

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-04>

УДК 004.6

Швачич Геннадій Григорович<sup>1</sup>, д.т.н., професор

<https://orcid.org/0000-0001-7023-1857>

<sup>1</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

Мамузич Ілля<sup>2</sup>, д.т.н., професор,

<https://orcid.org/0000-0002-7968-7540>

<sup>2</sup>Загребський університет, м. Загреб, Хорватія

Мороз Борис Іванович<sup>1</sup>, д.т.н., професор,

<https://orcid.org/0000-0002-5625-0864>

Алексєєв Олексій Михайлович<sup>1</sup>, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-4793-6669>

Харь Альона Тарасівна<sup>1</sup>, асистент

<https://orcid.org/0000-0003-3176-7792>

Мироненко Микола Андрійович<sup>3</sup>, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-6316-6778>

<sup>3</sup>Державне підприємство «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут трубної промисловості ім. Я.Ю. Осади», м. Дніпро, Україна

## ПРОГНОЗУВАННЯ ВИРОБНИЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ ПОЛІНОМІАЛЬНОГО РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ

Швачич Г.Г., Мамузич І., Мороз Б.І., Алексєєв О.М., Харь А.Т., Мироненко М.А. Прогнозування виробничих процесів на основі поліноміального регресійного аналізу. В даній роботі на основі поліноміального регресійного аналізу побудовані адекватні математичні моделі виробництва труб на основних підприємствах гірничо-металургійного комплексу України. Це дозволило виконати прогноз розвитку відповідних ланок виробництва. При чому обробка експериментальних даних проводилася на основі використання сучасних засобів інформаційних технологій. Для побудови математичних моделей висувалися гіпотези про поліноміальну залежність експериментальних даних.

**Ключові слова:** математичне моделювання, прогноз, трубне виробництво, регресійний аналіз, адекватність моделі, інформаційні технології.

Shvachych G.G., Mamuzich I., Moroz B.I., Aleksieiev O.M., Khar A.T., Myronenko M.A. Prognostication of production processes based on polynomial regression analysis. In the article, on the basis of polynomial regression analysis, adequate mathematical models of pipe production at the main enterprises of the mining and metallurgical complex of Ukraine are constructed. This made it possible to forecast the development of the relevant production chains. At the same time, the processing of experimental data was carried out by modern means of information technology. To build mathematical models, a hypothesis was put forward about the polynomial dependence of the experimental data.

**Key words:** mathematical modeling, prognosis, pipe production, regression analysis, model adequacy, information technology.

### Постановка наукової проблеми.

В останні роки методи статистичного аналізу широко застосовуються в різних сферах діяльності людини і стають потужним інструментом в руках сучасного науковця та інженера. Ці методи дозволяють здійснити ефективну, строго наукову реєстрацію, обробку та аналіз результатів спостережень. Більш того, часто статистичні дані є єдиним джерелом інформації про досліджуване явище чи процес, тому питання статистичного аналізу стають основними при інтерпретації експериментальних даних. Не менше значення сьогодні надається і плануванню експериментальних досліджень. Все зростаюча складність експериментів, їх вартість, змушує дослідника відшукувати оптимальні плани організації та проведення дослідів.

Важлива причина актуальності застосування методів статистичного аналізу полягає в тому, що в даний час відбувається бурхливий розвиток нових інформаційних та комунікаційних технологій, їх проникнення в численні сфери діяльності людини. Це дозволяє контролювати виробничі процеси в режимі реального часу за допомогою реєстрації, передачі в базу, обробки та видачі рекомендацій щодо своєчасного корегування роботи автоматів, що, в свою чергу, забезпечує стабільність виробничих процесів, наприклад, за рахунок контролю зсуву центру розсіювання, контролю розмаху розсіювання та ін.

Отримання великих масивів первинної інформації та їх своєчасна обробка дозволяє отримувати відомості про розподіли випадкових величин, яких часто не вистачає розробникам нових технологій, обладнання систем і агрегатів. Слід зазначити, що завдання статистичного аналізу нерідко мають справу з великими і багатовимірними масивами вихідних даних, громіздкими і

© Швачич Г.Г., Мамузич І., Мороз Б.І., Алексєєв О.М., Харь А.Т., Мироненко М.А.

рутинними розрахунками при їх обробці, тому використання сучасних інформаційних технологій є задачею першочерговою.

В даній роботі на основі поліноміального регресійного аналізу побудовані адекватні математичні моделі виробництва труб на основних підприємствах гірничо-металургійного комплексу (ГМК) України. Це дозволило виконати прогноз розвитку відповідного виробництва.

Зауважимо, що глобалізаційні виклики початку 2020-х років вкрай різноспрямовані. Сучасний етап розвитку економіки України обумовлений впливом уведення в країні воєнного стану через нічим неспровоковану збройну агресію Росії проти країни-засновниці ООН України. Тому стаття, у якій розглядаються питання стану та перспектив розвитку трубної галузі ГМК України у 2022 році є актуальною.

Мета статті полягає у створенні на основі використання сучасних інформаційних технологій адекватних математичних моделей розвитку трубного виробництва, які використовуються для прогнозування аналізу виробничої діяльності підприємств. При цьому за основу досліджень взято огляд ринку трубної галузі ГМК України в період травня – серпня 2022 року на основі інформації, яка є у розпорядженні Об'єднання підприємств «Укртрубопром». Подібний аналіз особливостей розвитку металургійних підприємств і став основою для математичного моделювання прогнозу процесу виробництва труб на основі поліноміального регресійного аналізу.

#### **Аналіз досліджень.**

Аналіз літературних джерел показав, що метод найменших квадратів часто використовується в задачах статистичного моделювання навіть у тих випадках коли досліджувані набір даних різко змінює геометричну структуру [1–3]. У статті аналізуються статистичні дані на основі аналізу часових рядів. Для побудови математичної моделі висувалися гіпотези про поліноміальну залежність експериментальних даних. Проведення відповідних досліджень обумовлені наступними особливостями розвитку ГМК України.

За останні п'ять років на металургійних підприємствах України відбувалося стабільне зростання показників господарської діяльності [4–6]. Це було зумовлено як позитивною кон'юктурою на світових ринках металопродукції, так і відкладеним попитом через вплив пандемії COVID-19 у 2019- 2021 роках. Також позитивним чинником стало переорієнтування українських підприємств на збут своєї металургійної продукції на більш високомаржинальних ринках у країнах ЄС та США. Причому західні компанії-споживачі воліють укладати довготермінові контракти на постачання продукції, що забезпечує українських металургів стабільними надходженнями обігових коштів.

Щодо теорії обробки металів тисненням, то у означений період тривав розвиток уявлень про природу пластичної деформації металів. Це знайшло своє відображення, до прикладу, в роботах [7, 8].

В області математичного моделювання також мав місце певний прогрес [9,10]. Зокрема, прикладне значення мають поліноміальні моделі, що дозволяють здійснити достовірний прогноз відносно результатів моделювання. При чому, обробка експериментальних даних проводиться на основі використання сучасних засобів інформаційних технологій.

Актуальність теми обумовлена й тим, що трубні підприємства України, обрані нами для аналізу, є помітними гравцями світового ринку виробників подібної продукції, а метод математичного моделювання дозволяє з високою точністю виконати прогноз подальшого їхнього розвитку. При цьому модель може враховувати вплив воєнних дій на динаміку зміни виробничих результатів.

#### **Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.**

Об'єднання підприємств «Укртрубопром» було створено у 1992 році й нині є представником ключових виробників трубної продукції в Україні. Перш ніж ґрунтовно аналізувати сучасний стан трубної галузі ГМК України, варто порівняти обсяги виробництва, досягнуті в Україні за часів СРСР.

На момент розпаду Країни Рад її трубна промисловість виготовляла близько 19 млн. тон труб на рік, зокрема в Україні – 6,3 млн. тон труб на рік. Це були труби різноманітного призначення й широкого сортаменту. Всього близько 10 тисяч типорозмірів: діаметром від капілярних для медичної промисловості до 1420 мм для магістральних нафто- та газогонів.

Головною ж проблемою, що обмежувала зростання обсягів виробництва ще від радянської доби залишалася обмеженість внутрішнього ринку споживання подібної металопродукції. У 2022

році додався ще один суттєвий чинник – збройна агресія Росії проти України, яка суттєво впливає на динаміку економічних показників вітчизняних трубних підприємств.

У табл. 1 наведено зведене виробництво сталевих труб деякими підприємствами Об'єднання «Укртрубопром» за чотири місяці (травень – серпень) 2022 року в порівнянні з аналогічним періодом 2021 року. Для подальшого аналізу обрані саме ці підприємства, оскільки кожне з них є лідером на своєму сегменті ринку трубної продукції, а також відвантажують більшу частку своєї продукції за кордон.

Таблиця 1. Щомісячне виробництво сталевих труб підприємствами Об'єднання підприємств «Укртрубопром» у травні-серпні 2022 р. У порівнянні з аналогічним періодом 2021 р.

Найменування продукції по підприємствам	травень 2022 р.	травень 2021 р.	червень 2022 р.	червень 2021 р.	липень 2022 р.	липень 2021 р.	серпень 2022 р.	серпень 2021 р.
Труби сталеві, тис. тон:								
ТОВ «ІНТЕРПАЙП НЗБТ Ніко Тюб»	46,4	52,8	41,8	60,3	37,6	59,6	42,1	59,3
ТОВ «ВО «ОСКАР»	0,48	0,2	0,070	0,166	0,080	0,208	0,232	0,203
ТОВ «СЕНТРАВІС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН»	1,0	1,5	0,9	1,5	0,5	1,5	0,7	1,5
ТОВ НВО «Трубосталь»	0,1	0,2	0,07	0,2	0,02	0,1	0,02	0,1
АТ «ІНТЕРПАЙП НмТЗ»	3,4	4,4	0,45	5,0	0,7	1,6	0,1	6,3
Труби сталеві по Об'єднанню «Укртрубопром»	51,4	59,4	43,2	67,0	39,2	63,3	42,8	67,2

Як видно з табл. 1, падіння виробництва за чотири місяці достатньо суттєве. Пояснення перебуває у площині активізації бойових дій в Україні в зоні розташування виробничих потужностей означених суб'єктів господарської діяльності. Також варто зробити наступне роз'яснення, що задля зручності із 16 спостережень, тобто щотижневих, у табл. 1 представлені лише 4 точки для апроксимації, тобто щомісячні дані, які являють собою суму щотижневих результатів виробничої діяльності.

Математичне моделювання широко застосовується в бізнесі, економіці, дослідженні економічної активності та навіть при аналізі політичних процесів. Головним інструментом тут виступає *економічна модель*, тобто економіко-математична модель факторного аналізу, параметри якої оцінюються засобами математичної статистики. Така модель орієнтована на аналіз і прогнозування конкретних економічних процесів на основі реальної статистичної інформації.

При вивченні залежності економічних показників на основі реальних статистичних даних із використанням апарату теорії регресійного аналізу можна відзначити, що лінійні моделі використовуються досить рідко. Здебільшого вони застосовуються як окремий випадок задля зручності й візуальності розгляду поточного економічного процесу. На практиці частіш за все зустрічаються моделі, які відображають економічні процеси у вигляді нелінійних залежностей. Прогнозування процесу виробництва труб, є однією з найбільш важливих задач, яку керівники підприємств й інвестори повинні вирішувати з метою успішного розвитку бізнесу. Лінійні моделі прогнозування складних часових рядів, зокрема і трендових, не завжди точно й достатньою мірою описують те, що відбувається при виробництві продукції. В пропонованій широкому загалу роботі розглянуто задачу прогнозування за допомогою поліноміального регресійного аналізу.

Принципова відмінність такого підходу полягає у наступному. Параметри поліноміальних рівнянь оцінюються, як правило, методом найменших квадратів. Суть такого підходу полягає в тому, щоб сума квадратів відхилень фактичних рівнянь ряду від відповідних теоретичних значень була найменшою. Цей метод призводить до системи так званих нормальних рівнянь задля

визначення невідомих параметрів обраних кривих. Такий підхід є справедливим, оскільки, як і в лінійній регресії, відповідні функції лінійні за параметрами та нелінійні за змінними.

Нелінійна регресія за включеними змінними не є складною в оцінці її параметрів. Вона визначається, як і в лінійній регресії, методом найменших квадратів (МНК), адже ці функції лінійні за параметрами. Відповідно, поліном будь-якого порядку може бути зведеним до лінійної регресії з її методами оцінювання параметрів і перевірки гіпотез.

Як доводить досвід численних досліджень, серед нелінійної поліноміальної регресії найчастіше використовується рівняння другого ступеня, в окремих випадках – поліном третього порядку. Обмеження щодо використання поліномів більш високих ступенів пов'язані з вимогою однорідності досліджуваної сукупності: чим більшим є порядок поліному, тим більше згинів має крива й відповідно менш однорідною є сукупність за результативною ознакою.

На першому етапі розглянемо прогнозування випуску продукції для підприємства ТОВ «Інтерпайп НЗБТ Ніко Тьюб». Задля цього побудуємо кореляційне поле, яке наведене на рис. 1. Окремо зазначимо, що пунктиром на рис. 1 виділено лінію регресії.

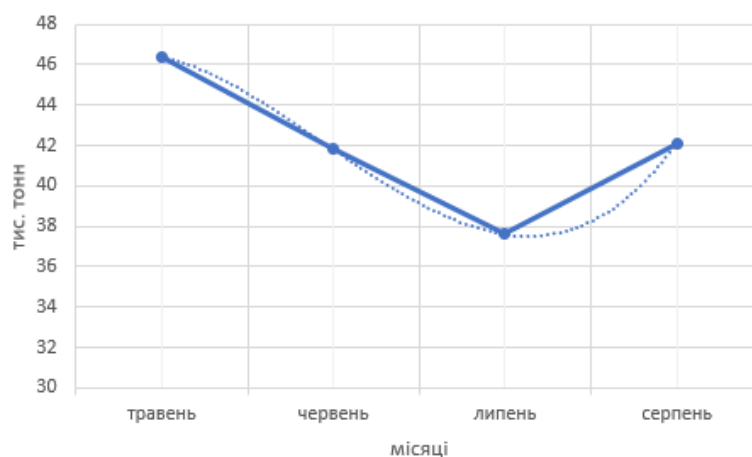


Рис. 1. Кореляційне поле та лінія регресії випуску продукції підприємства «Інтерпайп Ніко Тьюб»

Та перш ніж перейти до подальшого аналізу математичної моделі, розглянемо більш детально об'єкт дослідження – трубопрокатне підприємство. ТОВ «Інтерпайп Ніко Тьюб», яке знаходиться у м. Нікополі, один з високотехнологічних заводів України, оснащений системами контролю якості, які дозволяють випускати продукцію відповідно до світових стандартів API 5L, API 5CT, ASTM та інших. Трубопрокатний цех № 2 (ТПЦ № 2) – один з основних виробничих цехів заводу, який випускає продукцію для клієнтів зі США, Південної Америки, Африки, і країн Близького Сходу. ТПЦ № 2 випускає труби для видобутку і транспортування нафти і газу, нафтогазової промисловості, машинобудування та енергетики, а також труби загального призначення [11]. Навчання нових кадрів і підвищення кваліфікації відбувається у приміщенні навчального центру IQ 267, місією якого є зміна мислення співробітників, завдяки можливості професійного та особистісного зростання.

Повернімося до подальшого аналізу математичної моделі. В даному випадкові можливо висунути гіпотезу про нелінійне поліноміальне рівняння регресії другого ступеня. Це пояснюється тим, що для інтервалу значень фактору змінюється характер зв'язків ознак, які розглядаються: зворотний зв'язок змінюється на прямий. При цьому нормальне рівняння МНК для поліноміального рівняння другого ступеня має вигляд:

$$\begin{cases} n \cdot a_0 + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i, \\ a_0 + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^3 = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i, \\ a_0 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^4 = \sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot y_i. \end{cases} \quad (1)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (1) для даної вибірки значень, отримують рівняння регресії другого порядку наступного вигляду:

$$y = 2,26 \cdot x^2 - 13,09 \cdot x + 57,63. \quad (2)$$

Задля перевірки якості отриманої математичної моделі визначають основні статистичні характеристики вибіркової сукупності. Такі значення наведені у табл. 2.

Таблиця 2. Статистичні характеристики вибірки по підприємству «Інтерпайп Ніко Тьюб»

№ пп	Характеристика	Значення
1	Оцінка матем. очікувань	41,98
2	Оцінка дисперсії	12,92
3	Оцінка станд. відхилень	3,59

Для перевірки якості математичної моделі на першому етапі визначимо значення коефіцієнту детермінації  $R^2$ . Для цього скористаємося співвідношенням виду:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (3)$$

де:  $\bar{y}$  – оцінка математичного очікування ознаки яку спостерігають,  $y_i$  – значення ознаки за якою спостерігають у вибірковій сукупності,  $\hat{y}_i$  – значення ознаки по рівнянню регресії.

Для вказаної математичної моделі отримано значення коефіцієнту детермінації, яке дорівнює  $R^2 = 0,92$ . Це означає, що 92% варіації залежної змінної пояснюється впливом незалежних змінних й лише 8% варіації залежної змінної пояснюється іншими факторами, діючими вибірково. Для перевірки адекватності математичної моделі скористаємося критерієм Фішера.  $F$ - статистика Фішера, що обчислюється зі співвідношення виду:

$$F_{набл} = \frac{R^2}{(1 - R^2)} \cdot (n - 2), \quad (4)$$

де  $n$  – об'єм вибіркової сукупності.

Для розглянутої математичної моделі за співвідношенням (4) було визначено спостережне значення критерію Фішера  $F_{спост.} = 23$ . За таблицею критичних точок розподілу Фішера з (1,2) ступенями свободи й при рівні значимості 5% знаходять критичне значення критерія Фішера. При цьому  $F_{кр.} = 18,51$ . Тодя получають, что  $F_{спост.} > F_{кр.}$ . Це означає, що значення коефіцієнту детермінації  $R^2$  статистично значиме й з вірогідністю 0,95 можливо зробити висновок про адекватність обраної математичної моделі. Для періоду упередження в один місяць віднайдемо прогнозне значення випущеної продукції на підприємстві «Інтерпайп Ніко Тьюб». При цьому  $y_{пр} = 50,09$  тис. тон сталевих труб.

Розрахуємо довірчий інтервал для прогнозованого значення. При цьому формула для розрахунку довірчих інтервалів прогнозу відносно тренду, що має вигляд поліному другого чи третього порядку, має наступний вигляд:

$$U_y = \hat{y}_{n+L} \pm t_\alpha \cdot S_{\hat{y}} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{t_L^2}{\sum_{i=1}^n t^2} + \frac{\sum_{i=1}^n t^4 + 2t_L^2 \cdot \sum_{i=1}^n t_i^2 + n \cdot t_L^4}{n \cdot \sum_{i=1}^n t^4 - (\sum_{i=1}^n t_i^2)^2}}, \quad (5)$$

де  $L$  — період упередження;  $\hat{y}_{n+L}$  — точковий прогноз по моделі на  $(n + L)$  — й момент часу;  $n$  — кількість спостережень у часовому ряду;  $S_{\hat{y}}$  — стандартна похибка оцінки прогнозованого показника;  $t_\alpha$  — табличне значення критерія Стюдента для рівня значимості  $\alpha$  та для числа ступенів свободи, який дорівнює  $n - 2$ .

У відповідності з формулою (5) отримують наступні довірчі інтервали: (35,79; 64,39). Це означає, що з достовірною ймовірністю 0,05 випуск сталевих труб по даному підприємству буде належати даному інтервалу для заданого періоду упередження.

Таким чином, на основі запропонованої математичної моделі можливо зробити висновок про те, що дане підприємство у вересні-жовтні 2022 року зможе вийти на травневі обсяги виготовлення труб за умови зменшення інтенсивності обстрілів з боку окупаційних військ РФ, або ж їх витісненні з регіону на більш значні відстані від місця розташування підприємства.

На другому етапі досліджень розглянемо прогнозування випуску продукції для ВО «Оскар». З цією метою побудуємо кореляційне поле, яке наведено на рис. 2. також на цьому рисунку пунктирною лінією виділено лінію регресії.

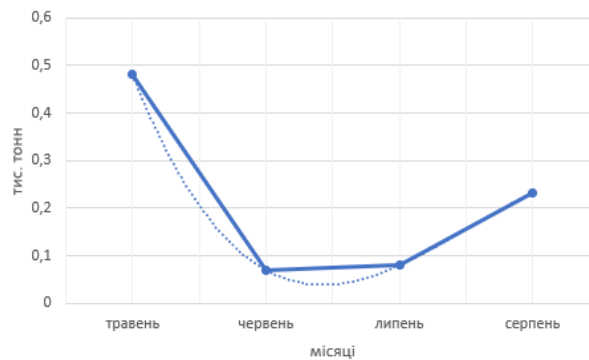


Рис. 2. Кореляційне поле та лінія регресії виготовлення продукції підприємства ВО «Оскар»

У даному випадкові можливо висунути гіпотезу про нелінійне поліноміальне рівняння регресії третього ступеня. Це пояснюється тим, що для інтервалу значень фактору змінюється характер зв'язків ознак, що розглядаються: зворотній зв'язок змінюється на прямий, при цьому параболічна залежність буде несиметричною, а значить рівняння регресії буде припускати відповідні помилки апроксимації. Для рівняння третього ступеня крива припускає більше перегинів й відповідно вона буде менш однорідною. При цьому нормальне рівняння МНК для поліноміального рівняння третього ступеня має вигляд:

$$\begin{cases} n \cdot a_0 + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_3 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^3 = \sum_{i=1}^n y_i, \\ a_0 + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_3 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^4 = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i, \\ a_0 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^4 + a_3 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^5 = \sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot y_i, \\ a_0 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^4 + a_3 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^6 = \sum_{i=1}^n x_i^3 \cdot y_i. \end{cases} \quad (6)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (6) для даної вибірки значень, отримують рівняння регресії третього порядку наступного вигляду:

$$y = 0,046 \cdot x^3 + 0,488 \cdot x^2 - 1,55 \cdot x + 1,59. \quad (7)$$

Для перевірки якості отриманої математичної моделі визначають основні статистичні характеристики вибіркової сукупності даного підприємства. Такі значення наведені в табл. 3.

Таблиця 3. Статистичні характеристики вибірки по підприємству ВО «Оскар»

№№ п/п	Характеристика	Значення
1	Оцінка матем. очікування	0,22
2	Оцінка дисперсії	0,04
3	Оцінка станд. відхилення	0,2

Задля перевірки якості математичної моделі на першому етапі визначимо значення коефіцієнту детермінації  $R^2$ . З цією метою скористаємося співвідношенням (3). Для обраної математичної моделі отримано значення коефіцієнту детермінації, яке дорівнює  $R^2 = 0,99$ . Це означає, що 99 % варіації залежної змінної пояснюється впливом незалежних змінних і лише 1 % варіації залежної змінної пояснюється іншими факторами, що впливають на вибірку лише вибірково. Задля перевірки адекватності математичної моделі скористаємося критерієм Фішера.  $F$ -статистика Фішера, що обчислюється за співвідношенням (4). Для розгляду математичної моделі за співвідношенням (4) було визначено спостережене значення критерію Фішера  $F_{спост} = 198$ . За таблицею критичних точок розподілу Фішера з (1,2) ступенями свободи та при рівні значимості 5 % знаходять критичні значення критерію Фішера. При цьому  $F_{кр.} = 18,51$ . Тоді отримують, що  $F_{спост.} > F_{кр.}$ . Це означає, що величина коефіцієнту детермінації  $R^2$  статистично значима й з вірогідністю 0,95 можна дійти висновку, що математична модель є адекватною. Також варто зауважити, що чим далі  $F_{спост.}$  віддалено від  $F_{кр.}$ , тим більш адекватною є математична модель, тобто тим більш точно апроксимаційна крива буде описувати теоретичну лінію.

Для періоду упередження в один місяць знайдемо прогнозоване значення виготовленої продукції на підприємстві ВО «Оскар». При цьому,  $y_{пр} = 0,28$  тис. тонн сталевих труб. Розрахуємо довірчий інтервал для прогнозного показника. При цьому формула для розрахунку довірчих інтервалів прогнозу відносно тренда, який має вигляд полінома третього порядку, буде відповідати співвідношенню (5). У відповідності з формулою (5) отримують наступні довірчі інтервали: (0,16; 0,4). Це означає, що із довірчою ймовірністю 0,05 випуск сталевих труб по даному підприємству буде перебувати у діапазоні даного інтервалу для заданого періоду упередження.

Порівнюючи результати прогнозу випуску продукції на підприємствах «Інтерпайп Ніко Тьюб» та ВО «Оскар», можна зазначити, що вибір у першому випадковій поліноміальної моделі другого порядку був обумовлений тим, що кореляційне поле виготовлення продукції (див. рис. 1) було симетричним відносно свого мінімуму. Для підприємства ВО «Оскар» це поле відрізнялось явною відсутністю симетрії, що обумовило перехід на третій порядок поліноміального рівняння. Це було виправданим кроком, оскільки математична модель набула рис більшої адекватності, тобто лінія регресії більш точно описала реальну картину розвитку підприємства.

З іншого боку, застосування поліноміального рівняння третього ступеня призводить до того, що виникає потреба розв'язування більш складної системи рівнянь (6) порівняно з поліноміальним рівнянням другого ступеня, коли розв'язують більш просту систему рівнянь (1).

Для підприємства «СЕНТРАВІС» обрахунок прогнозу здійснювався за методикою підприємства ВО «Оскар». При цьому було отримано наступне рівняння регресії:

$$y = 0,15 \cdot x^3 - 1,05 \cdot x^2 + 2 \cdot x - 0,1. \quad (8)$$

Якість математичної моделі на першому етапі визначалась величиною коефіцієнта детермінації  $R^2$ . Для отриманої математичної моделі (8) значення коефіцієнта детермінації відповідало  $R^2 = 0,99$ . Статистичний аналіз коефіцієнта детермінації довів, що він має рівень ймовірності 0,95 й підтверджує адекватність обраної математичної моделі. Для періоду упередження в один місяць знайдемо прогнозоване значення виготовленої продукції на підприємстві «СЕНТРАВІС». При цьому,  $y_{np} = 1,22$  тис. тонн сталевих труб.

Принагідно зазначимо, що ПрАТ «СЕНТРАВІС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН» – один з високотехнологічних заводів України, оснащений системами контролю якості, які дозволяють випускати продукцію відповідно до світових стандартів API 5L, API 5CT, ASTM та інших. Виробничий майданчик Компанії ПрАТ «СЕНТРАВІС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН», одне з найбільших в Європі спеціалізованих підприємств з виробництва безшовних нержавіючих труб, об'єднує трубопресовий та трубоволоочильний цехи, які до 2000 року були частиною «Нікопольського Південнотрубного заводу» (НПТЗ), у минулому найбільшого промислового комплексу з виробництва безшовних труб [12]. Нині підприємство є провідним глобальним постачальником високоякісних рішень у сегменті безшовних нержавіючих труб, посідаючи перше місце за об'ємами продажів в Україні та Близькому зарубіжжі, четверте місце в країнах ЄС та дев'яте в світі [12].

Тепер зробимо деякий загальний побіжний аналіз щодо розвитку вітчизняної металургії в умовах воєнного стану в державі. Українська металургійна галузь у 2022 році стала збитковою через зростання цін на електроенергію, проблеми з логістикою в умовах війни і падіння світових цін на металопродукцію. Наприклад, падіння цін на залізорудну сировину і металопродукцію з початку 2022 року приблизно на 35% та 30% відповідно. Вітчизняні металургійні підприємства, що продовжують працювати, завантажені в середньому на 15% [13]. У сегменті трубокатного виробництва темпи зменшення обсягів випуску готової продукції за сім місяців за даними Об'єднання підприємств "Укртрубопром" дещо повільніші й складають лише чверть від минулорічного обсягу виробництва (табл. 4).

Таблиця 4. Виробництво сталевих труб в Україні на підприємствах ОП "Укртрубопром" за сім місяців у 2021 та 2022 роках

Назва показника	січень-липень 2021 року	січень-липень 2022 року
Виробництво сталевих труб в Україні, тис. тон	374,6	280,1
Різниця у виробництві сталевих труб в Україні за 7 міс. 2021 до 2022 рр., тис. тон	- 94,5	
Різниця у виробництві сталевих труб в Україні за 7 міс. 2021 до 2022 рр., %	74,8	

В цілому ж варто зазначити, що негативний вплив воєнних дій на подальший розвиток підприємств металургійної галузі України матиме довготривалий ефект, навіть за умов нашої беззаперечної перемоги у цій нічим неспровокованій війни із вкрай агресивним північно-східним сусідом.

Відносно швидке подолання наслідків російської окупації суверенних територій України можливе лише за умови співпадіння в часі декількох важливих чинників: міжнародної економічної та військово-технічної підтримки; значних репараційних виплат з боку країни-агресорки; політичної волі задля продовження руху шляхом реформ у повоєнній Україні.

#### **Висновки та перспективи подальшого дослідження.**

В даній роботі на основі поліноміального регресійного аналізу побудовані адекватні математичні моделі виробництва труб на основних підприємствах гірничо-металургійного комплексу України. Це дозволило виконати прогноз розвитку відповідних ланок виробництва. При чому обробка експериментальних даних проводилася на основі використання сучасних засобів інформаційних технологій. В роботі показано, що метод найменших квадратів часто використовується в задачах статистичного моделювання навіть у тих випадках коли досліджуваний

© Швачич Г.Г., Мамузич І., Мороз Б.І., Алексєєв О.М., Харь А.Т., Мироненко М.А.



набір даних різко змінює геометричну структуру. Для побудови математичних моделей висувалися гіпотези про поліноміальну залежність експериментальних даних. Представлені в статті математичні моделі забезпечують отримання адекватних результатів прогнозованих показників господарської діяльності вибраних для аналізу підприємств.

Проведені дослідження показали, що за останні п'ять років на підприємствах ГМК України відбувалося стабільне зростання показників роботи. Це було зумовлено як позитивною кон'юнктурою на світових ринках металопродукції, так і відкладеним попитом через вплив пандемії COVID-19 у 2019- 2021 роках. Також позитивним чинником стало переорієнтування українських підприємств на збут своєї металургійної продукції на більш високомаржинальних ринках у країнах ЄС та США. Причому західні компанії-споживачі воліють укладати довготермінові контракти на постачання продукції, що забезпечує українських металургів стабільними надходженнями обігових коштів. Обрані ж для аналізу трубні підприємства України є помітними гравцями на світовому ринку виробників подібної продукції.

Запропонований підхід дозволяє прогнозувати виробничі процеси, а також розвивати певні інвестиційні процеси в основні сектори трубної промисловості. Показано негативний вплив ведення бойових дій в Україні військами Російської Федерації.

#### Список бібліографічного опису

1. Бахрушин В.Є. Методи аналізу даних. Запоріжжя, 2011. 268 с.
2. Єрина А.М. Статистичне моделювання та прогнозування. К.: КНЕУ, 2014. 340 с.
3. Мармоза А.Т. Практикум з теорії статистики. К.: Ельга, Ніка-Центр, 2003. 344 с.
4. Тубольцев Л.Г., Гриньов А.Ф. Економічні аспекти роботи чорної металургії України. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2018. № 3. С. 85 – 88.
5. Грищенко С.Г., Тубольцев Л.Г., Гринєв А.Ф. Позитивные аспекты развития металлургии Украины. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2018. № 4. С. 7 – 16.
6. Мироненко М.А. Розвиток металургії України в умовах глобалізаційних викликів за підсумками 2021 року. *Економічний вісник Дніпровської політехніки*. 2022. № 1 (77). С. 36 – 45.
7. Мазур В.Л., Тимошенко В.И. Теория и технология прокатки (гидродинамические эффекты смазки и микрорельеф поверхности). Киев: ИД «АДЕФ Украина», 2018. 560 с.
8. Шломчак Г.Г. Реометаллика. Днепро: Лира, 2021. 311 с.
9. Ivanets O., Morozova I. Features of Evaluation of Complex Objects with Stochastic Parameters, *11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2021: proceedings*. Degendorf, Germany, 2021, pp. 159–162.
10. Kuzmin V. M., Zaliskyi M. Yu., Odarchenko R. S., Petrova Y. V. New approach to switching points optimization for segmented regression during mathematical model building, *CEUR Workshop Proceedings*, 2022, pp. 106–122.
11. Електронний ресурс. – Режим доступу: <http://nikotube.interpipe.biz/ru/about/about/>
12. Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://www.centraavis.com/uk/about-us/>
13. Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://ua.korrespondent.net/business/economics/4514631-metalurhiina-haluz-stala-zbytkovoui-ukrmetallurhprom>

#### References

1. Bakhrushin V.E. Data analysis methods. Zaporizhzhya, 2011. 268 p.
2. Erina A.M. Statistical modeling and prognostication. K.: KNEU, 2014. 340 p.
3. Marmozza A.T. Practical work on the theory of statistics. K.: Elga, Nika-Center, 2003. 344 p.
4. Tuboltsev L.G., Grinov A.F. Economic aspects of work black metallurgy in Ukraine. *Metallurgical and mining industry*. 2018. No. 3. P. 85 – 88.
5. Grishchenko S.G., Tuboltsev L.G., Grinev A.F. Positive aspects of the development of metallurgy in Ukraine. *Metallurgical and mining industry*. 2018. No. 4. P. 7 – 16.
6. Mironenko M.A. Development of metallurgy in Ukraine in the face of globalization challenges in 2021. *Economic Bulletin of the Dniprovskaya Polytechnic*. 2022. No. 1 (77). pp. 36 – 45.
7. Mazur V.L., Timoshenko V.I. Theory and technology of rolling (hydrodynamic effects of lubrication and surface microrelief). Kyiv: ID "ADEF Ukraine", 2018. 560 p.
8. Shlomchak G.G. Rheometallic. Dnipro: Lira, 2021. 311 p.
9. Ivanets O., Morozova I. Features of Evaluation of Complex Objects with Stochastic Parameters, *11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2021: proceedings*. Degendorf, Germany, 2021, pp. 159–162.
10. Kuzmin V. M., Zaliskyi M. Yu., Odarchenko R. S., Petrova Y. V. New approach to switching points optimization for segmented regression during mathematical model building, *CEUR Workshop Proceedings*, 2022, pp. 106–122.
11. Electronic resource. – Access mode: <http://nikotube.interpipe.biz/en/about/about/>
12. Electronic resource. – Access mode: <https://www.centraavis.com/uk/about-us/>
13. Electronic resource. – Access mode: <https://ua.korrespondent.net/business/economics/4514631-metalurhiina-haluz-stala-zbytkovoui-ukrmetallurhprom>