

Білецька Ірина Мирославівна

доктор економічних наук, професор
завідувач кафедри міжнародної економіки, маркетингу і менеджменту
Івано-Франківський навчально-науковий інститут менеджменту
Західноукраїнський національний університет, Україна

Biletska Iryna

Dr. Sc. (Econ), Professor
Head of Department of International Economics, Marketing and Management,
Ivano-Frankivsk Research and Educational Institute of Management
West Ukrainian National University, Ukraine
ORCID: 0000-0002-6906-7161

ПАНЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОГО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ КАДРОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПРОМИСЛОВОГО СЕКТОРУ

Анотація. У статті досліджено особливості моделювання стійкого економічного розвитку кадрового потенціалу промислового сектору України в умовах воєнних викликів, структурної трансформації економіки та дефіциту кваліфікованих працівників. Обґрунтовано необхідність застосування економіко-математичного інструментарію, здатного враховувати часову динаміку та специфіку окремих підгалузей промисловості. Методичну основу дослідження сформовано на поєднанні моделей лонгитюдних даних із фіксованими ефектами, виробничої лінійної регресії, рейтингового оцінювання, прогнозування та функції бажаності Харрінгтона. Для розрахунків використано електронні таблиці Microsoft Excel та статистичні функції AVERAGE, MINVERSE, MMULT, LINEST, TREND і RANK. Дослідження проведено за даними 2015 та 2020–2024 рр. з формуванням прогнозів на 2027–2029 рр. у розрізі добувної, переробної промисловості та сфери постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря. Встановлено, що найвищий індивідуальний ефект кадрового потенціалу у фактичному періоді має переробна промисловість – 13,27, тоді як у добувній промисловості він становить 10,82, а у сфері енергопостачання – 9,12. Побудована виробнича модель характеризується високою пояснювальною здатністю, оскільки коефіцієнт детермінації становить $R^2 = 0,84$. Прогнозування засвідчило збереження лідируючої позиції переробної промисловості, де індивідуальний ефект кадрового потенціалу може досягти 29,11, а загальний показник промислового сектору – 29,40. За функцією бажаності Харрінгтона інтегральна оцінка кадрового потенціалу промислового сектору у 2027 р. прогнозується на рівні 0,67, що відповідає якійсь характеристикі «добре», тоді як у 2015–2024 рр. оцінка переважно відповідала рівню «задовільно». Отримані результати підтверджують ефективність комплексного використання панельного та інтегрального моделювання для оцінювання, прогнозування та обґрунтування управлінських рішень щодо розвитку кадрового потенціалу промислового сектору України.

Ключові слова: економіка, кадровий потенціал, промисловий сектор, панельне моделювання, лонгитюдні дані, фіксовані ефекти, економічна стійкість, функція Харрінгтона, прогнозування, економіко-математичне моделювання.

PANEL MODELING OF SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT OF HUMAN RESOURCE POTENTIAL OF THE INDUSTRIAL SECTOR

Abstract. The article examines the features of modeling sustainable economic development of the



human resource potential of the industrial sector of Ukraine in the context of military challenges, structural transformation of the economy and shortage of qualified workers. The need for the use of economic and mathematical tools that can take into account the time dynamics and specifics of individual sub-sectors of the industry is substantiated. The methodological basis of the study is formed on a combination of longitudinal data models with fixed effects, production linear regression, rating evaluation, forecasting and Harrington's desirability function. Microsoft Excel spreadsheets and the statistical functions AVERAGE, MINVERSE, MMULT, LINEST, TREND and RANK were used for calculations. The study was conducted using data from 2015 and 2020–2024 with forecasts for 2027–2029 in the context of the extractive, processing industries and the electricity, gas, steam and air conditioning supply sectors. It was found that the highest individual effect of human resource potential in the actual period is in the processing industry – 13.27, while in the extractive industry it is 10.82, and in the energy supply sector – 9.12. The constructed production model is characterized by high explanatory power, since the coefficient of determination is $R^2 = 0.84$. The forecasting showed that the processing industry will maintain its leading position, where the individual effect of human resource potential can reach 29.11, and the overall indicator of the industrial sector is 29.40. According to the Harrington desirability function, the integral assessment of the human resource potential of the industrial sector in 2027 is projected at 0.67, which corresponds to the qualitative characteristic of “good”, while in 2015–2024 the assessment mainly corresponded to the level of “satisfactory”. The results obtained confirm the effectiveness of the integrated use of panel and integral modeling for assessing, forecasting and substantiating management decisions regarding the development of the human resource potential of the industrial sector of Ukraine.

Keywords: *economics, human resource potential, industrial sector, panel modeling, longitudinal data, fixed effects, economic sustainability, Harrington function, forecasting, economic and mathematical modeling.*

Постановка проблеми. В умовах воєнних викликів, структурної перебудови економіки та дефіциту кваліфікованих працівників кадровий потенціал промислового сектору набуває стратегічного значення для забезпечення стійкого економічного розвитку України. Динамічність кадрових процесів, нерівномірність розвитку окремих підгалузей та вплив інвестиційних і виробничих чинників зумовлюють необхідність застосування інструментарію, здатного враховувати одночасно часові та галузеві відмінності. У цьому контексті панельне моделювання дає можливість комплексно дослідити взаємозв'язки між кадровими характеристиками та результативністю промислового сектору, виявити специфічні ефекти окремих підгалузей і сформулювати наукове підґрунтя для прогнозування та управління стійким економічним розвитком кадрового потенціалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика розвитку кадрового потенціалу підприємств посідає важливе місце в сучасних українських економічних дослідженнях, що зумовлено трансформацією структури зайнятості, дефіцитом кваліфікованих працівників, технологічними змінами та необхідністю забезпечення стійкості підприємств в умовах воєнних і післявоєнних викликів. При цьому сучасні наукові підходи поступово зміщуються від розгляду персоналу переважно як ресурсу підприємства до його трактування як стратегічного чинника економічного розвитку.

Значний внесок у дослідження кадрового потенціалу промислових підприємств зробили А. В. Бессонова, М. Белобородова, Л. С. Безугла, А. В. Кулінська та О. М. Ащеулова. На основі аналізу десяти великих машинобудівних підприємств України авторами досліджено стан кадрових ресурсів і фактори, що визначають розвиток кадрового потенціалу. Особливу увагу приділено кількісному оцінюванню кадрового потенціалу через інтегральний показник розвитку персоналу, рентабельність кадрового потенціалу та потенційно можливий дохід від його використання. Такий підхід створює методичне підґрунтя для подальшого переходу від статичної

оцінки кадрового потенціалу до дослідження його динаміки та факторів стійкого розвитку [1].

О. Чернушкіна розглядає кадровий потенціал промислового підприємства як сукупність професійно-кваліфікаційних, особистісних і ділових характеристик працівників, які можуть бути використані для підвищення ефективності діяльності підприємства. Авторка наголошує на необхідності інтеграції кадрового потенціалу зі стратегічними цілями підприємства та обґрунтовує послідовність формування стратегії управління кадровим потенціалом. Важливим для дослідження є висновок про необхідність забезпечення стабільного функціонування підприємства через системне формування, використання, оцінювання та розвиток кадрового потенціалу [10].

Питання організаційного забезпечення розвитку кадрового потенціалу досліджує С. І. Зіновська, яка обґрунтовує необхідність використання організаційного механізму управління кадровим потенціалом промислових підприємств. У роботі акцентовано увагу на взаємозв'язку кадрового потенціалу, системи управління персоналом і продуктивності праці. Це дозволяє розглядати кадровий потенціал не ізольовано, а як елемент комплексної системи економічної ефективності промислового підприємства [2].

С. В. Кудактін акцентує увагу на необхідності безперервного розвитку персоналу як передумови формування та підтримання кадрового потенціалу підприємств України. Автор підкреслює важливість одночасного розвитку наявного персоналу та залучення висококваліфікованих фахівців із зовнішнього ринку праці. Такий підхід є особливо важливим для дослідження стійкості кадрового потенціалу, оскільки дозволяє враховувати не лише його поточний стан, а й здатність підприємства до відтворення та нарощування кадрових ресурсів [5].

Важливе теоретико-методичне значення для дослідження має праця М. В. Зось-Кіора, В. Ю. Ільїна та Е. О. Свириди, присвячена розвитку трудового потенціалу в системі ефективного менеджменту організації. Авторами систематизовано функції менеджменту трудового потенціалу та обґрунтовано необхідність його розвитку як складової ефективного управління організацією [3].

Отже, аналіз праць свідчить про сформованість значного теоретико-методичного підґрунтя для дослідження кадрового потенціалу промислового сектору. Водночас недостатньо розробленим залишається питання кількісного моделювання стійкого економічного розвитку кадрового потенціалу в динаміці та з урахуванням просторової неоднорідності промислового сектору. Більшість наявних досліджень зосереджена на оцінюванні кадрового потенціалу окремих підприємств, визначенні його складових і розробленні механізмів управління [4; 9]. Тому застосування панельного моделювання дозволяє розширити існуючі підходи шляхом одночасного врахування часових і територіальних ефектів та кількісного визначення впливу продуктивності праці, рівня оплати праці, зайнятості, інвестиційної активності, інноваційності та інших факторів на стійкість кадрового потенціалу промислового сектору.

Мета статті – провести панельне моделювання стійкого економічного розвитку кадрового потенціалу промислового сектору.

Виклад основного матеріалу. Далі наступний етап розглядаємо побудову моделі лонгітюдних даних із фіксованими ефектами при дослідженні ефективності кадрового потенціалу промислового сектору в системі забезпечення економічної стійкості України за останній період. Необхідно знайти середнє значення за кожною змінною моделі кожного складника промислового сектору, з використанням вбудованої математичної функції AVERAGE електронних таблиць Microsoft Excel. Далі, проводимо додаткові розрахунки, а саме відхилення фактичних значень показника та факторів від середнього їх значення по підгалузях промислового сектору, їх добуток та квадрат, матрицю та обернену матрицю значень показника та факторів.

Проводимо розрахунок консистентної оцінки за формулою (1) з використанням електронних таблиць Microsoft Excel та вбудованих матриць MINVERSE та MMULT.

$$\hat{\beta}_{FE} = (\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T (x_{it} - \bar{x}_i)(x_{it} - \bar{x}_i)')^{-1} (\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T (x_{it} - \bar{x}_i)(y_{it} - \bar{y}_i)') \quad (1)$$

Отримано коефіцієнти лонгітюдної моделі даних із фіксованими ефектами при дослідженні ефективності кадрового потенціалу промислового сектору в системі забезпечення економічної стійкості України, 2015, 2020-2024 рр.:

$$b = \begin{matrix} -0,15 \\ -0,09 \end{matrix}$$

Знаходимо індивідуальні ефекти кадрового потенціалу промислового сектору для кожної підгалузі за формулою:

$$\hat{\alpha}_i = \bar{y}_i - \bar{x}_i' \hat{\beta}_{FE} \quad (2)$$

Отже, внаслідок обчислень маємо такий результат:

Добувна промисловість і розроблення кар'єрів	$a_1 =$	10,82
Переробна промисловість	$a_2 =$	13,27
Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря	$a_3 =$	9,12

Таким чином, за коефіцієнтом індивідуального ефекту лідером є переробна промисловість. Хоча слід відмітити якісне значення цього коефіцієнту у всіх підгалузях промисловості.

Слід відмітити, що для візуалізації індивідуальних ефектів кадрового потенціалу промислового сектору, їх можливо зобразити графічно.

Наступний етап – прогнозування. Особистим доробком автора є прогнозування індивідуальних ефектів кадрового потенціалу промислового сектору з використанням моделей лонгітюдних даних на наступні три роки. Прогнозування проводимо умовно ґрунтуючись виключно на економіко-математичних методах та моделях, зокрема на виробничих регресійних моделей та моделі лонгітюдних даних.

Для прогнозування факторів користуємося вбудованою статистичною функцією TREND електронних таблиць Microsoft Excel і визначаємо прогнозне значення цих факторів на період 2027-2029 рр. Для визначення результативного показника рентабельності операційної діяльності підприємств промислового сектору використовуємо коефіцієнти a_0 , a_1 та a_2 , які були обчислені попередньо.

В результаті отримано прогнозні значення факторів та результативного показника в розрізі кожної підгалузі промислового сектору на 2027-2029 рр. (табл. 1).

Таблиця 1

Прогнозування факторів та результативного показника підгалузей промислового сектору, 2027-2029 рр.

Промисловий сектор	Роки	Рентабельність операційної діяльності підприємств промислового сектору, %, Y	Частка капітальних інвестицій промисловості в загальних капітальних інвестиціях, %	Коефіцієнт плинності кадрів промислового сектору, %
Добувна промисловість і розроблення кар'єрів	2027	29,80	26,06	42,02
	2028	31,97	26,22	28,01
	2029	38,57	26,38	23,34
Переробна промисловість	2027	8,87	49,43	5,72
	2028	9,00	49,56	5,53
	2029	9,13	49,70	5,34
Постачання електроенергії	2027	6,91	24,43	5,32

газу, пари та кондиційованого повітря	2028	7,27	24,39	4,75
	2029	7,63	24,35	4,17

Джерело: [4; 6-9]

Слід відмітити, що при оптимістичному сценарії можливе зростання частки капітальних інвестицій промисловості в загальних капітальних інвестиціях та рентабельності операційної діяльності підприємств промислового сектору і зниження коефіцієнта плинності кадрів промислового сектору на наступний період під дією інших залежних і незалежних чинників зовнішнього та внутрішнього характеру, що може бути виправданим та логічним.

Далі, за відомим алгоритмом, що попередньо був використаний для розрахунку розглядаємо побудову моделі лонгітюдних даних із фіксованими ефектами для прогнозування індивідуальних ефектів кадрового потенціалу промислового сектору на визначений період. Знаходимо середнє за кожною змінною моделі в розрізі кожної підгалузі, з використанням вбудованої математичної функції AVERAGE електронних таблиць Microsoft Excel. Зазначимо, що трьохрічний прогнозний період взято для визначення середнього значення кожної змінної та подальшого розрахунку індивідуальних ефектів, хоча період прогнозування досить великий (табл. 2).

Таблиця 2

Розрахунок середнього значення кожної підгалузі промислового сектору, 2027-2029 рр.

Промисловий сектор	Рентабельність операційної діяльності підприємств промислового сектору, %, Y	Частка капітальних інвестицій промисловості в загальних капітальних інвестиціях, %	Коефіцієнт плинності кадрів промислового сектору, %
Добувна промисловість і розроблення кар'єрів	33,45	26,22	31,12
Переробна промисловість	9,00	49,56	5,53
Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря	7,27	24,39	4,75

Джерело: [4; 6-9]

Визначаємо індивідуальні ефекти на наступний трирічний період. Проводимо додаткові розрахунки, а саме відхилення фактичних значень показника та факторів від середнього їх значення, їх добуток, квадрат та матриці. Використовуємо електронні таблиці Microsoft Excel та вбудовані матриці MINVERSE і MMULT.

Внаслідок розрахунків отримано коефіцієнти лонгітюдної моделі даних із фіксованими ефектами прогнозування індивідуальних ефектів кадрового потенціалу промислового сектору, 2027-2029 рр.:

$$b = \begin{matrix} 4,98 \\ -0,32 \end{matrix}$$

Знаходимо індивідуальні ефекти для кожної підгалузі промислового сектору за формулою (3).

Отже, внаслідок прогнозних обчислень маємо такий результат:

Добувна промисловість і розроблення кар'єрів	a ₁ =	11,79
Переробна промисловість	a ₂ =	29,11
Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря	a ₃ =	10,17

Отже, в результаті прогнозування спостерігаємо зростання індивідуальних ефектів на наступні три роки, в лідерах переробна промисловість.

Далі, з використанням рейтингового методу отримані прогнозні результати групуємо, ранжуємо та порівнюємо з попередніми розрахунками індивідуальних ефектів, 2015, 2020-2024, 2027-2029 рр. (табл. 3).

Таблиця 3

Результати індивідуальних ефектів кадрового потенціалу промислового сектору,
2015, 2020-2024, 2027-2029 рр.

Промисловий сектор	Умовне позначення	Індивідуальні ефекти кадрового потенціалу, 2015, 2020-2024 рр.	Ранжування показника вбудована статистична функція RANK, 2015, 2020-2024 рр.	Прогнозні значення індивідуальних ефектів кадрового потенціалу, 2027-2029 рр.	Ранжування показника вбудована статистична функція RANK, 2027-2029 рр.
Добувна промисловість і розроблення кар'єрів	a_1	10,82	2	11,79	2
Переробна промисловість	a_2	13,27	1	29,11	1
Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря	a_3	9,12	3	10,17	3

Джерело: [4; 6-9]

Якщо характеризувати та порівнювати отримані прогнозні значення індивідуальних ефектів, то спостерігаємо їх зростання, але як і попередньо слід наголосити, що даний висновок ґрунтується виключно на економіко-математичних методах та моделях, зокрема на моделі лонгitudних даних.

Останній етап цього дослідження графічне подання та порівняння фактичних та прогнозних значень індивідуальних ефектів за останній та майбутній періоди (рис. 1).

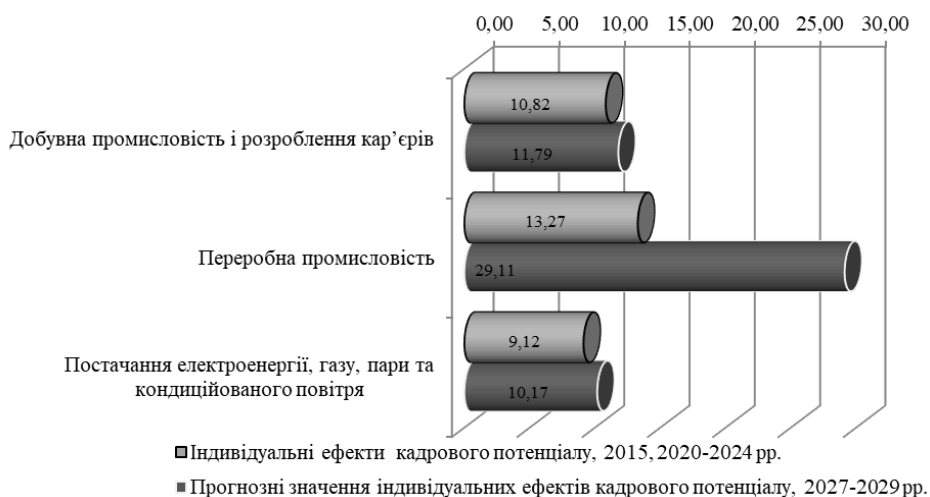


Рис. 1. Графічне порівняння фактичних та прогнозних значень індивідуальних ефектів кадрового потенціалу, 2015, 2020-2024, 2027-2029 рр.

Джерело: [4; 6-9]

Як зазначалось попередньо проводимо вивчення, аналізування, порівняння, моделювання та прогнозування розвитку кадрового потенціалу промислового сектору в системі забезпечення економічної стійкості України загалом промислового сектору.

За такою ж методикою обчислення визначаємо коефіцієнти рівняння, коефіцієнт детермінації, F-критерій Фішера, значення стандартної помилки даних та кількість спостережень, за допомогою вбудованої статистичної функції LINEST електронних таблиць Microsoft Excel.

Виробнича лінійна модель рентабельності операційної діяльності підприємств промислового сектору має вигляд: $\hat{Y}=26,07-0,44X_1-0,59X_2$

Коефіцієнт детермінації $R^2=0,84$ – модель якісна, адекватна, варіація результативного показника на 84,30% залежить від факторних ознак введених у виробничу модель.

Розрахункове значення F-критерію більше табличного, модель адекватна, якісна і подальшому дослідженні можна проводити прогнозування факторних та результативного ознак. Стандартна помилка 2,31, свідчить про найбільшу точність, мінімальна відсутність відхилення визначених параметрів виробничої моделі.

Парні коефіцієнти кореляції регресійної моделі дещо вищі ніж попередні 0,78 та 0,91, що вказують на тісний, прямий, якісний зв'язок між факторною ознакою та результативним показником.

Отже, за результатами дослідження залежностей результативного показника та факторних ознак, можна зробити висновок, що по статистичним коефіцієнтам: парним коефіцієнтам кореляції, коефіцієнтом детермінації, критерієм Фішера виробнича модель промислового сектору є якісною та адекватною. Так, як і попередньо альтернативою визначення основних статистичних коефіцієнтів може бути обчислення основних параметрів з використанням надбудови Аналіз даних електронних таблиць Microsoft Excel (Дані → Аналіз даних → Регресія).

Індивідуальний ефект кадрового потенціалу промислового сектору 2015,2020-2024 рр. обчислено за тим же алгоритмом і його значення 26,07. А прогнозне значення індивідуальних ефектів кадрового потенціалу, 2027-2029 рр. 29,40, що на 3,33 в.п. більше.

Графічне порівняння фактичних та прогнозних значень індивідуальних ефектів кадрового потенціалу промислового сектору представлено рис. 2.

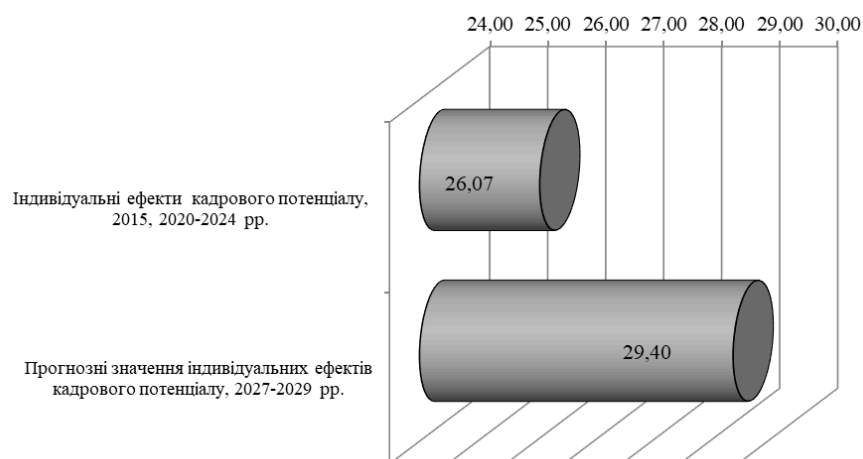


Рис. 2. Графічне порівняння фактичних та прогнозних значень індивідуальних ефектів кадрового потенціалу промислового сектору, 2015, 2020-2024, 2027-2029 рр.

Джерело: [4; 6-9]

Щодо прогнозування факторів, то також, користуємося вбудованою статистичною функцією TREND електронних таблиць Microsoft Excel і визначаємо прогнозне значення цих факторів на період 2027-2029 рр. Для визначення результативного показника рентабельності операційної

діяльності підприємств промислового сектору використовуємо коефіцієнти a_0 , a_1 та a_2 , які були обчислені попередньо (табл. 4).

Таблиця 4

Прогнозування факторів та результативного показника підприємств промислового сектору,
2027-2029 рр.

Промисловий сектор	Роки	Рентабельність операційної діяльності підприємств промислового сектору, %, Y	Частка капітальних інвестицій промисловості в загальних капітальних інвестиціях, %	Коефіцієнт плинності кадрів промислового сектору, %
	2027	9,71	35,59	1,94
	2028	10,13	35,83	0,35
	2029	9,30	36,07	0,89

Джерело: [4; 6-9]

Отже, при оптимістичному сценарії можливе зростання частки капітальних інвестицій промисловості в загальнодержавних капітальних інвестиціях та рентабельності операційної діяльності підприємств промислового сектору і зниження коефіцієнта плинності кадрів промислового сектору на наступний період під дією інших залежних і незалежних чинників зовнішнього та внутрішнього характеру, що може бути виправданим та логічним.

У підсумку можна сказати, що визначення об'єму вивчення, аналізування, моделювання та прогнозування або детально, або більш згорнуто залежить від поставленого завдання, стратегії та планування розвитку кадрового потенціалу промислового сектору в системі забезпечення економічної стійкості України.

Але, економіко-математичні методи та моделі, зокрема метод одночасного аналізу, метод найменших квадратів, метод порівняння, групування, ранжування та рейтингу даних, виробничі лінійні моделі, моделі лонгitudних даних мають досить широке застосування при моделюванні економічних галузевих процесів. У сучасних умовах надзвичайної актуальності підвищення ефективності, результативності та економічної стійкості використання різних методів та моделей дозволяє оптимально моделювати, аналізувати та керувати процесом, використовуючи ці інструменти розрахунку [11].

Проводимо вивчення показників оцінки ефективності кадрового потенціалу промислового сектору в розрізі підгалузей з використанням універсального показника – функція бажаності (переваги) Харрінгтона: добувної промисловості і розроблення кар'єрів, переробної промисловості і підприємств постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря.

При проведенні розрахунків показників ефективності кадрового потенціалу промислового сектору пропонується використовувати універсальний показник – функцію бажаності Харрінгтона (3), тому що ця функція є кількісним, однозначним, єдиним і універсальним показником якості досліджуваного об'єкта, характеризується такими властивостями, як адекватність, ефективність і статистична чутливість, що дозволяє використовувати її як критерій оптимізації [12].

$$D = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i} \quad (3)$$

де n – кількість показників, що використовуються для оцінки ефективності діяльності об'єкта дослідження;

d_i – часткова функція, яка визначається відповідно до шкали Харрінгтона.

Використовується шкала Харрінгтона з метою переведення до безрозмірного вигляду та розрахунку величини частинних функцій за формулою (4).

$$d_i = \exp(-\exp(-y_i)) = \exp^{-e^{-y_i}} \quad (4)$$

де exp – прийняте значення експоненти;

d_i – окрема бажаність, тобто значення i -го окремого показника, переведене у безрозмірну шкалу бажаності (переваг) Харрінгтона;

y_i – значення i -го показника у безрозмірному вигляді [12].

Для надання показникам безрозмірного вигляду використовують формули:

$$y_i \uparrow (max) = \frac{k_i}{k_{крит}} \quad (5)$$

$$y_i \downarrow (min) = \frac{(1-k_i)}{k_{крит}} \quad (6)$$

де k – розрахункове значення показника; $k_{крит}$ – критичне значення показника; max/min – критерій максимізації (мінімізації) отриманого показника. Основною суттю застосованого методу є те, що всі включені в модель показники зводяться до єдиного безрозмірного (функція D), тому стає можливим отримання інтегральної оцінки з урахуванням впливу всіх чинників.

Нормована функція бажаності встановлює відповідність між різними за змістом і шкалами вимірами показників процесів і шкалою варіантів вирішення задачі загального стану об'єкта. Значення окремого відгуку, яке переведене у безрозмірну шкалу бажаності, визначається через du ($u=1, 2, \dots, n$) і називається окремою бажаністю (перевагою). Шкала бажаності має інтервал від 0 до 1. Значення $du=0$ відповідає абсолютно неприйнятному рівню даного об'єкта, а значення $du=1$ – найкращому значенню об'єкта. Поняттю «дуже добре» відповідають значення на шкалі бажаності $1 > du > 0,8$, а поняттю «дуже погано» $0 > du > 0,2$ тощо. Вибір відміток на шкалі бажаності 0,63 і 0,37 пояснюється розрахунковими перевагами: $0,63 \approx 1-(1/e)$, $0,37 \approx 1/e$. Значення $du=0,37$ відповідає межі припустимих значень (табл. 5) [12].

Таблиця 5

«Шкала бажаності» (переваг) Харрінгтона

Шкала «d»	Якісні характеристики шкали «d»
1,00	Відображає крайній рівень відмінної якості, покращення якого немає сенсу.
1,00-0,8	Прийнятний на рівні «дуже добре, відмінно». Відображає хорошу якість чи виконання.
0,8-0,63	Прийнятний на рівні «добре». Відображає рівень, що перевищує найкращий рівень, якому відповідає значення $d=0.63$.
0,63-0,37	Прийнятний на рівні «задовільно». Якість прийнятна до гранично допустимого рівня, але потребує вдосконалення.
0,37-0,2	Граничний рівень. Якщо існують стандартні вимоги до характеристик, вони будуть за межами цих характеристик. (Якщо характеристика в точності відповідає встановленому мінімуму чи максимуму, то значення «d» має дорівнювати $0,36788=1/e$)
0,2-0	Неприйнятний рівень.
0	Повністю неприйнятний рівень.

Джерело: [12]

Слід відмітити, що при формуванні сукупності оцінних показників необхідно обрати найбільш важливі та об'єктивні. Їх склад може змінюватися залежно від того, які зі сторін діяльності об'єкта дослідження найбільш вагомі для виконання аналізу його діяльності.

Система показників має відповідати таким вимогам. По можливості її компоненти мають утворювати динамічний ряд, щоб поточні їх значення прямо або опосередковано впливали на значення інших показників. Обрана система має дозволити оцінити не лише кінцевий результат, але й запропонувати комплекс заходів із поліпшення визначальних показників. Усі показники мають піддаватися нормуванню, тобто для кожного з них можна представити нормативні значення і галузеві коефіцієнти. Також їх слід підбирати таким чином, щоб вони могли

варіюватися у максимально можливому допустимому діапазоні.

Набір показників залежить від специфіки діяльності суб'єкта, його досвіду роботи. Вибір показників, з одного боку, визначається вагомістю характеристик, які забезпечують об'єктивність оцінки; з іншого – можливістю чіткого кількісного їх вимірювання [12].

Отже, вивчення, аналіз, моделювання та прогнозування показників оцінки ефективності кадрового потенціалу промислового сектор проводимо з використанням універсального показника – функція бажаності (переваги) Харрінгтона означених попередньо підгалузей промисловості за останній період будемо проводити згідно викладеної методики розрахунку універсального показника – функція бажаності (переваги) Харрінгтона), який дозволить моделювати процес розробки заходів із підвищення ефективності діяльності та адаптивного стратегічного управління на цьому рівні.

При обчисленні універсального показника – функція бажаності (переваги) Харрінгтона) враховуємо особливості діяльності підприємств промислового сектору. Як відмічалось, статистичні дані, обґрунтування вибору факторних ознак та результативного показника для обчислення універсального показника – функція бажаності (переваги) Харрінгтона) було представлено вище. Розуміємо, що обраних показників для всеохоплюючого вивчення розвитку кадрового потенціалу недостатньо, але обрані показники, як основні складові діяльності промислового сектору дозволять провести вивчення обраної теми з цієї проєкції.

В ході проведених додаткових розрахунків: безрозмірних значень показників оцінки ефективності кадрового потенціалу, розраховано показники за частинною функцією бажаності Харрінгтона та їх характеристика (табл. 6).

Таблиця 6

Показники за частинною функцією бажаності Харрінгтона ефективності кадрового потенціалу промислового сектору, 2015, 2020-2024 рр.

Показники за частинною функцією бажаності Харрінгтона ефективності кадрового потенціалу добувної промисл розроблення кар'єрів					
Показники	2015	2020	2022	2023	2024
Частка капітальних інвестицій промисловості в загальних капітальних інвестиціях, %	0,56	0,62	0,69	0,56	0,54
Коефіцієнт плинності кадрів промислового сектору, %	0,39	0,61	0,59	0,59	0,69
Рентабельність операційної діяльності підприємств промислового сектору, %	0,39	0,48	0,39	0,50	0,57
Функція Харрінгтона	0,45	0,57	0,56	0,55	0,60
<i>Характеристика</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>
Показники за частинною функцією бажаності Харрінгтона ефективності кадрового потенціалу переробної промисловості					
Частка капітальних інвестицій промисловості в загальних капітальних інвестиціях, %	0,60	0,58	0,69	0,58	0,57
Коефіцієнт плинності кадрів промислового сектору, %	0,41	0,42	0,41	0,38	0,42
Рентабельність операційної діяльності підприємств промислового сектору, %	0,37	0,39	0,37	0,39	0,41
Функція Харрінгтона	0,46	0,46	0,49	0,45	0,46
<i>Характеристика</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>
Показники за частинною функцією бажаності Харрінгтона ефективності кадрового потенціалу підприємств постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря					

Частка капітальних інвестицій промисловості в загальних капітальних інвестиціях, %	0,59	0,58	0,69	0,57	0,56
Коефіцієнт плинності кадрів промислового сектору, %	0,48	0,51	0,48	0,46	0,42
Рентабельність операційної діяльності підприємств промислового сектору, %	0,38	0,40	0,37	0,41	0,43
Функція Харрінгтона	0,48	0,50	0,51	0,48	0,47
<i>Характеристика</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>

Джерело: [6-8]

Як бачимо за визначеним універсальним показником – функція бажаності (переваги) Харрінгтона) оцінка ефективності кадрового потенціалу промислового сектору визначена як «задовільно».

Слід акцентувати, що далі проведено прогнозування та порівняння універсального показника – функція бажаності (переваги) Харрінгтона) оцінки ефективності кадрового потенціалу промислового сектору на 2027 р. (табл. 7).

Таблиця 7

Прогнозування показників оцінки ефективності кадрового потенціалу промислового сектору в системі забезпечення економічної стійкості України, 2015, 2020-2024, 2027 рр.

Показники за частинною функцією бажаності Харрінгтона ефективності кадрового потенціалу добувної промисловості і розроблення кар'єрів						
Показники	2015	2020	2022	2023	2024	2027
Частка капітальних інвестицій промисловості в загальних капітальних інвестиціях, %	0,56	0,62	0,69	0,56	0,54	0,60
Коефіцієнт плинності кадрів промислового сектору, %	0,39	0,61	0,59	0,59	0,69	0,69
Рентабельність операційної діяльності підприємств промислового сектору, %	0,38	0,41	0,38	0,42	0,45	0,69
Функція Харрінгтона	0,44	0,54	0,55	0,53	0,56	0,66
<i>Характеристика</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>	<i>добре</i>
Показники за частинною функцією бажаності Харрінгтона ефективності кадрового потенціалу переробної промисловості						
Частка капітальних інвестицій промисловості в загальних капітальних інвестиціях, %	0,60	0,58	0,69	0,58	0,57	0,59
Коефіцієнт плинності кадрів промислового сектору, %	0,63	0,69	0,64	0,44	0,68	0,56
Рентабельність операційної діяльності підприємств промислового сектору, %	0,39	0,48	0,39	0,50	0,57	0,58
Функція Харрінгтона	0,54	0,58	0,57	0,51	0,60	0,57
<i>Характеристика</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>
Показники за частинною функцією бажаності Харрінгтона ефективності кадрового потенціалу підприємств постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря						
Частка капітальних інвестицій промисловості в загальних капітальних інвестиціях, %	0,59	0,58	0,69	0,57	0,56	0,59
Коефіцієнт плинності кадрів промислового сектору, %	0,63	0,69	0,63	0,59	0,50	0,50

Рентабельність операційної діяльності підприємств промислового сектору, %	0,39	0,48	0,39	0,50	0,57	0,57
Функція Харрінгтона	0,54	0,58	0,57	0,55	0,54	0,55
Характеристика	задовільно	задовільно	задовільно	задовільно	задовільно	задовільно

Джерело: [6-8]

В якості розрахунку прогнозних значень факторних ознак було використано вбудовану статистичну функцію TREND, яка найбільш точно описує та визначає лінійний динамічний ряд. Прогнозне значення результативного показника взято із попереднього прогнозування.

Аналізуючи отримані дані універсального показника – функція бажаності (переваги) Харрінгтона) відмічаємо позитивну динаміку прогнозу із збільшенням коефіцієнта шкали Харрінгтона до якісної характеристики «добре» лише підприємств добувної промисловості і розроблення кар'єрів, інші досліджувані підгалузі на рівні «задовільно».

Для порівняння отриманих результатів групуємо їх та представляємо графічно (табл. 8 та рис. 3).

Таблиця 8

Показники за частинною функцією бажаності Харрінгтона оцінки ефективності кадрового потенціалу промислового сектору в системі забезпечення економічної стійкості України, 2015, 2020-2024, 2027 рр.

Показники	2015	2020	2022	2023	2024	2027
Добувна промисловість і розроблення кар'єрів						
Функція Харрінгтона	0,45	0,57	0,56	0,55	0,60	0,66
Характеристика	задовільно	задовільно	задовільно	задовільно	задовільно	добре
Переробна промисловість						
Функція Харрінгтона	0,46	0,46	0,49	0,45	0,46	0,57
Характеристика	задовільно	задовільно	задовільно	задовільно	задовільно	задовільно
Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря						
Функція Харрінгтона	0,48	0,50	0,51	0,48	0,47	0,55
Характеристика	задовільно	задовільно	задовільно	задовільно	задовільно	задовільно

Джерело: [6-8]

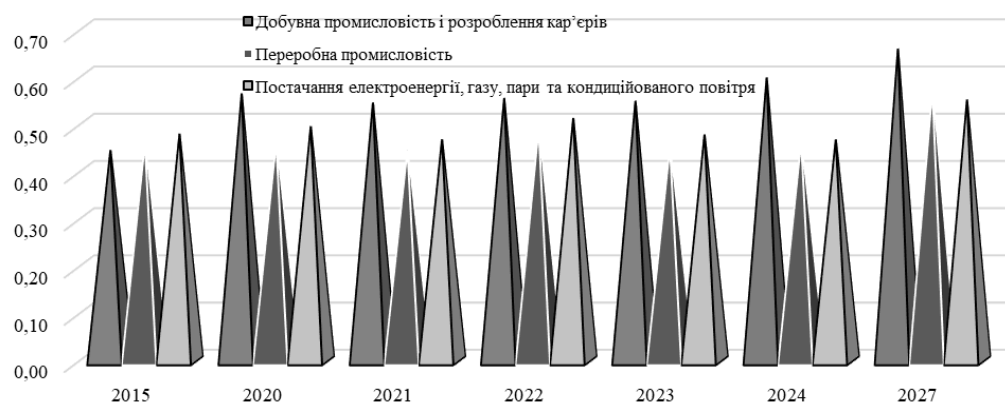


Рис. 3. Показники за частинною функцією бажаності Харрінгтона оцінки ефективності кадрового потенціалу промислового сектору в системі забезпечення економічної стійкості України, 2015, 2020-2024, 2027 рр.

Джерело: [6-8]

Наостанок вивчення обраної теми проведемо аналіз та порівняння прогностичних значень індивідуальних ефектів кадрового потенціалу та значень функції бажаності (переваги) Харрінгтона, які змодельовані і прогнозовані економіко-математичними методами та моделями (табл. 9).

Таблиця 9

Прогнозні значення індивідуальних ефектів та функції бажаності (переваги) Харрінгтона кадрового потенціалу промислового сектору в системі забезпечення економічної стійкості України, 2027-2029 рр.

Промисловий сектор	Прогнозні значення індивідуальних ефектів кадрового потенціалу, 2027-2029 рр.	Прогнозне значення функції бажаності (переваги) Харрінгтона, ефективності кадрового потенціалу 2027 р.
Добувна промисловість і розроблення кар'єрів	11,79	0,66
Переробна промисловість	29,11	0,57
Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря	10,17	0,55

Джерело: розраховано автором

Внаслідок проведеного порівняльного аналізу, спостерігаємо, що результуючі прогностичні значення якісні, найвищі показники ефективності прогностичних коефіцієнтів показує переробна промисловість та добувна промисловість і розроблення кар'єрів, але підприємства постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря мають також позитивні якісні показники результативності діяльності.

Графічно прогностичні значення індивідуальних ефектів та функції бажаності (переваги) Харрінгтона кадрового потенціалу промислового сектору в системі забезпечення економічної стійкості України на наступний період представлено рис. 4.

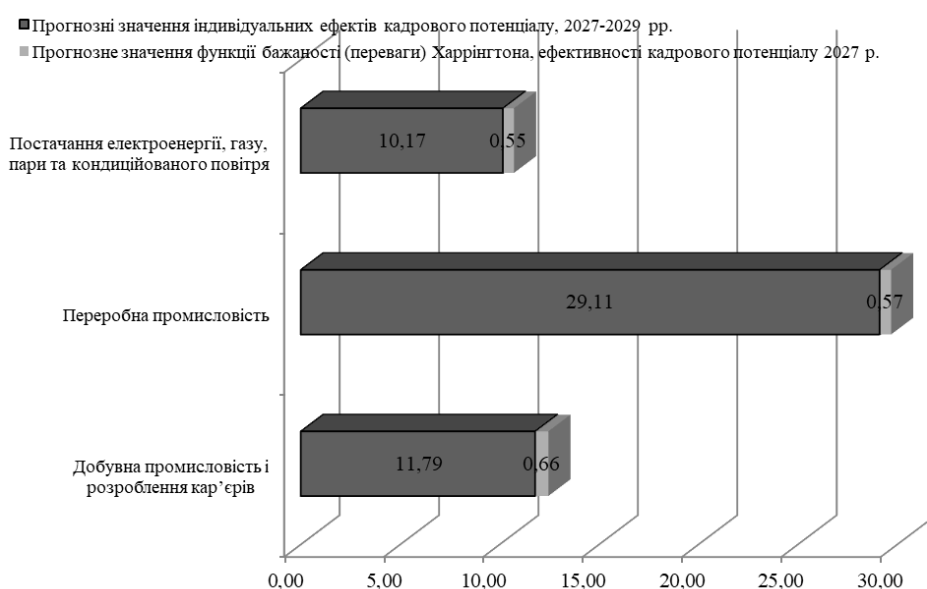


Рис. 4. Прогнозні значення індивідуальних ефектів та функції бажаності (переваги) Харрінгтона кадрового потенціалу промислового сектору в системі забезпечення економічної стійкості України, 2027-2029 рр.

Джерело: розраховано автором

Також, як зазначалось раніше, проводимо загальну оцінку ефективності кадрового потенціалу промислового сектор проводимо з використанням універсального показника – функція бажаності (переваги) Харрінгтона. За викладеною попередньо методикою визначаємо оцінки ефективності на період дослідження, прогнозуємо, групуємо та аналізуємо отримані результати (табл. 10).

Таблиця 10

Показники за частинною функцією бажаності Харрінгтона оцінки ефективності кадрового потенціалу промислового сектору в системі забезпечення економічної стійкості України, 2015, 2020-2024, 2027 рр.

Показники	2015	2020	2022	2023	2024	2027
Промисловий сектор						
Функція Харрінгтона	0,58	0,57	0,58	0,56	0,56	0,67
<i>Характеристика</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>	<i>задовільно</i>	<i>добре</i>

Джерело: розраховано автором

Відмічаємо, зростання оцінки ефективності кадрового потенціалу промислового сектору за частинною функцією бажаності Харрінгтона на 0,11 в.п. з оцінкою «добре».

Також, проведено аналіз та порівняння прогнозних значень індивідуальних ефектів кадрового потенціалу та значень функції бажаності (переваги) Харрінгтона промислового сектору, які змодельовані і прогнозовані економіко-математичними методами та моделями (табл. 11).

Таблиця 11

Прогнозні значення індивідуальних ефектів та функції бажаності (переваги) Харрінгтона кадрового потенціалу промислового сектору в системі забезпечення економічної стійкості України, 2027-2029 рр.

Промисловий сектор	Прогнозні значення індивідуальних ефектів кадрового потенціалу, 2027-2029 рр.	Прогнозне значення функції бажаності (переваги) Харрінгтона, ефективності кадрового потенціалу 2027 р.
	29,40	0,67

Джерело: розраховано автором

Графічно отримані результати показано на рис. 5.

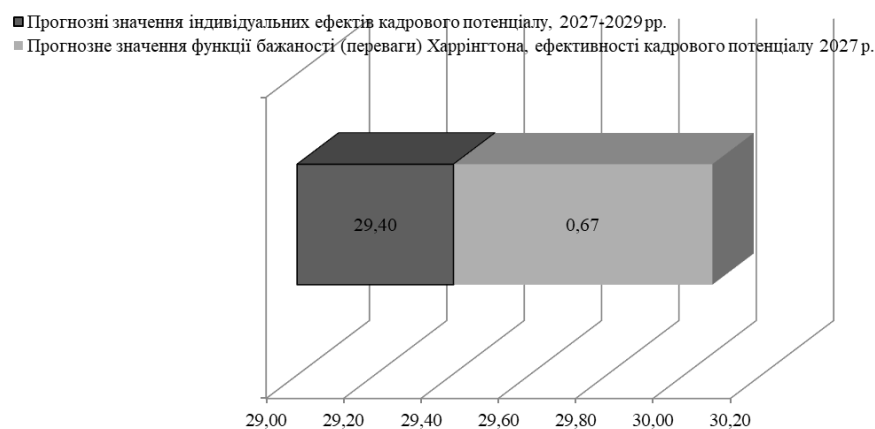


Рис. 5. Прогнозні значення індивідуальних ефектів та функції бажаності (переваги) Харрінгтона кадрового потенціалу промислового сектору в системі забезпечення економічної стійкості України, 2027-2029 рр.

Джерело: розраховано автором

Отже, слід ще раз наголосити про визначеність розрахунків детальних або більш стислих та усереднених. Але, в загальному підсумку, можна сказати, що використання економіко-математичних методів та моделей в поєднанні дає можливість провести загальну оцінку розвитку кадрового потенціалу промислового сектору, визначити тенденції та динаміку розвитку його рівня, намітити шляхи підвищення адаптивного стратегічного управління, що забезпечує економічну стійкість та ефективність функціонування.

Висновки. Проведене дослідження дозволило оцінити стан і перспективи розвитку кадрового потенціалу промислового сектору України із застосуванням моделей лонгітюдних даних із фіксованими ефектами, регресійного моделювання та функції бажаності Харрінгтона. Встановлено, що найвищий індивідуальний ефект кадрового потенціалу має переробна промисловість – 13,27, порівняно з 10,82 у добувній промисловості та 9,12 у сфері постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря. Коефіцієнт детермінації виробничої моделі становить $R^2 = 0,84$, що підтверджує її достатню пояснювальну здатність. Прогноз на 2027–2029 рр. свідчить про збереження лідерства переробної промисловості, де індивідуальний ефект кадрового потенціалу може зрости до 29,11. Загальний прогнозний показник для промислового сектору становить 29,40 проти 26,07 у базовому періоді. За функцією бажаності Харрінгтона інтегральна оцінка кадрового потенціалу промислового сектору у 2027 р. прогнозується на рівні 0,67, що відповідає характеристиці «добре», проти переважно «задовільного» рівня у 2015–2024 рр. Отримані результати підтверджують доцільність комплексного використання панельного та інтегрального моделювання для оцінювання, прогнозування й управління кадровим потенціалом промислового сектору України.

Література

1. Бессонова А. В., Белобородова М. В., Безугла Л. С., Кулінська А. В., Ащеулова О. М. Кадровий потенціал промислових підприємств: формування та управління. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2024. № 3. С. 163–170. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-3/163>
2. Зіновська С. І. Використання організаційного механізму управління кадровим потенціалом на промислових підприємствах України. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія Економічні науки*. 2019. № 34. С. 81-86. <https://ej.journal.kspu.edu/index.php/ej/article/view/418/414>
3. Зось-Кіор М. В., Ільїн В. Ю., Свирида Е. О. Розвиток трудового потенціалу в системі ефективного менеджменту організації. *Економічний форум*. 2020. №22. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2020-22-78>
4. Калініченко А.В. Економіко-математичні методи та моделі. Полтава: ПДАА, 2021. 24 с.
5. Кудактін С. В. Проблеми управління розвитком персоналу в системах формування кадрового потенціалу на підприємствах України. *Економічний вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2025. № 32. <https://doi.org/10.20535/2307-5651.32.2025.328542>
6. Статистичний щорічник України за 2021 рік / за ред. І.Є. Вернера. Київ: Держстат, 2022. 447 с.
7. Статистичний щорічник України за 2023 рік / за ред. І.Є. Вернера. Київ: Держстат, 2023. 269 с.
8. Статистичний щорічник України за 2024 рік / за ред. І.Є. Вернера. Київ: Держстат, 2024. 273 с.

9. Червак-Смерічко О.Ю. Моделі лонгітюдних даних в емпіричних дослідженнях. *Науковий вісник Ужгородського університету*. 2013. Вип. 3(40). С. 183–186. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/2049>
10. Чернушкіна О. Підвищення кадрового потенціалу промислових підприємств: актуальні аспекти та перспективи. *Modeling the Development of the Economic Systems*. 2024. № 14. <https://doi.org/10.31891/mdes/2024-14-59>
11. Шевченко Н. Г., Лупан І. В. Моделювання з використанням панельних даних. *Наукові записки КДПУ. Серія: Математичні науки*. 2014. Вип. 73. С. 66–79.
12. Harrington Edwin C., Jr. The Desirability Function. *Industrial Quality Control*. 1965. April. pp. 494–498.

References

1. Bessonova A. V., Bieloborodova M. V., Bezuhla L. S., Kulinska A. V., Ashcheulova O. M. (2024) Kadrovyyi potentsial promyslovykh pidpriemstv: formuvannia ta upravlinnia [Human resources potential of industrial enterprises: formation and management]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, no. 3, pp. 163–170. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-3/163>.
2. Zinovska S. I. (2019) Vykorystannia orhanizatsiinoho mekhanizmu upravlinnia kadrovym potentsialom na promyslovykh pidpriemstvakh Ukrainy [Use of the organizational mechanism for managing human resources potential at industrial enterprises of Ukraine]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu. Seriya Ekonomichni nauky*, no. 34, pp. 81–86. Available at: <https://ejournal.kspu.edu/index.php/ej/article/view/418/414>.
3. Zos-Kior M. V., Ilin V. Yu., Svyryda E. O. (2020) Rozvytok trudovoho potentsialu v systemi efektyvnoho menedzhmentu orhanizatsii [Development of labor potential in the system of effective organization management]. *Ekonomichnyi forum*, no. 22. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2020-22-78>.
4. Kalinichenko A. V. (2021) *Ekonomiko-matematychni metody ta modeli* [Economic and mathematical methods and models]. Poltava: PDAA. 24 p.
5. Kudaktin S. V. (2025) Problemy upravlinnia rozvytkom personalu v systemakh formuvannia kadrovoho potentsialu na pidpriemstvakh Ukrainy [Problems of personnel development management in systems of human resources potential formation at Ukrainian enterprises]. *Ekonomichnyi visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut»*, no. 32. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.32.2025.328542>.
6. Verner I. Ye. (ed.) (2022) *Statystychnyi shchorichnyk Ukrainy za 2021 rik* [Statistical Yearbook of Ukraine for 2021]. Kyiv: State Statistics Service of Ukraine. 447 p.
7. Verner I. Ye. (ed.) (2023) *Statystychnyi shchorichnyk Ukrainy za 2023 rik* [Statistical Yearbook of Ukraine for 2023]. Kyiv: State Statistics Service of Ukraine. 269 p.
8. Verner I. Ye. (ed.) (2024) *Statystychnyi shchorichnyk Ukrainy za 2024 rik* [Statistical Yearbook of Ukraine for 2024]. Kyiv: State Statistics Service of Ukraine. 273 p.
9. Chervak-Smerichko O. Yu. (2013) Modeli lonhitudnykh danykh v empirychnykh doslidzhenniakh [Longitudinal data models in empirical research]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu*, vol. 3(40), pp. 183–186. Available at: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/2049>.
10. Chernushkina O. (2024) Pidvyshchennia kadrovoho potentsialu promyslovykh pidpriemstv: aktualni aspekty ta perspektyvy [Enhancement of human resources potential of industrial enterprises: current aspects and prospects]. *Modeling the Development of the Economic Systems*, no. 14. DOI: <https://doi.org/10.31891/mdes/2024-14-59>.
11. Shevchenko N. H., Lupan I. V. (2014) Modeliuvannia z vykorystanniam panelnykh danykh [Modeling using panel data]. *Naukovi zapysky KDPU. Seriya: Matematychni nauky*, vol. 73, pp. 66–79.

12. Harrington E. C. Jr. (1965) The desirability function. *Industrial Quality Control*, April, pp. 494–498.

Отримано: 26.12.2025

Прийнято до публікації: 14.01.2026

Опубліковано: 15.01.2026