

DOI: 10.31319/2519-2884.46.2025.3

УДК 621.771.074

Самохвал В.М., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0003-0585-7225, email: volsamokhval@gmail.com

Васильєв О.С., здобувач третього (доктор філософії) рівня вищої освіти

Концедал Р.В., здобувач третього (доктор філософії) рівня вищої освіти

Лабузов Н.С., здобувач третього (доктор філософії) рівня вищої освіти

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Samokhval Volodymyr, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Metallurgy,

Vasyliiev Oleksandr, Postgraduate Student

Kontsedal Roman, Postgraduate Student

Labuzov Mykyta, Postgraduate Student

Dniprovsky State Technical University, Kamianske

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ МЕТОДІВ АПРОКСИМАЦІЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ РОЗШИРЕННЯ ОВАЛЬНИХ РОЗКАТІВ В КРУГЛИХ КАЛІБРАХ

Метою дослідження є оцінка точності методів апроксимації експериментальних даних щодо розширення овальних розкатів у круглих калібрах. В якості вихідних експериментальних даних використано абсолютне розширення овальних розкатів в круглих калібрах за графічними залежностями О.П. Чекарьова. Розглянуто апроксимацію коефіцієнту розширення в залежності від коефіцієнту видовження та розмірів круглого розкату для валків діаметром 250 мм з використанням трьох різних методів апроксимації для одного й того ж набору вихідних даних. Встановлено, що найменшу точність забезпечує множинна лінійна регресія, середній рівень точності отримано для апроксимації з фіксованими середніми значеннями окремих факторів, а найбільш високу точність отримано з обробки даних планованого експерименту.

Ключові слова: коефіцієнт розширення; видовження; лінійна регресія; планований експеримент; стандартне відхилення; адекватність моделі.

The aim of the study is to assess the accuracy of the methods for approximating experimental data on the spread of oval workpiece in round passes. The absolute spread of oval workpiece in round passes according to the graphical dependencies of O.P. Chekmarev was used as the initial experimental data. The approximation of the spread coefficient depending on the elongation coefficient and the dimensions of the round rod for rolls with a diameter of 250 mm was considered using three different approximation methods for the same set of initial data. It was found that the lowest accuracy is provided by multiple linear regression, the average level of accuracy was obtained for approximation with fixed average values of other factors, and the highest accuracy was obtained from data processing of the design of experiment.

Keywords: spread coefficient; elongation; linear regression; design of experiment; standard deviation; model adequacy.

Постановка проблеми

У виробничих умовах контроль та фіксація технологічних параметрів процесів дозволяє отримати значний обсяг експериментальних даних. Обробка таких даних статистичними методами може бути використана для створення різного рівня математичних моделей технологічних процесів. Математична модель у вигляді залежності або алгоритму забезпечує певне наближення, або апроксимацію до реально існуючого процесу. Одним з методів апроксимації є регресійний аналіз, який дозволяє оцінити зв'язок між однією випадковою величиною, яку приймають як залежну змінну (відгук), та однією або декількома незалежними змінними (факторами) у фіксованому наборі даних. Регресійний аналіз широко використовується для прогнозу-

вання відгуку або для аналізу причинно-наслідкових зв'язків між незалежними та залежними змінними

Незважаючи на те, що більшість статистичних методів обробки даних ґрунтуються на методі найменших квадратів, вони забезпечують різну точність апроксимації [1]. Зазвичай вибір методу апроксимації залежить від особливостей досліджуваного процесу, потрібного рівня точності та досвіду дослідника. Для обґрунтованого вибору методу апроксимації можливе проведення спеціалізованих порівняльних досліджень з використанням надійних експериментальних даних. Отже, незважаючи на те, що статистичні методи обробки експериментальних даних відомі досить давно і набули значного розповсюдження, дослідження з удосконалення таких методів та практичного використання в умовах виробництва зберігають свою актуальність [2].

Зокрема, в процесах прокатування довгомірної продукції суттєва увага завжди приділялась явищу розширення металу в калібрах. По мірі розвитку теорії прокатування, через незаперечну практичну значимість явища розширення, пропонувались різноманітні залежності, тобто моделі, для прогнозування розширення. В сучасних умовах, у зв'язку з впровадження систем автоматизації, виникла потреба розробки локальних моделей явищ та процесів для конкретних умов застосування. Такі моделі будують, використовуючи експериментальні дані, отримані в умовах реалізації таких процесів. Відповідно, для такого класу моделей вибір методу обробки експериментальних даних, який забезпечує найбільшу точність апроксимації, має суттєве значення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Явище розширення металу при прокатуванні вивчається досить тривалий час. Відомі залежності, тобто моделі явища розширення, від найпростіших однопараметричних, до більш складних, що включають певні алгоритми обчислень з урахуванням значної кількості параметрів процесу прокатування. Прикладом однопараметричної моделі є формула Жеза, яка визначає розширення як частку від абсолютного обтиснення.

В інженерних розрахунках, зокрема при розробці калібровок валків, застосовують графічні залежності О.П. Чекмарьова. Для послідовності калібрів «овал-круг» такі залежності побудовані на основі узагальнення великої кількості експериментальних даних по розширенню для валків діаметром 250, 350 та 500 мм. Залежності дозволяють визначити абсолютне розширення в круглому калібрі для розкату певного діаметру та за призначеного коефіцієнту видовження. Зважаючи на узагальнення значної кількості практичних даних по розширенню, методика О.П. Чекмарьова використовується за основу при розробці сучасних моделей процесу прокатування, наприклад стрижнів [3].

Відома також методика В.К. Смірнова для визначення розширення в калібрах простої форми. Методика передбачає використання єдиної мільтиплікативної степеневі залежності. Множники залежності та показники степені для них визначено зі статистичної обробки значної кількості експериментальних даних по розширенню з різних сортових станів.

Значного поширення набула методика Вусатовського (Z. Wusatowski), яка представлена співвідношеннями [4, 5]

$$\beta = \frac{B_{out}}{B_{in}} = a \cdot c \cdot d \cdot f \cdot \left(\frac{h_{out}}{h_{in}} \right)^{-w},$$

де a , c , d , f — емпіричні коефіцієнти, що враховують вплив, відповідно, температури розкату, швидкості прокатування, марки сталі та матеріалу і стану поверхні валків; B_{in} та B_{out} — ширина розкату на вході та виході з осередку деформації; h_{in} та h_{out} — товщина розкату на вході та виході з осередку.

Показник степені w визначають із залежності

$$w = 10^{-1,26 \cdot \frac{B_{in}}{h_{in}} \cdot \left(\frac{h_{in}}{D} \right)^{0,556}},$$

де D — діаметр валків.

З наведених залежностей видно, що розширення визначається переважно розмірами розкату та діаметром валків.

Перелічені методики розрахунку розширення стосуються переважно простих випадків прокатування, тобто для плоского прокату. Для випадків прокатування в калібрах, явище розширення значно ускладнюється. Для розрахунку розширення в калібрах найбільшого поширення набула методика Шиокури-Такаї (Т. Shinokura, K. Takai) [6, 7], основу якої складає залежність

$$\beta_{ST} = \frac{B_{out} - B_{in}}{B_{in}} = k_g \frac{L_{cm}}{B_{in} - 0,5 \cdot h_{in}} \cdot \frac{A_H}{A_0},$$

де k_g — емпіричний коефіцієнт, що відображає вплив форми калібру; L_{cm} — середня довжина дуги контакту валків з розкатом; A_H — зміщена площа під час деформації в калібрі; A_0 — початкова площа перерізу розкату, що надходить в калібр.

Особливістю методики Шиокури-Такаї є перехід до розмірів приведенного прямокутного розкату, незалежно від форми калібру. Як видно з наведеного виразу, розширення залежить від розмірів приведенного розкату та геометричних параметрів осередку деформації, зокрема і від діаметру валків.

Для прогнозування розширення металу при прокатуванні в калібрах широко використовують сучасні методи моделювання процесу прокатування з використанням спеціалізованих програмних засобів. Наприклад, відоме дослідження [8], в якому «... для прогнозування розширення використовуються численні методи штучного інтелекту (AI), включаючи багатошаровий перцептрон (MLP) і адаптивні системи нейронечіткого висновку (ANFIS). Тривимірний аналіз кінцевих елементів (FE) використовується для генерації вхідних даних для моделі AI та дослідження впливу різних вхідних параметрів на розширення в одно- та триклітьових установках прокатування катанки. Результати демонструють, що натяг у зворотному напрямку та діаметр валків є найбільш впливовими параметрами. Завдяки використанню безрозмірних вхідних і вихідних даних, модель не залежить від геометрії та умов обробки, що забезпечує перенесення (адекватність) моделі» [8].

Разом з такими громіздкими та витратними моделями, знаходять застосування більш прості методики, адаптовані до конкретних умов застосування. Наприклад, для процесу плющення круглого дроту в циліндричних валках, відома однопараметрична залежність виду [9]

$$\beta = \frac{B_{out}}{B_{in}} = 0,972 \cdot \left(\frac{h_{in}}{h_{out}} \right)^{0,4498}.$$

Таким чином, для прогнозування розширення металу при прокатуванні в калібрах знаходять застосування як складні моделі високого порядку, так і порівняно прості моделі на основі обробки експериментальних даних, отриманих для умов конкретного процесу або стану. До важливих особливостей таких, умовно «локальних» моделей, відноситься застосування методів регресії за даними вимірів найбільш значимих факторів процесу або явища та можливість використання найбільш придатного, для наявних умов, виду моделі. Тому такі моделі забезпечують необхідну точність визначення контрольованих параметрів.

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є оцінка точності методів апроксимації експериментальних даних розширення овальних розкатів у круглих калібрах.

У ході досліджень вирішуються задачі розробки математичної моделі розширення овального розкату в круглому калібрі, як складової процесу прокатування в системі калібрів «овал – круг». Для розробки моделі використано метод апроксимації експериментальних даних, отриманих для існуючого процесу прокатування. Такі «локалізовані» моделі явищ або процесів дозволяють з високою точністю прогнозувати значення контрольованого параметру в залежності від наявних умов.

Також в дослідженні вирішується задача вибору найбільш прийнятної, з відомих, методу апроксимації для зазначених умов.

Виклад основного матеріалу

Оцінку методів апроксимації виконуємо, використовуючи один і той самий набір даних, який отримуємо з графічних залежностей О.П. Чекмарьова для розширення в круглих калібрах, врізаних у валках діаметром 250 мм. Як зазначено вище, такі залежності узагальнюють експериментальні дані абсолютного розширення в залежності від коефіцієнту видовження та діаметру розкату в круглому калібрі. На графіках наведено величини розширення для діапазону зміни коефіцієнту видовження від 1,1 до 1,7, а для діаметру круглого розкату від 5 до 60 мм. Формуючи набір вихідних даних, обмежились значеннями коефіцієнтів видовження від 1,1 до 1,5 та діаметрами від 5 до 25 мм, як найбільш поширеними на практиці. Значення абсолютного розширення для вказаних діапазонів зміни параметрів наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Залежність абсолютного розширення в круглому калібрі від коефіцієнту видовження та діаметру розкату для валків діаметром 250 мм

Коефіцієнт видовження λ	Абсолютне розширення круглого розкату діаметром:				
	5	10	15	20	25
1,1	0,7	1,1	1,4	1,6	1,80
1,2	1	1,5	2	2,4	2,8
1,3	1,3	1,8	2,4	3	3,6
1,4	1,5	2,1	2,9	3,7	4,5
1,5	1,8	2,5	3,4	4,4	5,3

Для аналізу залежності розширення від основних параметрів графічних залежностей Чекмарьова, в якості функції відгуку використовували коефіцієнт розширення, тобто відношення ширини круглого розкату після прокатування в калібрі до початкової ширини овального розкату. Коефіцієнт розширення є безрозмірною величиною, що полегшує математичне моделювання та аналіз. Розраховані значення коефіцієнтів розширення, відповідно до факторів та відгуків за даними табл. 1, показано на рис. 1.

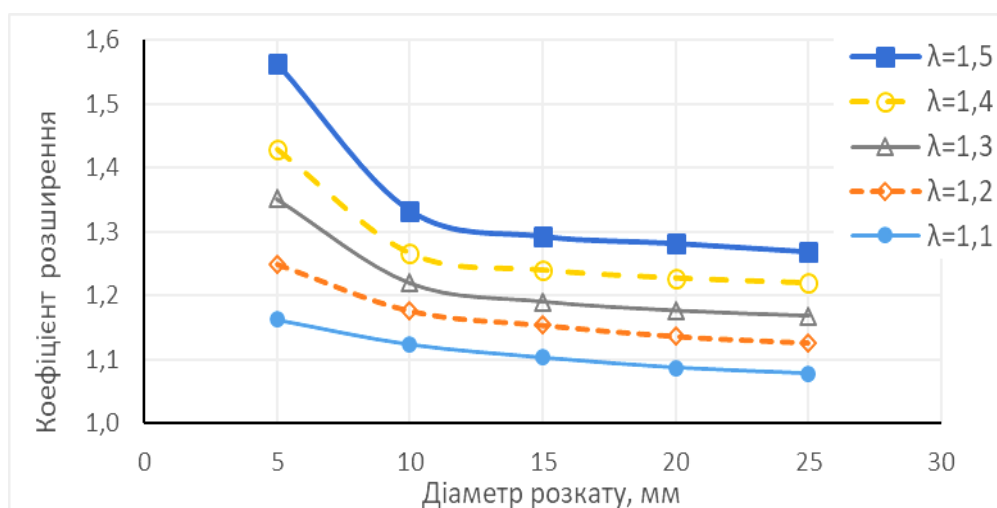


Рис. 1. Залежність коефіцієнту розширення в круглому калібрі для валків діаметром 250 мм

Отже, експериментальні дані представлені набором з 25 значень коефіцієнту розширення в залежності від поєднань двох факторів, кожен з яких змінюється на п'яти рівнях. Для апроксимації цих експериментальних даних, тобто отримання математичної моделі розширення у вигляді залежності виду

$$\beta = \varphi(\lambda; d),$$

використали множинну лінійну регресію, планований експеримент та регресію з почерговою фіксацією одного з факторів на середньому рівні [10].

Множинна лінійна регресія є найбільш відомим методом апроксимації експериментальних даних. Для отримання такої регресійної залежності використали стандартну функцію Excel з пакету аналізу даних, яка має назву LINEST. Результати обробки експериментальних даних представлені в табл. 2.

Таблиця 2. Результати обробки експериментальних даних функцією LINEST

-0,008	0,582014	0,588275
0,001318	0,065914	0,088433
0,839146	0,046608	#Н/Д
57,38489	22	#Н/Д
0,249319	0,047791	#Н/Д

Перший рядок табл. 2 містить коефіцієнти регресії, тобто математична модель розширення, яку отримано методом множинної лінійної регресії, має вигляд

$$\beta_1 = 0,5883 + 0,582 \cdot \lambda - 0,008 \cdot d.$$

Другий рядок містить стандартні значення помилок для коефіцієнтів регресії, тобто відображає рівень значимості цих коефіцієнтів. Як видно з табл. 2, всі коефіцієнти регресії є значимими. Серед інших статистичних характеристик, обчислених функцією LINEST, слід виділити:

- коефіцієнт визначення $r^2 = 0,839$; це означає що коефіцієнт множинної кореляції становить 0,915;
- стандартна помилка обчислюваної функції відгуку $S_{ey} = 0,0466$;
- F-статистика (критерій Фішера) $F = 57,38$;
- число ступенів свободи для вибірки $df = 22$;
- залишкова сума квадратів $SS_{resid} = 0,0478$.

Відповідно до числа ступенів свободи вибірки даних, дисперсія адекватності отриманої моделі становить 0,00217.

Отримані статистичні характеристики підтверджують достатню адекватність моделі.

Використовуючи той самий набір вихідних даних, застосуємо методику планованого експерименту. Обираємо план експерименту для двох факторів на трьох рівнях. При цьому, рівні зміни фактору X1 відповідають значенням коефіцієнту видовження 1,1; 1,3; 1,5. Для фактору X2 рівні зміни становлять 5; 15 та 25 мм. Тобто, загальна кількість дослідів становить 9, і всі ці точки факторного простору присутні в загальній вибірці експериментальних даних. План експерименту, значення функції відгуку та обчислені коефіцієнти регресії наведені в табл. 3.

З розрахованих коефіцієнтів регресії мінімальне значення отримано для квадратичної складової фактору X1, тому цю складову не враховуємо як незначиму. Всі інші коефіцієнти приблизно одного порядку і визнаються значимими.

Після врахування зміщення оцінки вільної складової (загальне середнє) по відношенню до функції відгуку в центрі плану, отримаємо модель розширення в кодованому вигляді

$$\beta_2 = 1,1905 + 0,1302 \cdot X1 - 0,0936 \cdot X2 + 0,0697 \cdot X2^2 - 0,0764 \cdot X1 \cdot X2.$$

Після перетворень до натурального виду факторів, отримуємо модель розширення

$$\beta_2 = -0,1036 + 1,224 \cdot \lambda + 0,0194 \cdot d + 0,0007 \cdot d^2 - 0,0382 \cdot \lambda \cdot d.$$

Таблиця 3. План експерименту та визначення коефіцієнтів регресії

X1	X2					
	-1	0	1			
-1	1,1628	1,1029	1,0776	1,1144	a1=	0,13022
0	1,3514	1,1905	1,1682	1,2367	a3=	0,00797
1	1,5625	1,2931	1,2690	1,3749		
	1,3589	1,1955	1,1716	1,2420		
					a2=	-0,09363
					a4=	0,0697
					a5=	-0,07642

Залишкова сума квадратів такої моделі дорівнює 0,0064. За числа ступенів свободи 4, дисперсія адекватності моделі буде дорівнювати 0,0016. Стандартна помилка обчислення становить 0,027. Отримана величина для моделі з планованого експерименту значно менша ніж для моделі множинної лінійної регресії, що свідчить про збільшення точності визначення розширення. Підвищення точності пов'язане з врахуванням квадратичних складових для діаметру розкату та врахуванням взаємодії факторів.

Третій спосіб апроксимації, умовно названий регресією з почерговою фіксацією одного з факторів на середньому рівні, також передбачає використання дев'яти точок з загальної вибірки експериментальних даних. Головна відмінність зводиться до перебору значень одного з факторів за фіксованого значення іншого фактору на середньому рівні. Наприклад, для середнього значення діаметру розкату у 15 мм перебираємо всі п'ять можливих рівнів коефіцієнту видовження. У той же час, для фіксованого середнього значення коефіцієнту видовження 1,3 розглядаємо всі значення діаметру розкату, як це показано в табл. 4. На відміну від планованого експерименту, цей метод апроксимації не враховує кутові елементи масиву вихідних даних, але дозволяє визначити характер впливу кожного з факторів окремо.

Таблиця 4. Вихідні та розрахункові коефіцієнти розширення за методикою апроксимації з фіксованими середніми

Коеф. видов.	Вихідні коефіцієнти розширення для діаметру розкату					Розрахункові коефіцієнти розширення				
	5	10	15	20	25	5	10	15	20	25
1,1			1,1029					1,0885		
1,2			1,1538					1,1345		
1,3	1,3514	1,2195	1,1905	1,1765	1,1682	1,3455	1,2451	1,1805	1,1518	1,1590
1,4			1,2397					1,2265		
1,5			1,2931					1,2725		

Для отриманих даних будуємо графічні залежності, які можуть бути апроксимовані найбільш підходящими математичними виразами за допомогою засобів Excel. Як видно з рис. 2, залежність коефіцієнту розширення від коефіцієнту видовження (за фіксованого значення діаметру розкату 15 мм) апроксимується лінійним рівнянням, яке забезпечує коефіцієнт визначення $R^2 = 0,9966$, що свідчить про високу точність апроксимації. Відносний коефіцієнт розширення для фіксованого $\lambda = 1,3$ визначали як частку від ділення значень коефіцієнту розширення, наведених в рядку лівої частини табл. 4, на значення в центрі, тобто $\beta = 1,1905$. Ця залежність апроксимується поліномом другої степені з коефіцієнтом визначення $R^2 = 0,9546$.

У підсумку, третій спосіб апроксимації забезпечує отримання моделі явища розширення у вигляді

$$\beta_3 = (0,466 \cdot \lambda + 0,59) \cdot (1,239 - 0,0258 \cdot d + 0,0006 \cdot d^2).$$

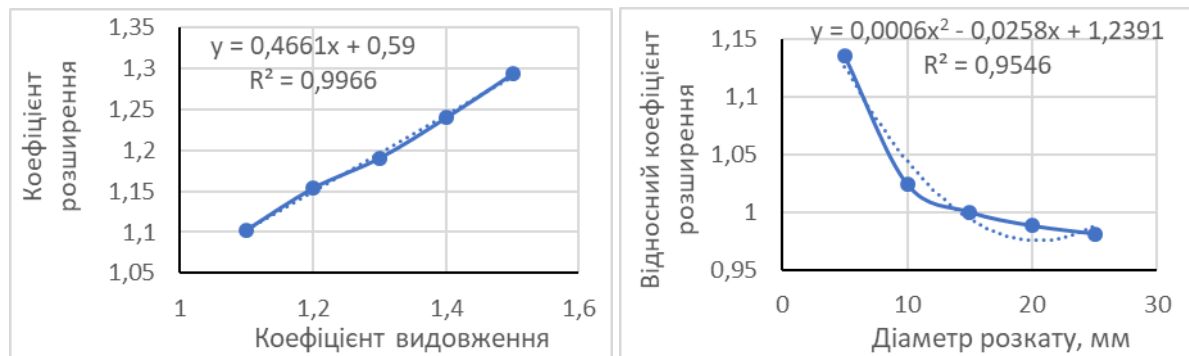


Рис. 2. Апроксимація залежностей коефіцієнту розширення по окремим факторам

Залишкова сума квадратів моделі, отриманої за значеннями дев'яти точок, за якими здійснюється апроксимація, дорівнює 0,00266. За числа ступенів свободи 3, дисперсія адекватності цієї моделі буде дорівнювати 0,00089. Проте застосування цієї моделі для точок, які не використовували для апроксимації, призводить до отримання значень з дещо більшою похибкою. Сума квадратів залишків для всіх 25 точок вихідних даних становить 0,0308. За числа ступенів свободи ($25 - 6 = 19$) дисперсія адекватності цієї моделі дорівнює 0,0016, тобто дорівнює показнику для планованого експерименту. Стандартна помилка обчислення становить 0,035. Тобто, рівень точності моделі за середніми значеннями окремих факторів близький до рівня точності моделі, отриманої з планованого експерименту.

Отже, третій спосіб апроксимації забезпечує прийнятне значення дисперсії адекватності, тобто достатню точність визначення коефіцієнту розширення. При цьому, як і в планованому експерименті, для діаметру розкату отримано квадратичну залежність, а для коефіцієнту видовження спостерігається лінійна залежність.

За показником «стандартна помилка визначення функції відгуку» найменшу точність отримано для множинної лінійної регресії ($S_{ey1} = 0,0466$). Апроксимація з фіксованими середніми значеннями окремих факторів забезпечує більш високу точність ($S_{ey3} = 0,035$), а використання планованого експерименту забезпечує найбільш високу точність ($S_{ey2} = 0,027$).

Визначені рівні точності розглянутих методів апроксимації не означають неможливість використання будь-якого з них. У залежності від потреб і умов збору та обробки вихідних експериментальних даних, можливе використання розглянутих або інших методів апроксимації.

Висновки

Розглянуто застосування трьох різних методів апроксимації для одного й того ж масиву експериментальних даних по розширенню овальних розкатів в круглих калібрах, розміщених в валках діаметром 250 мм. Встановлено, що за показником стандартної похибки визначення функції відгуку у вигляді коефіцієнту розширення, найменшу точність забезпечує використання множинної лінійної регресії. Середній рівень точності забезпечує апроксимація з фіксованими середніми значеннями окремих факторів, а найбільш високу точність отримано для планованого експерименту зі зміною факторів на трьох рівнях.

Усі використані методи апроксимації забезпечують отримання достатньо адекватних моделей явища розширення. Тобто, в залежності від потреб і умов застосування можливе використання будь-якого з розглянутих методів. Проте використання методу планованого експерименту зі зміною факторів на трьох рівнях дозволяє визначати та враховувати ефекти другого порядку та взаємодії факторів. Використання методу апроксимації з фіксованими середніми значеннями окремих факторів дозволяє проаналізувати вплив кожного з факторів на функцію відгуку, але не враховує ефекти кутових елементів факторного простору.

Наведені приклади застосування відомих методів апроксимації експериментальних даних наочно демонструють особливості цих методів, рівень точності, що дозволяє рекомендувати їх використання для побудови моделей інших явищ або процесів.

Список використаної літератури

1. Peters C.A. Statistics for Analysis of Experimental Data. Chapter in book "Environmental Engineering Processes Laboratory Manual". Editors: S.E. Powers. Princeton University. 2001. 26 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/280580217_Statistics_for_Analysis_of_Experimental_Data
2. Єршова Н.М. Створення моделі регресії на основі апроксимації та дисперсійного аналізу статистичних даних. *Український журнал будівництва та архітектури*, № 5 (017), 2023. С. 85–95. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.241023.85.996
3. Самохвал В.М., Максименко О.П., Нікулін О.В., Приймак А.Б. Модель прокатування стрижнів в калібрах системи «овал-круг». *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. 2022. № 1(40). С. 25–35. DOI: <https://doi.org/10.31319/2519-2884.40.2022.3>
4. Wusatowski Z. Fundamentals of Rolling. Pergamon Press, 1969. 679 p.
5. Riljak S. Numerical Simulation of Shape Rolling: Thesis. Royal Institute of Technology. Stockholm. 2006. 141 p. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:10197/fulltext01>
6. Shinokura T., Takai K. Spread Characteristics and Its Mathematical Models in Rod Rolling. *J-Stage*. 1981. Vol. 67. Issue 15. p. 2477–2482. https://doi.org/10.2355/tetsutohagane1955.67.15_2477
7. Shinokura T., Takai K. A new method for calculated spread in rod rolling. *Journal of Applied Metalworking*. 1982. Vol. 2. No 2. p. 94–99. DOI:10.1007/BF02834206
8. Amani S., Lee J.B., Park S.S. Prediction of Spread in Steel Wire Rod Rolling: Transferable and Explainable Approach. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing Smart Technology*. 2023. No 1(1). p. 19–33. DOI:10.57062/ijpem-st.2022.0045
9. Lee K., Kim B., Kim N. Development of Width Spread Model for Hight Carbon Steel Wire Rods in Flat Rolling Process. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research* Vol. 7, No. 4. 2018. p. 343 – 347. DOI: 10.18178/ijmerr.7.4.343–347
10. Navidi W. Statistics for Engineers and Scientists. Third Edition. McGraw-Hill Companies, Inc. 2010. 912 p. URL: http://students.aiu.edu/submissions/profiles/resources/onlineBook/z2v3K5_Statistics_for_Engineers_and_Scientists_3rd.pdf

ESTIMATE OF THE ACCURACY OF METHODS FOR APPROXIMATION OF EXPERIMENTAL DATA OF THE SPREAD OF OVAL WORKPIECE IN ROUND PASS

Abstract

The tasks of increasing the accuracy of determining shread as a determining phenomenon in the development of technology and in ensuring quality indicators in the conditions of operating rolling mills remain relevant. One of the directions for solving this class of problems is the creation of models based on the processing of experimental data for the conditions of a certain process. The main advantages of such "local" models are to take into account the most significant factors of the process or phenomenon and the possibility of using the most suitable type of model for the existing conditions. To build such models, approximation of experimental data is used. Assessment of the accuracy of known approximation methods for the expansion phenomenon during the rolling of oval rolls in round calibers has both practical and scientific significance.

The purpose of the study is to estimate the accuracy of methods for approximating experimental data on the spread of oval workpiece in round passes. Experimental data were obtained from the graphical dependences of O.P. Chekmarev for rolls with a diameter of 250 mm depending on the elongation coefficient and the diameter of the round rolled, which were changed at five levels. The objectives of the study were to obtain expansion models in the form of regression equations by three

different approximation methods using the same data set. The study also solves the problem of choosing the most acceptable, from the known, approximation method for the specified conditions.

It was found that in terms of the standard error of determining the response function in the form of an spread coefficient, the least accuracy is provided by the use of multiple linear regression. The average level of accuracy is provided by approximation with fixed average values of other factors, and the highest accuracy was obtained for a design of experiment with changing factors at three levels. All used approximation methods provide sufficiently adequate models of the spread phenomenon. That is, depending on the needs and conditions of application, it is possible to use any of the considered methods. But the use of the planned experiment method with changing factors at three levels allows you to determine and take into account second-order effects and interaction of factors. The use of the approximation method with fixed average values of individual factors allows us to analyze the influence of each factor on the response function, but does not take into account the effects of the corner elements of the factor space.

The examples given of the application of known methods of approximation of experimental data clearly demonstrate the features of these methods, the level of accuracy, which allows us to recommend their use for building models of other phenomena or processes.

References

- [1] Peters C.A. (2001) Statistics for Analysis of Experimental Data. Chapter in book “Environmental Engineering Processes Laboratory Manual”. Editors: S.E. Powers. Princeton University. 26 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/280580217_Statistics_for_Analysis_of_Experimental_Data
- [2] Yershova N.M. (2023) Stvorennia modeli rehresii na osnovi aproksymatsii ta dyspersiinoho analizu statystychnykh danykh [Creating a regression model based on approximation and analysis of variance of statistical data]. *Ukrainskyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury [Ukrainian Journal of Construction and Architecture]*, № 5 (017), c. 85 – 95. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.241023.85.996
- [3] Samokhval V.M., Maksymenko O.P., Nikulin O.V., Pryimak A.B. (2022) Model prokatuvannia stryzhniv v kalibrakh systemy «oval-kruh» [Model of rolling rods in passes of the "oval-round" system]. *Zbirnyk naukovykh prats Dniprovskoho derzhanoho tekhnichnoho universytetu (tekhnichni nauky) [Collection of scholarly papers of Dniprovsky State Technical University (Technical Science)]*. № 1 (40). p. 25 – 35. DOI: <https://doi.org/10.31319/2519-2884.40.2022.3>
- [4] Wusatowski Z. (1969) Fundamentals of Rolling. Pergamon Press. 679 p.
- [5] Riljak S. (2006) Numerical Simulation of Shape Rolling: Thesis. Royal Institute of Technology. Stockholm. 141 p. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:10197/fulltext01>
- [6] Shinokura T., Takai K. (1981) Spread Characteristics and Its Mathematical Models in Rod Rolling. *J-Stage*. Vol. 67. Issue 15. p. 2477 – 2482. https://doi.org/10.2355/tetsutohagane1955.67.15_2477
- [7] Shinokura T., Takai K. (1982) A new method for calculated spread in rod rolling. *Journal of Applied Metalworking*. Vol. 2. No 2. p. 94 – 99. DOI:10.1007/BF02834206
- [8] Amani S., Lee J.B., Park S.S. (2023) Prediction of Spread in Steel Wire Rod Rolling: Transferable and Explainable Approach. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing Smart Technology*. No 1(1). p. 19– 33. DOI:10.57062/ijpem-st.2022.0045
- [9] Lee K., Kim B., Kim N. (2018) Development of Width Spread Model for Hight Carbon Steel Wire Rods in Flat Rolling Process. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research* Vol. 7, No. 4. p. 343 – 347. DOI: 10.18178/ijmerr.7.4.343-347
- [10] Navidi W. (2010) Statistics for Engineers and Scientists. Third Edition. McGraw-Hill Companies, Inc. 912 p. URL: http://students.aiu.edu/submissions/profiles/resources/onlineBook/z2v3K5_Statistics_for_Engineer_s_and_Scientists_3rd.pdf

Надійшла до редколегії 24.03.2025