

УДК 519.86

DOI [https://doi.org/10.24144/2616-7700.2023.42\(1\).164-173](https://doi.org/10.24144/2616-7700.2023.42(1).164-173)**Н. В. Ічанська¹, М. В. Лисенко²**

¹ Національний університет «Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка»,
доцент кафедри вищої та прикладної маткматики,
кандидат фізико-математичних наук
itm.ichanska@np.edu.ua
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5963-9288>

² Національний університет «Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка»,
доцент кафедри комп'ютерних технологій та інформаційних систем,
кандидат фізико-математичних наук
lysenkop1@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0995-2991>

ПРОГНОЗУВАННЯ ВИДОБУТКУ НАФТИ В УКРАЇНІ ЗА ДОПОМОГОЮ АДАПТИВНИХ МОДЕЛЕЙ

У статті розглянуто моделювання життєвого циклу видобутку нафти. Проаналізовано сутність, переваги й недоліки цих підходів. Авторами розв'язано задачу апроксимації методами математичного моделювання: експоненційного вирівнювання, Хольта та прогнозування на основі нейромережових технологій. У роботі надано класифікацію цих методів, зазначено важливість їх застосування з метою знаходження ефективних шляхів розв'язку проблем розвитку промислового комплексу та первинного сектору економіки України, базовою складовою якої є видобувна галузь.

Розглянуте моделювання життєвих циклів видобутку нафти дає можливість відобразити прогноз у вигляді трикутного нечіткого числа, тобто вказати можливі очікувані значення. Адаптивні моделі прогнозування — це моделі, які використовують дисконтування даних і можуть швидко пристосовуватись до зміни умов, змінюючи свою структуру та параметри.

Метод експоненційного вирівнювання ґрунтується на тому, що при прогнозуванні ряд динаміки показників вирівнюється на основі зваженої ковзної середньої, де вагові коефіцієнти визначаються експоненційним законом розподілу. Для прогнозування на основі нейромережових технологій використана нейронна мережа Feed-forward back propagation, що містить три прошарки нейронів — вхідний, проміжний та вихідний. У роботі показано, що найменше прогнозоване значення одержується при застосуванні методу експоненційного вирівнювання, дещо більше при застосуванні методу Хольта і найбільше при використанні нейронних мереж.

Ключові слова: життєвий цикл, прогнозування, видобуток нафти, модель Хольта, штучні нейронні мережі, метод експоненційного вирівнювання.

1. Вступ. Енергетичний комплекс України є ключовим елементом її економіки та важливою галуззю для забезпечення життєвого рівня населення та розвитку промисловості. Зокрема, енергетика забезпечує роботу міст та сіл, працю підприємств та індустрії, а також опалення житлових будинків.

На жаль, Україна стикається з проблемами у галузі енергетики, зокрема залежністю від імпорту енергоносіїв, високими тарифами на електроенергію для населення та промисловості, застарілою технікою виробництва електроенергії та недостатньою ефективністю енергосистеми.

Однак, Україна має потенціал для розвитку відновлюваної енергетики, зокрема сонячної та вітрової, що може зменшити залежність від імпорту енергоносіїв та знизити витрати на енергію для населення та промисловості.

Крім того, розвиток енергоефективності та використання новітніх технологій виробництва енергії може допомогти зменшити негативний вплив на навколишнє середовище та забезпечити стале економічне зростання країни.

Отже, розвиток енергетичного комплексу України є важливою задачею, яка вимагає комплексного підходу та залучення інвестицій для впровадження новітніх технологій та забезпечення сталого розвитку країни.

Надзвичайно важливою задачею для забезпечення сталого розвитку економіки країни та її енергетичної безпеки є підтримання позитивної динаміки обсягів видобутку нафти в Україні, яка використовується як основне джерело енергії для виробництва електроенергії, опалення та транспорту. Нафтопереробні підприємства є одними з найбільших промислових об'єктів країни, які забезпечують значну кількість робочих місць і надходжень до бюджету.

Промисловий комплекс є однією з основних галузей національної економіки, його розвиток має важливе значення для забезпечення стійкого економічного зростання країни. У науковій літературі з питань розвитку промислового комплексу України можна відзначити праці таких вчених, як О. І. Амоша, В. П. Вишневський, І. О. Галиця, М. О. Кизим, Ю. В. Кіндзерський, О. Й. Лесько, А. Д. Олійник, О. В. Пирог, І. В. Причеп, В. Є. Хаустова, А. В. Шевченко, Т. М. Юсупова, М. Ю. Сушко, М. М. Якубовський та ін. [1, 2]. Усі ці дослідження спрямовані на вдосконалення практичних рекомендацій з питань розвитку промисловості, її підвищення конкурентоспроможності та ефективності. В цілому, науковий підхід до проблем розвитку промислового комплексу України може допомогти знайти ефективні шляхи для вирішення складних завдань, пов'язаних зі зниженням обсягів виробництва. Використання математичної моделі у прогнозуванні видобутку нафти є необхідним і ефективним інструментом для визначення майбутніх обсягів виробництва та вирішення ряду економічних та технічних завдань. Моделювання дозволяє побудувати математичну модель на основі наявних даних та встановити залежності між факторами, які впливають на процес видобутку нафти.

Засновниками засад використання апарату адаптивного моделювання соціально-економічних процесів є Г. Браун [3], А. Тейл, С. Вейдж [4], П. Вінтерса [5]. Тема адаптивного моделювання виробничих процесів та прогнозування економічних показників підприємства є актуальною як на міжнародному, так і на внутрішньому рівнях. Чимало вітчизняних та закордонних учених займаються дослідженням цієї теми з метою вдосконалення методів та підвищення ефективності їх застосування у практичній діяльності., зокрема: Т. С. Клебанова, В. М. Геєць, Н. А. Кізіма, В. В. Давніс, В. Тінякова, Н. В. Климович, О. Г. Ніколаєва та інші [6, 7]. Результати досліджень цих учених дозволяють удосконалювати методи адаптивного моделювання та застосовувати їх для прогнозування економічних показників підприємств, підвищення ефективності виробничих процесів та раціонального використання ресурсів.

2. Постановка задачі. Математичне моделювання є перспективним напрямом сучасних досліджень, воно ефективно використовується в багатьох галузях: науці, техніці, економіці, соціології та інших сферах (див., наприклад [8–11]).

Математичні моделі дозволяють відтворити й аналізувати різні процеси та явища, що допомагає зрозуміти їх поведінку, зробити прогнози та приймати

обґрунтовані рішення.

Основною задачею моделювання видобутку нафти є розробка математичної моделі, яка б дозволяла прогнозувати майбутні обсяги видобутку з високою точністю на основі статистичних даних про минулий видобуток та інші фактори, що впливають на цей процес. Для побудови моделі можна використовувати різні методи, такі як регресійний аналіз, часові ряди, нейронні мережі тощо. Після побудови моделі можна здійснити її верифікацію, тобто перевірку її точності та адекватності на основі порівняння прогнозованих значень з реальними даними.

Отримана модель може бути використана для прогнозування майбутніх обсягів видобутку нафти, що дає змогу зробити ефективні рішення з планування виробничих процесів, оптимізації витрат на експлуатацію обладнання та планування розвитку нафтового господарства.

Мета статті полягає у прогнозуванні життєвого циклу видобутку нафти з використанням методів математичного моделювання, а саме адаптивних моделей і нейромережевого підходу, а також порівнянні вибраних методів.

Метою цієї статті є застосування методів математичного моделювання, таких як адаптивні моделі та нейромережевий підхід, для прогнозування життєвого циклу видобутку нафти та порівняння ефективності обраних методів.

3. Основний результат. При розробленні стратегічних програм розвитку нафтовидобувної промисловості України потрібні науково обґрунтовані прогнози динаміки показників, що характеризують дану галузь економіки. Такі прогнози дають можливість виявити тенденції в розвитку цієї галузі, що необхідно для ефективного стратегічного планування.

Для одержання прогнозів обсягів видобування нафти в Україні на 2023–2024 роки вибрано три методи прогнозування: метод експоненційного вирівнювання, метод Хольта та прогнозування на основі нейромережевих технологій. Одержані результати дають можливість відобразити прогноз у вигляді трикутного нечіткого числа, тобто вказати можливі очікувані значення даного показника разом із відповідними значеннями функції належності.

Інформаційною базою прогнозування є відомі значення обсягів видобування нафти в Україні протягом ретроспективного періоду від 2003 до 2020 року [12]. Позначимо ці обсяги через $x(t)$, де t — порядковий номер року в ретроспективному періоді. Значення величини $x(t)$ наведено в таблиці 1.

Модель Хольта являє собою адаптивну модель, що включає два параметри — коефіцієнт α згладжування ряду та коефіцієнт β згладжування тренду. При прогнозуванні на основі моделі Хольта для кожного року ретроспективного періоду обчислюється значення функцій $g(t)$ та $r(t)$ за допомогою рівностей

$$g(t) = \alpha x(t) + (1 - \alpha)(g(t - 1) + r(t - 1)),$$

$$r(t) = \beta (g(t) - g(t - 1)) + (1 - \beta)r(t - 1).$$

При цьому вважається, що при $t = 1$ мають місце рівності $g(1) = x(1)$, $r(1) = 0$.

$$x_i(T + j) = g_i(T) + jr_i(T).$$

Очікувані значення обсягів видобування нафти в прогнозному періоді визначаємо із рівності

$$x(T + j) = g(T) + jr(T),$$

Таблиця 1.

Видобуток нафти в Україні протягом 2003–2020 років.

t	Рік	Видобуто нафти
1	2003	2.8
2	2004	3
3	2005	3.1
4	2006	3.3
5	2007	3.3
6	2008	3.2
7	2009	2.9
8	2010	2.6
9	2011	2.4
10	2012	2.3
11	2013	2.2
12	2014	2
13	2015	1.8
14	2016	1.6
15	2017	1.5
16	2018	1.6
17	2019	1.7
18	2020	1.7

де T — тривалість ретроспективного періоду ($T = 18$), j — номер року в прогностичному періоді, $x(T + j)$ — очікуване значення показника в j -тий рік прогностичного періоду.

Для оцінювання точності прогнозу визначаємо для кожного року ретроспективного періоду, починаючи від другого, визначаємо абсолютну похибку прогнозу на один період за формулою

$$\Delta(t) = x(t) - g(t) - r(t) \text{ та } \delta_i(t) = \frac{\Delta_i^2(t)}{x_i^2}.$$

Точність прогнозу оцінюється величиною

$$\lambda = 1 - \frac{\sum_{t=2}^T \delta(t)}{T - 1}, \text{ де } \delta(t) = \frac{\Delta^2(t)}{x^2(t)}.$$

Значення коефіцієнтів α та β підбираються емпірично. Приймаються такі їх величини, для яких оцінка λ точності прогнозу є найвищою. Нами вибрано значення $\alpha = 0.9$, $\beta = 0.9$, при яких $\lambda = 99.67\%$. Результати прогнозування відображені в таблиці 2.

Таким чином використання моделі Хольта дає можливість зробити висновок, що видобування нафти в Україні в 2023 та 2024 роках дещо зросте порівняно із 2020 роком, але не досягне рівня 2014 року. В 2023 році очікуване значення обсягу видобування складає 1.78836, а в 2024 році 1.81426.

Метод експоненційного вирівнювання дає можливість при прогнозуванні динаміки показників надавати переважного значення новішим даним. Ряд динаміки, що містить статистичні дані, вирівнюється на основі зваженої ковзної

Таблиця 2.

Визначення очікуваних обсягів видобування нафти в Україні методом Хольта.

Рік	t	$x(t)$	$g(t)$	$r(t)$	j	$x(T+j)$	$g(t)+r(t)$	$\Delta(t)$	$\delta(t)$	λ
Ретроспективний період										
2003	1	2.8	2.8	0.00000			2.8			
2004	2	3	2.98	0.16200			2.8	0.20000	0.00444	
2005	3	3.1	3.10	0.12798			3.14200	-0.04200	0.00018	
2006	4	3.3	3.29	0.18291			3.23218	0.06782	0.00042	
2007	5	3.3	3.32	0.04025			3.47613	-0.17613	0.00285	
2008	6	3.2	3.22	-0.08762			3.35786	-0.15786	0.00243	
2009	7	2.9	2.92	-0.27243			3.12817	-0.22817	0.00619	
2010	8	2.6	2.61	-0.31324			2.65038	-0.05038	0.00038	
2011	9	2.4	2.39	-0.22560			2.29179	0.10821	0.00203	
2012	10	2.3	2.29	-0.11510			2.16358	0.13642	0.00352	99.67%
2013	11	2.2	2.20	-0.09182			2.17126	0.02874	0.00017	
2014	12	2	2.01	-0.17712			2.10531	-0.10531	0.00277	
2015	13	1.8	1.80	-0.20418			1.83341	-0.03341	0.00034	
2016	14	1.6	1.60	-0.20350			1.59916	0.00084	0.00000	
2017	15	1.5	1.49	-0.11960			1.39641	0.10359	0.00477	
2018	16	1.6	1.58	0.06667			1.37004	0.22996	0.02066	
2019	17	1.7	1.69	0.11229			1.64367	0.05633	0.00110	
2020	18	1.7	1.71	0.02590			1.80666	-0.10666	0.00394	
Прогнозний період										
2021					1	1.73656				
2022					2	1.76246				
2023					3	1.78836				
2024					4	1.81426				

середньої, де вагові коефіцієнти визначаються експоненційним законом розподілу. Для апроксимації показника обсягу видобування нафти обираємо поліном третього ступеню $w_t = \eta_0 + \eta_1 t + \eta_2 \frac{t^2}{2!}$. Коефіцієнти η_0, η_1, η_2 визначаємо такими, щоб величина суми квадратів відхилень $\sum_{t=1}^T (x(t) - w_t)^2$ реальних значень $x(t)$ річних обсягів видобування нафти від апроксимованих значень w_t стала мінімальною. Емпіричним шляхом підбираємо значення коефіцієнта $\gamma \in [0.2; 0.6]$, який відображає рівень зростання ваги недавніх значень показника. Нами обрано значення $\gamma = 0.58$. При $t = 1$ значення вирівняних рядів обчислюємо за формулами

$$\begin{cases} w_t^1 = \eta_0 - \frac{1-\nu}{\nu} \cdot \eta_1 + \frac{(1-\nu) \cdot (2-\nu)}{2 \cdot \nu^2} \eta_2; \\ w_t^2 = \eta_0 - \frac{2(1-\nu)}{\nu} \cdot \eta_1 + \frac{2(1-\nu) \cdot (3-2\nu)}{2 \cdot \nu^2} \eta_2; \\ w_t^3 = \eta_0 - \frac{3(1-\nu)}{\nu} \cdot \eta_1 + \frac{3(1-\nu) \cdot (4-3\nu)}{2 \cdot \nu^2} \eta_2. \end{cases}$$

Для значень t від 2 до T значення вирівняних рядів обчислюються за допомогою рекурентних рівностей

$$\begin{aligned} w_t^1 &= (1 - \nu)w_{t-1}^1 + \nu x(t), \\ w_t^2 &= (1 - \nu)w_{t-1}^2 + \nu w_t^1, \\ w_t^3 &= (1 - \nu)w_{t-1}^3 + \nu w_t^2. \end{aligned}$$

При цьому на кожній ітерації динамічно змінюються коефіцієнти η_0, η_1, η_2 . Їх значення обчислюються із рівностей

$$\begin{cases} \eta_0 = 3w_t^1 - 3w_t^2 + w_t^3; \\ \eta_1 = \frac{\nu}{2(1-\nu)^2} [(6 - 5\nu)w_t^1 - 2(5 - 4\nu)w_t^2 + (4 - 3\nu)w_t^3]; \\ \eta_2 = \frac{\nu^2}{(1-\nu)^2} (w_t^1 - 2w_t^2 + w_t^3). \end{cases}$$

Щоб одержати прогнозовані значення обсягів видобутку нафти на 2023 та 2024 роки скористаємося рівністю

$$x(T + \theta) = \eta_0 + \eta_1\theta + \eta_2 \frac{\theta^2}{2!},$$

де θ — порядковий номер року в прогнозному періоді, а значення коефіцієнтів η_0 , η_1 , η_2 визначаються на останній ітерації обчислення, тобто при $t = T = 18$. Оскільки ретроспективний період закінчується в 2020 році, то 2023 та 2024 рокам відповідають значення $\theta = 3$ та $\theta = 4$.

Результати прогнозування відображені в таблиці 3.

Таблиця 3.

Визначення очікуваних обсягів видобування нафти в Україні методом експоненційного вирівнювання.

t	$x(t)$	w_t	$(x(t) - w_t)^2$	w_t^1	w_t^2	w_t^3	η_0	η_1	η_2
1	2.8	3.2474	0.20017	3.39260	3.46070	3.52680	3.32250	-0.07310	-0.00200
2	3	3.1683	0.02832	3.19630	3.32850	3.42765	3.03105	-0.21483	-0.03305
3	3.1	3.0852	0.00022	3.14815	3.23833	3.33299	3.06246	-0.07896	0.00449
4	3.3	2.9981	0.09114	3.22408	3.23120	3.28209	3.26072	0.10230	0.04377
5	3.3	2.907	0.15445	3.26204	3.24662	3.26436	3.31061	0.09831	0.03316
6	3.2	2.8119	0.15062	3.23102	3.23882	3.25159	3.22819	0.00462	0.00497
7	2.9	2.7128	0.03504	3.06551	3.15216	3.20188	2.94191	-0.17901	-0.03694
8	2.6	2.6097	0.00009	2.83275	2.99246	3.09717	2.61805	-0.29720	-0.05500
9	2.4	2.5026	0.01053	2.61638	2.80442	2.95079	2.38667	-0.29221	-0.04167
10	2.3	2.3915	0.00837	2.45819	2.63130	2.79105	2.27170	-0.20654	-0.01337
11	2.2	2.2764	0.00584	2.32909	2.48020	2.63562	2.18231	-0.14030	0.00432
12	2	2.1573	0.02474	2.16455	2.32237	2.47900	2.00552	-0.16083	-0.00120
13	1.8	2.0342	0.05485	1.98227	2.15232	2.31566	1.80551	-0.18683	-0.00671
14	1.6	1.9071	0.09431	1.79114	1.97173	2.14370	1.60192	-0.20216	-0.00863
15	1.5	1.776	0.07618	1.64557	1.80865	1.97617	1.48693	-0.15198	0.00444
16	1.6	1.6409	0.00167	1.62278	1.71572	1.84594	1.56715	0.00031	0.03730
17	1.7	1.5018	0.03928	1.66139	1.68855	1.76725	1.68576	0.10167	0.05153
18	1.7	1.3587	0.11649	1.68070	1.68463	1.72594	1.71415	0.08953	0.03738
			$\Sigma =$ =1.09232						
θ	$x(T + \theta)$								
1	1.708								
2	1.722								
3	1.739								
4	1.759								

Таким чином використання моделі експоненційного вирівнювання дає можливість прогнозувати певне зростання обсягів видобування нафти в Україні в 2023 та 2024 роках дещо зросте порівняно із 2020 роком, але очікуваний приріст видобутку дещо менший, ніж при використанні моделі Хольта. В 2023 році очікуване значення обсягу видобування складає 1.78836, а в 2024 році 1.81426. Для прогнозування на основі нейромережових технологій використана нейронна мережа Feed-forward back propagation, що містить три прошарки нейронів — вхідний, проміжний та вихідний. Вхідний прошарок містить один нейрон, на який надходять вхідні сигнали, що передаються без перетворення нейронам проміжного прошарку. Проміжний прошарок включає три нейрони N_1 , N_2 та N_3 . Кожний із цих нейронів має один вхід, на який подається вихідний сигнал від нейрона із вхідного прошарку. Параметрами нейронів N_1 , N_2 та N_3 є вагові коефіцієнти w_{11} , w_{12} та w_{13} , на які множаться одержані цими нейронами вхідні

сигнали, та зміщення a_{11} , a_{12} і a_{13} . Під час навчання мережі ці параметри змінюються, щоб забезпечити відповідність одержаних на виході мережі сигналів відомим еталонам. Для нейронів проміжного прошарку вибрана однакова функція активації $\text{tansig}(x) = \frac{1}{1+e^{2x}} - 1$. Одержавши на вхід сигнал Q , нейрон N_i перетворює його у вихідний сигнал $g_i = \text{tansig}(w_{1i}Q + a_{1i})$, який передається єдиному нейрону N_0 вихідного прошарку. Нейрон вихідного прошарку має три входи, яким відповідають вагові коефіцієнти w_{21} , w_{22} та w_{23} . Він виробляє вихідний сигнал $g = \text{tansig}(w_{21}g_1 + w_{22}g_2 + a_2)$, де a_2 — зміщення вихідного нейрону. На етапі навчання ці вихідні сигнали порівнюються із еталонними значеннями і в залежності від одержаного відхилення здійснюється коригування величин w_{11} , w_{12} , w_{13} , a_{11} , a_{12} , a_{13} , w_{21} , w_{22} , w_{23} та a_2 .

При навчанні мережі на її вхід подаються значення $X(t) = \frac{t}{T+T_0+1}$, де t — номер року в ретроспективному періоді, T — тривалість ретроспективного періоду, T_0 — тривалість періоду прогнозування. Таким чином забезпечується лінійна залежність вхідних сигналів від змінної t і належність цих сигналів до проміжку $[0; 1]$, що є обов'язковим для нейронних мереж даного виду. В якості еталонних значень для навчання мережі вибираємо значення $L(t) = \frac{x(t)}{x^{\max}}$, де x^{\max} — максимальне значення величини $x(t)$ по всім рокам ретроспективного періоду. Такий вибір еталонних значень пояснюється тим, що вихідні сигнали мережі належать до проміжку $[0; 1]$.

В результаті навчання мережі її параметри приймають наступні значення: $w_{11} = -4.1267$, $w_{12} = -4.0231$, $w_{13} = -3.687$, $a_{11} = 4.2792$, $a_{12} = 0.43241$, $a_{13} = -4.7517$, $w_{21} = -0.1333$, $w_{22} = 0.57099$, $w_{23} = 0.23894$ та $a_2 = 0.069667$. Ці параметри використані для одержання прогнозованих значень обсягів видобування нафти на 2023 та 2024 роки. Для цього на вхід мережі подаються значення $X(21) = 0.91304$ та $X(22) = 0.95652$, що відповідають даним рокам. Одержимо відповідні вихідні значення 0.57598 та 0.57807. Помноживши їх на $x^{\max} = 3.3$, визначаємо очікувані значення обсягів видобутку нафти — 1.901 на 2023 рік та 1.908 на 2024 рік.

Динаміка видобутку нафти в Україні в 2003–2020 роках із прогнозом на 2023 та 2024 роки відображена на рисунку 1.

Таким чином найменше прогнозоване значення одержується при застосуванні методу експоненційного вирівнювання, дещо більше при застосуванні методу Хольта і найбільше при використанні нейронних мереж.

Визначимо прогноз у вигляді трикутного нечіткого числа. Нехай Φ_E — прогнозоване значення, одержане методом експоненційного вирівнювання, Φ_H — методом Хольта, Φ_N — методом нейронних мереж. Має місце нерівність $\Phi_E < \Phi_H < \Phi_N$. Визначимо функцію належності нечіткого трикутного числа такою формулою

$$f(x) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } x < \Phi_E, \\ \frac{x - \Phi_E}{\Phi_H - \Phi_E}, & \text{якщо } \Phi_E \leq x \leq \Phi_H, \\ \frac{\Phi_N - x}{\Phi_N - \Phi_H}, & \text{якщо } \Phi_H \leq x \leq \Phi_N, \\ 0, & \text{якщо } x > \Phi_N. \end{cases}$$

Одержане нечітке трикутне число визначає прогноз видобутку нафти. Графік нечітких прогнозів для 2023 та 2024 років наведено на рисунку 2.

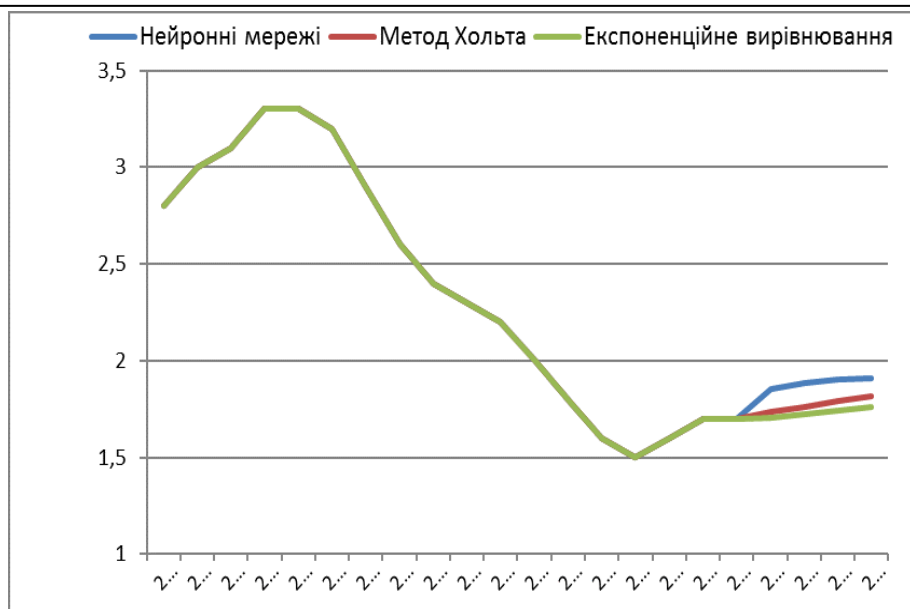


Рис. 1. Динаміка видобутку нафти в Україні в 2003–2020 роках із прогнозом на 2023 та 2024 роки.

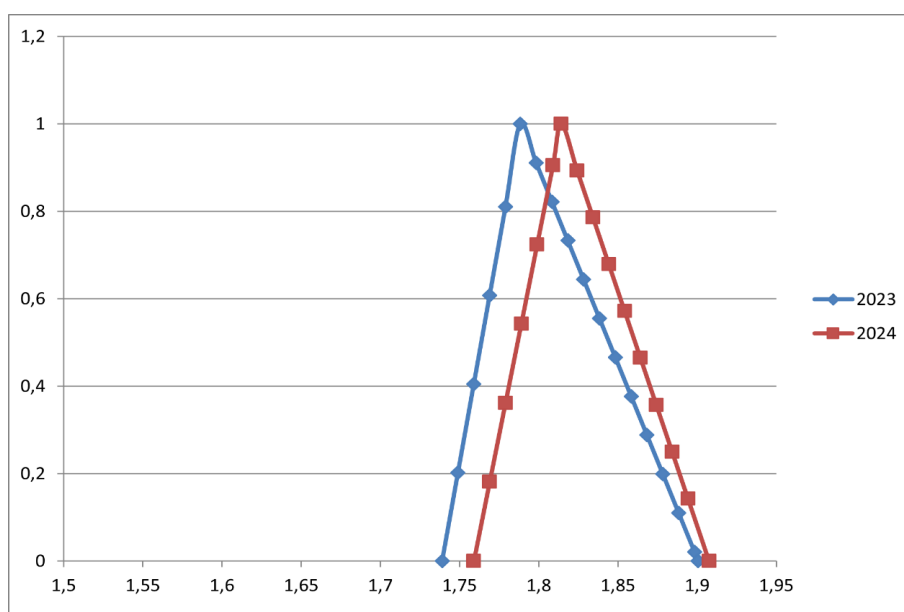


Рис. 2. Прогнози обсягів видобутку нафти на 2023 та 2024 роки у вигляді нечітких трикутних чисел.

4. Висновки. Підтримання позитивної динаміки обсягів видобутку нафти в Україні є критично важливим завданням для уряду та бізнесу. Необхідно залучати інвестиції в галузь, розробляти нові родовища та застосовувати нові технології для підвищення ефективності видобутку нафти. Крім того, необхідно активно розвивати альтернативні джерела енергії та стимулювати енергоефективність в промисловості та господарстві, щоб зменшити залежність від нафтового палива.

Використання адаптивних моделей є перспективним напрямком для прогнозування обсягів видобутку нафти. При цьому вибір підходу до моделювання залежить від конкретної задачі та наявності необхідних даних для побудови моделі.

Прогнозування видобутку нафти з використанням адаптивних моделей є ефективним підходом, який допомагає покращити точність прогнозування, адже таке моделювання дозволяє адаптуватися до змін, умов і параметрів нафтового ринку, що гарантує забезпечення більш точних прогнозів. Зауважимо, що точність прогнозів залежить від якості, обсягу вхідних даних та ефективності методів моделювання.

Список використаної літератури

1. Сушко М. Ю. Аналіз сучасного стану розвитку промислової галузі України. *Вісник економічної науки України*. 2017. Т. 32, № 1. С. 93–98.
2. Юсупова Т. М. Дослідження проблем вітчизняної промисловості в контексті пошуку шляхів відродження її економічного потенціалу. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2013. Т. 43. С. 107–110.
3. Brown G. R. *Smoothing, Forecasting and Prediction of Discrete Time Series*. New York : Dover Phoenix Editions, 2004. 454 p.
4. Theil H., Wage S. Some observations on adaptive forecasting. *Management Science*. 1964. Vol. 10. P. 198–206.
5. Winters P. R. Forecasting sales by exponentially weighted moving averages. *Management Science*. 1960. Vol. 6. P. 324–342.
6. Klebanova T. S., Rudachenko O. O. Forecasting of indicators of financial activity of the enterprise of housing and communal services using adaptive models. *Biznes-inform*. 2015. Vol. 1. P. 143–148.
7. Ніколаєва О. Г. Прогнозування видобутку нафти і газу за допомогою нейромережевого моделювання і трендових моделей. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія : Економіка і менеджмент*. 2018. Вип. 31. С. 121–126.
8. Онищенко В., Ічанська Н., Скриль В., Фурманчук О. Економіко-математичне моделювання інноваційного розвитку підприємств будівельної галузі. *Конспекти лекцій з цивільної інженерії : Матеріали 3-ї Міжнародної конференції з будівельних інновацій*. Springer, 2022. 697–709. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_65
9. Гудзь С. А., Ічанська Н. В., Рендюк С. П., Молчанов П. О. Оптимізація розрахункової схеми двопротітних прогонів у каркасній системі з порталними рамами із застосуванням в'язевих підкосів. *Збірник наукових праць. Галузеве машинобудування, будівництво*. 2021. Вип. 1, № 56. С. 30–36. DOI: <https://doi.org/10.26906/znp.2021.56.2504>
10. Горік А. В., Піскунов В. Г., Серов М. І. Аналітичне рішення задачі про вигин неоднорідного некруглого циліндричного тіла. *Міжнародна прикладна механіка*. 2002. Т. 38. С. 1261–1271. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1022218731489>
11. Горік А. В., Піскунов В. Г., Серов М. І., Андреева Н. В. та співавт. Аналітичне рішення задачі про вигин складеної балки на основі вдосконаленої моделі деформування. *Міцність матеріалів*. 1999. Т. 31, С. 85–98. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02509745>
12. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. URL: <https://mev.gov.ua/> (дата звернення: 25.04.2023).

Ichanska N. V., Lysenko M. V. Oil Production Forecasting in Ukraine using Adaptive Models and Neural Networks.

The article deals with the modeling of the life cycle of oil production. The essence, advantages, and disadvantages of these approaches are analyzed. The authors solved the problem of approximation using mathematical modeling methods: exponential smoothing, Holt's method, and forecasting based on neural network technologies. It is provided a classification of these methods and highlights their importance for finding effective solutions to problems in the development of the industrial complex and the primary sector of the

economy of Ukraine, whose basic component is the extractive industry.

The modeling of the life cycles of oil production enables the forecast to be reflected in the form of a triangular fuzzy number, that is, to indicate possible expected values. Adaptive forecasting models are models that use data discounting and can quickly adapt to changing conditions by changing their structure and parameters.

The exponential smoothing method is based on the fact that in forecasting the dynamics of indicators, the series is smoothed based on a weighted moving average, where the weight coefficients are determined by an exponential distribution law. For forecasting based on neural network technologies, a feed-forward back-propagation neural network was used, which contains three layers of neurons - input, intermediate, and output. The paper shows that the smallest forecast value is obtained when using the exponential smoothing method, somewhat larger when using Holt's method, and the largest when using neural networks.

Keywords: life cycle, forecasting, oil production, Holt's method, artificial neural networks, exponential smoothing method.

References

1. Sushko, M. Yu. (2017). Analysis of the Current State of the Industrial Sector of Ukraine. *Bulletin of the Economic Science of Ukraine*, 32(1), 93–98 [in Ukrainian].
2. Yusupova, T. M. (2013). Study of the problems of the domestic industry in the context of the search of ways for revival of its economic potential. *Bulletin of the economy of transport and industry*, 43, 107–110. [in Ukrainian].
3. Brown, G. R. (2004). *Smoothing, Forecasting and Prediction of Discrete Time Series*. New York: Dover Phoenix Editions.
4. Theil, H., & Wage, S. (1964). Some observations on adaptive forecasting. *Management Science*, 10, 198–206.
5. Winters, P. R. (1960). Forecasting sales by exponentially weighted moving averages. *Management Science*, 6, 324–342.
6. Klebanova, T. C., & Rudachenko, O. O. (2015). Forecasting of indicators of financial activity of the enterprise of housing and communal services using adaptive models. *Business-Inform*, 1, 143–148.
7. Nikolayeva, O. H. (2018). Forecasting oil and gas production using neural network modeling and trend models. *Scientific Bulletin of the International Humanitarian University. Series: Economics and management*, 31, 121–126 [in Ukrainian].
8. Onyshchenko, V., Ichanska, N., Skryl, V., & Furmanchuk, O. (2022). Economic and Mathematical Modeling of Innovative Development of Enterprises in the Construction Industry. Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovation, *Lecture Notes in Civil Engineering*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_65.
9. Hudz, S., Ichanska, N., Rendyuk, S., & Molchanov, P. (2021). Optimization of the double-span purlins design sketch in a framework with portal frames through the rafter stays application. *Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 1(56), 30–36. <https://doi.org/10.26906/znp.2021.56.2504>
10. Horik, A. V., Piskunov, V. H., & Sierov, M. I. (2002). The Analytical Solution of the Bending Problem for an Inhomogeneous Noncircular Cylindrical Body. *International Applied Mechanics*, 38, 1261–1271. <https://doi.org/10.1023/A:102218731489>.
11. Horik, A. V., Piskunov, V. H., Sierov, M. I., & Andreeva, N. V. (1999). Analytic solution of the problem of bending of a composite beam on the basis of an improved model of deformation. *Strength of Materials*, 31, 85–98. <https://doi.org/10.1007/BF02509745>
12. Ministry of Energy and Vugile Industry of Ukraine. Retrieved from <https://mev.gov.ua/> [in Ukrainian].

Одержано 04.05.2023