

УДК 519.21

DOI: 10.31474/2415-7902-2019-1(2)-2(3)-42-47

Т.В. Скрипник, О.А. Тихонова

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ПРО СТАН МАСИВІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД

У технічному аналізі особливою популярністю користуються індикатори, що базуються на алгоритмах змінного середнього. При використанні змінного середнього, дослідник цифрового ряду має можливість виділити тренд або інші характеристики, подавити випадкову компоненту. Однак інструменти дослідження часових рядів, засновані на алгоритмах ковзних середніх, мають істотні недоліки, які призводять до зниження результативності.

У зв'язку з цим розробка нового класу алгоритмів змінного середнього, в якому усунуті недоліки класичних алгоритмів, є актуальним моментом, як в теоретичному, так і в прикладному значенні для різних областей науки, техніки, економіки. Математична модель нового алгоритму ковзного середнього (синтетичне ковзне середнє (SMA)) була запропонована і розглянута в роботі. [1]

В цій роботі розглянуто задачу модифікації методів обробки інформації про стан масиву гірських порід для комп'ютерної підтримки прийняття рішень з вибору систем розробки та їх елементів.

Ключові слова: ковзне середнє, тренд, гірська геомеханіка, трендові ділянки, моніторинг, часовий ряд.

Актуальність роботи. Інформація про стан масиву гірських порід є найважливішою базою для прийняття рішень про вибір систем розробки і способів підтримки гірничих виробок. У зв'язку з цим вдосконалення методів обробки результатів вимірювань, що поміщають в базу даних, є актуальним завданням.

Постановка проблеми. Одним з перших фундаментальних етапів при проектуванні вугільної шахти є обґрунтування прийняття рішення про вибір системи розробки. На цьому етапі проводиться аналіз великих обсягів різноманітної інформації про стан масиву гірських порід, при цьому в низці випадків традиційні методи не дають достатньо надійних результатів, що визначає проблему модифікації вживаних математичних методів.

Теоретичний аналіз дослідження. Механіка гірських порід або гірська геомеханіка - наука про міцність, стійкість та деформованість і зсуви масивів гірських порід і гірничотехнічних об'єктів в полі природних і викликаних впливом гірничих робіт сил гірського тиску.

В інформативному аспекті гірська геомеханіка вирішує низку комплексних задач.

1. Вивчення закономірностей зміни напружено-деформованого стану вмшуючих порід при веденні гірничих робіт.

2. Обґрунтування технологічних процесів і параметрів виїмки корисних копалин.

3. Управління гірничим тиском, цілеспрямований перерозподіл напружень, деформацій, руйнування і зміцнення породного масиву, тобто управління напружено-деформованим станом масиву гірських порід при веденні гірничих робіт.

В результаті багатоетапних досліджень формуються об'ємні бази інформації, що використовуються для обґрунтування технологічних схем і параметрів гірничих робіт, вибору систем розробки і визначення їх елементів, встановлення раціональних способів і схем управління гірським тиском при відкритих і підземних розробках, розробці рекомендацій з оптимального кріплення, підтримки й охорони гірських виробок і захисту інших об'єктів від шкідливого впливу гірничих робіт.

Мета статті: розвиток методу «ковзних середніх» для обробки числових даних про стан гірських масивів, що спрямований на усунення недоліків, властивих використовуваним на даний час методиці «статистичного середнього».

Задача дослідження: обґрунтування способу модифікації методу «ковзних середніх», що дозволяє знизити часову затримку подання результатів і зменшити ступінь коливань результатів усереднення.

Основний зміст роботи. Сучасна концепція моніторингу будь-яких процесів або явищ, в тому числі і аналіз інформації про стан масивів гірських порід, включає в себе такі обов'язкові компоненти:

- першочергову розробку математичних чи інших моделей контрольованих процесів;
- вибір і розрахунок пріоритетних контрольованих параметрів;
- вимірювання цих параметрів в природних умовах;
- співставлення розрахункових і вимірних величин з метою внесення необхідної корекції прийнятих моделей;
- оцінку сучасного стану контрольованого об'єкта шляхом співставлення вимірних і прогнозно-критичних значень спостережуваних параметрів;
- розробку технічних заходів щодо забезпечення ефективності та безпеки гірничих робіт;
- контроль реалізації розроблених технічних заходів та їх коригування.

Будь-який контрольований процес зводиться до аналізу і обробки часового ряду, отриманого шляхом вимірювання спостережуваних значень.

При аналізі спостережувані значення інтерпретуються як сума систематичної (тренд) і випадкової циклічної складових (шум). Не існує "автоматичного" способу виявлення тренду в часовому ряді. Однак, якщо тренд є монотонним (стійко зростає або стійко спадає), то аналізувати такий ряд зазвичай неважко. Якщо часові ряди містять значну помилку, то першим кроком виділення тренду є згладжування. Згладжування завжди включає деякий спосіб локального усереднення даних, при якому несистематичні компоненти взаємно погашають одна одну. Самий загальний метод згладжування - ковзне середнє, в якому кожен член ряду замінюється простим або зваженим середнім m сусідніх членів, де m - ширина "вікна".

Однак інструменти дослідження часових рядів, що базуються на алгоритмах ковзних середніх, мають істотні недоліки, які призводять до зниження результативності:

- часова затримка результатів усереднення щодо елементів цифрового ряду на величину $m / 2$, де m - величина часового вікна усереднення;
- відносно високий ступінь коливань результатів усереднення, що слабо залежить від величини m ;
- вплив лінійних частотних спотворень як наслідок істотної нелінійності амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) алгоритмів ковзного усереднення [2];
- лінеаризація нелінійних трендів, шляхом виділення цих трендів з певним зміщенням [3].

Для усунення вищезазначених недоліків запропоновано новий алгоритм, названий «Синтетичне ковзне середнє» (SMA). [2]

Часова затримка результатів усереднення є наслідком фазових затримок всіх спектральних компонент виділюваних трендів. Фазочастотна характеристика (ФЧХ) алгоритму усереднення забезпечує фазовий зсув (часову затримку) кожної з множини спектральних складових, що характеризують виділений тренд:

$$\tau_{\phi}(f_n) = -\phi(f_n) / f_n,$$

де: $\phi(f_n)$ – ФЧХ алгоритму усереднення; f_n – нормована частота.

Групова затримка, яка пояснює запізнення виділеного тренду щодо його дійсного стану на величину $m/2$, визначається виразом:

$$\tau_{ep} = -\frac{d\varphi(\overline{f_n})}{d\overline{f_n}},$$

де: $\overline{f_n}$ – середнє значення нормованої частоти спектральної щільності потужності виділеного тренду; $\frac{d}{d\overline{f_n}}$ – перша похідна ФЧХ алгоритму усереднення.

У цій ситуації доцільно компенсувати τ_{ep} , тобто звести її до нуля. У цьому випадку затримка величиною $m/2$ буде ліквідована. На жаль, повна компенсація τ_{ep} принципово неможлива через особливості дискретної фільтрації. Часткова компенсація ($\tau_{ep} \approx 0$) цілком може бути реалізована на практиці способом багаторазового усереднення даних часового ряду "назад - вперед". Отже, ускладнюючи алгоритм усереднення шляхом введення додаткової алгоритмічної надмірності, можна компенсувати часову затримку.

Для дослідження взято алгоритм традиційного експоненційного ковзного усереднення (ЕМА). Як виявилось, використання багаторазового усереднення за допомогою ЕМА за алгоритмом "назад - вперед" компенсує не тільки τ_{ep} , але й лінеаризує його ФЧХ. В табл.1 наведено алгоритм отримання нової ковзної середньої для $m=4$.

Тут X_i – це рівні досліджуваного часового ряду. Значення Q_i – звіти виділюваного тренду за допомогою SMA. При усередненні «назад» накопичується часова затримка усереднення (груповая затримка), яка компенсується при зворотному проході «вперед».

Комбінація проходів «назад - вперед» сприяє отриманню значень SMA в потрібний час, що відповідає моменту існування X_4 (це дозволяє реалізувати оперативне управління).

Величина α (коефіцієнт класичного експоненційного усереднення) визначається як

$$\alpha = \frac{2}{m+1}$$

де: m – період ЕМА (вікно ковзання).

Новий алгоритм SMA для розрахунку коефіцієнта α використовує фіксовану величину $m = 2$ (зберігається ефект усереднення, мінімізуються автокореляційні зв'язки), відмінну від фактичної величини вікна ковзання m : $\alpha = 2/3$. [1]

Надалі, як і при реалізації будь-якого алгоритму ковзного усереднення, рівень X_1 відкидається і додається новий X_5 .

Таблиця 1. Алгоритм формування синтетичної ковзної середньої. [4]

$Y_i \backslash X_i$	X_1	X_2	X_3	X_4
I	$\leftarrow Q_4 = Q_3 + \alpha(C_1 - Q_3)$	$Q_3 = Q_2 + \alpha(C_2 - Q_2)$	$Q_2 = Q_1 + \alpha(C_3 - Q_1)$	$\leftarrow Q_1 = C_4$
II	$\downarrow Q_5 = Q_4$	$Q_6 = Q_5 + \alpha(Q_3 - Q_5)$	$Q_7 = Q_6 + \alpha(Q_2 - Q_6)$	$\rightarrow (Y_1) Q_8 = Q_7 + \alpha(Q_1 - Q_7)$

На рис. 1 показана запропонована логічна схема реалізації алгоритму синтетичної ковзної середньої $m=4$ [3][5]:

На рис. 2 демонструється сімейство запропонованих нових змінних середніх, які характеризуються різною кількістю проходів n . Зі збільшенням величини вікна усереднення m відбувається зростання числа проходів n . Це призводить до незначного відставання кривих від реальних трендів. Спостережуваний ефект пов'язаний мінімальними лінійними частотними спотвореннями і неповної компенсацією тимчасової затримки.

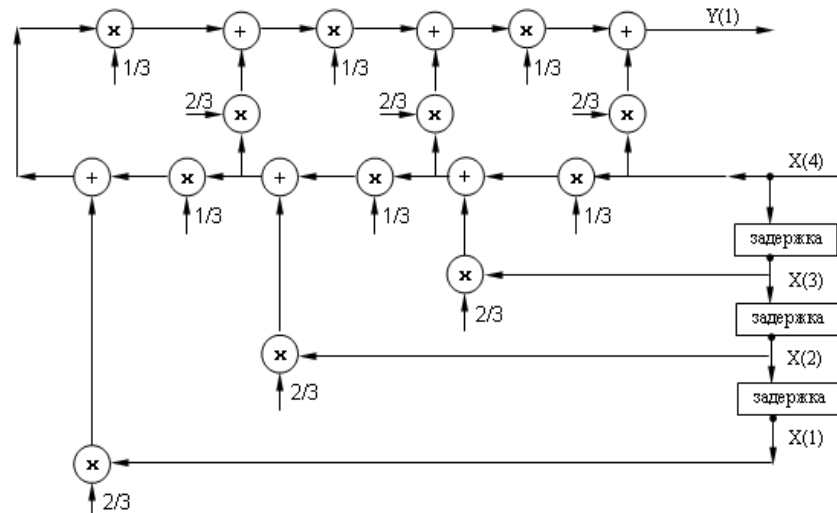


Рис. 1. Схема реалізації алгоритму синтетичної ковзної середньої, $m=4$

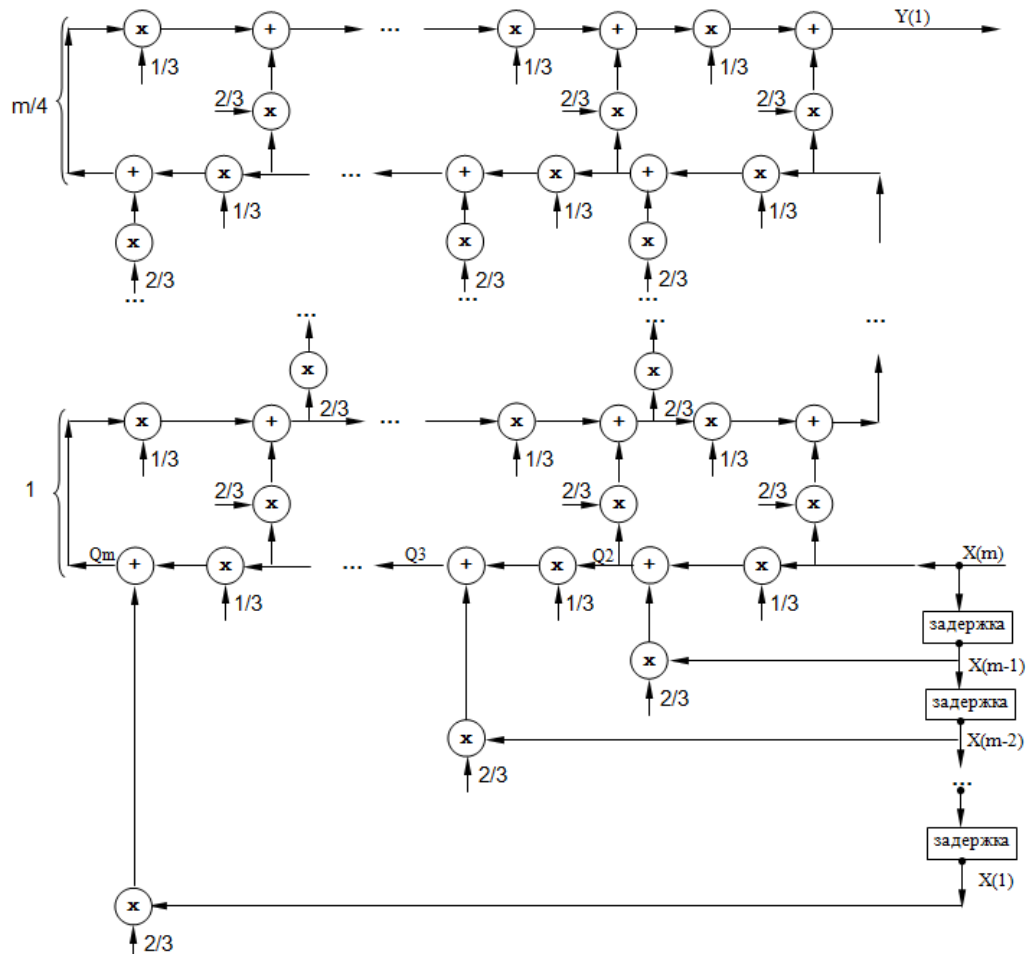


Рис. 2. Схема реалізації універсального алгоритму синтетичної ковзної середньої

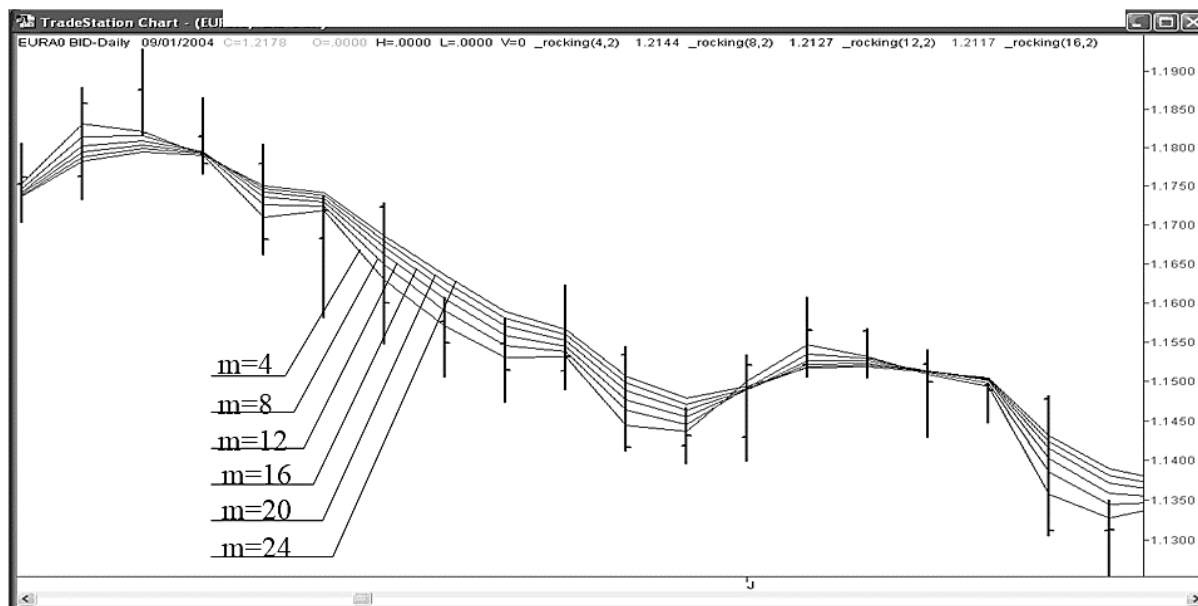


Рис. 3. Ефект багаторазового усереднення при реалізації оригінальної ковзної середньої

Запропонований алгоритм SMA дозволяє мінімізувати відомі недоліки традиційних алгоритмів ковзного усереднення (часову затримку і відносно високий рівень коливань їх результатів), істотно зменшити їх недоліки, пов'язані з лінійними частотними спотвореннями та з ефектом лінеаризації виділюваних нелінійних трендів. [2].

Разом з тим, SMA має низку недоліків (можливість застосування інструментів тільки кратності, що дорівнює чотирьом: $m = 4; 8; 12$ і т.д.; істотні ускладнення алгоритмів; можливість використання для усереднення тільки традиційного алгоритму ЕМА).

Висновки. В результаті виконаних досліджень запропоновано новий алгоритм обробки трендової інформації про стан масиву гірських порід, який дозволяє мінімізувати відомі недоліки традиційних алгоритмів ковзного усереднення (часову затримку і відносно високий рівень коливань їх результатів), істотно зменшити їх недоліки, що пов'язані з лінійними частотними спотвореннями і з ефектом лінеаризації виділюваних нелінійних трендів.

Список літератури

1. Смирнов А., Тихонова О. Секрет совершенства индикаторов Марка Джурика раскрыт? // Валютный спекулянт. 2006, №1, с.32-35
2. Смирнов А., Михайлов С. Выбор типа скользящих средних // Валютный спекулянт. 2003, №7, с.50-55
3. Тихонова О.А. Оптимизация алгоритма синтетического скользящего среднего // Научные труды ДонНТУ, серия «Информатика, кибернетика и вычислительная техника», выпуск 12. Донецк. 2010, с. 152-155
4. Тихонова О.А., Скрипник Т.В. Синтетичне ковзне середнє та особливий метод щодо визначення його коефіцієнтів // Наукові праці ДонНТУ Серія: "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка", с. 108 - 111. Покровськ, 2017
5. Тихонова О.А., Скрипник Т.В. Порівняльний імовірнісно-статистичний аналіз сигналів, що генеруються алгоритмами класичного і нового оригінального синтетичного ковзного середнього // Наукові праці ДонНТУ Серія: "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка" №2 (27), Покровськ, 2018.

References

1. Smirnov A., Tykhonova O. Is the secret of perfection of indicators of Mark Jurik revealed? // Currency speculator. 2006, No 1, p. 32-35

2. Smirnov A., Mikhailov S. Choice of the type of moving averages // Currency speculator. 2003, No. 7, p. 50-55
3. Tykhonova O.A. Optimization algorithm synthetic moving average // Scientific works of DonNTU, series "Informatics, Cybernetics and Computer Science", Issue 12. Donetsk. 2010, p. 152-155
4. Tykhonova O.A., Skrypnyk T.V. Synthetic moving average and a special method for determining its coefficients // Scientific works of DonNTU, series "Informatics, Cybernetics and Computer Science", p. 108 - 111. Pokrovsk, 2017
5. Tykhonova O.A., Skrypnyk T.V. Comparative probabilistic and statistical analysis of signals generated by the algorithms of classic and new original synthetic moving average // Scientific works of DonNTU, series "Informatics, Cybernetics and Computer Science" №2 (27), Pokrovsk, 2018.

Надійшла до редакції 23.10.2019

T. Skrypnyk, O. Tykhonova

IMPROVING THE METHODS OF STATISTICAL ANALYSIS FOR PROCESSING INFORMATION ON THE CONDITION OF MINING ROCKS

Purpose. The purpose of the article is to propose the development of a method of "moving averages" for processing numerical data on the state of mining arrays, aimed at eliminating the disadvantages inherent in the currently used method of statistical average.

Methodology. In technical analysis, indicators based on variable average algorithms are particularly popular. When using a variable mean, the digital series researcher has the ability to highlight a trend or other characteristics, suppress a random component. However, time series research tools based on moving average algorithms have significant drawbacks that lead to poor performance.

Results. The problem of modification of methods of processing information on the state of rocks in order to support decision-making on the choice of development systems and their elements has been considered.

Mathematical model of a new algorithm moving average (synthetic moving average (SMA)) has been proposed and discussed in the work.

Scientific novelty. In this paper, we consider the problem of modifying the methods for processing information about the state of a rock mass for computer decision support on the selection of development systems and their elements.

Scientific significance. The proposed algorithm for processing trend information about the parameters of the rock mass minimizes the known disadvantages of traditional moving averaging algorithms (time delay and relatively high level of oscillation of their results) and significantly reduces their disadvantages associated with linear frequency distortions and the effect of linear deviations.

Keywords: moving average, trend, mining geomechanics, trend areas, monitoring, time series.

Відомості про авторів

Скрипник Тетяна Володимирівна, старший викладач, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»; tetiana.skrypnyk@donntu.edu.ua

Тихонова Оксана Анатоліївна, старший викладач, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»; oksana.tykhonova@donntu.edu.ua

Skrypnyk Tetiana, Senior Lecturer, SHEE "Donetsk National Technical University"; tetiana.skrypnyk@donntu.edu.ua

Tykhonova Oksana, Senior Lecturer, SHEE "Donetsk National Technical University"; oksana.tykhonova@donntu.edu.ua