

УДК 330.3; 330.5; 338.2; 339

JEL C50, C53, E20, F17, J11, O11

DOI <https://doi.org/10.32782/2786-765X/2026-13-19>**Манталюк О.В.**

кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри економіки, аналітики, моделювання
та інформаційних технологій в бізнесі,
Хмельницький національний університет
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0162-4312>

Диха В.В.

доктор філософії (PhD) за спеціальністю 051 «Економіка»,
старший викладач кафедри економіки, аналітики, моделювання
та інформаційних технологій в бізнесі,
Хмельницький національний університет
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2398-3692>

Диха М.В.

доктор економічних наук, професор,
професор кафедри економіки, аналітики, моделювання
та інформаційних технологій в бізнесі,
Хмельницький національний університет
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4405-9429>

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ВАЛОВОГО ВНУТРІШНЬОГО ПРОДУКТУ УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ СУЧАСНИХ ГЕОПОЛІТИЧНИХ ВИКЛИКІВ

У статті проведено аналіз динаміки валового внутрішнього продукту (ВВП) України впродовж 2013–2024 років. Методами кореляційно-регресійного аналізу виявлені суттєві й лінійно незалежні фактори, що впливали на ВВП протягом зазначеного періоду. Побудовано дві регресійні багатофакторні нелінійні моделі ВВП України, одна з яких є динамічною й містить коригуючий множник, що відображає узагальнений вплив усіх нових факторів, що проявили себе під час повномасштабної війни, але не включені до моделі безпосередньо в якості факторних ознак. Відповідно до побудованих моделей, фактори X_1 (капітальні інвестиції) та X_2 (реальний ефективний обмінний курс гривні) позитивно впливали на обсяг валового внутрішнього продукту України (Y). Зростання інвестицій на 1% сприяло збільшенню ВВП на 0,83%, а зростання реального ефективного обмінного курсу гривні на 1% призводило до збільшення ВВП на 0,29%. Фактор X_2 (чисельність населення) при зменшенні обумовлює зростання значення результуючого показника (Y). Така кореляція між X_2 та Y може свідчити про структурні зміни в економіці, перехід від працемістких до капіталомістких і високотехнологічних виробництв, а також може бути свідченням зростання обсягів виробництва в оборонному секторі під час війни. За побудованими моделями здійснено прогноз на 2025 рік. Порівняння відносних похибок для прогнозних значень, що були отримані за різними моделями, свідчить на користь моделі, яка враховує коригуючий множник. Перша побудована модель (яка, по суті, є статичною багатофакторною нелінійною моделлю регресії) характеризується високим значенням коефіцієнта детермінації ($R^2=0,96117$), що вказує на її адекватність вихідним даним, можливість використання для прогнозування, але й досить великою відносною помилкою прогнозу на 2025 рік (-17,24%). Друга побудована модель (у якій було уведено коригуючий множник) характеризується дещо нижчим коефіцієнтом детермінації ($R^2=0,9193$), проте, відносна помилка прогнозу за даною моделлю значно менша (склала лише -2,095%). Тобто, коригуючий множник $\alpha(t)$ вніс до моделі елемент динамічності, дозволив підвищити точність прогнозу ВВП. Визначено перспективи подальших досліджень, які доцільно здійснювати у напрямку чіткої класифікації факторів, оцінювання впливу таких факторів на ВВП у сучасних реаліях, а також диференційованого відображення їх впливу у відповідних економіко-математичних моделях.

Ключові слова: моделі економічної динаміки, багатофакторні нелінійні регресійні моделі, моделювання ВВП, геополітичні виклики, інвестиції, експорт, чисельність населення, прогнозування.

Постановка проблеми. У сучасних турбулентних умовах, зростання нестабільності світового політичного середовища питання забезпечення сталого економічного розвитку країн набуває особливої актуальності. Для України ця проблема є особливо гострою

у зв'язку з впливом широкого спектра геополітичних викликів, головним із яких є війна із Росією, що триває. Разом із цим, на економіку України чинять вплив інші військові конфлікти, що мають місце в світі, трансформації зовнішньоекономічних зв'язків, зміна



логістичних ланцюгів, а також інтеграційні процеси у європейському напрямі.

Валовий внутрішній продукт (ВВП) є одним із ключових макроекономічних показників, що відображає загальний стан та тенденції розвитку національної економіки. У зв'язку з цим, особливого значення набуває дослідження факторів, які визначають динаміку ВВП, а також побудова адекватних математичних моделей, здатних враховувати вплив як внутрішніх, так і зовнішніх (зокрема геополітичних) факторів.

Актуальність теми зумовлена необхідністю розроблення науково обґрунтованих підходів до моделювання економічної динаміки України в умовах високої невизначеності та ризиків. Існуючі моделі часто не повною мірою враховують специфіку сучасних геополітичних процесів, що знижує точність прогнозів і обмежує їх практичну цінність для прийняття управлінських рішень. Проблема полягає у необхідності вдосконалення інструментарію економіко-математичного моделювання з метою адекватного відображення впливу геополітичних викликів на динаміку ВВП України. Це передбачає визначення релевантних факторів, побудову багатфакторних нелінійних моделей та оцінку їх прогностичних можливостей. Урахування в економіко-математичних моделях геополітичних факторів сприятимуть підвищенню якості макроекономічного прогнозування, що є необхідним для формування ефективної державної економічної політики, планування відновлення економіки та забезпечення її стійкого розвитку.

Аналіз досліджень і публікацій за темою дослідження. Дослідження динаміки валового внутрішнього продукту ґрунтується на значному теоретичному та емпіричному доробку як зарубіжних, так і вітчизняних учених. Зокрема, Р. Харрод [1], Е. Домар [2] обґрунтували значимість інвестицій у забезпеченні збалансованого довгострокового зростання. Р. Харрод [1] також особливу увагу приділив зайнятості робочої сили за умов економічного зростання. Вагомий внесок у моделювання економічної динаміки зробили Р. Солоу [3], Т. Свон [4], які запропонували неокласичну модель економічного зростання, що пояснює динаміку ВВП через взаємодію капіталу, праці та технологічного прогресу; Р. Лукас, П. Ромер, Н. Менк'ю, Д. Вейл [5–7], які розробили концепцією ендогенного зростання, у якій ключовими факторами є інновації та людський капітал; Дж. Шумпетер [8], який висвітлює визначальну роль інновацій у довгостроковому економічному розвитку.

Вагомий внесок у дослідження макроекономічної динаміки та факторів зростання ВВП серед вітчизняних учених зробили В. Геєць [9; 10; 11], Ю. Гончаров та ін. [12], Б. Данилишин та ін. [13], М. Диха та ін. [14; 15], О. Крючкова [16], В. Сіденко [17], В. Стрілець та ін. [18], С. Тарута та ін. [19], А. Чухно [20] та інші. Їхні праці присвячені аналізу трансформаційних процесів, структурних змін та особливостей економічного розвитку України, що створює підґрунтя для побудови сучасних моделей динаміки ВВП в умовах геополітичних викликів. У наукових публікаціях широко застосовуються кореляційно-регресійні методи для аналізу впливу окремих макроекономічних факторів на ВВП. Залежність ВВП України від обсягів експорту та імпорту розглянуто у роботі [21], що дозволило встановити суттєвий вплив зовнішньоекономічної діяльності на економічне зростання та підтвердити доцільність використання багатфакторних економетричних моделей. Вплив факторів (зовнішньоекономічних показників, інвестицій та інших макроекономічних змінних) на економічне зростання, ВВП досліджено у публікації [22]. Окремий напрям досліджень пов'язаний із використанням динамічних математичних моделей. У роботах [23; 24] значну увагу приділено агент-орієнтованим моделям, динамічним стохастичним моделям загальної рівноваги, системно-динамічним моделям для прогнозування економічного розвитку, які дозволяють враховувати складні взаємозв'язки між економічними процесами та здійснювати прогнозування в умовах невизначеності.

Незважаючи на значну кількість наукових праць у царині моделювання економічної динаміки, питання врахування в них геополітичних викликів (військових, інституційних, логістичних, інтеграційних) залишається недостатньо дослідженим. Більшість існуючих моделей не повною мірою відображають сучасні умови функціонування економіки, що характеризуються високим рівнем невизначеності та ризиків, орієнтована переважно на врахування класичних макроекономічних факторів.

Таким чином, подальші дослідження доцільно спрямовувати на розробку та вдосконалення багатфакторного економіко-математичного моделювання ВВП України з урахуванням геополітичних факторів, що дозволить підвищити точність прогнозування та ефективність прийняття управлінських рішень.

Метою статті є дослідження можливості відображення впливу геополітичних факторів

у моделях динаміки ВВП та порівняння точності прогнозу за такими моделями із точністю прогнозу за моделями, які не враховують вплив цих факторів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нижче представляємо побудовані багатофакторні регресійні моделі динаміки валового внутрішнього продукту України, оцінку їх адекватності вихідним даним, результати прогнозування та порівняння точності прогнозів, що були отримані за моделями, які не враховують вплив геополітичних факторів, та тими, які їх враховують.

Вихідні дані для моделювання представлені у таблиці 1.

В якості залежної змінної Y приймемо номінальний ВВП у фактичних цінах. В якості пояснюючих факторів – такі змінні:

X_1 – капітальні інвестиції, млн. грн.

X_2 – чисельність населення, млн. осіб.

X_3 – реальний ефективний обмінний курс гривні (РЕОК), обчислений відносно курсу 2010 року, %.

X_4 – експорт, млн. грн.

Попередній вибір пояснюючих змінних обумовлений намаганням врахувати в моделі фактори різної природи та з різним механізмом впливу: капітальні інвестиції та чисельність населення – як класичні «виробничі» фактори, РЕОК – як індикатор зміни цінової конкурентоспроможності вітчизняних товарів відносно продукції країн – основних торгових партнерів України, обсяг експорту – як важливий фактор зростання ВВП.

На етапі специфікації моделі була обрана мультиплікативна функція типу (1):

$$Y(X_1, X_2, X_3, X_4) = a_0 X_1^{a_1} X_2^{a_2} X_3^{a_3} X_4^{a_4}, \quad (1)$$

де a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 – параметри моделі багатофакторної нелінійної регресії.

Рішення щодо вибору виду модельної конструкції ґрунтується на гіпотезі про часткову взаємозамінність змінних (факторів) у її складі, яке часто підтверджується практично.

Далі було виконано лінеаризацію функції (1) шляхом її логарифмування:

$$\ln Y = \ln a_0 + a_1 \ln X_1 + a_2 \ln X_2 + a_3 \ln X_3 + a_4 \ln X_4 \quad (2)$$

З метою запобігання впливу одиниць виміру на результат моделювання, для масиву даних, що були перетворені за формулою (2), була проведена процедура стандартизації за формулами (3, 4):

$$Y' = \frac{(\ln Y - \overline{\ln Y})}{\sigma_{\ln Y}} \quad (3)$$

$$X_i' = \frac{(\ln X_i - \overline{\ln X_i})}{\sigma_{\ln X_i}}, \quad i=1,2,3,4, \quad (4)$$

де $\overline{\ln Y}, \overline{\ln X_i}$ – середні значення натуральних логарифмів результуючого показника й i -ї факторної ознаки відповідно;

$\sigma_{\ln Y}, \sigma_{\ln X_i}$ – середні стандартні відхилення натуральних логарифмів результуючого показника й i -ї факторної ознаки відповідно.

Таблиця 1

Значення номінального ВВП України та факторів, що на нього впливали

Період	ВВП* у фактичних цінах, млн. грн. Y	Капітальні* інвестиції, млн. грн. X_1	Чисельність населення, млн. осіб X_2	РЕОК** до 2010 р., % X_3	Експорт*, млн. грн. X_4
2013	1454931	249873	45,553*	95,2	681899
2014	1566728	219419,9	45,426*	76,65	770121
2015	1979458	273116,4	42,928*	71,43	1044541
2016	2383182	359216,1	42,760*	71,03	1174625
2017	2982920	448461,5	42,585*	74,7	1430230
2018	3558706	578726,4	42,386*	79,53	1608890
2019	3974564	623978,9	42,153*	93,4	1636416
2020	4194102	508217	41,902*	92	1637399
2021	5459574	673899,3	41,588*	94,1	2224704
2022	5191028	409660	34,500**	95,0	1840563
2023	6537825	627280,8	34,026**	91,8	1868904
2024	7658659	743016,3	33,343**	87,6	2252428

* За даними Державної служби статистики України [25].

** За даними Світового банку [26].

*** Дані щодо чисельності населення України у 2022–2025 роках являють собою експертні оцінки, що були представлені у звіті Міжнародного валютного фонду [27]

Стандартизовані значення показників представлені у таблиці 2.

Для стандартизованих значень була обчислена матриця парних кореляцій r :

$$r = \begin{pmatrix} 1 & -0,58 & 0,43 & 0,93 \\ -0,58 & 1 & -0,39 & -0,71 \\ 0,43 & -0,39 & 1 & 0,38 \\ 0,93 & -0,71 & 0,38 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

кожен (i, j) -й елемент якої відображає щільність кореляційного зв'язку між i -ю та j -ю ознаками. Як бачимо, коефіцієнти парної кореляції між першою й четвертою, а також між другою й четвертою ознаками, відповідно до шкали Чеддока, вказують на, відповідно, дуже високу і високу тісноту зв'язку між цими парами змінних. Отже, необхідною є процедура перевірки масиву змінних на мультиколінеарність.

Перевірка на мультиколінеарність, що виконувалася за методом Фаррара-Глобера, підтвердила наявність колінеарності між парами змінних X_1', X_4' та X_2', X_4' . Тому було прийняте рішення про вилучення із розгляду змінної X_4 (обсяг експорту) з подальшим дослідженням масиву значень X_1', X_2', X_3' на мультиколінеарність. Перевірка за методом Фаррара-Глобера вказала на відсутність мультиколінеарності в масиві значень трьох змінних, тому остаточно для включення в модель були прийняті змінні X_1', X_2', X_3' .

На етапі параметризації коефіцієнти регресії $\ln a_0, a_1, a_2, a_3$ трифакторної моделі були оцінені за допомогою матричного методу найменших квадратів, тобто, за формулою:

$$A' = (X'^T X')^{-1} X'^T Y', \quad (6)$$

де A' – вектор значень коефіцієнтів $\ln a_0, a_1, a_2, a_3$;

X' – матриця значень змінних X_1', X_2', X_3' із доданим першим стовпцем, що складається з одиниць;

X'^T – транспонована матриця X' ;

Y' – вектор-стовпець прологарифмованих та стандартизованих значень результуючого показника.

У результаті обчислень за формулою (6) ми отримали вектор-стовпець коефіцієнтів A' :

$$A' = (0; 0,625; -0,445; 0,062)^T,$$

що відповідає регресійній моделі для стандартизованих змінних:

$$Y' = 0,625 X_1' - 0,445 X_2' + 0,062 X_3'. \quad (7)$$

Для того, щоб перейти від стандартизованих значень Y', X_1', X_2', X_3' логарифмів вихідних змінних, необхідно підставити до (7) вирази (3–4). У результаті отримаємо:

$$\frac{(\ln Y - \overline{\ln Y})}{\sigma_{\ln Y}} = 0,625 \frac{(\ln X_1 - \overline{\ln X_1})}{\sigma_{\ln X_1}} - 0,445 \frac{(\ln X_2 - \overline{\ln X_2})}{\sigma_{\ln X_2}} + 0,062 \frac{(\ln X_3 - \overline{\ln X_3})}{\sigma_{\ln X_3}}$$

звідки можемо виразити $\ln Y$ через $\ln X_1, \ln X_2, \ln X_3$:

$$\ln Y = 0,625 \frac{(\ln X_1 - \overline{\ln X_1}) \cdot \sigma_{\ln Y}}{\sigma_{\ln X_1}} - 0,445 \frac{(\ln X_2 - \overline{\ln X_2}) \cdot \sigma_{\ln Y}}{\sigma_{\ln X_2}} + 0,062 \frac{(\ln X_3 - \overline{\ln X_3}) \cdot \sigma_{\ln Y}}{\sigma_{\ln X_3}} + \overline{\ln Y}$$

Таблиця 2

Стандартизовані масиви даних для моделювання

Y'	X_1'	X_2'	X_3'	X_4'
-1,385	1,051	0,998	-1,895	-1,565
-1,700	1,026	-0,848	-1,581	-1,430
-1,170	0,516	-1,449	-0,795	-1,004
-0,507	0,481	-1,497	-0,493	-0,666
0,030	0,444	-1,068	0,015	-0,257
0,647	0,401	-0,534	0,318	0,064
0,830	0,352	0,835	0,362	0,266
0,333	0,298	0,707	0,363	0,364
1,016	0,230	0,899	1,153	0,844
-0,189	-1,455	0,980	0,665	0,752
0,842	-1,580	0,688	0,704	1,172
1,252	-1,763	0,289	1,185	1,460

Підставивши до останнього виразу відомі значення $\ln Y$, $\ln X_i$, $\sigma_{\ln Y}$, $\sigma_{\ln X_i}$, $i = 1, 2, 3$, одержимо:

$$\ln Y = 0.83 \ln X_1 - 2.20 \ln X_2 + 0.29 \ln X_3 + 11.117 \quad (8)$$

Застосувавши до виразу (8) операцію потенціювання, отримаємо остаточний вигляд для моделі трифакторної нелінійної регресії:

$$\hat{Y} = 67335,06 X_1^{0,83} \cdot X_2^{-2,201} \cdot X_3^{0,29}. \quad (9)$$

Значення коефіцієнта детермінації $R^2 = 0,96166$ для моделі (9) свідчить про те, що приблизно 96,17% варіації результуючого показника Y зумовлено регресією, тобто, варіацією факторних ознак X_1 , X_2 , X_3 . Це свідчить про адекватність моделі вихідним даним і можливість її використання для прогнозування.

Для кожного із трьох факторів, що входять до складу (9), засобами Libre Office Calc були побудовані лінії тренду:

$$X_1(t) = 41430 t + 206942, \quad (10)$$

$$X_2(t) = -1,0631 t + 47,673, \quad (11)$$

$$X_3(t) = -0,2323 t^3 + 4,7139 t^2 - 25,507 t + 113,43, \quad (12)$$

де t – порядковий номер періоду, для якого складається прогноз.

Підставивши до виразів (10–12) значення $t=13$, отримаємо прогнозні значення факторів на 2025 рік:

$$X_{1\text{прогн.}} = 745532, X_{2\text{прогн.}} = 33,853, \\ X_{3\text{прогн.}} = 68,125.$$

Підставивши прогнозні значення факторів до рівняння (9), отримаємо прогноз показника ВВП $Y_{\text{прогн.}} = 7391112$.

Обчислимо для моделі (9), що була побудована за даними 2013–2024 років, відносну помилку прогнозу:

$$\delta = \frac{(7391112 - 8931194)}{8931194} \cdot 100\% = -17,244\%. \quad (13)$$

Як бачимо, помилка прогнозу є досить високою.

Тепер модифікуємо загальний вигляд моделі (1), увівши до неї коригуючий множник $e^{\lambda t}$, що враховує геополітичні виклики:

$$\hat{Y}_{\text{кор.}}(X_1, X_2, X_3, t) = a_0 e^{\lambda(t)} X_1^{a1} X_2^{a2} X_3^{a3}. \quad (14)$$

Якщо ми подивимося на тренд ВВП, то побачимо дві точки різкого падіння показника. Це відбувалося в 2020 році (рік найбільшого впливу пандемії, спричиненої COVID-19) та в 2022 році (рік повномасштабного вторгнення Росії на територію України). Ці часові точки відповідають «шоковим» станам економіки, після яких уже в наступному році відбувається зростання показника ВВП. Тому далі, починаючи з 2022 року, будемо корегувати значення на коригуючий множник $\alpha(t)$. Вважатимемо, що цей множник буде враховувати динаміку геополітичних факторів. Приймемо гіпотезу про те, що ця величина змінюватиметься експоненціально:

$$\alpha(t) = e^{\lambda(t)} \quad (15)$$

Для 2022–2024 років обчислимо $\lambda(t)$ за формулою (15):

$$\lambda(t) = \ln \left(\frac{Y(t)}{\hat{Y}(t)} \right), \quad (16)$$

де $Y(t)$ – фактичне значення показника в році t ; $\hat{Y}(t)$ – значення показника, що було обчислено за моделлю (9), $t \in [2022; 2023; 2024]$.

У результаті застосування (16), отримаємо: $\lambda(2022)=0,0508$; $\lambda(2023)= 0,043716$; $\lambda(2024)= 0,008579$.

Для оцінювання прогнозного значення $\lambda(2025)$ була виконана апроксимація параметра λ лінійним трендом, що відображено на рисунку 1.

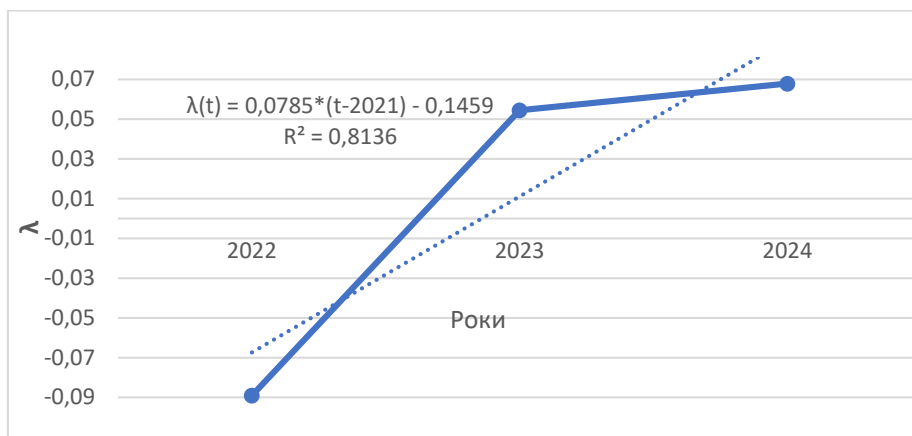


Рис 1. Апроксимація параметра $\lambda(t)$ лінійним трендом

Результатом такої апроксимації стало рівняння тренду (17):

$$\lambda(t) = 0,0785(t-2021) - 0,1459, \quad (17)$$

Тепер можемо записати модель (18), яка містить коригуючий множник $\epsilon \lambda(t)$, враховує геополітичні фактори.

$$\hat{Y}_{\text{кор.}}(X_1, X_2, X_3, t) = 67335,06 e^{0,0785(t-2021) - 0,1459} \cdot X_1^{0,83} \cdot X_2^{-2,201} \cdot X_3^{0,29} \quad (18)$$

де $t \in [2022; 2023; 2024; 2025]$.

Зауважимо, що модель (18) буде застосовуватися лише для років з 2022 по 2025.

Для моделі (18) значення коефіцієнта детермінації $R^2 = 0,9193$ вказує на те, що приблизно 91,93% варіації Y зумовлено варіацією факторних ознак X_1, X_2, X_3 . Це свідчить про адекватність моделі вихідним даним і можливість її використання для прогнозування.

Після підстановки $t = 2025$ до рівняння (18) отримаємо прогнозне значення обсягу ВВП на 2025 рік, що склало 8744091 млн. грн. Тепер можемо порахувати відносну похибку прогнозу за моделлю (18):

$$\delta = \frac{(8744091 - 8931194)}{8931194} \cdot 100\% = -2,095\%. \quad (19)$$

Як бачимо, відносна помилка точкового прогнозу за моделлю (18) є у 8,23 рази меншою, ніж за моделлю (9).

У таблиці 3 представлені фактичні значення ВВП за аналізований період, а також значення, що обчислені за моделлю (9), яка не враховує геополітичні фактори, та моделлю (18), яка їх враховує.

На рисунку 2 проілюстровано результати моделювання ВВП за моделями (9) та (18).

Із графіків, наведених на рисунку 2, можна побачити, що модель (9) має кращі апроксимуючі властивості, а модель (18) дозволяє більш точно побудувати короткостроковий (на один період) прогноз значень показника.

Висновки. У даному дослідженні на основі кореляційно-регресійного аналізу залежності валового внутрішнього продукту України за 2013–2024 роки від низки факторів були побудовані дві моделі багатофакторної нелінійної регресії для цього показника. За результатами дослідження можна зробити такі висновки:

1. Відповідно до побудованих моделей, фактори X_1 (капітальні інвестиції) та X_3 (реальний ефективний обмінний курс гривні) позитивно впливали на обсяг валового внутрішнього продукту України (Y). При цьому зростання інвестицій на 1% сприяло збільшенню ВВП на 0,83%, а ондовідсоткове зростання РЕОК призводило до збільшення ВВП на 0,29%.

2. Згідно моделей (9) та (18), фактор X_2 (чисельність населення) виглядає як такий, що при зростанні зменшує значення результуючого показника Y (ВВП). Разом із тим, така негативна кореляція між X_2 та Y може свідчити про структурні зміни в економіці, перехід від працемістких до капіталомістких і високотехнологічних виробництв. Отже, це може бути свідченням зростання обсягів виробництва в оборонному секторі під час війни.

3. Модель (9), яка, по суті, є статичною багатофакторною нелінійною моделлю регресії,

Таблиця 3

Фактичні обсяги ВВП України в 2013-2025 роках й обсяги, що розраховані за моделями (9) та (18)

Період	ВВП у фактичних цінах, млн. грн.	Значення $\hat{Y}(t)$, що були обчислені за моделлю (9)	Значення $\hat{Y}_{\text{кор.}}(t)$, що були обчислені за моделлю (18)
2013	1454931	1709532	1709532
2014	1566728	1450082	1450082
2015	1979458	1929832	1929832
2016	2383182	2439905	2439905
2017	2982920	3003665	3003665
2018	3558706	3819195	3819195
2019	3974564	4311519	4311519
2020	4194102	3668102	3668102
2021	5459574	4744857	4744857
2022	5191028	4748536	4439032
2023	6537825	6904107	6981170
2024	7658659	8196949	8965304
2025	8931194	7391112	8744091
Відносна похибка прогнозу, %		-17,244	-2,095

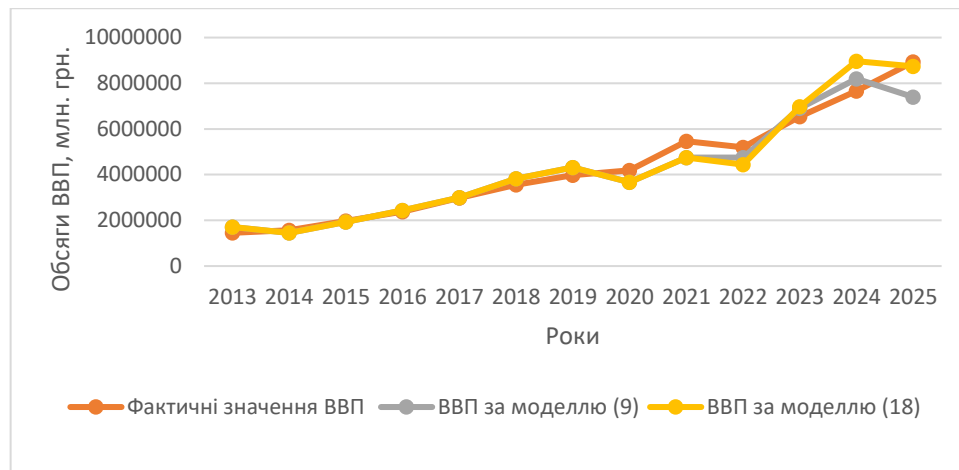


Рис. 2. Фактичні та обчислені за моделями обсяги номінального ВВП України у 2013–2025 роках

характеризується високим значенням коефіцієнта детермінації $R^2 = 0,96117$, що вказує на її адекватність вихідним даним і можливість її використання для прогнозування. Разом із тим, відносна помилка прогнозу на 2025 рік за цією моделлю є досить великою й складає (-17,24%). Тому була здійснена спроба покращення прогнозних якостей моделі (9).

4. З цією метою, до моделі (9) було уведено коригуючий множник $\alpha(t) = e^{\lambda(t)}$, який застосовано до періоду 2022–2025 років. Для $\alpha(t)$ було побудоване рівняння тренду, за яким були обчислені скореговані значення показника Y за 2022–2025 роки. Коефіцієнт детермінації для такої моделі склав $R^2 = 0,9193$, тобто виявився дещо нижчим, ніж для моделі (9). Проте, відносна помилка прогнозу за моделлю (18) склала лише (-2,095%).

5. Коригуючий множник $\alpha(t) = e^{\lambda(t)}$ вносить до моделі (18) елемент динамічності й дозволяє підвищити точність прогнозу. Його

економічний сенс полягає у відображенні узагальненого впливу всіх факторів, які не були включені до моделі в явному вигляді як факторні ознаки, але суттєво змінювали результуючий показник протягом 2022–2025 років. Таким чином, вважаємо, що множник $\alpha(t)$ відображає вплив на ВВП України факторів, пов'язаних із продовженням повномасштабної війни, у т. ч. геополітичних.

6. Подальші дослідження щодо удосконалення моделювання, урахування впливу геополітичних факторів у моделях багатофакторної регресії макроекономічних показників, на наш погляд, доцільно здійснювати у напрямку чіткої ідентифікації, класифікації значимих у сучасних реаліях факторів, оцінювання впливу таких факторів на ВВП, детального дослідження механізму й сили їхнього впливу на результуючі показники, а також диференційованого відображення у відповідних економіко-математичних моделях.

Бібліографічний список

1. Harrod R.F. An Essay in Dynamic Theory. *Economic Journal*. 1939. Vol. 49. pp. 14–33.
2. Domar E.D. Capital Expansion, Rate of Growth, and Employment. *Econometrica*. 1946. Vol. 14 (2). pp. 137–147.
3. Solow Robert M. A Contribution to the Theory of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*. 1956. Vol. 70 (1). pp. 65–94.
4. Swan T. -W. Economic Growth and Capital Accumulation. *Economic Record*. 1956. Vol. 32 (2). pp. 334–361.
5. Lucas R.E. On the Mechanics of Economic Development. *Journal of Monetary Economics*. 1988. Vol. 22 (1). pp. 3–42.
6. Romer P.M. Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*. 1990. Vol. 98 (5). pp. 71–102.
7. Mankiw N.G., Romer D., Weil D. A Contribution to the Empirics of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*. 1992. Vol. 107 (2). pp. 407–437.
8. Schumpeter J.A. The Theory of Economic Development. Cambridge: Harvard University Press, 1934. 255 p.
9. Геєць В.М. Економіка України: стратегія і політика довгострокового розвитку. Київ: Інститут економічного прогнозування НАНУ; Фенікс, 2003. 1008 с.
10. Геєць В.М. Економіка України: ключові проблеми та перспективи розвитку. Київ: НАН України, 2015. 320 с.

11. Геєць В. Суперечності та перспективи економічного зростання на інноваційній основі в Україні. *Економіка України*. 2024. 67 (11 (756)). С. 3–28. DOI: <https://doi.org/10.15407/economyukr.2024.11.003>
12. Honcharov Yu.V., Dykha M.V., Voronina V., Milka A., Klymenchukova N. Forecasting the innovation of Ukraine's economic development in a global dimension. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. № 1. pp. 174–181. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-1/174>; URL: <https://nvngu.in.ua/index.php/en/archive/on-the-issues/1890-2023/content-1-2023/6496-174>
13. Данилишин Б.М., Микитенко В.В. Макросистемна еволюція української економіки: монографія. Київ: РВПС України НАН України, ЗАТ «Нічлава, 2008. 414 с.
14. Диха М., Диха В. Рівень інноваційності розвитку України в глобальному вимірі та окреслення його перспектив. *Київський економічний науковий журнал*. 2023. № 2. С. 5–15. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-765X/2023-2-1>; URL: <https://journals.kyumu.kyiv.ua/index.php/economy/article/view/56/55>
15. Диха М., Диха В. Тенденційний аналіз макроекономічних показників України та шляхи їх покращення. *Київський економічний науковий журнал*. 2025. № 11. С. 107–118. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-765X/2025-11-14>; URL: <https://journals.kyumu.kyiv.ua/index.php/economy/article/view/304/297>
16. Крючкова І.В. Структурні чинники розвитку економіки України: монографія. Національна академія наук України, Ін-т економічного прогнозування. Київ: Наукова думка, 2004. 320 с.
17. Сіденко В. Виклики і можливості для стійкого економічного розвитку України в контексті глобального транзиту. *Економіка України*. 2024. 67 (1 (746)). С. 3–39. DOI: <https://doi.org/10.15407/economyukr.2024.01.003>
18. Strilets V., Franko L., Dykha M., Ivanov M., Rybina L. The influence of innovative development in the EU countries and Ukraine on the competitiveness of national economies: A comparative analysis. *Problems and Perspectives in Management*. 2024. 22 (2). pp. 1–16. DOI: [http://dx.doi.org/10.21511/ppm.22\(2\).2024.01](http://dx.doi.org/10.21511/ppm.22(2).2024.01)
19. Тарута С., Чернишова І., Марко І., Бусель В. Національна економіка й безпека України в умовах війни: результати стратегічного довгострокового прогнозування. *Міжнародний науковий журнал "Military Science"*. 2025. № 3 (1). С. 273–299. DOI: <https://doi.org/10.62524/msj.2025.3.1.12>
20. Чухно А.А. Постіндустріальна економіка: теорія, практика та їх значення для України. Київ: Логос, 2003. 631 с.
21. Макаренко О., Курченко М. Економетричне моделювання впливу зовнішньоекономічної діяльності (експорту та імпорту) на ВВП України. *Молодий вчений*. 2023. № 12 (124). С. 180–183.
22. Вільчинська О., Рум'янцева К. Дослідження факторів впливу на економічне зростання за допомогою економетричного моделювання. *Економіка та суспільство*. 2025. № 71. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-71-6>
23. Зелінська Є.Ю., Олешко А.А. Роль динамічного моделювання у дослідженні тіньової економіки. *Журнал стратегічних економічних досліджень*. 2024. № 2 (19). С. 33–46. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/27112>
24. Наумова М. А., Гончарук Н. С. Прогнозування економічного розвитку України. *Економічний простір*. 2020. № 160. С. 129–134. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/160-24>
25. Офіційний сайт Державної служби статистики України. URL: <https://stat.gov.ua/>
26. World Bank Open Data. URL: <https://data.worldbank.org/>
27. World Economic Outlook: Global Economy in Flux, Prospects Remain Dim. International Monetary Fund. October 2025. URL: <https://www.imf.org/en/publications/weo/issues/2025/10/14/world-economic-outlook-october-2025>

References

1. Harrod R.F. An Essay in Dynamic Theory. *Economic Journal*. 1939. Vol. 49. pp. 14–33.
2. Domar E.D. Capital Expansion, Rate of Growth, and Employment. *Econometrica*. 1946. Vol. 14 (2). pp. 137–147.
3. Solow Robert M. A Contribution to the Theory of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*. 1956. Vol. 70 (1). pp. 65–94.
4. Swan T. -W. Economic Growth and Capital Accumulation. *Economic Record*. 1956. Vol. 32 (2). pp. 334–361.
5. Lucas R.E. On the Mechanics of Economic Development. *Journal of Monetary Economics*. 1988. Vol. 22 (1). pp. 3–42.
6. Romer P.M. Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*. 1990. Vol. 98 (5). pp. 71–102.
7. Mankiw N.G., Romer D., Weil D. A Contribution to the Empirics of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*. 1992. Vol. 107 (2). pp. 407–437.
8. Schumpeter J.A. The Theory of Economic Development. Cambridge: Harvard University Press, 1934. 255 p.
9. Heiets V.M. *Ekonomika Ukrainy: stratehiia i polityka dovhostrokovoho rozvytku*. Kyiv: Instytut ekonomichnoho prohnozuvannia NANU; Feniks, 2003. 1008 s.
10. Heiets V.M. *Ekonomika Ukrainy: kliuchovi problemy ta perspektyvy rozvytku*. Kyiv: NAN Ukrainy, 2015. 320 s.

11. Heiets V. SUPERECHNOSTI TA PERSPEKTYVY Ekonomichnoho zrostantia na innovatsiini osnovi v Ukraini. *Ekonomika Ukrainy*. 2024. 67 (11 (756)). S. 3–28. DOI: <https://doi.org/10.15407/economyukr.2024.11.003>
12. Honcharov Yu.V., Dykha M.V., Voronina V., Milka A., Klymenchukova N. Forecasting the innovation of Ukraine's economic development in a global dimension. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. № 1. pp. 174–181. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-1/174>; URL: <https://nvngu.in.ua/index.php/en/archive/on-the-issues/1890-2023/content-1-2023/6496-174>
13. Danylyshyn B.M., Mykytenko V.V. Makrosystemna evoliutsiia ukrainskoi ekonomiky: monohrafiia. Kyiv: RVPS Ukrainy NAN Ukrainy, ZAT «Nichlava», 2008. 414 s.
14. Dykha M., Dykha V. Riven innovatsiinosti rozvytku ukrainy v hlobalnomu vymiri ta okreslennia yoho perspektyv. *Kyivskiy ekonomichnyi naukovyi zhurnal*. 2023. № 2. S. 5–15. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-765X/2023-2-1>; URL: <https://journals.kymu.kyiv.ua/index.php/economy/article/view/56/55>
15. Dykha M., Dykha V. Tendentsiinyi analiz makroekonomichnykh pokaznykiv Ukrainy ta shliakhy yikh pokrashchennia. *Kyivskiy ekonomichnyi naukovyi zhurnal*. 2025. № 11. S. 107–118. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-765X/2025-11-14>; URL: <https://journals.kymu.kyiv.ua/index.php/economy/article/view/304/297>
16. Kriuchkova I.V. Strukturni chynnyky rozvytku ekonomiky Ukrainy: monohrafiia. Natsionalna akademiia nauk Ukrainy, In-t ekonomichnoho prohnozuvannia. Kyiv: Naukova dumka, 2004. 320 s.
17. Sidenko V. Vyklyky i mozhlyvosti dlia stiikoho ekonomichnoho rozvytku Ukrainy v konteksti hlobalnoho tranzytu. *Ekonomika Ukrainy*. 2024. 67 (1 (746)). S. 3–39. DOI: <https://doi.org/10.15407/economyukr.2024.01.003>
18. Strilets V., Franko L., Dykha M., Ivanov M., Rybina L. The influence of innovative development in the EU countries and Ukraine on the competitiveness of national economies: A comparative analysis. *Problems and Perspectives in Management*. 2024. 22 (2). pp. 1–16. DOI: [http://dx.doi.org/10.21511/ppm.22\(2\).2024.01](http://dx.doi.org/10.21511/ppm.22(2).2024.01)
19. Taruta S., Chernyshova I., Marko I., Busel V. Natsionalna ekonomika y bezpeka Ukrainy v umovakh viiny: rezultaty stratehichnoho dovhostrokovoho prohnozuvannia. *Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal "Military Science"*. 2025. № 3 (1). S. 273–299. DOI: <https://doi.org/10.62524/msj.2025.3.1.12>
20. Chukhno A.A. Postindustrialna ekonomika: teoriia, praktyka ta yikh znachennia dlia Ukrainy. Kyiv: Lohos, 2003. 631 s.
21. Makarenko O., Kurchenko M. Ekonometrychne modeliuвання vplyvu zovnishnoekonomichnoi diialnosti (eksportu ta importu) na VVP Ukrainy. *Molodyi vchenyi*. 2023. № 12 (124). S. 180–183.
22. Vilchynska O., Rumiantseva K. Doslidzhennia faktoriv vplyvu na ekonomichne zrostantia za dopomohoiu ekonometrychnoho modeliuвання. *Ekonomika ta suspilstvo*. 2025. № 71. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-71-6>
23. Zelinska Ye.Yu., Oleshko A.A. Rol dynamichnoho modeliuвання u doslidzhenni tinovoi ekonomiky. *Zhurnal stratehichnykh ekonomichnykh doslidzen*. 2024. № 2 (19). S. 33–46. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/27112>
24. Naumova M.A., Honcharuk N.S. Prohnozuvannia ekonomichnoho rozvytku ukrainy. *Ekonomichnyi prostir*. 2020. № 160. S. 129–134. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/160-24>
25. Ofitsiinyi sait Derzhavnoi sluzhby statystyky Ukrainy. URL: <https://stat.gov.ua/> (data zvernennia 30.03.2026).
26. World Bank Open Data. URL: <https://data.worldbank.org/>
27. World Economic Outlook: Global Economy in Flux, Prospects Remain Dim. International Monetary Fund. October 2025. URL: <https://www.imf.org/en/publications/weo/issues/2025/10/14/world-economic-outlook-october-2025>

Olha Mantaliuk

Candidate of Economics, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Economics, Analytics,
Modeling and Information Technologies in Business,
Khmelnyskyi National University
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0162-4312>

Valerii Dykha

Doctor of Philosophy (PhD) in specialty 051 “Economics”,
Senior Lecturer of the Department of Economics, Analytics,
Modeling and Information Technologies in Business,
Khmelnyskyi National University
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2398-3692>

Mariia Dykha

Doctor of Economic Sciences, Professor,
Professor of the Department of Economics, Analytics,
Modeling and Information Technologies in Business,
Khmelnyskyi National University
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4405-9429>

MODELING THE DYNAMICS OF UKRAINE’S GROSS DOMESTIC PRODUCT IN THE CONTEXT OF CONTEMPORARY GEOPOLITICAL CHALLENGES

The article analyzes the dynamics of Ukraine's gross domestic product (GDP) from 2013 to 2024. Correlation and regression analysis methods were used to identify significant and linearly independent factors influencing GDP during the specified period. Two multifactor nonlinear regression models of Ukraine's GDP were constructed, one of which is dynamic and includes a correction factor reflecting the combined impact of new factors that emerged during the full-scale war but are not explicitly included in the model as explanatory variables. According to the constructed models, factor X1 (capital investment) and factor X3 (real effective exchange rate of the hryvnia) had a positive effect on Ukraine's GDP (Y). A 1% increase in investment led to a 0.83% increase in GDP, while a 1% increase in the real effective exchange rate of the hryvnia resulted in a 0.29% increase in GDP. Factor X2 (population), when decreasing, leads to an increase in the dependent variable (Y). Such a relationship between X2 and Y may indicate structural changes in the economy, including a transition from labor-intensive to capital-intensive and high-tech industries, and may also reflect increased production in the defense sector during the war. A forecast for 2025 was generated using the constructed models. A comparison of the relative forecast errors obtained from different models favors the model that incorporates the correction factor. The first model (essentially a static multivariate nonlinear regression model) is characterized by a high coefficient of determination ($R^2 = 0.96117$), indicating a good fit to the initial data and its potential usefulness for forecasting; however, it also shows a relatively large forecast error for 2025 (-17.24%). The second model (which includes a correction factor) has a slightly lower coefficient of determination ($R^2 = 0.9193$); however, its forecast error is significantly smaller (-2.095%). Thus, the correction factor $\alpha(t)$ introduces a dynamic component into the model, improving the accuracy of GDP forecasts. Prospects for further research include the development of a clear classification of factors, assessment of their impact on GDP under current conditions, and a more differentiated representation of these effects in relevant economic and mathematical models.

Keywords: economic dynamics models, multifactor nonlinear regression models, GDP modeling, geopolitical challenges, investment, exports, population, forecasting.

Дата надходження статті: 01.03.2026

Дата прийняття статті: 19.03.2026

Дата публікації статті: 11.05.2026