

ФАКТОРНИЙ АНАЛІЗ ЧАСОВИХ РЯДІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ПЕРСИСТЕНТНОСТІ ПОКАЗНИКІВ ПРОЦЕСУ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ

Анотація. Досліджено можливості методів хаотичної динаміки стосовно актуальних задач аналізу та прогнозування технологічних властивостей секцій збагачення використання різноманітного математичного апарату для створення моделей оперативного прогнозування. Встановлено доцільність використання методів кластеризації та узагальненого логістичного відображення для побудови оперативного прогнозу часових рядів.

Ключові слова: методи хаотичної динаміки, аналіз часових рядів, r/s -аналіз, кластеризація.

Серед технологічних процесів багатьох галузей гірничої промисловості особливе місце відводиться процесам подрібнення сипучих матеріалів. Підвищена увага до подрібнення матеріалів визвана високою енергоємністю і низькою ефективністю процесу. Існує велика кількість агрегатів для помолу, серед яких широкого розповсюдження набули кульові млини внаслідок простоти обслуговування та експлуатації. Однак, суттєвим недоліком використання кульових млинів є низький коефіцієнт корисної дії.

Технологічні процеси збагачення руд чорних металів (магнетитових кварцитів) є достатньо складними об'єктами прогнозування. Це обумовлено їх багатовимірністю та багатостадійністю, властивостями нелінійності та нестаціонарності, значним запізненням інформаційних показників у часі, наявністю нечіткої та неповної інформації [1].

Процес прогнозування в даному випадку можна розглядати як певну послідовність діагностичних перевірок, ефективність яких залежить

від стратегії пошуку діагнозу в множині можливих причин на основі аналізу часових рядів.

Різноманітні дані про процес збагачення надходять у вигляді ансамблю часових рядів $x(t)=\{x_j(t)\}, j=1,2,\dots,n; t \in T; T$ – час спостереження.

Оскільки їхні основні характеристики змінюються в часі, вони, як правило, є нестационарними. Прогнозування таких часових рядів пов'язане з певними труднощами.

Сьогодні існує величезна кількість методів, методик і способів прогнозування, що ґрунтуються на двох підходах: евристичному або математичному. Прийнятних результатів прогнозування можна очікувати лише при наявності моделі, що правильно описує поведінку прогнозованого об'єкту.

Можливість покращення прогнозу очікуваних значень досліджуваних величин зв'язується з рішенням задач класифікації процесів, що представлені рядами спостережень. Для такої класифікації ступеню стохастичності часового ряду використовується показник Херста., за значеннями котрого динамічні процеси розділяються на детерміновані, випадкові та хаотично детерміновані. В останньому випадку процес містить "пам'ять" про попередні спостереження, про поведінку ряду в минулому, причому довгострокову [2]. Ця додаткова інформація може бути використана в процедурах оперативного прогнозування очікуваних значень рівнів ряду.

Ідея методу полягає у вимірюванні змін із часом рівня накопичення відхилень від середнього значення часового ряду [3]. Встановлено, що для деяких часових рядів залежність R/S від кількості спостережень має наступний емпіричний закон розподілу:

$$(R/S)_n = (R/S)_0 N^H, \quad (1)$$

де $(R/S)_0$ – константа;

N – кількість часових періодів спостережень;

H – експонента Херста;

Згідно з принципами фрактального аналізу часові ряди мають фрактальну розмірність $1 < D < 2$ і наділені властивостями масштабної самоподібності та пам'яттю про свої початкові умови.

Пряма лінія має фрактальну розмірність $D=1$. Якщо $D=1$, то розподілом фрактального часового ряду є гаусіана. В практичних розрахунках іноді замінюють фрактальну розмірність D показником Херста H на основі реалізації процедури послідовного R/S-аналізу, де $R(t)$ – розмах послідовностей накопичених відхилень, $S(k)$ – середньоквадратичне відхилення. Отже показник Херста H – це число $H \in [0;1]$ яке характеризує складової функції тренда до білого шуму і може використовуватись як міра персистентності – тобто схильності процесів до трендів.

Були досліджені трендові характеристики часових рядів $Q(t)$, $\beta_1(t)$, $\beta_2(t)$, $\beta_3(t)$, де $Q(t)$ – продуктивність млина, $\beta_1(t)$ – клас крупності 0-10мм, $\beta_2(t)$ – клас крупності 10-20мм, $\beta_3(t)$ – клас крупності +20мм.

На основі застосування R/S-аналізу Херста вдається встановити деякі додаткові властивості відносно тенденцій змін параметрів секції збагачення. А саме, отримати оцінки відносно збереження/зміни властивостей часового ряду. Крім того, можна розрахувати період збереження тенденції.

Реалізації досліджуваних часових рядів графічно представлені на рисунку 1.

Обробка даних проводилась на 120 хвилинних, чотиригодинних та добових інтервалах.

Для розрахунку показника Херста були знайдені коефіцієнти лінійної регресії між логарифмом стандартного відхилення інтервальних приростів різночасових рядів та логарифмом таймфрейму (рисунок 2).

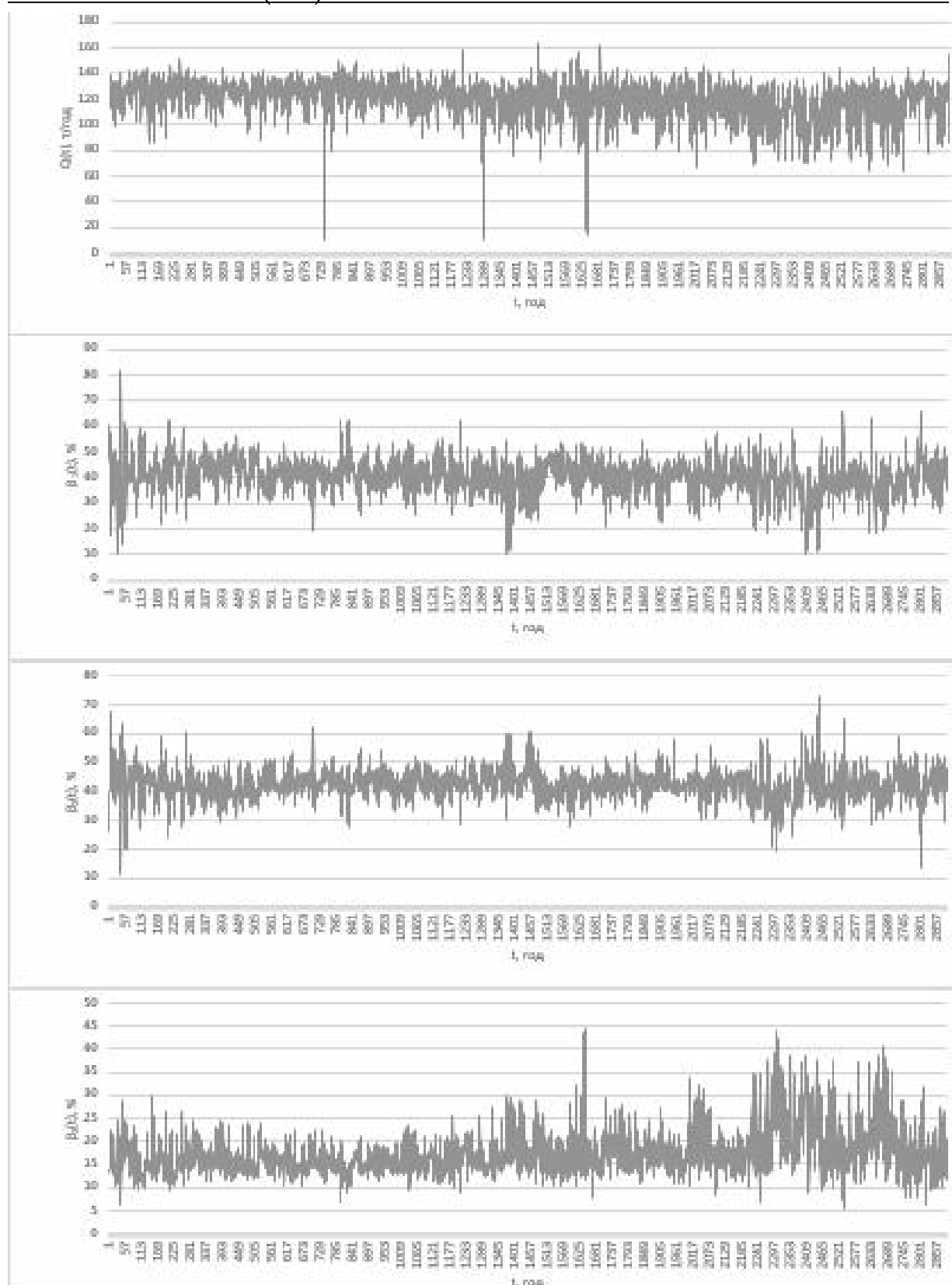


Рисунок 1 – Графіки досліджуваних часових рядів

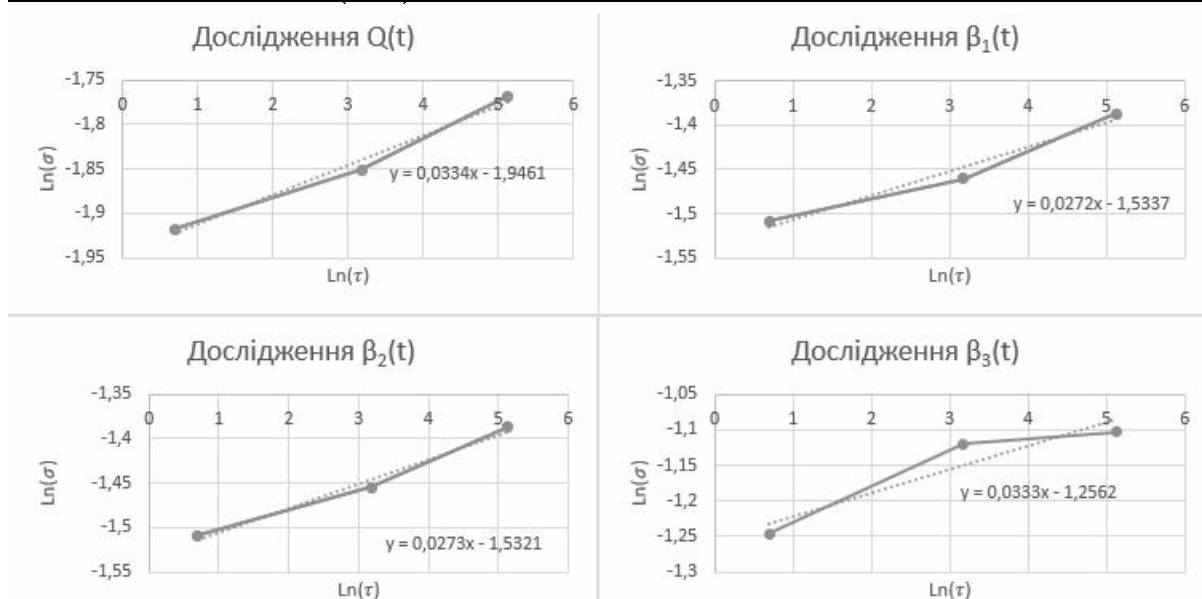


Рисунок 2 – Отримання коефіцієнтів лінійної регресії

Показники Херста отримані з рівнянь лінійної регресії наведено у таблиці 1.

Таблица 1

Результати розрахунків показників хаотичності часових рядів

Досліджуваний часовий ряд	Показник Херста Н
$Q(t)$	0,0334
$\beta_1(t)$	0,0272
$\beta_2(t)$	0,0273
$\beta_3(t)$	0,0333

Для всіх рядів значення коефіцієнта Херста не перевищує 0,0334. Тобто $H < 0,5$ (ряди антиперсистентні, очікується зміна тенденції).

У випадку антиперсистентних процесів, а значить і відповідних часових рядів, прогнозування все ж може бути обгрунтованим та виконаним з використанням відомих методик. Для обгрунтованої інтерпретації результатів R/S-аналіз можна обходитись наступним чином.

На основі вихідного часового ряду формується послідовність допоміжних похідних рядів, рівні яких являються середніми значеннями для значень вихідного часового ряду, що знаходяться поруч. Така процедура усереднення виконується до тих пір, поки новий, похідний, ряд не виявиться персистентним по даним виміру коефіцієнту Херста. Ця вимо-

га забезпечується, оскільки в межах ряд замінюється середнім значенням. Для практики такий результат часто задовільний – оцінкою прогнозу являється середнє значення ряду за деякий час вимірів. При антиперсистентних властивостях процесів можна забезпечити прогноз лише похідного ряду, отриманого з сумарних значень показників, розрахованих за деякий проміжок часу. Інтервал усереднення залежить від властивостей часового ряду. При виборі цього інтервалу в якості критерія можна використовувати мінімальне значення послідовних рівнів ряду, при яких похідний ряд стане персистентним або випадковим.

Застосування запропонованого підходу до зазначених вище часових рядів дало можливість збільшити показник Херста до значень $H > 0,573$. На основі цього можна зробити усереднені прогнози значень ряду для збільшених періодів часу.

Але даний підхід не дає можливості говорити про трендовість показників часових рядів для коротких проміжків часу, що ставить під сумнів можливість прогнозування змін параметрів роботи секції збагачення на коротких проміжках часу.

Для вирішення даної проблеми було запропоновано досліджувати представлені часові ряди окремими проміжками. В якості критерію виділення проміжку застосовано належність параметрів часового ряду до одного з кластерів (таблиця 2).

Таблиця 2

Кластеризація вихідних даних [4]

Variables	States	Cl 1	Cl 2	Cl 3	Cl 4	Cl 5
_20	Mean	17,02	14,11	11,63	18,89	13,57
_20	Deviation	3,99	2,4	3,75	3,4	1,57
0_10	Mean	37,59	44,54	59,73	35,63	50,4
0_10	Deviation	9,53	5,91	11,29	7,5	5,65
10_20	Mean	45,4	42,02	28,49	45,51	36,03
10_20	Deviation	8,49	6,24	9,7	5,9	5
Q ore	Mean	124,53	135,55	136,37	112,89	129,36
Q ore	Deviation	7,51	6,92	7,65	17,23	8,32

При застосуванні запропонованого способу були виявлені часові проміжки на яких досліджувані ряди проявляли ознаки персистентних ($H > 0,61$). Що в свою чергу свідчить про можливість побудови прогнозуючих моделей для даного ряду.

Висновки

Представлені результати дослідження технологічних характеристик секції збагачення на основі методів хаотичної динаміки. Розглянуто задачу аналізу статистичних властивостей процесів та прогнозування рівнів часових рядів. Встановлено, що використання R/S-аналізу дозволяє уточнити процедури прогнозування, використовуючи дані про показники Херста. Досліджено можливості прогнозування часових рядів на основі узагальнених логістичних відображень.

Зважаючи на багатомірність задач, гетерогенність параметрів і наявність суттєвої невизначеності в залежностях між параметрами реальних виробничих процесів, для побудови моделей пропонується використовувати методи Data Mining, нечіткої логіки та нейронних мереж.

ЛІТЕРАТУРА

1. Купін А.І., Система ситуативного керування технологічними процесами збагачення на основі непрямого визначення властивостей первинної сировини / Купін А.І., Мисько Б.С., Сенько А.О. // Автоматика 2016. XXIII міжнародна конференція з автоматичного управління, 22-23 вересня 2016 р.: тези доп. – Суми: Сумський державний університет, 2016. – С. 138–139.
2. Шарапов О.Д. Економічна кібернетика : навч. Посібник / О.Д. Шарапов, В.Д. Дербенцев, Д.Є. Семьонов. – К.: КНЕУ, 2004. – 231 с.
3. Скалозуб В.В. Метод прогнозування часових рядів на основі логістичного відображення / В.В. Скалозуб, І.В. Клименко. // Тез. докл. V-й Межд. Науч.-практ. конф. "Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании". – Д., 2011. – С. 67-68.
4. Сенько А.О. Кластеризація статистичних даних роботи секції збагачення / А. І. Купін // Системні технології. Регіональний міжвузівський зб. наук. праць. – Дніпро, 2017. – № 4(81). – С. 103–109.

REFERENCES

1. Kupin A.I., Mysko B.S., Senko A.O. Avtomatyka 2016. XXIII mizhnarodna konferentsiia z avtomatychnoho upravlinnia, (Automation 2016. XXIII International Conference on Automatic Control), 2016, Abstracts of Papers, September 22-23, 2016, Sumy: Sumskyi derzhavnyi universytet, 2016, pp. 138-139.
2. Sharapov O.D., Derbentsev V.D., Families D.E., Ekonomichna kibernetyka (Economic Cybernetics), Kyiv: KNEU, 2004, 231 p.
3. Skalozub V.V, Klimenko I.V., Sovremennie informatsionnie tehnologii na transporte, v promishlennosti i obrazovanii (Modern information technologies in transport, intercity and education), Dnepr, 2011, pp. 67-68.
4. Senko A.O., Kupin A.I., Systemni tekhnolohii, (System technology), Dni-pro, 2017, No. 4(81), pp. 103-109.