальної моделі та методу оцінки впливу на темпи зростання національної економіки головних екзогенних і ендогенних факторів є основою для управління нею, оскільки можна управляти тим, що можна виміряти. Уважаємо за необхідне наголосити, що основну увагу у формуванні моделі та методів оцінки має бути зосереджено на факторах розвитку науково-технічної сфери й упровадження результатів науки та науково-технічних досягнень у національну економіку поряд з іншими елементами стохастичного (кореляційного) факторного аналізу.

Запропонована модель функції впливу на ВВП матеріально-речового, людського капіталів та обсягів фінансування науково-технічної сфери формує подальші уявлення про емпіричне оцінювання приросту економіки країни та є прийнятною в процесі такого використання. Розроблений підхід оцінки впливу ФНТС на економічне зростання дає такі переваги: модель дозволяє визначити й екзогенний (коефіцієнт, який визначає рівень розвитку технологій, відповідно до якого працює економіка), і ендогенний (фактор S , що визначає вплив внутрішнього розвитку НДДКР) вплив науково-технічного сектора на національний економічний розвиток. Також за допомогою різних вихідних факторів, до яких належать ланцюгові та базові темпи зростання, можна засвідчити здатність моделі описувати короткостроковий і довгостроковий періоди розвитку економіки.

Аналогічні моделі економічного зростання за вищезазначеною структурою факторів впливу на результативний показник можна використовувати для визначення функціональних залежностей на рівні регіону, галузі, підприємства.

У подальших наукових розробках потребують більш ґрунтовного дослідження питання оцінки інтелектуального капіталу в складі елемента «людський капітал» та його впливу на зростання ВВП.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

ВНЕСОК АВТОРІВ

Розробка концепції: Макаренко П., Белов О.

Супровід даних: Макаренко Ю., Дорогань-Писаренко Л., Безкровний О.

Формальний аналіз: Макаренко П., Макаренко Ю., Безкровний О.

Методологія: Макаренко П., Белов О.

Програмне забезпечення: Белов О.

Джерела: Макаренко П., Белов О., Макаренко Ю., Дорогань-Писаренко Л., Безкровний О.

Контроль: Макаренко П.

Перевірка: Макаренко П.

Дослідження: Белов О., Макаренко Ю.

Візуалізація: Белов О., Дорогань-Писаренко Л., Безкровний О.

Управління проектом: Макаренко П.

Залучення фінансування: Макаренко П., Белов О., Дорогань-Писаренко Л., Безкровний О.

Написання – рецензування та редагування: Макаренко П., Белов О., Макаренко Ю., Дорогань-Писаренко Л., Безкровний О.

Написання - оригінальний рукопис: Макаренко П., Белов О., Макаренко Ю.

REFERENCES / ЛІТЕРАТУРА

1. Andreini, P., Hasenzagl, T., Reichlin, L., Senftleben-König, C., & Strohsal, T. (2023). Nowcasting German GDP: Foreign factors, financial markets, and model averaging. *International Journal of Forecasting*, 39(1), 298–313.
<https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2021.11.009>
2. Antràs, P. (2004). Is the U.S. Aggregate Production Function Cobb-Douglas? New Estimates of the Elasticity of Substitution. *Contributions in Macroeconomics*, 4(1), 20121005.
<https://doi.org/10.2202/1534-6005.1161>
3. Belov, A., Svistun, L., & Glushko, D. (2018). A New Approach to Assessing the Science Contribution to the State Economy. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.8), 4.8.
<https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.8.28126>
4. Belov, A., Svistun, L., Ptashchenko, L., Popova, Y., & Mammadov, E. M. (2023). Analysis of High-Tech Trends in the Context of Management Tasks of State's Scientific and Technical Development. In V. Onyshchenko, G. Mammadova, S. Sivitska, & A. Gasimov (Eds.), *Proceedings of the 4th International Conference on Building Innovations* (pp. 845–864). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-17385-1_72
5. Chu, A. C., Cozzi, G., Lai, C.-C., & Liao, C.-H. (2015). Inflation, R&D and growth in an open economy. *Journal of International Economics*, 96(2), 360–374.
<https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2015.03.007>
6. Chyzhevska, M., Shcherbinina, S., & Krasun, Y. (2022). Using of the production function for analysis of industrial enterprise activities. *Efektivna ekonomika*, 1. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2022.1.93>
7. Cobb, C. W., & Douglas, P. H. (1928). A Theory of Production. *The American Economic Review*, 18(1), 139–165.
<https://www.aeaweb.org/aer/top20/18.1.139-165.pdf>
8. Daw, G. (2014). Is the decomposition of the technical biased progress realizable with a Cobb-Douglas production function? Université Paris1 Panthéon-Sorbonne (Post-Print and Working Papers), 01077366.
<https://ideas.repec.org/p/hal/cesptp/halshs-01077366.html>
9. Gavriluk, V. T. (2012). Analysis of the influence of the invests on the economic growth of the country with use of production function. *Bulletin of Zaporizhzhia National University. Economic Sciences*, 4(16), 73–78.
10. Herzer, D. (2022). The impact of domestic and foreign R&D on TFP in developing countries. *World Development*, 151, 105754.
<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105754>
11. Hong, J. (2017). Causal relationship between ICT R&D investment and economic growth in Korea. *Technological Forecasting and Social Change*, 116, 70–75.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.11.005>
12. Huang, W.-C., Lai, C.-C., & Chen, P.-H. (2017). International R&D funding and patent collateral in an R&D-based growth model. *International Review of Economics & Finance*, 51(C), 545–561.
<https://doi.org/10.1016/j.iref.2017.07.009>
13. Husain, S., & Islam, M. S. (2016). A Test for the Cobb Douglas Production Function in Manufacturing Sector: The Case of Bangladesh. *International Journal of Business and Economics Research*, 5(5), 5. <https://doi.org/10.11648/j.ijber.20160505.13>
14. Jin, C., Xu, A., Zhu, Y., & Li, J. (2023). Technology growth in the digital age: Evidence from China. *Technological Forecasting and Social Change*, 187, 122111.

122221.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122221>
15. Krekoten, I., SvN–stun, L., & Khudolii, Y. (2018). Prospects of using security mechanism in the process of rehabilitation the building sphere in Ukraine. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(3.2), 3.2.
<https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14406>
16. Labour Market Statistics and Publications. (2023). A Singapore Government Agency Website.
<https://stats.mom.gov.sg/Statistics/Pages/Data-list.aspx?topic=wage+practices>
17. Lin, Y. C., & Park, S. D. (2023). Effects of FDI, External Trade, and Human Capital of the ICT Industry on Sustainable Development in Taiwan. *Sustainability*, 15(14), 14.
<https://doi.org/10.3390/su151411467>
18. Marshall, A. (1890). *Principles of Economics* (Macmillan and Co, Vol. 1). Macmillan and Company.
<https://eet.pixel-online.org/files/etranslation/original/Marshall.%20Principles%20of%20Economics.pdf>
19. Matyushenko, I., Trofimchenko, K., Ryznikov, V., Prokopenko, O., Hlibko, S., & Krykhtina, Yu. (2022). Innovation and investment mechanism for ensuring the technological competitiveness of Ukraine in the digital economy. *Journal of Global Business and Technology*, 18.
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=15535495&AN=161289624&h=2TnD2fhRJXFogz%2B4uBbeDQmZrm2%2B0Dn04aDQCND6EPIz%2BG19EH PORzYktFNGYpQfDESa1s2YgUWckeR7HEvLw%3D%3D&crl=c>
20. Melnyk, L. YU., Makarenko P.M., P. M., & Kyrylenko, I. H. (2003). *Ekonomichna teoriya na mezhi tysyacholit'*. K.: IAE UAAN.
21. Minniti, A., & Venturini, F. (2017). The long-run growth effects of R&D policy. *Research Policy*, 46(1), 316–326.
<https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.11.006>
22. Okhten, O. O., & Dasiv, A. F. (2021). Modeling the production function with the account for the change of factors' output over time on the example of manufacturing industry in Germany. *Economy of Industry*, 1(93), 1(93).
<https://doi.org/10.15407/econindustry2021.01.079>
23. On Scientific and Scientific-Technical Activities, Pub. L. No. 1977–XII, Law of Ukraine (1991).
<https://zakon.rada.gov.ua/go/848-19>
24. On Scientific and Scientific-Technical Activities, Pub. L. No. 848–VIII, Law of Ukraine (2015).
<https://zakon.rada.gov.ua/go/848-19>
25. Pavelescu, F. M. (2014). Methodological Considerations Regarding the Estimated Returns to Scale in Case of Cobb-douglas Production Function. *Procedia Economics and Finance*, 8, 535–542.
[https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00125-7](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00125-7)
26. Pessoa, A. (2010). R&D and economic growth: How strong is the link? *Economics Letters*, 107(2), 152–154. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2010.01.010>
27. Ponomarenko, T., Khudolei, V., Prokopenko, O., & Klisinski, J. (2018). Competitiveness of the information economy industry in Ukraine. *Problems and Perspectives in Management*, 16(1), 85–95.
[https://doi.org/10.21511/ppm.16\(1\).2018.08](https://doi.org/10.21511/ppm.16(1).2018.08)
28. Sato, R., & Morita, T. (2009). Quantity or Quality: The Impact of Labour Saving Innovation on Us and Japanese Growth Rates, 1960–2004. *The Japanese Economic Review*, 60(4), 407–434.
29. Sawng, Y., Kim, P., & Park, J. (2021). ICT investment and GDP growth: Causality analysis for the case of Korea. *Telecommunications Policy*, 45(7), 102157.
<https://doi.org/10.1016/j.telpol.2021.102157>
30. Shmygol, N., Solovyov, O., Kasianok, M., Cherniavska, O., & Pawliszczy, D. (2021). Model of sectoral competitiveness index by environmental component. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 628(1), 012023.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/628/1/012023>
31. Solow, R. M. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *The Review of Economics and Statistics*, 39(3), 312.
<https://doi.org/10.2307/1926047>
32. State Statistics Service of Ukraine. (2023).
<https://ukrstat.gov.ua/>
33. Statistical Table: Income. (2023). A Singapore Government Agency Website.
<https://stats.mom.gov.sg/Pages/IncomeTimeSeries.aspx>
34. The United States of America Annual and Monthly Inflation Tables. (2021).
<https://www.statbureau.org/en/united-states/inflation-tables>
35. Vo, L. V., & Le, H. T. T. (2017). Strategic Growth Options, Uncertainty and R&D Investment (SSRN Scholarly Paper 2330497).
<https://doi.org/10.2139/ssrn.2330497>

36. World Development Indicators | DataBank. (2023). <https://databank.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG/1ff4a498/Popular-Indicators#>
37. Zhang, Y., & Gong, P. (2018). IPV model with Cobb–Douglas and reference-dependent utility functions. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 510, 121–131. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.06.123>
38. Zhu, F., Shi, Q., Balezentis, T., & Zhang, C. (2023). The impact of e-commerce and R&D on firm-level production in China: Evidence from manufacturing sector. *Structural Change and Economic Dynamics*, 65, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2023.02.008>

Petro Makarenko, Alexandr Belov, Yulia Makarenko, Liudmyla Dorohan-Pisarenko, Oleksandr Bezkravnyi

THE DEPENDENCE OF THE COUNTRY'S GDP ON THE COST OF MATERIAL AND HUMAN CAPITAL AND THE FINANCING OF THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL SPHERE

In the modern economies of market development countries, there is a high rate of change at both the macro and micro levels. This is done based on a number of objective reasons. Among them, the growth of gross domestic product is most influenced by a number of important external and internal factors. Therefore, the purpose of the article is the issue of choosing and forming models and methods of influence on the country's gross domestic product of material and human capital and financing of the scientific and technical sphere.

It was determined that the Cobb-Douglas production function, which determines the dependence of the created value of the social product on the total costs of living labor and the amount of used fixed assets, can be used as the basis for choosing a model of the influence of a number of factors on the gross domestic product.

In the article, a function model is formed, which, in addition to the material capital factor, takes into account the amount of human capital in value terms and is supplemented by the factor of financing the scientific and technical sphere. The study of the components of the proposed correlation-regression model shows that a proportional increase in the volume of all factors leads to an increase in gross domestic product. The impact of financing of the scientific and technical sphere on the performance indicator depends on the time lag of investments in research and development works, since financing of the scientific and technical level does not immediately trigger the productivity of knowledge.

The determined parameters of trends of the effective indicator of gross domestic product and the three above-mentioned factors by the trigonometric function show the cyclical nature of their growth and decline with almost the same sine wave, the periodicity of which is in the range of 15-19 years.

The constructed isoquantum plane of retrospective analysis of the economy of Ukraine showed that with an increase in the growth rate of material and material provision by 5%, human capital by 2% and the growth of the scientific and technical sphere by 1.72 times, it would be possible to achieve a growth rate of gross domestic product of up to 5%.

The insignificant level of financing of the scientific and technical sphere and the low scientific capacity and technical level of the economy of Ukraine in 2000-2020 practically did not affect the growth of the gross domestic product. On the other hand, the calculation for the economy of Singapore, which is in the TOP 5 of the world in terms of high-tech export volumes, shows a correlation and a significant impact of financing research and development works on the growth rates of the national economy.

Keywords: financing of science, scientific and technical sphere, capital, economic development, modeling of economic growth

JEL Classification: G32, O12, O33, O40, O57