

УДК 330.4:37.01:004

*С. В. Устенко,**д. е. н., професор, професор кафедри інформаційних систем в економіці, Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана**ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6742-3575>**Я. Ю. Вознюк,**аспірант кафедри інформаційних систем в економіці,**Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана**ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5863-9200>*

DOI: 10.32702/2306-6814.2025.6.59

НАУКОВО-ОСВІТНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ОСВІТНЬОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ

S. Ustenko,

Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Systems in Economics, Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman

Y. Vozniuk,

Postgraduate student of the Department of Information Systems in Economics, Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman

SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL MODELS OF THE PROCESS OF DIGITALIZATION OF EDUCATIONAL ACTIVITIES OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

У статті розглядається виробничо-технологічний підхід підтримки процесу цифровізації освітньої діяльності, який передбачає застосування виробничих моделей на основі ідентифікації відомих виробничих функцій. Даний підхід націлений на впровадження процесу цифровізації освітньої діяльності закладів вищої освіти з отриманням нової науково-освітньої продукції. Запропоновано в виробничо-технологічному процесі випуску нової науково-освітньої продукції використовувати виробничі функції, до яких віднесено: лінійна, Кобба-Дугласа, CES, LES, Обмежена CES, Кобба-Дугласа-Тінбергена, Солоу. Введено науково-освітню функцію ідентифікації освітнього процесу закладу вищої освіти. Запропоновано розглядати виробничі моделі як науково-освітні моделі, в яких обсяг створеної науково-освітньої продукції є поєднанням результатів моделювання науково-освітньої функції послуг та науково-освітньої функції продуктів. До послуг віднесено підготовку та випуск здобувачів, до продуктів — результати наукових досліджень, інноваційні розробки, модернізація, створення та впровадження цифрових систем та прототипів, спеціалізованого програмно-технічного забезпечення. Надані приклади запропонованих науково-освітніх моделей з урахуванням впливу організаційно-методологічних, маркетингових та зовнішніх компетенцій на процес цифровізації освітньої діяльності.

The article considers the production and technological approach to support the process of digitalization of educational activities, which involves the use of production models based on the identification of production functions. This approach is aimed at implementing the process of digitalization of educational activities of a higher education institution with the receipt of new scientific and educational products. It is proposed to use known production functions in the production and technological process of producing new scientific and educational products, which include: linear,

Cobb-Douglas, CES, LES, Limited CES, Cobb-Douglas-Tinbergen, Solow. The scientific and educational function of identifying the educational process of a higher education institution is introduced. It is proposed to consider production models as scientific and educational models in which the volume of created scientific and educational products is a combination of the results of modeling the scientific and educational function of services and the scientific and educational function of products. Services include the training and graduation of applicants, products include the results of scientific research, innovative developments, modernization, creation and implementation of digital systems and prototypes, specialized software and hardware. An analysis of the resource provision of the process of creating scientific and educational products in the context of the functioning of the financial and economic, educational and scientific, information and technical, personnel and marketing subsystems of a higher education institution has been carried out. Organizational and methodological, marketing and external competencies of influence on the process of digitalization of educational activities have been determined. Examples of the proposed scientific and educational models are provided, taking into account the influence of the specified competencies, and technological schemes for using the proposed models with the most common combinations of combining various types of scientific and educational functions of services and products have been considered.

Ключові слова: виробнича функція, науково-освітня продукція, науково-освітня функція, науково-освітня модель, цифровізація освітньої діяльності.

Key words: production function, scientific and educational products, scientific and educational function, scientific and educational model, digitalization of educational activities.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

В умовах інноваційного розвитку цифрових систем і технологій освіта переживає глобальні зміни в напрямку цифрової трансформації, включно зі створенням безпечного електронного освітнього середовища, забезпеченням необхідної цифрової інфраструктури закладів та установ освіти і науки, підвищення рівня цифрової компетентності, цифровою трансформацією процесів та послуг [1], що призводить до підвищення ефективності освітніх послуг та впровадження нових освітніх продуктів.

Науково-освітню продукцію можна класифікувати як сукупність створених ЗВО двох категорій: послуги та продукти.

Послуги включають в себе підготовку висококваліфікованих випускників (бакалаврів, магістрів, докторів філософії, докторів наук), створення навчально-методичного забезпечення, консалтингові послуги (консультації бізнесу та державних установ) тощо.

До продукту відносяться результати наукових досліджень, інноваційні розробки (патенти, авторські свідоцтва на винахід, твір, гранти, технічні рішення, НДР в галузі цифровізації освітньої діяльності, проєкти на платформах ІТ — стартапів), виробництво прототипів (пристроїв, компоненти, програмно-технічні засоби пропривних технологій AI, ML, IoT, AR, VR), модернізація, створення та впровадження цифрових систем, спеціалізованого програмно-технічного забезпечення тощо.

Ця науково-освітня продукція є результатом впровадження процесу цифровізації освітньої діяльності, відповідно до цілей глобального сталого розвитку в галузі освіти для:

- забезпечення всеохоплюючої і справедливої якісної освіти та заохочення можливості навчання впродовж усього життя для всіх;
 - забезпечення доступності різних рівнів вищої освіти;
 - збільшення поширеності серед населення знань і навичок, необхідних для отримання професійної роботи та підприємницької діяльності;
 - створення у ЗВО сучасних умов навчання, включаючи інклюзивне, на основі інноваційних підходів [2], персоналізованого та інтерактивного навчання;
 - створення цифрової екосистеми та цифрової інфраструктури у сфері освіти та науки;
 - входження до загальноєвропейського простору кваліфікацій, формування спільних інституцій та використання ефективних інструментів, забезпечення освітньої і трудової мобільності на основі концептів Освіта 4.0, 5.0 [3];
 - застосування виробничо-технологічних підходів та моделей цифровізації освітньої діяльності (ЦОД).
- Виробничо-технологічні підходи в освітній діяльності націлені на впровадження процесу ЦОД з отриманням нової науково-освітньої продукції. Термін виробничо-технологічні підходи асоціюється з застосуванням виробничих функцій (ВФ) як основний метод моделювання виробничих процесів підприємств та організацій, з метою розроблення нових моделей ЦОД при

прийнятті виважених управлінських рішень щодо впровадження нових цифрових технологій.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В основу побудови більшості моделей ідентифікації виробничої діяльності покладено використання ВФ, особливо це застосовується для моделювання виробничих програм та оптимізації ресурсного забезпечення, впровадження нових технологій та методів оцінювання ефективності діяльності підприємств та організацій. Моделі цього класу використовують такі ВФ як CES, Коба-Дугласа, Лінійна, LES, Солоу [4]. Особливістю наведених ВФ в різних сферах діяльності підприємств та установ є врахування режимів технологічного циклу виготовлення продукції, забезпечення структури наявного ресурсного потенціалу та впровадження нових технологій.

Так, в роботі Зінов'євої І.С. [5] досліджено, що "найбільш вдалою для моделювання діяльності промислових підприємств в Україні виявилася мультиплікативна ВФ Тінбергена, переважно через урахування фактору часових змін, а також за рахунок врахування фактору науково-технічного розвитку таких підприємств. Із меншим рівнем адекватності прогнозу, ніж застосування ВФ Тінбергена, в процесі моделювання виробничих підприємств запропоновано використовувати ВФ Лукаса та Родеріка, однак останні дають неадекватний результат оцінювання прогнозу".

Для ідентифікації виробничих процесів в банківській сфері в роботі Шараєвського Д.В. [6] досліджено, що "згідно виробничого підходу банки розглядаються як виробники банківських продуктів для своїх клієнтів: позичальників і вкладників. Набір вхідних змінних включає класичні фактори виробництва: трудові ресурси та фізичний капітал (основні засоби). Ціна трудових ресурсів вимірюється за допомогою витрат по заробітній платі на одиницю активів. Ціна фізичного капіталу — це відношення непроцентних операційних витрат до активів. Вихідні змінні банків являють собою показники обсягу наданих послуг: обсяг наданих кредитів та залучених депозитів тощо".

В роботі Гіваргізова І.Г. [7] використовується банківська продуктова функція в багаторівневій нечіткій моделі управління якістю та актуальністю банківських продуктів. Модель надає ефективний розподіл і споживання інноваційних банківських продуктів на даний час в умовах стійкого розвитку банків.

Аналіз роботи іспанських дослідників J. Vilasaca та D. Castillo [8] показує, що в освітній діяльності виробничий процес електронного навчання в університетах може бути представлений ВФ Кобба-Дугласа, яка пов'язує випуск з чотирма видами вхідних ресурсів: звичайним капіталом, запасом капіталу інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), запасом нематеріального капіталу і працею. Крім того, припускається, що на ВФ впливають час і специфіка університету. Дана модель дозволяє оцінити перехід від фіксованих до змінних витрат за допомогою механізмів аутсорсингу, посилені використання ІКТ, показує здатність університетів оптимізувати свою структуру витрат, оскільки більший обсяг виробничих послуг є керованим у корот-

костровій перспективі. Ротація активів є показником ефективності університетів у використанні активів для виробництва продукції і опосередковано виражає організаційну політику, спрямовану на розподіл інвестицій і контролю активів на основі властивостей ІКТ.

В даній роботі буде проведено аналіз та можливість ідентифікації ВФ в освітню діяльність ЗВО, де результуючою продукцією будуть послуги та інноваційні продукти.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ (ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ)

Метою статті є формування виробничо-технологічної системи підтримки процесу цифровізації освітньої діяльності, яка передбачає розроблення науково-освітніх моделей на основі ідентифікації відомих виробничих функцій в контексті створення науково-освітньої продукції.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Одним із основних методів моделювання виробничих процесів підприємств є виробничі функції (ВФ) [4]

$$y = f(\vec{x}, \vec{a}) \quad (1),$$

де $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ — відповідні вибрані ресурси виробничого процесу;

$\vec{a} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ — параметри, що визначаються на підставі статистичних спостережень;

y — обсяг виготовленої продукції, що відповідає врахованим ресурсам $\vec{x}$.

По аналогії до ВФ (1), введемо поняття науково-освітньої функції (НОФ) як ідентифікацію освітнього процесу ЗВО. Результатом моделювання ВФ (1) є обсяг виготовленої підприємством продукції. Для НОФ результатом є обсяг науково-освітньої продукції, як процес поєднання результатів діяльності ЗВО у вигляді науково-освітніх послуг та науково-освітніх продуктів.

Для НОФ формула (1) буде мати такий вигляд:

$$y = y_s + y_p = f_s(\vec{s}, \vec{q}) + f_p(\vec{p}, \vec{b}) \quad (2),$$

де y — обсяг створеної науково-освітньої продукції; y_s, y_p — відповідно обсяги науково-освітніх послуг та продуктів;

f_s, f_p — відповідно НОФ послуг та продуктів;

$\vec{s}, \vec{p}$ — відповідно вектори ресурсів послуг та продуктів;

$\vec{q}, \vec{b}$ — відповідно вектори параметрів послуг та продуктів.

Вибір функцій f_s та f_p проводиться на основі аналізу як особливостей заданих ресурсів для виготовлення продукції, так і функціональною структурою організації, що досліджується.

Одними з найпоширеніших ВФ [9], які використовуються в виробничо-технологічних процесах підприємств та організацій є обсяги виготовлення однотипної продукції, можливості ресурсного потенціалу та інноваційні технології. Ці фактори визначають масштабованість випуску продукції, як дрібномасштабної, середньомасштабної, великомасштабної та комбінованої серійності.

Таблиця 1. Ресурсне забезпечення процесу створення науково-освітньої продукції

Базові ресурсні підсистеми	Науково-освітня продукція	
	Послуга (ресурс $\vec{s}$)	Продукт (ресурс $\vec{p}$)
Фінансово-економічна підсистема	Бюджетні кошти (загальний та спеціальний фонди) Грантове фінансування Приватні інвестиції та спонсорська підтримка Оплата навчання за кошти фізичних та юридичних осіб Оплата консалтингових послуг Фінансування академічних програм та стажування	Державне фінансування фундаментальних та прикладних досліджень Недержавне фінансування інноваційних розробок Фінансування публікацій та патентів Інвестиції нових технологій у навчальний процес
Навчально-наукова підсистема	Акредитаційні сертифікати Ліцензований обсяг Освітні (освітньо-професійна, освітньо-наукова, освітньо-творча) програми Форми організації навчального процесу Навчально-методичне забезпечення Здобувачі, аспіранти та докторанти Академічна мобільність	Наукові статті, монографії, посібники та підручники Патенти та авторські права на твори Наукові дослідження та експериментальні розробки Інноваційні освітні технології Міждисциплінарні дослідження Навчально-наукові виробничі підприємства та наукові установи
Інформаційно-технічна підсистема	Системи управління навчальним процесом (LMS) Автоматизовані системи документообігу Доступ до наукових баз даних, електронних бібліотек та репозиторіїв Навчально-наукові лабораторії Спеціалізоване обладнання та цифрові двійники Інтернет-ресурси та інформаційні технології	Новітні інформаційні технології Розробка електронних навчальних курсів, інформаційно-технологічних платформ забезпечення навчально-наукових компонентів (макети, прототипи, дослідні зразки, архітектурні технічні та програмні рішення) Промислові цифрові платформи для проведення досліджень Інтегровані системи автоматизації наукових досліджень
Кадрова підсистема	Професорсько-викладацький, науково-педагогічний склад Зовнішні висококваліфіковані лектори та міжнародні експерти Програми підвищення кваліфікації викладачів	Кваліфіковані наукові співробітники виробничих підрозділів підприємств та наукових установ (науково-технічний, інженерно-технічний, допоміжний склади)
Маркетингова підсистема	Відділ професійних та суспільних комунікацій ЗВО Міжнародні виставки Комунікаційні платформи для залучення студентів Співпраця з випускниками та роботодавцями	Стартапи та інноваційні проекти, гранти Науково-популярні видання Маркетингові стратегії просування наукових проєктів розробок Комерціалізація освітніх і наукових розробок

Джерело: сформовано авторами.

Дрібномасштабна та середньомасштабна технології випуску науково-освітньої продукції можуть розглядатися як окремо для послуг так і продуктів, в межах законодавчо-правових засад, регламентованих термінами акредитацій та ліцензійними обсягами.

Проведемо аналіз характеристик і властивостей найпоширеніших ВФ, що можуть бути використані в освітній діяльності:

1. Лінійна функція ($y^{(1)}$) — для моделювання організацій, що складаються з окремих функціонально незалежних підрозділів, кожна з яких використовує власний ресурс і технологію;

2. Функція Кобба-Дугласа ($y^{(2)}$) — для моделювання організацій, що характеризуються стійким процесом функціонування і впровадженням необхідних інноваційних технологій;

3. Функція з постійною еластичністю заміни (CES) факторів ($y^{(3)}$) — використовується для ідентифікації роботи організації з підпорядкованими зовнішніми структурами окремих підприємств, наявними технологіями і виробничими процесами;

4. Обмежена функція CES ($y^{(4)}$) — використовується для моделювання двох видів технологій;

5. Функція LES ($y^{(5)}$) — використовується, як множинні технологічні процеси з широкими можливостями комбінування факторів;

6. Функція Кобба-Дугласа-Тінбергена ($y^{(6)}$) — вдосконалена функція Кобба-Дугласа, яка враховує науково-технічний прогрес в загальному вигляді, як експоненціальний показник [10];

7. Функція Солоу ($y^{(7)}$) — використовується для аналізу чинників праці, капіталу та технічного прогресу на економічне зростання і описується за допомогою мультиплікативної виробничої функції.

Розглянемо ресурси послуг та ресурси продуктів які використовуються для створення науково-освітньої продукції табл. 1.

Базовою підсистемою ЦОД є навчально-наукова підсистема, оскільки вона орієнтована на проєктування та розробку новітньої науково-освітньої продукції, її використання в навчальному процесі, розвитку цифрових компетентностей професорсько-викладацького, науково-педагогічного складу, допоміжного персоналу, які здатні ефективно використовувати цифрові технології в освітньому процесі.

В цілому весь ресурсний потенціал, що наведений в 5-ти основних підсистемах ЗВО (табл. 1), дозволяє провести процес цифровізації, за рахунок повної фінансово-економічної підтримки та забезпечення таких підсистем як інформаційно-технологічна, кадрова, маркетингова.

В формулі (2) НОФ послуг визначає ресурс $\vec{s}$, а НОФ продукту ресурс $\vec{p}$, табл. 1. Також потрібно відмітити можливість використання різних видів дослідженого переліку ВФ для НОФ послуг та НОФ продукту.

Науково-освітні моделі ЗВО формула (2) на основі моделювання різних видів НОФ можуть бути викорис-

тані для аналізу зростання або прогнозування обсягів випуску нової продукції залежно від залучення необхідних ресурсів та можливостей проведення ЦОД. Однак, у кожному конкретному випадку проведення ЦОД ці можливості можуть змінюватися і використовуватися для:

- визначення та прогнозування обсягів створення науково-освітньої продукції при фіксованих заздалегідь значеннях показників основних ресурсів;
- визначення характеристик науково-освітнього процесу, що виражаються через коефіцієнти НОФ.

Сюди також можна додати можливість визначення обсягів $\vec{s}, \vec{p}$ створення науково-освітньої продукції за рахунок заміни одного ресурсу іншим або множинною заміною одних ресурсів на інші за функціонально-однорідними ознаками, а також при зміні технологічних процесів. Прикладом можуть бути новітні форми організації навчального процесу, на основі дистанційного навчання, де роль професорсько-викладацького складу в освітньому процесі замінюється e-learning системами з можливістю автоматичної оцінки результатів тестування знань здобувачів. Таким чином, ресурсний потенціал (), визначений в табл. 1, технології і умови організації науково-освітньої діяльності визначають потенційні можливості (компетенції) і стан науково-освітнього процесу.

Для ВФ (1) у широкому сенсі будемо мати [11]

$$y(t, \vec{x}^0) = f(\vec{x}(t, \vec{x}^0), \vec{a}_u(t)) \quad (3),$$

де $\vec{x}^0$ — початковий вектор ресурсів у момент часу $t = 0$;

$\vec{a}_u(t) = \vec{a}(t, \vec{u}_1(t), \vec{u}_2(t), \vec{u}_3(t))$ — вектор коефіцієнтів ВФ як функція від часу, $\vec{u}_1(t)$ — організаційно-методологічних компетенцій, $\vec{u}_2(t)$ — маркетингових компетенцій, $\vec{u}_3(t)$ — зовнішніх компетенцій, $\vec{u}_i: r^1 \rightarrow \{0,1\}^{n_i}, i = 1,2,3$.

Відповідно для НОФ формула (3) буде мати вигляд:

$$y(t, \vec{s}^0, \vec{p}^0) = f_s(\vec{s}(t, \vec{s}^0), \vec{q}_u(t)) + f_p(\vec{p}(t, \vec{p}^0), \vec{b}_u(t)) \quad (4),$$

де $\vec{s}^0$ — початковий вектор ресурсів послуг у момент часу $t = 0$;

$\vec{p}^0$ — початковий вектор ресурсів продуктів у момент часу $t = 0$;

$\vec{q}_u(t) = \vec{q}(t, \vec{u}_1(t), \vec{u}_2(t), \vec{u}_3(t))$ — вектор коефіцієнтів НОФ послуг, як функція від часу та $\vec{u}_1(t)$ — організаційно-методологічних компетенцій, $\vec{u}_2(t)$ — маркетингових компетенцій, $\vec{u}_3(t)$ — зовнішніх компетенцій, де $\vec{u}_i: r^1 \rightarrow \{0,1\}^{n_i}, i = 1,2,3$;

$\vec{b}_u(t) = \vec{b}(t, \vec{u}_1(t), \vec{u}_2(t), \vec{u}_3(t))$ — вектор коефіцієнтів НОФ продуктів, як функція від часу та від відповідних компетенцій аналогічних для НОФ послуг.

При проведенні ЦОД для формули (4) перелік елементів векторів компетенцій $\vec{u}_i$ підбирається у часі та може мати два стани: активний ("1") і неактивний ("0").

Визначимо організаційно-методологічні компетенції $\vec{u}_1$ для забезпечення ЦОД:

- впровадження організаційно-технологічних підходів і моделей ЦОД;
- розробка та реалізація індивідуальних стратегій цифрової трансформації ЗВО;
- інфраструктурні рішення впровадження цілісної екосистеми ЗВО тощо.

До маркетингових компетенцій $\vec{u}_2$ доцільно віднести:

- інфраструктурні маркетингові впливи (взаємодія з іноземними ЗВО, міжнародна мобільність, розробка нової продукції);
- впливи систем оцінювання ЗВО (міжнародні, державні, регіональні, галузеві рейтинги);
- впливи кон'юктурних дослідження (особливості використання різних галузей, економіки, освіти, техніки) тощо.

Зовнішні компетенції $\vec{u}_3$ визначаються впливом факторів, до яких відносяться:

- законодавчо-правові умови реалізації ЦОД ЗВО;
- необхідність реорганізації освітнього процесу відповідно до викликів сьогодення (Covid-19, воєнні дії, стихійні лиха);
- модернізація мережі закладів вищої освіти (процедура реорганізації через при/об'єднання (укрупнення) тощо);
- впровадження автоматизованого виробництва, розумних виробництв новітні цифрові технології, циркулярне виробництво та стратегічного урядування (Індустрія 4.0/5.0).

Для моделювання ВФ використаємо лінійну функцію та функцію Кобба-Дугласа.

Для лінійної функції формула (1) з урахуванням визначених компетенцій буде:

$$y = f(\vec{x}, \vec{a}_u) = f(\vec{x}, \vec{a} + \alpha \vec{u}_1 + \beta \vec{u}_2 + \gamma \vec{u}_3) = (a_1 + \vec{a}_1 \vec{u}_1 + \vec{\beta}_1 \vec{u}_2 + \vec{\gamma}_1 \vec{u}_3) x_1 + (a_2 + \vec{a}_2 \vec{u}_1 + \vec{\beta}_2 \vec{u}_2 + \vec{\gamma}_2 \vec{u}_3) x_2 + \dots + (a_i + \vec{a}_i \vec{u}_1 + \vec{\beta}_i \vec{u}_2 + \vec{\gamma}_i \vec{u}_3) x_i + \dots + (a_n + \vec{a}_n \vec{u}_1 + \vec{\beta}_n \vec{u}_2 + \vec{\gamma}_n \vec{u}_3) x_n \quad (5).$$

В скороченому вигляді формула (5) матиме вигляд:

$$y = \sum_{i=1}^n (a_i + \vec{a}_i \vec{u}_1 + \vec{\beta}_i \vec{u}_2 + \vec{\gamma}_i \vec{u}_3) \cdot x_i \quad (6).$$

Функція Кобба-Дугласа з урахуванням визначених компетенцій набуде вигляду

$$y = f(\vec{x}, \vec{a}_u) = f(\vec{x}, \vec{a} + \alpha \vec{u}_1 + \beta \vec{u}_2 + \gamma \vec{u}_3) = (a_0 + \alpha \vec{u}_1 + \beta \vec{u}_2 + \gamma \vec{u}_3) \cdot (x_1^{a_1 + \vec{a}_1 \vec{u}_1 + \vec{\beta}_1 \vec{u}_2 + \vec{\gamma}_1 \vec{u}_3} \cdot x_2^{a_2 + \vec{a}_2 \vec{u}_1 + \vec{\beta}_2 \vec{u}_2 + \vec{\gamma}_2 \vec{u}_3} \cdot \dots \cdot x_i^{a_i + \vec{a}_i \vec{u}_1 + \vec{\beta}_i \vec{u}_2 + \vec{\gamma}_i \vec{u}_3} \cdot \dots \cdot x_n^{a_n + \vec{a}_n \vec{u}_1 + \vec{\beta}_n \vec{u}_2 + \vec{\gamma}_n \vec{u}_3}) \quad (7).$$

В скороченому вигляді формула (7) матиме вигляд:

$$y = A_0(a_0, \vec{u}_1, \vec{u}_2, \vec{u}_3) \cdot \prod_i^n x_i^{a_i + \vec{\alpha}_i \vec{u}_1 + \vec{\beta}_i \vec{u}_2 + \vec{\gamma}_i \vec{u}_3} \quad (8),$$

де для формул (5–8) $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$,

$\vec{a} = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n)$ — відповідно ресурси і їх параметри без урахування значень компетенцій; n — розмірність векторів ресурсів та параметрів;

$$\vec{u}_1 = (u_1^1, u_1^2, \dots, u_1^m), \vec{u}_2 = (u_2^1, u_2^2, \dots, u_2^k),$$

$\vec{u}_3 = (u_3^1, u_3^2, \dots, u_3^l)$ — вектори булевих значень відповідно організаційно-методологічних, маркетингових і зовнішніх компетенцій;

m, k, l — розмірності векторів вагових коефіцієнтів

$\vec{\alpha}_i, \vec{\beta}_i, \vec{\gamma}_i$;

$$\vec{\alpha}_i = (\alpha_i^1, \alpha_i^2, \dots, \alpha_i^m), \vec{\beta}_i = (\beta_i^1, \beta_i^2, \dots, \beta_i^k),$$

$\vec{\gamma}_i = (\gamma_i^1, \gamma_i^2, \dots, \gamma_i^l)$ — вектори відповідних матриць зміни еластичності:

$$\alpha = \begin{pmatrix} \alpha_1^1 & \alpha_1^2 & \dots & \alpha_1^m \\ \alpha_2^1 & \alpha_2^2 & \dots & \alpha_2^m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_n^1 & \alpha_n^2 & \dots & \alpha_n^m \end{pmatrix},$$

$$\beta = \begin{pmatrix} \beta_1^1 & \beta_1^2 & \dots & \beta_1^k \\ \beta_2^1 & \beta_2^2 & \dots & \beta_2^k \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \beta_n^1 & \beta_n^2 & \dots & \beta_n^k \end{pmatrix},$$

$$\gamma = \begin{pmatrix} \gamma_1^1 & \gamma_1^2 & \dots & \gamma_1^l \\ \gamma_2^1 & \gamma_2^2 & \dots & \gamma_2^l \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_n^1 & \gamma_n^2 & \dots & \gamma_n^l \end{pmatrix}$$

при обліку компетенцій (вагові коефіцієнти);

$$\vec{\alpha}_i \vec{u}_1 = (\alpha_i^1 u_1^1 + \alpha_i^2 u_1^2 + \dots + \alpha_i^m u_1^m),$$

$$\vec{\beta}_i \vec{u}_2 = (\beta_i^1 u_2^1 + \beta_i^2 u_2^2 + \dots + \beta_i^k u_2^k),$$

$\vec{\gamma}_i \vec{u}_3 = (\gamma_i^1 u_3^1 + \gamma_i^2 u_3^2 + \dots + \gamma_i^l u_3^l)$ — скалярний добуток векторів;

$A_0(a_0, \vec{u}_1, \vec{u}_2, \vec{u}_3) = a_0 + \alpha \vec{u}_1 + \gamma \vec{u}_2 + \theta \vec{u}_3$ — початковий коефіцієнт.

Для моделювання НОФ послуг пропонується використання лінійної функції (5), а для НОФ продуктів — функцію Кобба-Дугласа (7).

Відповідно, після перетворень НОФ послуг матиме вигляд:

$$\begin{aligned} y_s &= f_s(\vec{s}(t, \vec{s}^0), \vec{q}_u(t)) = \\ &= f_s(\vec{s}, \vec{q} + \alpha \vec{u}_1 + \beta \vec{u}_2 + \gamma \vec{u}_3) = \\ &= (q_1 + \vec{\alpha}_1 \vec{u}_1 + \vec{\beta}_1 \vec{u}_2 + \vec{\gamma}_1 \vec{u}_3) s_1 + \\ &+ (q_2 + \vec{\alpha}_2 \vec{u}_1 + \vec{\beta}_2 \vec{u}_2 + \vec{\gamma}_2 \vec{u}_3) s_2 + \dots \\ &\dots + (q_i + \vec{\alpha}_i \vec{u}_1 + \vec{\beta}_i \vec{u}_2 + \vec{\gamma}_i \vec{u}_3) s_i + \dots \\ &\dots + (q_n + \vec{\alpha}_n \vec{u}_1 + \vec{\beta}_n \vec{u}_2 + \vec{\gamma}_n \vec{u}_3) s_n \end{aligned} \quad (9).$$

Для НОФ продуктів функція Кобба-Дугласа набуває вигляду:

$$\begin{aligned} y_p &= f_p(\vec{p}(t, \vec{p}^0), \vec{b}_u(t)) = \\ &= f_p(\vec{p}, \vec{b} + \alpha \vec{u}_1 + \beta \vec{u}_2 + \gamma \vec{u}_3) = \\ &= (b_0 + \alpha \vec{u}_1 + \beta \vec{u}_2 + \gamma \vec{u}_3) \cdot \\ &\cdot (p_1^{b_1 + \vec{\alpha}_1 \vec{u}_1 + \vec{\beta}_1 \vec{u}_2 + \vec{\gamma}_1 \vec{u}_3} \cdot \\ &\cdot p_2^{b_2 + \vec{\alpha}_2 \vec{u}_1 + \vec{\beta}_2 \vec{u}_2 + \vec{\gamma}_2 \vec{u}_3} \cdot \dots \\ &\dots \cdot p_i^{b_i + \vec{\alpha}_i \vec{u}_1 + \vec{\beta}_i \vec{u}_2 + \vec{\gamma}_i \vec{u}_3} \cdot \dots \\ &\dots \cdot p_n^{b_n + \vec{\alpha}_n \vec{u}_1 + \vec{\beta}_n \vec{u}_2 + \vec{\gamma}_n \vec{u}_3}) \end{aligned} \quad (10).$$

Визначимо можливі технологічні схеми використання формули (2), яка, в загальному вигляді, залежно від поєднання різних видів НОФ послуг та продуктів

$y_s^{(i)} + y_p^{(j)}$, $i, j = 1 \dots 7$ можуть використовуватися три найбільш поширені комбінації $y_s^{(1)} + y_p^{(j)}$ та $y_s^{(5)} + y_p^{(j)}$, $y_s^{(i)} + y_p^{(6)}$.

ВИСНОВКИ

Сучасний етап розвитку освітньої галузі в Україні характеризується загостренням конкурентної боротьби та прагненням ЗВО до ще більшої інтеграції у глобальний ринок освітньої продукції. Розглянуто виробничо-технологічні підходи та запропоновано науково-освітні моделі впровадження процесу цифровізації освітньої діяльності закладів вищої освіти на підґрунті використання відомих виробничих функцій, до яких віднесено: лінійна, Кобба-Дугласа, CES, LES, Обмежена CES, Кобба-Дугласа-Тінбергена, Солоу. Запропоновано розглядати науково-освітні моделі, в яких обсяг створеної науково-освітньої продукції є поєднанням результатів моделювання науково-освітньої функції послуг та науково-освітньої функції продуктів. Надані приклади запропонованих науково-освітніх моделей з урахуванням впливу організаційно-методологічних, маркетингових та зовнішніх компетенцій на процес цифровізації освітньої діяльності.

Література:

1. Цифрова трансформація освіти і науки. Офіційний сайт Міністерства освіти і науки України. URL: <https://mon.gov.ua/tag/tsifrova-transformatsiya-osviti-i-nauki?tag=tsifrova-transformatsiya-osviti-i-nauki> (дата звернення: 06.03.2025).
2. Ціль 4. Забезпечення всеохоплюючої і справедливої якісної освіти та заохочення можливості навчання впродовж усього життя для всіх. Дія.Бізнес. URL: https://business.dia.gov.ua/entrepreneur-handbook/item/cil_4_zabezpechennya_vseohoplyuyuchoyi-i_spravedlivoyi_yakisnoyi_osviti_ta_zaochennya_mozhливosti_navchannya_vprodovzh_usogo_zhittya_dlya_vsih (дата звернення: 06.03.2025).
3. Що таке Education 4.0. Сучасні освітні технології. URL: <https://educationpakhomova.blogspot.com/2023/09/education-40.html> (дата звернення: 06.03.2025).

4. Кігель В. Р. Методи і моделі підтримки прийняття рішень у ринковій економіці. Київ: ЦУЛ, 2003. 202 с.

5. Зінов'єва І. С. Моделювання процесів інтеграції промислових підприємств в умовах інноваційного розвитку: дис. ... канд. екон. наук: 08.00.11. Київ, 2011.

6. Шараєвський Д. В. Моделі та методи оцінювання ефективності діяльності комерційних банків: дис. ... канд. екон. наук: 08.00.11. Київ, 2012.

7. Гіваргізов І. Г. Моделювання процесів стійкого розвитку банків: дис. ... канд. екон. наук: 08.00.11. Київ, 2020.

8. Vilaseca J., Castillo D. Economic efficiency of e-learning in higher education: An industrial approach. *Intangible Capital*. 2008. Vol. 4, no. 3. URL: <https://doi.org/10.3926/ic.2008.v4n3.p191-211> (date of access: 06.03.2025).

9. Устенко С. В. Моделювання процесів функціонування та розвитку наукомістких виробничих систем: автореф. Дисертація на здобуття ступеня доктора наук. Київ, 2008.

10. Неокласичні моделі економічного зростання: виробничі функції Кобба-Дугласа, Кобба-Дугласа-Тінбергена, модель р. Солоу. StudFiles. URL: <https://studfile.net/preview/9350215/page:88/> (дата звернення: 06.03.2025).

11. Устенко С. В. Методологічні основи розвитку економіки України і перспективи підвищення її потенціалу в ринкових умовах. Держава та регіони: (серія: Економіка та підприємництво). 2005. № 3. С. 220—224.

References:

1. Ministry of Education and Science of Ukraine (2025), "Digital transformation of education and science", available at: <https://mon.gov.ua/tag/tsifrova-transformatsiya-osviti-i-nauki> (Accessed 6 March 2025).

2. Diia.Business (2025), "Goal 4. Ensure inclusive and equitable quality education and promote lifelong learning opportunities for all", available at: https://business-diia.gov.ua/entrepreneur-handbook/item/cil_4_zabezpechennya_vseohoplyuyuchoyi_i_spravedlivoyi_yakisnoyi_osviti_ta_zaohochennya_mozhlivosti_navchannya_vprodovzh_usogo_zhittya_dlya_vsih (Accessed 6 March 2025).

3. Pakhomova, O. (2025), "What is Education 4.0", Modern Educational Technologies, available at: <https://educationpakhomova.blogspot.com/2023/09/education-40.html> (Accessed 6 March 2025).

4. Kihiel, V.R. (2003), *Metody i modeli pidtrymky pryiniattia rishen u rynkovii ekonomitsi* [Methods and Models of Decision-Making Support in Market Economy], TsUL, Kyiv, Ukraine.

5. Zinovieva, I.S. (2011), "Modeling the processes of integration of industrial enterprises under conditions of innovative development", Abstract of Ph.D. dissertation, Economics, Kyiv, Ukraine.

6. Sharaievskiy, D.V. (2012), "Models and methods for evaluating the efficiency of commercial banks", Abstract of Ph.D. dissertation, Economics, Kyiv, Ukraine.

7. Hivargizov, I.H. (2020), "Modeling processes of sustainable development of banks", Abstract of Ph.D. dissertation, Economics, Kyiv, Ukraine.

8. Vilaseca, J. and Castillo, D. (2008), "Economic efficiency of e-learning in higher education: An industrial approach", *Intangible Capital*, vol. 4, no. 3. <https://doi.org/10.3926/ic.2008.v4n3.p191-211>.

9. Ustenko, S.V. (2008), "Modeling the processes of functioning and development of high-tech production systems", Abstract of D.Sc. dissertation, Kyiv, Ukraine.

10. StudFiles (2025), "Neoclassical models of economic growth: production functions of Cobb-Douglas, Cobb-Douglas-Tinbergen, Solow model", available at: <https://studfile.net/preview/9350215/page:88/> (Accessed 6 March 2025).

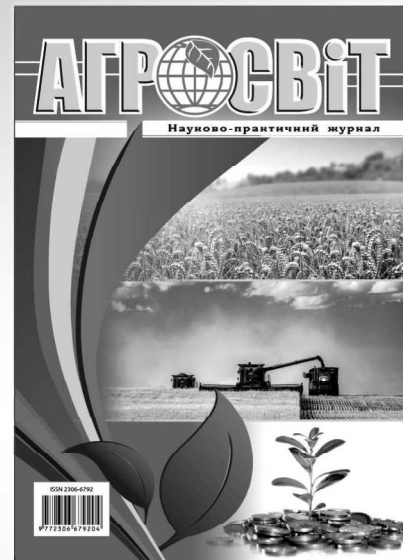
11. Ustenko, S.V. (2005), "Methodological foundations for the development of Ukraine's economy and prospects for increasing its potential in market conditions", *Derzhava ta rehiony: Seriya Ekonomika ta pidpriemnytstvo*, vol. 3, pp. 220—224.

Стаття надійшла до редакції 07.03.2025 р.

АГРОСВІТ

<https://nauka.com.ua>

Передплатний індекс: 23847



Виходить 24 рази на рік

Журнал включено до переліку наукових фахових видань України з ЕКОНОМІЧНИХ НАУК (Категорія «Б»)

Спеціальності – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 292