

Олексій Олександрович Охтень,

канд. екон. наук, старший науковий співробітник

E-mail: aokhten@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1629-3891>;

Алла Федорівна Дасів,

канд. екон. наук

Інститут економіки промисловості НАН України

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

E-mail: alladasiv@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5431-701X>

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДОВГОСТРОКОВОГО РОЗВИТКУ НАЦІОНАЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ВИРОБНИЧОЇ ФУНКЦІЇ

У статті обґрунтовано доцільність моделювання розвитку національної промисловості з урахуванням того, як розвиваються основні взаємопов'язані ключові для України галузі економіки (не тільки переробна і добувна промисловості, але й сільське господарство), а також з урахуванням факторів, які зумовлюють зміну показників розвитку в часі. За основу побудови моделі взято мультиплікативну виробничу функцію, яку модифіковано з урахуванням особливостей Четвертої промислової революції та специфіки окремих галузей України.

Запропоновано економіко-математичну модель довгострокового розвитку зазначених галузей економіки України в умовах цифровізації, у якій залежною змінною виступає додана вартість у галузі, а незалежними змінними – класичні складові виробничих функцій (праця і капітал), а також новий фактор цифровізації та фактори, які є специфічними для конкретних галузей (індекс світових продовольчих цін для сільського господарства та індекс світових сировинних цін для добувної промисловості). Особливістю моделі є також використання поправочних коефіцієнтів, які відображають зміну віддачі факторів із часом і збільшують точність розрахунків. До того ж розроблено окремі моделі для розрахунку кожного з основних факторів на основі динаміки інвестицій з урахуванням рекурсивного впливу доданої вартості, схильності до інвестування, стану світової економіки та інших специфічних факторів.

Із використанням розробленої моделі здійснено розрахунки доданої вартості в сільському господарстві, добувній і переробній галузях України у 2010-2019 рр. Виконано перевірку адекватності моделі за результатами її параметризації, яка показала достатню точність для використання на практиці, оскільки середня абсолютна помилка апроксимації складає від 2,94 до 4,14% залежно від галузі (при виключенні з розрахунків аномальних 2014-2015 рр.).

На основі результатів розрахунків доданої вартості за ключовими галузями розраховано значення ВВП у цілому по країні. Для цього використано регресійну модель, у якій факторами виступають значення доданої вартості для зазначених галузей. Встановлено, що запропонована модель є досить точною і може використовуватися для розрахунку ВВП України на основі розрахунків доданої вартості в сільському господарстві, добувній та переробній галузях.

© О. О. Охтень, А. Ф. Дасів, 2021

З урахуванням перспектив практичного використання моделі для прийняття управлінських рішень здійснено оцінку еластичності основного рушійного фактора розвитку галузей (інвестицій) за основними змінними впливу, яка, зокрема, показала, що курс гривні до долара США має негативний вплив на інвестиції, причому найбільш виражений – на інвестиції в основні фонди переробної промисловості. Це ставить під сумнів поширене уявлення про те, що девальвація гривні стимулює внутрішнє виробництво.

Ключові слова: економіко-математичне моделювання, виробнича функція, цифровізація, зміна віддачі факторів, довгостроковий розвиток, промисловість, додана вартість, ВВП.
JEL: C67, O30, O40, L60

Прийняття рішень щодо довгострокового розвитку національної промисловості в умовах цифровізації потребує певного науково-методичного обґрунтування з використанням економіко-математичного інструментарію. Також важливим є розуміння факторів, що впливають на промисловість, і вибір ключових із них для включення в моделі.

Аналіз науково-методичних підходів до моделювання діяльності економічних систем свідчить, що найбільшого поширення набуло використання виробничих функцій, проте кожна з них має свої особливості, варіації та певний набір факторів. Так, у дослідженні (Вільчинська, Паночин, Кушнір, 2016) при побудові виробничої функції Кобба-Дугласа для аналізу промислового розвитку областей України використовуються класичні виробничі фактори (праця і капітал). У роботі (Гаврилюк, 2012) наведено мультиплікативну виробничу функцію прогнозування економічного зростання в Україні через використання таких факторів, як індекс вартості основних фондів, чисельність зайнятих у країні та інвестиції в основний капітал. Також опосередковано враховано вплив науково-технічного прогресу через обсяги інвестицій в основний капітал. У дослідженні (Сухоруков, Харазішвілі, 2012) у виробничих функціях оцінку витрат капіталу здійснено шляхом введення коефіцієнта використання основних фондів, на який коригується вартість основних фондів. Виробничу функцію, подібну до функції Кобба-Дугласа, запропоновано у публікації (Brynjolfsson, McElheran, 2016), де використовується додана вартість як залежна змінна і такі фактори: продуктивність праці, капітал, трудові ресурси, споживання енергії, ІТ-капітал

(вартість апаратного та програмного забезпечення), ступінь структурованого управління (ступінь автономності персоналу середньої ланки у прийнятті рішень) і прийняття рішень на основі даних.

Результати аналізу, а також практичні потреби моделювання довгострокового розвитку національної промисловості вказують на необхідність урахування, крім класичних факторів, сучасних тенденцій щодо активного впровадження інформаційних систем і технологій у виробництво, використання «великих даних», штучного інтелекту, Інтернету речей і роботизації, тобто фактора, що характеризується цифровізацією виробництва. До того ж у проаналізованих дослідженнях не враховано специфіку галузей України та факторів, що впливають на їх розвиток.

Метою статті є обґрунтування підходу до моделювання довгострокового розвитку промисловості України з урахуванням цифровізації та змін у ключових галузях економіки з використанням виробничої функції.

У попередніх дослідженнях (Охтен, Дасів, 2020) обґрунтовано доцільність моделювання розвитку промисловості не як єдиної галузі економіки, а в розрізі трьох окремих галузей: сільського господарства, добувної та переробної промисловості. На рис. 1 наведено динаміку доданої вартості по цих галузях.

Така нерівномірна статистика з різними коливаннями показників свідчить про те, що моделювання розвитку основних галузей економіки не може здійснюватися лише на основі аналізу рядів даних, а потребує розуміння факторів, які зумовлюють зростання чи падіння показників.

За основу побудови моделі взято мультиплікативну виробничу функцію, яку модифіковано з урахуванням особливостей Четвертої промислової революції та спе-

цифіки окремих галузей в умовах України. Також визначено фактори, що впливають на основні компоненти виробничої функції (інвестиції, чисельність працівників та ін.).

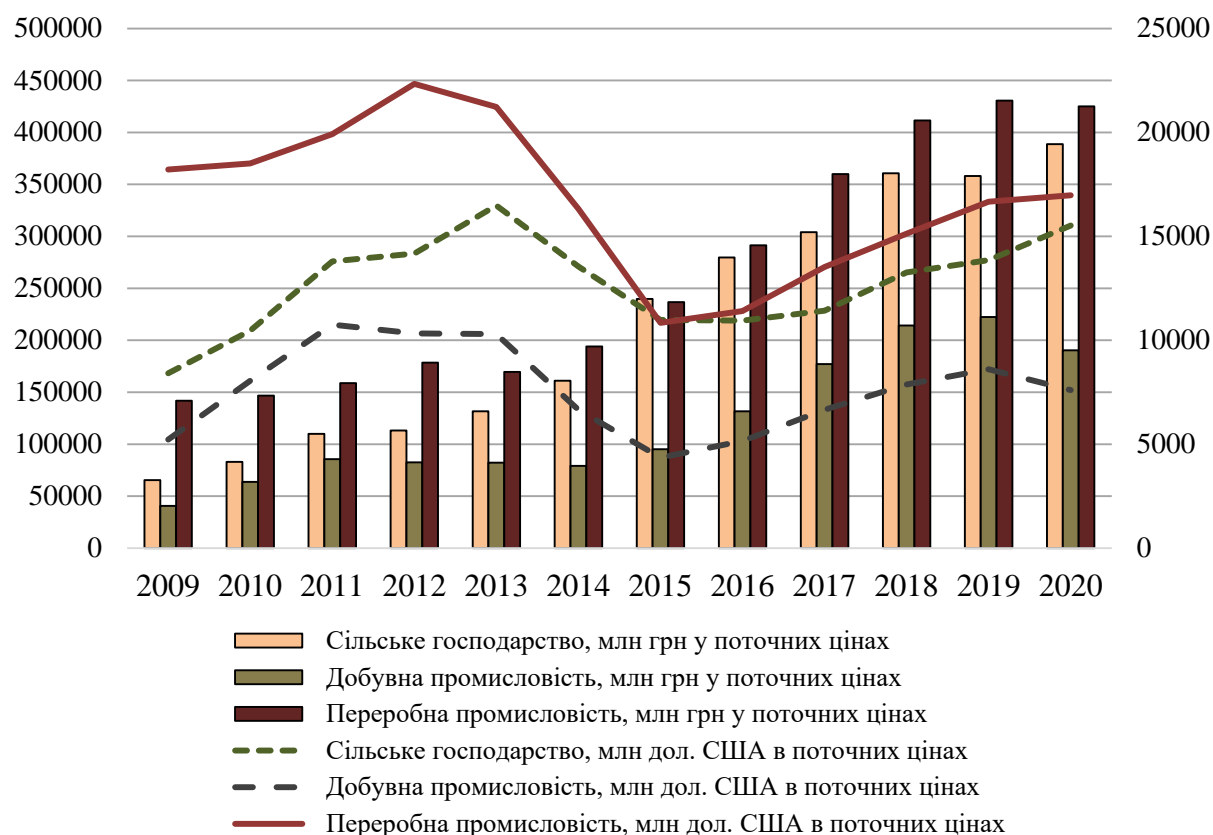


Рисунок 1 – Динаміка доданої вартості у сільському господарстві, добувній і переробній промисловості України у 2009-2020 рр.

Джерело: складено на основі (Сільське господарство України 2010, 2011; Валова додана вартість 2010-2020, 2021).

Встановлено, що цифровізація стає новим фактором виробництва, який доцільно враховувати в моделях виробничої функції окремо від традиційних факторів виробництва, таких як праця та капітал (Мадых, Охтень, 2018; Дасив, Мадых, Охтень, Турлакова, 2019). На основі аналізу існуючих підходів до визначення довгострокових факторів і тенденцій розвитку промисловості (Дасив, Охтень, 2020; Long-term macroeconomic forecasts. Key trends to 2050, 2015; Altshuler, Holland, Hong, Li, 2016; Пенькова, 2012; Семененко, Бойко, Водчиць, Добровольський, Кремешний, 2014; Вектори економічного розвитку

2030, 2020), а також з урахуванням особливостей Четвертої промислової революції здійснено розширення набору стандартних факторів виробництва за рахунок включення специфічного фактора – вартості програмного забезпечення та баз даних, а також факторів світових цін на продукцію досліджуваних галузей.

Таким чином, моделі галузей будуються на основі мультиплікативної ступеневі функції, у якій залежною змінною є додана вартість, а незалежними виступають як класичні складові виробничих функцій (праця і капітал), так і новий фактор цифровізації, а також фактори, які є спе-

цифічними для конкретних галузей. Серед питань, не розглянутих у попередніх дослідженнях, – урахування динаміки основних факторів, що впливають на додану вартість, а саме вартості основних фондів, середньорічної чисельності зайнятих і вартості програмного забезпечення та баз даних. В існуючих моделях ці фактори розглядаються як екзогенні змінні. Проте в реальності кожен із них залежить від низки інших факторів, які слід ураховувати у процесі моделювання.

Моделі для кожної конкретної галузі наведено нижче.

1. Сільське господарство

Додана вартість у сільському господарстві:

$$Y_{A,i} = \theta \cdot K_{A,i}^\alpha \cdot (L_{A,i} \cdot Q_{A,i})^\beta \cdot D_{A,i}^\gamma \cdot P_{A,i}^\delta, \quad (1)$$
 де i – індекс періоду часу (наприклад, календарний рік або порядковий номер року в рамках моделі);

$K_{A,i}$ – вартість основних фондів у сільському господарстві в i -му періоді;

$L_{A,i}$ – середньорічна чисельність зайнятих у сільському господарстві в i -му періоді;

$Q_{A,i}$ – середньорічна зарплата в сільському господарстві в i -му періоді;

$D_{A,i}$ – вартість програмного забезпечення та баз даних (ПЗ і БД) у сільському господарстві в i -му періоді;

$P_{A,i}$ – індекс продовольчих цін (наприклад, індекс продовольчих цін Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО) (FAO Food Price Index, 2021) в i -му періоді;

$\theta, \alpha, \beta, \gamma, \delta$ – коефіцієнти при змінних, розраховуються при параметризації моделі.

У свою чергу, складові виробничої функції також розраховуються на основі відповідних моделей.

Основні фонди в сільському господарстві:

$$K_{A,i} = \alpha + \beta \cdot K_{A,i-1} + \gamma \cdot IK_{A,i-1} \quad (2)$$
 де $K_{A,i}$ – вартість основних фондів у сільському господарстві в попередньому, тобто $(i - 1)$ -му, періоді;

$IK_{A,i-1}$ – інвестиції в основні фонди в сільському господарстві в попередньому, тобто $(i - 1)$ -му, періоді;

α, β, γ – коефіцієнти при змінних, розраховуються у процесі параметризації моделі.

Інвестиції в основні фонди в сільському господарстві:

$$IK_A = \theta \cdot Y_{A,i-1}^\alpha \cdot G_{i-1}^\beta \cdot P_{i-1}^\gamma, \quad (3)$$

де $Y_{A,i-1}$ – додана вартість у сільському господарстві в попередньому, тобто $(i - 1)$ -му, періоді;

G_{i-1} – зростання світової економіки в попередньому, тобто $(i - 1)$ -му, періоді;

P_{i-1} – схильність до інвестування (в економіці загалом, наприклад, частка інвестицій у ВВП) у попередньому, тобто $(i - 1)$ -му, періоді;

$\theta, \alpha, \beta, \gamma$ – коефіцієнти при змінних, розраховуються у процесі параметризації моделі.

Чисельність зайнятих у сільському господарстві:

$$L_{A,i} = \theta T_i^\alpha \cdot Z_{A,i}^\beta \cdot K_{A,i}^\gamma, \quad (4)$$

де T_i – чисельність працездатного населення в i -му періоді;

$Z_{A,i}$ – співвідношення середньої заробітної плати в сільському господарстві із середньою заробітною платою в ЄС: $Z_{A,i} = Q_{A,i}/Q_{EU,i}$;

$\theta, \alpha, \beta, \gamma$ – коефіцієнти при змінних, розраховуються у процесі параметризації моделі.

Середня зарплата в сільському господарстві $Q_{A,i}$ задається в моделі екзогенно (тобто не розраховується самою моделлю).

Вартість програмного забезпечення і баз даних у сільському господарстві

Статистика вартості ПЗ і БД органи статистики України не ведеться, тому, як зазначено вище, як альтернативу можна використовувати інвестиції в ПЗ і БД (наприклад, суму таких інвестицій за 2 роки). У такому випадку

$$D_{A,i} = ID_{A,i} + D_{A,i-1}, \quad (5)$$

де $ID_{A,i}$ – інвестиції в ПЗ і БД в i -му періоді.

2. Добувна промисловість

Модель для добувної промисловості аналогічна моделі для сільського господарства, однак з урахуванням специфіки добувної промисловості.

Додана вартість у добувній промисловості:

$$Y_{E,i} = \theta \cdot K_{E,i}^{\alpha} \cdot (L_{E,i} \cdot Q_{E,i})^{\beta} \cdot D_{E,i}^{\gamma} \cdot P_{E,i}^{\delta}, \quad (6)$$

де всі змінні, коефіцієнти та індекси аналогічні моделі для сільського господарства окрім того, що замість індексу продовольчих цін використовується $P_{E,i}^{\delta}$ – індекс сировинних цін (наприклад, індекс сировинних товарів і енергетичних ресурсів МВФ (IMF, 2021)).

3. Переробна промисловість

Модель для переробної промисловості аналогічна двом наведеним вище моделям за винятком того, що в ній не використовується фактор цін, оскільки продукція переробної промисловості є занадто різномірною, щоб можна було включити в модель універсальний фактор цін (подібно до факторів цін на сільськогосподарську продукцію і сировинні товари в моделях сільського господарства і добувної промисловості):

$$Y_{M,i} = \theta \cdot K_{M,i}^{\alpha} \cdot (L_{M,i} \cdot Q_{M,i})^{\beta} \cdot D_{M,i}^{\gamma}, \quad (7)$$

До того ж у роботі (Охтеня, Дасів, 2021) аргументовано необхідність моделювання виробничої функції з урахуванням зміни віддачі факторів виробництва з часом. Для перевірки цієї гіпотези розглянуто зміну з часом коефіцієнтів при факторах виробництва на прикладі розвинутої країни (що серед перших упроваджує сучасні технології, у тому числі цифрові), для якої існує необхідна офіційна статистика. У статті (Мадих, Охтеня, Дасів, 2018) зазначено, що такою країною є Німеччина, тому гіпотезу перевірено на її прикладі. Встановлено, що додавання поправочних коефіцієнтів, які визначають зміну вагових коефіцієнтів при факторах виробничої функції з часом збільшило точність розрахунків. Також було зафіксовано зниження результуючого (з урахуванням мінливого в часі коефіцієнта) показника ступеня при факторі цифровізації та його збільшення при факторі основних засобів, що беруть участь у

процесі виробництва (вартості машин та обладнання) – віддача від основних фондів щорічно збільшується, а віддача від фактора цифровізації зменшується приблизно на ту саму величину.

Такі поправочні коефіцієнти слід включити у модель виробничої функції для вищенаведених галузей економіки України. Так, з урахуванням поправочних коефіцієнтів для факторів виробництва додана вартість у кожній галузі розраховуватиметься за такою формулою:

$$Y_i = \theta \cdot K_i^{\alpha \cdot k_{\alpha}^{(i-i_0)}} \cdot L_i^{\beta \cdot k_{\beta}^{(i-i_0)}} \cdot D_i^{\gamma \cdot k_{\gamma}^{(i-i_0)}} \cdot P_i^{\delta}, \quad (8)$$

де i_0 – індекс «нульового» року, тобто року, в якому коефіцієнти при факторах ще не змінювалися (по суті, цей рік є першим роком моделі), значення i_0 може бути як порядковим номером року (1, 2, 3 та ін.), так і традиційним позначенням року (2010, 2011, 2012 та ін.);

k_{α} , k_{β} і k_{γ} – коефіцієнти, що відображають зміну коефіцієнтів α , β і γ при факторах капіталу, праці та цифровізації відповідно, причому $k_{\alpha} + k_{\beta} + k_{\gamma} = 3$, тобто збільшення одного коефіцієнта може відбуватися тільки за рахунок зменшення іншого, а їх сума є постійною.

Зведення значень коефіцієнтів k_{α} , k_{β} і k_{γ} у ступінь $(i - i_0)$ відображає кумулятивну зміну віддачі факторів (тобто значень показників ступеня α , β і γ) за період з i_0 -го по i -й рік.

Оскільки Україна не є країною, де масово створюються нові технології, а переважно лише впроваджуються нові технології, розроблені в розвинутих країнах із певним запізненням, то логічно припустити, що тенденції зміни вагових коефіцієнтів при факторах виробництва будуть такими самими, якими вони були в розвинутих країнах певний час тому. Отже, для України на найближчі, як мінімум, 10 років можна використовувати коригувальні коефіцієнти, розраховані для Німеччини за минулі 10 років, а не розраховувати будь-які власні коригувальні коефіцієнти (що було б більш складно з урахуванням дефіциту статистичної інформації).

З точки зору застосування запропонованих моделей для аналізу та прийняття рішень важливими є важелі, за допомогою яких можна впливати на зміну виробничої функції (у термінах моделі – це незалежні змінні). З цієї позиції всі змінні запропонованих моделей (що утворюють комплекс моделей виробничої функції) можна роз-

поділити на три класи: залежні, незалежні та змінні, що являють собою проміжні розрахунки (вони є незалежними змінними для моделей нижчого рівня і залежними змінними – в моделях виробничої функції, які використовуються для розрахунку доданої вартості по галузях) (табл. 1).

Таблиця 1 – Ролі змінних комплексу моделей виробничої функції з точки зору аналізу та прийняття рішень

Залежні змінні – підсумкові результати розрахунків	Незалежні змінні – встановлюються ззовні	Проміжні змінні – розраховуються у процесі моделювання
Величина доданої вартості за галузями – $Y_{A,i}, Y_{E,i}, Y_{M,i}$.	1. Середньорічна зарплата за галузями – $Q_{A,i}, Q_{E,i}, Q_{M,i}$. 2. Індеси цін для сільського господарства і добувної промисловості – $P_{A,i}, P_{E,i}$. 3. Зростання світової економіки – G_i . 4. Схильність до інвестування в економіці загалом – P_{i-1} . 5. Чисельність населення в країні загалом – T_i . 6. Середня заробітна плата за галузями – $Q_{A,i}, Q_{E,i}, Q_{M,i}$. 7. Середня заробітна плата в ЄС – $Q_{EU,i}$. 8. Валютні індикатори – курс гривні до долара США та євро, а також коригувальний коефіцієнт для приведення поточного курсу долара США до порівнянного (дефлятор світового ВВП). 9. Коефіцієнти для коригування віддачі факторів із часом – $k_\alpha, k_\beta, k_\gamma$	1. Вартість основних фондів за галузями – $K_{A,i}, K_{E,i}, K_{M,i}$. 2. Інвестиції в основні фонди за галузями – $IK_{A,i}, IK_{E,i}, IK_{M,i}$. 3. Середньорічна чисельність зайнятих за галузями – $L_{A,i}, L_{E,i}, L_{M,i}$. 4. Вартість ПЗ і БД (або, за відсутності необхідної статистики, інвестиції в ПЗ і БД) – $D_{A,i}$. 5. Інвестиції в ПЗ і БД – $ID_{A,i}, ID_{E,i}, ID_{M,i}$. 6. Коефіцієнт масштабу і показники ступеня при факторах для кожної окремої моделі – $\theta, \alpha, \beta, \gamma$

Джерело: складено авторами.

Таким чином, основним «виходом» моделі є величина доданої вартості, а також аналітичне значення, яке мають проміжні змінні. Незалежні змінні є «входами» моделі та використовуються як «важелі», що впливають на проміжні змінні та через них на незалежну змінну – величину доданої вартості за галузями. Слід відзначити, що залежні та проміжні змінні (за винятком коефіцієнта масштабу і показників ступеня) є розрахунковими для майбутніх періодів часу, а також при оцінюванні по-

милки у процесі параметризації, проте по них є фактичні дані за минулі періоди часу. По незалежних змінних мають бути дані на всі періоди часу, для яких виконуються розрахунки (оскільки ці показники не розраховуються моделлю, вони мають надходити до моделі ззовні на основі зовнішніх прогнозів, оцінок, планів та ін.).

Перевірка адекватності моделі за результатами її параметризації показала достатню точність розрахунків (табл. 2-4).

Таблиця 2 – Розрахунок доданої вартості в сільському господарстві України у 2010-2019 рр. із використанням моделі

Рік	Додана вартість, млн дол. у поточних цінах	Основні фонди, млн дол. у поточних цінах	Річні витрати на оплату праці, млн дол. у поточних цінах	Інвестиції в ПЗ за 2 останні роки, млн дол. у поточних цінах	Світовий індекс продовольчих цін	Додана вартість, млн дол. у поточних цінах (розрахунок)	Відносна помилка, %
2010	10460,03	14298,61	6939,97	3,70	106,79	11312,75	8,15
2011	12808,97	13747,62	8833,34	4,06	118,82	12738,82	0,55
2012	13184,94	16025,21	10188,87	4,45	111,49	13699,30	3,90
2013	15306,03	18127,94	11672,52	4,02	109,50	14186,30	7,32
2014	12590,87	13391,50	7408,60	4,62	106,31	12160,88	3,42
2015	11087,74	9717,44	5270,28	4,84	95,12	10230,67	7,73
2016	11172,12	10803,28	5763,77	3,70	97,81	10177,02	8,91
2017	11316,39	12719,00	7741,38	3,74	100,81	11557,72	2,13
2018	12731,06	14368,12	9400,98	4,20	94,15	12587,10	1,13
2019	13422,25	17594,72	11992,18	3,55	95,58	13564,48	1,06
Середня відносна помилка з урахуванням 2014-2015 рр.							4,43
Середня відносна помилка без урахування 2014-2015 рр.							4,14

Джерело: розраховано на основі (Валова додана вартість 2010-2020, 2021; Вартість основних засобів за видами економічної діяльності у 2000-2019 роках, 2020; Середньомісячна заробітна плата штатних працівників за видами економічної діяльності у 2010-2020, 2021; Капітальні інвестиції підприємств за видами економічної діяльності у 2010-2019 роках, 2020; FAO Food Price Index, 2021).

Таблиця 3 – Розрахунок доданої вартості в добувній промисловості України у 2010-2019 рр. із використанням моделі

Рік	Додана вартість, млн дол. у поточних цінах	Основні фонди, млн дол. у поточних цінах	Річні витрати на оплату праці, млн дол. у поточних цінах	Інвестиції в ПЗ за 2 останні роки, млн дол. у поточних цінах	Світовий індекс сировинних цін	Додана вартість, млн дол. у поточних цінах (розрахунок)	Відносна помилка, %
2010	8049,31	17801,26	2736,82	6,12	146,11	7941,964	1,33
2011	9982,19	23792,95	3001,30	5,73	182,47	9586,525	3,96
2012	9608,61	26909,87	3313,38	4,44	174,42	9342,781	2,77
2013	9561,34	35992,24	3485,53	6,99	168,79	10123,67	5,88
2014	6181,94	28340,84	1615,30	15,45	169,79	9890,82	60,00
2015	4398,97	17526,10	1033,87	13,47	170,79	8718,439	98,19
2016	5258,50	16377,38	1025,46	5,36	100,00	5557,211	5,68
2017	6596,25	15747,28	1149,77	8,43	113,55	6401,615	2,95
2018	7561,20	14532,57	1234,97	17,92	128,19	7512,977	0,64
2019	8335,45	16108,03	1619,16	26,19	117,57	7777,589	6,69
Середня відносна помилка з урахуванням 2014-2015 рр.							18,81
Середня відносна помилка без урахування 2014-2015 рр.							3,74

Джерело: розраховано на основі (Валова додана вартість 2010-2020, 2021; Вартість основних засобів за видами економічної діяльності у 2000-2019 роках, 2020; Середньомісячна заробітна плата штатних працівників за видами економічної діяльності у 2010-2020, 2021; Капітальні інвестиції підприємств за видами економічної діяльності у 2010-2019 роках, 2020; IMF, 2021).

Таблиця 4 – Розрахунок доданої вартості в переробній промисловості України у 2010-2019 рр. із використанням моделі

Рік	Додана вартість, млн дол. у поточних цінах	Основні фонди, млн дол. у поточних цінах	Річні витрати на оплату праці, млн дол. у поточних цінах	Інвестиції в ПЗ за 2 останні роки, млн дол. у поточних цінах	Додана вартість, млн дол. у поточних цінах (розрахунок)	Відносна помилка, %
2010	18505,55	88992,69	7523,55	35,47	17978,27	2,85
2011	18490,84	75083,24	8251,93	39,80	18555,30	0,35
2012	20775,72	78924,50	9244,75	54,68	20788,04	0,06
2013	19710,52	69714,72	9445,16	58,23	20626,86	4,65
2014	15161,86	59090,77	6002,96	52,92	14484,11	4,47
2015	10943,76	76612,19	4078,97	41,53	11862,04	8,39
2016	11642,24	71582,01	4251,50	37,34	12023,47	3,27
2017	13398,29	43494,62	5294,25	40,13	12359,93	7,75
2018	14520,61	44379,55	6434,17	36,86	14272,13	1,71
2019	16143,42	43124,85	7956,40	41,44	16605,36	2,86
Середня відносна помилка з урахуванням 2014-2015 рр.						3,64
Середня відносна помилка без урахування 2014-2015 рр.						2,94

Джерело: розраховано на основі (Валова додана вартість 2010-2020, 2021; Вартість основних засобів за видами економічної діяльності у 2000-2019 роках, 2020; Середньомісячна заробітна плата штатних працівників за видами економічної діяльності у 2010-2020, 2021; Капітальні інвестиції підприємств за видами економічної діяльності у 2010-2019 роках, 2020).

Отже, модель демонструє достатньо низьку помилку апроксимації (як різницю між розрахунковими та фактичними значеннями), причому ця помилка ще нижче при виключенні даних за аномальні 2014-2015 рр.

На практиці модель може застосовуватися для вирішення таких завдань:

1) передбачення розвитку ситуації в галузях промисловості з часом. Моделі не створювалися для отримання точних прогнозів, однак вони можуть показувати напрями розвитку основних показників у різних умовах, тому в поєднанні з іншими інструментами можуть застосовуватися для перевірки або уточнення розрахунків;

2) оцінювання наслідків управлінських рішень на державному рівні, наприклад, спрямованих на стимулювання інвестицій у ті чи інші фактори виробництва, регулювання ринку праці, стимулювання цифровізації тощо за допомогою різних інструментів державної економічної політики, таких як податки, пільги, прямі інвестиції та ін. При оцінюванні наслідків управлінських рішень кожному рішенню

ставиться у відповідність певне значення або зміна значення однієї або декількох незалежних змінних моделі для кожного року протягом періоду дії такого рішення;

3) аналіз розвитку ситуації за різними сценаріями, наприклад, в умовах зростання або падіння цін на продукцію, світових економічних криз, зміни демографічних тенденцій. Також як сценарії можуть розглядатися комплексні державні програми, які суттєво впливають на умови функціонування галузей. При аналізі сценаріїв кожному сценарію ставиться у відповідність конкретний набір значень незалежних змінних моделі для кожного року протягом планового періоду (як правило, кожен сценарій може зачіпати відразу кілька змінних протягом тривалого періоду часу).

Крім того, на основі результатів розрахунків доданої вартості за ключовими галузями можливо розрахувати значення ВВП у цілому по країні. Оскільки представлений комплекс моделей включає не всі галузі, то для розрахунку ВВП доцільно використовувати регресійну модель, до якої факторами будуть входити значення

доданої вартості для означених ключових галузей. Такий підхід є цілком обґрунтованим, оскільки ВВП, відповідно до одного з методів розрахунку, включає додану вартість, створену в економіці країни. Крім того, включення в модель основних галузей, що створюють первинні матеріальні блага, а не перерозподіляють створені блага, дозволяє стверджувати, що додана вартість за іншими галузями (торгівля, енергетика, фінансові послуги та ін.) значною мірою похідна від доданої вартості, створеної у сільському господарстві, добувній та переробній галузях. Для розрахунку ВВП використовуватиметься адитивна функція (лінійна регресія)

$$GDP_i = a + b \cdot Y_{A,i} + c \cdot Y_{E,i} + d \cdot Y_{M,i}, \quad (9)$$

де GDP_i – величина ВВП країни загалом в i -й період;

$Y_{A,i}, Y_{E,i}, Y_{M,i}$ – додана вартість у сільському господарстві, добувній та переробній галузях відповідно;

a, b, c, d – коефіцієнти моделі лінійної регресії.

Використання саме адитивної, а не мультиплікативної функції пояснюється тим, що компоненти ВВП (додана вартість) при прямому розрахунку ВВП підсумовуються, а завдання запропонованої моделі полягає в тому, щоб скоригувати підсумкове значення для неявного врахування не включених у модель елементів ВВП. Правильність форми і факторів моделі підтверджується розрахунками, наведеними в табл. 5.

Таблиця 5 – Результати розрахунків із використанням моделі розрахунку ВВП України у 2010-2020 рр. на основі значень доданої вартості у сільському господарстві, добувній та переробній галузях

Рік	ВВП, дол. США у поточних цінах	Додана вартість у сільському господарстві, дол. США у поточних цінах	Додана вартість у добувній промисловості, дол. США у поточних цінах	Додана вартість у переробній промисловості, дол. США у поточних цінах	ВВП, дол. США у поточних цінах, розрахунок	Абсолютна помилка, %
2010	136 013	10 460,03	8 049,31	18 505,55	135 004	1,59
2011	163 160	13 796,86	10 752,07	19 916,94	164 124	2,12
2012	175 781	14 173,34	10 328,91	22 333,17	176 700	0,61
2013	183 310	16 486,48	10 298,75	21 230,66	181 752	0,18
2014	133 503	13 552,99	6 654,33	16 320,44	134 793	0,95
2015	91 031	10 980,13	4 356,27	10 837,55	90 089	0,59
2016	93 356	10 947,20	5 152,64	11 407,87	94 787	2,57
2017	112 190	11 426,65	6 660,53	13 528,83	111 301	0,46
2018	130 902	13 263,13	7 877,21	15 127,46	130 696	1,68
2019	153 781	13 857,28	8 605,61	16 666,64	145 221	5,57
Середня помилка						1,20

Джерело: статистичні дані з (GDP, 2021; Валова додана вартість 2010-2020, 2021), розраховано авторами на основі моделі.

Коефіцієнт детермінації R^2 дорівнює 0,994, а коефіцієнт регресії R становить 0,998, усі змінні є значимими, середня абсолютна помилка становить 1,2%. Таким чином, дана модель є досить точною і може використовуватися для розрахунку ВВП України на основі розрахунків доданої вартості в сільському господарстві, добувній

та переробній галузях, виконаних за допомогою вищенаведених моделей виробничої функції.

Модель розрахунку ВВП вирішує одразу декілька завдань:

по-перше, вона є додатковим інструментом, що надає цінні для аналізу дані

(коли потрібні дані не тільки за галузями, але і по економіці загалом);

по-друге, на її основі можна оцінювати адекватність комплексу моделей доданої вартості по галузях (точність розрахунків ВВП буде підтверджувати точність розрахунків доданої вартості по галузях);

по-третє, вона дозволяє порівнювати отримані значення з існуючими прогнозами та планами (програмами уряду, прогнозами міжнародних організацій тощо).

З точки зору практичного використання моделей для прийняття управлінських рішень на окрему увагу заслуговує оцінка еластичності основного рушійного

фактора розвитку галузей (інвестицій) за основними змінними, які впливають. Тобто необхідно отримати відповідь на питання про те, як різні чинники впливають на динаміку інвестицій і, відповідно, які важелі можна використовувати для стимулювання інвестицій.

У табл. 6 наведено значення еластичності інвестицій за факторами в розрізі галузей. Під еластичністю розуміється відсоткова зміна інвестицій при зміні значення фактора на 1%. Оскільки фактори в основному впливають на інвестиції із запізненням, то вплив факторів оцінено із запізненням на 1 рік.

Таблиця 6 – Еластичність інвестицій за різними факторами в розрізі галузей

Фактор	Сільське господарство	Добувна промисловість	Переробна промисловість
Світовий індекс продовольчих цін	0,16709	-	-
Світовий індекс сировинних цін	-	0,49048	-
Зростання світової економіки	0,00498	0,00376	0,00398
Курс гривні до долара США	-0,15734	-0,14763	-0,64561
Середня зарплата, грн / місяць	0,15758	0,08546	0,64981
Схильність до інвестування	0,08724	0,22210	0,05229
Додана вартість	0,90694	0,77239	0,94320

Джерело: розраховано авторами.

На основі наведених у табл. 6 даних здійснено такі оцінки:

індекси цін мають помітний вплив на інвестиції в основні фонди в сільському господарстві та добувній промисловості відповідно, причому для добувної промисловості цей вплив є більш вираженим;

зростання світової економіки має незначний вплив на інвестиції в кожній із галузей, що, з одного боку, вказує на деяку відірваність України від світових економічних циклів, а з іншого – що основні галузі поки що не взяті під контроль транснаціональними корпораціями;

курс гривні до долара США має незмінний негативний вплив на інвестиції, причому найбільш виражений – на інвестиції в основні фонди переробної промисловості, що в умовах України спростовує поширене уявлення про те, що девальвація національної валюти стимулює внутрішнє виробництво. Результати моделювання, а

також практика (після девальвації гривні у 2014-2015 рр. у 3 рази активного розвитку переробної промисловості не було) свідчать про зворотне;

зростання середньої заробітної плати стимулює інвестиції в усіх галузях, особливо у переробній (це пов'язано з тим, що зростання заробітної плати відбувається одночасно у всій економіці та стимулює попит на споживчі товари). Оскільки прямого причинно-наслідкового зв'язку між заробітною платою та інвестиціями в основні фонди немає, можна дійти висновку про те, що така залежність пояснюється синхронністю економічних процесів: у сприятливій ситуації підприємства інвестують в основні фонди та збільшують заробітну плату, а в несприятливій – скорочують інвестиції та оплату праці;

схильність до інвестування (по всій економіці загалом) має відчутний вплив на інвестиції в окремих галузях, однак цей

вплив є не на стільки вираженим, як можна було б очікувати. Це свідчить про те, що на інвестиційну активність галузей, які моделювалися, впливають специфічні фактори, які не повністю збігаються з тими, що впливають на інвестиційну активність в економіці загалом;

найбільший вплив на інвестиції в основні фонди кожної галузі має величина доданої вартості. Інвестиції безпосередньо залежать від результатів роботи підприємств і значною мірою фінансуються за рахунок отриманого прибутку (крім того, фінансові результати є одним з основних факторів при прийнятті банками рішень про кредитування інвестиційних проєктів підприємств). Хоча вплив цього фактора і є найбільш вираженим, слід зазначити, що ним неможливо управляти безпосередньо, оскільки додана вартість є результируючим (залежним) показником, а не важелем впливу на інші фактори.

Висновки

1. Розроблено модель для оцінювання перспектив розвитку національної промисловості з урахуванням того, як розвиваються основні взаємопов'язані ключові для України галузі економіки (не тільки переробна і добувна промисловості, але й сільське господарство).

2. Особливість розробленої моделі полягає в тому, що залежною змінною в ній є додана вартість у галузі, а незалежними змінними виступають як класичні складові виробничих функцій (праця і капітал), так і новий фактор цифровізації (виражений як вартість ПЗ і БД), а також фактори, які є специфічними для конкретних галузей (індекс світових продовольчих цін для сільського господарства та індекс світових сировинних цін для добувної промисловості). Крім того, в моделі використовуються поправочні коефіцієнти, що відображають зміну віддачі факторів із часом.

3. Параметризація та оцінка адекватності моделі засвідчили, що вона має достатню точність для практичного використання: при виключенні з розрахунків аномальних 2014-2015 рр. середня абсолютна

помилка апроксимації становить від 2,94 до 4,14% (залежно від галузі).

4. Модель може використовуватися для вирішення таких завдань, як передбачення розвитку ситуації в галузях промисловості з часом, оцінка наслідків тих чи інших управлінських рішень на державному рівні, аналіз розвитку ситуації за різними сценаріями.

5. Результати моделювання також можуть використовуватися для оцінювання впливу розвитку основних галузей на ВВП країни загалом. Для цього запропоновано відповідний інструментарій, а також для аналізу еластичності основного рушійного фактора розвитку галузей – інвестицій – за основними змінними, які на нього впливають. Зокрема, розрахунки свідчать, що курс гривні до долара США має негативний вплив на інвестиції, причому найбільш виражений – на інвестиції в основні фонди переробної промисловості. Це ставить під сумнів поширене уявлення про те, що девальвація гривні стимулює внутрішнє виробництво.

Перспективи подальших досліджень полягають у використанні розробленої моделі для побудови та аналізу сценаріїв розвитку промисловості України до 2035 р.

Література

- Вартість основних засобів за видами економічної діяльності у 2000-2019 роках.* 2020. URL: https://ukrstat.org/uk/operativ/operativ2020/ibd/voz/voz_u/arh_voz_u.htm (дата звернення: 29.08.2021).
- Вектори економічного розвитку 2030.* Кабінет міністрів України. 2020. URL: <https://nes2030.org.ua/docs/doc-vector.pdf> (дата звернення: 31.08.2021).
- Виробництво та розподіл валового внутрішнього продукту за видами економічної діяльності. Валова додана вартість 2010-2020.* 2021. URL: <https://data.gov.ua/dataset/e73d00ac-aba5-4dba-aa72-58181e465243> (дата звернення: 02.09.2021).
- Вільчинська О. М., Паночишин Ю. М., Кушнір Т. О. (2016). Визначення можливостей застосування виробничої функції Кобба-Дугласа як інструменту

- управління виробничими ресурсами регіону. *Вісник Хмельницького національного університету*. № 2. Т. 1. С. 177-181.
- Гаврилюк В. Т. (2012). Аналіз впливу інвестицій на економічне зростання країни з використанням виробничих функцій. *Вісник Запорізького національного університету*. № 4 (16). С. 73-78.
- Дасів А. Ф., Мадых А. А., Охтеня А. А., Турлакова С. С. (2019). *Экономико-математические модели и информационно-коммуникационные технологии развития смарт промышленности: монография*. Київ: ІЕП НАН України. 140 с. (електронне видання). URL: https://iie.org.ua/wp-content/uploads/2020/05/mono_mathmodels_compressed.pdf (дата звернення: 29.08.2021).
- Дасів А. Ф., Охтеня О. О. (2020). *Аналіз підходів до визначення довгострокових факторів і тенденцій розвитку національної промисловості в умовах цифровізації. Економіка, облік, фінанси, менеджмент і право в Україні та світі: зб. тез доповідей міжнар. наук.-практ. конф.* Полтава: ЦФЕНД. С. 84-85.
- Капітальні інвестиції підприємств за видами економічної діяльності у 2010-2019 роках*. 2020. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/sze_20.htm (дата звернення: 15.08.2021).
- Мадых А. А., Охтеня А. А. (2018). Моделирование трансформации влияния производственных факторов на экономику в процессе становления смарт-промышленности. *Экономика промышленности*. 4 (84). С. 26-41. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry2018.04.026>
- Охтеня О. О., Дасів А. Ф. (2020). *Аналіз і відбір довгострокових факторів та тенденцій для моделювання розвитку промисловості України в умовах Четвертої промислової революції: науково-аналітична записка*. Київ: ІЕП НАН України. 40 с. (рукопис не опубліковано).
- Пенькова О. Г. (2012). Прогнозування показників розвитку економіки на довгострокову перспективу. *Вісник Бердянського університету менеджменту і бізнесу*. № 1 (17). С. 83-89.
- Семененко О. М., Бойко Р. В., Водчиць О. Г., Добровольський Б. Ю., Кремешний О. І. (2014). Прогнозування показників номінального та реального ВВП України шляхом застосування факторних моделей (2015-2030 рр.). *Системи обробки інформації*. Вип. 8 (124). С. 164-170.
- Середньомісячна заробітна плата штатних працівників за видами економічної діяльності у 2010-2020 роках*. 2021. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/gdn/szpshp/arh_szp_ed_u.html (дата звернення: 29.08.2021).
- Сільське господарство України 2010: статистичний збірник*. Київ: Державна служба статистики України. 2011. 374 с. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/07/Arch_sg_zb.htm (дата звернення: 29.08.2021).
- Сухоруков А. І., Харазішвілі Ю. М. (2012). *Моделювання та прогнозування соціально-економічного розвитку регіонів України: монографія*. Київ: НІСД. 368 с.
- Altshuler C., Holland D., Hong P., Li H.-Y. (2016). *The World Economic Forecasting Model at the United Nations*. Development Policy and Analysis Division, Department of Economic and Social Affairs, United Nations. URL: https://www.un.org/development/desa/dpad/wpcontent/uploads/sites/45/publication/2016_Apr_WorldEconomicForecastingModel.pdf (дата звернення: 29.08.2021).
- Brynjolfsson E., McElheran K. (2016). *Data in Action: Data-Driven Decision Making in U.S. Manufacturing*. DOI: 10.2139/ssrn.2722502. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2722502 (дата звернення: 29.08.2021).
- Commodity (All Commodities and Energy)*. IMF. 2021. URL: <https://data.imf.org/?sk=471DDDF8-D8A7-499A-81BA-5B332C01F8B9> (дата звернення: 29.08.2021).
- FAO Food Price Index*. World Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2021. URL: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/foodpricesindex/en/> (дата звернення: 31.08.2021).

Long-term macroeconomic forecasts. Key trends to 2050 (2015). A special report from The Economist Intelligence Unit. The Economist Intelligence Unit Limited. URL: https://espas.secure.europarl.europa.eu/orbis/sites/default/files/generated/document/en/Long-termMacroeconomicForecasts_KeyTrends.pdf (дата звернення: 30.08.2021).

World Bank. *World Development Indicators. Gross Capital Formation, GDP, 2021*. URL: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators?l=en#> (дата звернення: 31.08.2021).

References

- The cost of fixed assets by type of economic activity in 2000-2019* (2020). Retrieved from https://ukrstat.org/uk/operativ/operativ2020/ibd/voz/voz_u/arh_voz_u.htm [in Ukrainian].
- Vectors of economic development 2030* (2020). Cabinet of Ministers of Ukraine. Retrieved from <https://nes2030.org.ua/docs/doc-vector.pdf> [in Ukrainian].
- Gross value added 2010-2020* (2021). Production and distribution of gross domestic product by type of economic activity (in actual prices; UAH mln.). Retrieved from <https://data.gov.ua/dataset/e73d00ac-a6a5-4dba-aa72-58181e465243> [in Ukrainian].
- Vilchynska, O. M., Panochyshyn, Yu. M., & Kushni, T. O. (2016). Identifying the possibilities of using the Cobb-Douglas production function as a tool for managing the production resources of the region. *Bulletin of Khmelnytsky National University*, No 2, Vol. 1, pp. 177-181 [in Ukrainian].
- Havryliuk, V. T. (2012). Analysis of the impact of investment on economic growth of the country using production functions. *Bulletin of Zaporizhia National University*, 4 (16), pp. 73-78 [in Ukrainian].
- Dasiv, A. F., Madykh, A. A., Okhten, O. O., & Turlakova, S. S. (2019). *Economic-mathematical models and information-communication technologies of smart industry development*: monograph. Kyiv: Institute of Industrial Economics of NAS of Ukraine. 140 p. (electronic edition). Retrieved from https://iie.org.ua/wp-content/uploads/2020/05/mono_mathmodels_compressed.pdf [in Russian].
- Dasiv, A. F. & Okhten, O. O. (2020). *Analysis of approaches to determining long-term factors and trends in national industry in the context of digitalization. Economics, accounting, finance, management and law in Ukraine and the world*: collection of abstracts of the international scientific-practical conference. Poltava: CFEND. pp. 84-85 [in Ukrainian].
- Capital investments of enterprises by types of economic activity in 2010-2019*. 2020. Retrieved from http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/size_20.htm [in Ukrainian].
- Madykh, A. A., & Okhten, O. O. (2018). Modeling the transformation of the influence of production factors on the economy in the process of formation of the smart industry. *Econ. promisl.*, 4 (84), pp. 26-41. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry2018.04.026> [in Russian].
- Okhten, O. O. & Dasiv, A. F. (2020). *Analysis and selection of long-term factors and trends for modeling the development of Ukrainian industry in the Fourth Industrial Revolution*: scientific and analytical report. Kyiv: Institute of Industrial Economics of NAS of Ukraine. 40 p. (manuscript not published) [in Ukrainian].
- Penkova, O. G. (2012). Forecasting economic development indicators for the long term. *Bulletin of Berdyansk University of Management and Business*, 1 (17), pp. 83-89 [in Ukrainian].
- Semenenko, O. M., Boiko, R. V., Vodchyts, O. H., Dobrovolskyi, B. Iu. & Kremeshnyi O. I. (2014). Forecasting of nominal and real GDP of Ukraine through the use of factor models (2015-2030). *Information processing systems*. Vol. 8 (124), pp. 164-170 [in Ukrainian].
- Average monthly salary of full-time employees by type of economic activity in 2010-2020* (2021). Retrieved from http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/gdn/szpsph/arh_szp_ed_u.html [in Ukrainian].
- Agriculture of Ukraine 2010* (2011). statistical collection. Kyiv: State Statistics Service

- of Ukraine. 374 p. Retrieved from http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Archiv_u/07/Arch_sg_zb.htm [in Ukrainian].
- Sukhorukov, A. I., & Kharazishvili, Yu. M. (2012). *Modeling and forecasting of socio-economic development of the regions of Ukraine*: monograph. Kyiv: NISS. 368 p. [in Ukrainian].
- Altshuler, C., Holland, D., Hong, P., Li. H.-Y. (2016). *The World Economic Forecasting Model at the United Nations*. Development Policy and Analysis Division, Department of Economic and Social Affairs, United Nations. Retrieved from https://www.un.org/development/desa/dpad/wpcontent/uploads/sites/45/publication/2016_Apr_WorldEconomicForecastingModel.pdf
- Brynjolfsson, E., McElheran, K. (2016). *Data in Action: Data-Driven Decision Making in U.S. Manufacturing*. DOI: 10.2139/ssrn.2722502. Retrieved from https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2722502
- IMF (2021). *Commodity (All Commodities and Energy)*. Retrieved from <https://data.imf.org/?sk=471DDDF8-D8A7-499A-81BA-5B332C01F8B9>
- FAO Food Price Index (2021). World Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <http://www.fao.org/worldfoodsituation/foodpricesindex/en/Long-term-macroeconomic-forecasts-Key-trends-to-2050> (2015). A special report from The Economist Intelligence Unit. The Economist Intelligence Unit Limited. Retrieved from https://espas.secure.europarl.europa.eu/orbis/sites/default/files/generated/document/en/Long-termMacroeconomicForecasts_KeyTrends.pdf
- GDP (2021). *World Bank. World Development Indicators*. Gross Capital Formation. Retrieved from <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators?l=en#>

Алексей Александрович Охтенъ,

канд. экон. наук, старший научный сотрудник

E-mail: aokhten@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1629-3891>;

Алла Федоровна Дасив,

канд. экон. наук

Институт экономики промышленности НАН Украины

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

E-mail: alladasiv@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5431-701X>

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЛГОСРОЧНОГО РАЗВИТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ

В статье обоснована целесообразность моделирования развития национальной промышленности с учетом того, как развиваются основные взаимосвязанные ключевые для Украины отрасли экономики (не только перерабатывающая и добывающая промышленности, но и сельское хозяйство), а также с учетом факторов, которые обуславливают изменение показателей развития во времени. В качестве основы построения модели взята мультипликативная производственная функция, модифицированная с учетом особенностей Четвертой промышленной революции и специфики отдельных отраслей Украины.

Предложена экономико-математическая модель долгосрочного развития указанных отраслей экономики Украины в условиях цифровизации, в которой зависимой переменной выступает добавленная стоимость в отрасли, а независимыми переменными – классические составляющие производственных функций (труд и капитал), а также новый фактор цифровизации и факторы, специфические для конкретных отраслей (индекс мировых продоволь-

ственных цен для сельского хозяйства и индекс мировых сырьевых цен для добывающей промышленности). Особенностью модели является также использование поправочных коэффициентов, отражающих изменение отдачи факторов с течением времени и увеличивающих точность расчетов. Разработаны отдельные модели для расчета каждого из ключевых факторов на основе динамики инвестиций с учетом рекурсивного влияния добавленной стоимости, склонности к инвестированию, состояния мировой экономики и других специфических факторов.

С использованием разработанной модели осуществлены расчеты добавленной стоимости в сельском хозяйстве, добывающей и перерабатывающей отраслях Украины в 2010-2019 гг. Проведена проверка адекватности модели по результатам ее параметризации, которая показала достаточную точность для использования на практике, поскольку средняя абсолютная ошибка аппроксимации составляет от 2,94 до 4,14% в зависимости от отрасли (при исключении из расчетов аномальных 2014-2015 гг.).

На основе результатов расчетов добавленной стоимости по ключевым отраслям рассчитано значение ВВП в целом по стране. Для этого использована регрессионная модель, в которой факторами выступают значения добавленной стоимости для указанных отраслей. Установлено, что предложенная модель является достаточно точной и может использоваться для расчета ВВП Украины на основе расчетов добавленной стоимости в сельском хозяйстве, добывающей и перерабатывающей отраслях.

С учетом перспектив практического использования модели для принятия управленческих решений осуществлена оценка эластичности основного движущего фактора развития отраслей (инвестиций) по основным переменным влияниям, которая показала, что курс гривны к доллару США оказывает негативное влияние на инвестиции, причем наиболее выраженное – на инвестиции в основные фонды перерабатывающей промышленности. Это ставит под сомнение распространенное представление о том, что девальвация гривны стимулирует внутреннее производство.

Ключевые слова: экономико-математическое моделирование, производственная функция, цифровизация, изменение отдачи факторов, долгосрочное развитие, промышленность, добавленная стоимость, ВВП.

JEL: C67, O30, O40, L60

Oleksiy O. Okhten,

PhD in Economics, Senior Resercher

E-mail: aokhten@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1629-3891>;

Alla F. Dasiv,

PhD in Economics

Institute of Industrial Economics of the NAS of Ukraine

2 Maria Kapnist Street, Kyiv, 03057, Ukraine

E-mail: alladasiv@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5431-701X>

ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELING OF LONG-TERM DEVELOPMENT OF NATIONAL INDUSTRY IN THE CONDITIONS OF DIGITALIZATION WITH THE USE OF A PRODUCTION FUNCTION

The article substantiates the expediency of modeling the development of national industry taking into account how the main interconnected key sectors of Ukrainian economy (not only processing and extractive industries, but also agriculture) are developing, as well as taking into account the factors that cause changes in this development over time. Based on previous researches, multiplicative production function has been chosen as the base for building the model, which was

modified by taking into account the peculiarities of the Fourth Industrial Revolution and the specifics of individual industries in Ukraine.

The economic-mathematical model of long-term development of specified branches of economy of Ukraine in the conditions of digitalization was proposed, in which the value added in the branch is the dependent variable, and the classic components of production functions (labor and the capital) are the independent variables, as well as the new factor – digitalization, and factors, specific to individual industries (world food price index for agriculture and world raw material price index for the extractive industry). A specific feature of the model is also the use of correction factors that reflect the change in the return of factors over time and increase the accuracy of calculations. In addition, separate models have been developed to calculate each of the main factors, based on the dynamics of investments, taking into account the recursive influence of value added, propensity to invest, the condition of the world economy and other specific factors.

The calculation of value added in agriculture, extractive and processing industries of Ukraine in 2010-2019 was performed using the model. The adequacy of the model was validated based on the results of its parameterization, which showed sufficient accuracy for the implementation on practice, as the average absolute error of approximation ranges from 2.94% to 4.14% depending on the industry, with abnormal 2014-2015 excluded from the calculations.

The value of GDP in the country as a whole was calculated on the basis of the results of value added calculations by key industries. Taking into account the fact that the proposed set of models does not include all industries, a regression model was used to calculate GDP, to which value added for the identified key industries was used as factor. It is established that the proposed model is quite accurate and can be used to calculate the GDP of Ukraine on the basis of value added calculations in agriculture, extractive and processing industries. Given the prospects of practical use of the model for management decisions, the elasticity of the main driving factor (investments) of the development of individual industries was assessed for the main variables, which, in particular, showed that the exchange rate of hryvnia to the US dollar has a negative impact on investments, and the most pronounced – on investments in fixed assets of the processing industry. This questions the widespread idea that the devaluation of the hryvnia stimulates domestic production.

Keywords: economic and mathematical modeling, production function, digitization, change in the return of factors, long-term development, industry, value added, GDP.

JEL: C67, O30, O40, L60

Формат цитування:

Охтен О. О., Дасів А. Ф. (2021). Економіко-математичне моделювання довгострокового розвитку національної промисловості в умовах цифровізації з використанням виробничої функції. *Економіка промисловості*. № 4 (96). С. 5-20. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry2021.04.005>

Okhten, O. O., & Dasiv, A. F. (2021). Economic and mathematical modeling of long-term development of national industry in the conditions of digitalization with the use of a production function. *Econ. promisl.*, 4 (96), pp. 5-20. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry2021.04.005>

Надійшла до редакції 19.09.2021 р.