

И.В. Козина

**АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ ОПЕРАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛЬНЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В ЗАБОЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА «ГУСЕНИЦА»**

**THE ANALYSIS AND FORECAST FOR OPERATIVE PROCESSING ADDITIONAL FREIGHT-FLOW AND INFORMATION FLOW IN FACE OF THE COAL MINES WITH USING METHOD SSA (SINGULAR SPECTRUM ANALYSIS)**

Рассмотрено применение метода «Гусеница» для анализа и прогноза вспомогательного материального и информационного потока в забоях угольных шахт. Построена математическая модель временного ряда на примере доставки вспомогательного материала «анкер 2,4»: вложение, сингулярное разложение траекторной матрицы ряда, отбор главных компонент, диагональное усреднение. Предложен результат анализа главных компонент.

**Ключевые слова:** метод «Гусеница», угольные шахты, анализ материального и информационного потока.

Угольная шахта является постоянно строящимся предприятием с начала разметки оси главного ствола в периоде строительства до окончания добычи последней тонны угля в периоде «затухания» шахты.

В технологической системе угольной шахты одним из важнейших ключевых элементов, определяющим эффективность угледобычи в целом, являются горноподготовительные работы.

В процессе развития технологии и технического обеспечения проведение горных выработок претерпели значительные изменения и продолжают совершенствоваться.

Важным звеном сложной информационной системы шахты, которая обеспечивает эффективность работы технологических схем внутришахтных грузопотоков, является подсистема диспетчерского управления (диспетчерская служба и участки внутришахтного транспорта).

К основным функциям диспетчерской службы необходимо отнести следующие:

- получение достоверной своевременной информации от различных технологических объектов;
- контроль и управление материальных и информационных потоков;
- оптимизация задач управления технологическими процессами и др.

Как показывает многолетняя практика, одной из основных проблем угольных шахт является своевременная доставка вспомогательных материалов и оборудования в подготовительные забои.

Решение данной проблемы сводится к выбору определения оптимального маршрута доставки вспомогательных материалов и оборудования к соответствующим забоям угольной шахты [1].

Следует отметить, что для выполнения численной оценки энергозатрат при доставке грузов и выбора маршрута необходимо располагать адекватными математическими моделями объектов исследования, в качестве которых выступают внутришахтные мате-

риальные и информационные потоки. Это позволит выполнить их анализ и оптимизацию и на основании полученной информации построить алгоритмы их оптимального оперативного управления и прогноза.

Для анализа и прогноза временных рядов воспользуемся методом «Гусеница», основанным на динамической модификации метода главных компонент (ГК).

Данный метод базируется на исследовании временного ряда методом главных компонент и не требует предварительной стабилизации ряда.

Для анализа оперативной обработки материальных и информационных потоков в забоях угольных шахт воспользуемся методом «Гусеница».

Построим математическую модель временного ряда на примере доставки вспомогательного материала «анкер 2,4».

Рассмотрим временной ряд  $\{x_i\}_{i=1}^N$ , образованный последовательностью  $N$  равностоящих значений некоторой функции  $f(t)$  (табл. 1):

$$x_i = f((i-1)\Delta t),$$

где  $i = 1, 2, \dots, 30$ ,  $t$  – время, календарные дни;  $\Delta$  – некоторый временной интервал;  $N$  – длина ряда ( $N = 30$ );  $L$  – длина гусеницы ( $L = 10$ ).

Базовый метод «Гусеница» состоит из четырех этапов [2]:

*Этап 1. Вложение.* Данная процедура переводит исходный временной ряд в последовательность многомерных векторов.

В данном случае  $L = 10$  (длина окна)  $1 < L < N$ . Процедура вложения образует  $K = N - L + 1$  векторов вложения, которые имеют размерность  $L$ :

$$X_i = (f_{i-1}, \dots, f_{i+L-2})^T, \quad 1 \leq i \leq K. \quad (1)$$

В результате вычисления данного этапа получим  $L$ -траекторную матрицу исходного ряда  $F$  для вспомогательного материала «анкер»:

Таблица 1

Временной ряд

Дни	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Кол-во деталей, шт	10	7	8	6	7	9	9	8	11	7	14	12	11	10	12	11	8	9	10	7	12	14	11	10	8	10	9	9

$$X = \begin{pmatrix} 10 & 7 & 8 & 6 & 7 & 9 & 9 & 8 & \dots & 8 & 9 & 10 & 7 \\ 7 & 8 & 6 & 7 & 9 & 9 & 8 & 11 & \dots & 9 & 10 & 7 & 12 \\ 8 & 6 & 7 & 9 & 9 & 8 & 11 & 7 & \dots & 10 & 7 & 12 & 14 \\ 6 & 7 & 9 & 9 & 8 & 11 & 7 & 14 & \dots & 7 & 12 & 14 & 11 \\ 7 & 9 & 9 & 8 & 11 & 7 & 14 & 10 & \dots & 12 & 14 & 11 & 10 \\ 9 & 9 & 8 & 11 & 7 & 14 & 10 & 12 & \dots & 14 & 11 & 10 & 8 \\ 9 & 8 & 11 & 7 & 14 & 10 & 12 & 11 & \dots & 11 & 10 & 8 & 10 \\ 8 & 11 & 7 & 14 & 10 & 12 & 11 & 10 & \dots & 10 & 8 & 10 & 9 \\ 11 & 7 & 14 & 10 & 12 & 11 & 10 & 12 & \dots & 8 & 10 & 9 & 9 \\ 7 & 14 & 10 & 12 & 11 & 10 & 12 & 11 & \dots & 10 & 9 & 9 & 7 \end{pmatrix}$$

$$X_3 = \begin{pmatrix} 1.4206 & 0.9944 & 1.1365 & \dots & 0.9944 \\ 0.0629 & 0.0719 & 0.0539 & \dots & 0.1079 \\ 1.7202 & 1.2902 & 1.5052 & \dots & 3.0105 \\ 0.0584 & 0.0682 & 0.0877 & \dots & 0.1072 \\ 1.472 & 1.893 & 1.893 & \dots & 2.1033 \\ 0.3450 & 0.3451 & 0.3067 & \dots & 0.3067 \\ 1.3285 & 1.181 & 1.6238 & \dots & 1.4762 \\ 0.7019 & 0.9651 & 0.6142 & \dots & 0.7897 \\ 0.5247 & 0.3339 & 0.6678 & \dots & 0.4293 \\ 0.5247 & 1.2965 & 0.6678 & \dots & 0.6482 \end{pmatrix}$$

Этап 2. Результатом этого шага является сингулярное разложение траекторной матрицы ряда.

Сингулярное разложение матрицы X может быть записано следующим образом:

$$X = X_1 + X_2 + \dots + X_d, \quad (2)$$

где  $X_i = \sqrt{\lambda_i} U_i V_i^T$ ;  $U_1 \dots U_L$  – ортонормированная система собственных векторов матрицы S ( $S = X \cdot X^T$ );  $\lambda_1 \dots \lambda_L$  – собственные числа матрицы S;  $d = \max\{i : \lambda_i > 0\}$ .

Результатом этого этапа являются следующие элементарные матрицы:

$$X_1 = \begin{pmatrix} 0.8851 & 0.6196 & 0.7081 & \dots & 0.6196 \\ 0.6338 & 0.7244 & 0.5433 & \dots & 1.0866 \\ 0.7758 & 0.5819 & 0.6788 & \dots & 1.3577 \\ 0.5999 & 0.6999 & 0.8999 & \dots & 1.0999 \\ 0.7235 & 0.9303 & 0.9303 & \dots & 1.0337 \\ 0.9361 & 0.9361 & 0.8321 & \dots & 0.8321 \\ 0.9442 & 0.8393 & 1.1541 & \dots & 1.0492 \\ 0.8383 & 1.1527 & 0.7335 & \dots & 0.9431 \\ 1.1591 & 0.7376 & 1.4752 & \dots & 0.9484 \\ 0.7105 & 0.7376 & 1.0151 & \dots & 0.7106 \end{pmatrix}$$

$$X_2 = \begin{pmatrix} 0.2989 & 0.2093 & 0.2392 & \dots & 0.2093 \\ 0.2989 & 0.5421 & 0.4066 & \dots & 0.8131 \\ 1.6563 & 1.2422 & 1.4493 & \dots & 2.8985 \\ 0.7596 & 0.8862 & 1.1394 & \dots & 1.3926 \\ 0.3052 & 0.3924 & 0.3924 & \dots & 0.436 \\ 0.0208 & 0.0208 & 0.0185 & \dots & 0.0185 \\ 0.1939 & 0.1724 & 0.2371 & \dots & 0.2155 \\ 0.9941 & 1.3669 & 0.8699 & \dots & 1.1184 \\ 1.3169 & 0.8381 & 1.6761 & \dots & 1.0775 \\ 1.8008 & 3.6018 & 2.5727 & \dots & 1.8009 \end{pmatrix}$$

$$X_{10} = \begin{pmatrix} 0.0099 & 0.007 & 0.008 & \dots & 0.007 \\ -0.0479 & -0.0548 & -0.0411 & \dots & -0.0823 \\ 0.1362 & 0.1022 & 0.1192 & \dots & 0.2384 \\ -0.1185 & -0.1383 & 0.0906 & \dots & -0.2173 \\ 0.0704 & 0.0906 & -0.0204 & \dots & 0.1007 \\ -0.0229 & -0.023 & -0.0499 & \dots & -0.0204 \\ -0.0408 & -0.0363 & 0.0746 & \dots & -0.0453 \\ 0.0852 & 0.1172 & -0.0745 & \dots & 0.0959 \\ -0.0585 & -0.0373 & 0.0013 & \dots & -0.0479 \\ 0.0009 & 0.0019 & -0.1778 & \dots & 0.0009 \end{pmatrix}$$

Этап 3. Отбор главных компонент. Разложение (2) может быть записано в следующем сгруппированном виде:

$$X = X_{I_1} + X_{I_2} + \dots + X_{I_m}, \quad (3)$$

где  $m$  – непересекающиеся подмножества множеств  $I_1 \dots I_m$ .

Результатом этого этапа является следующая группировка множеств:

$$I_1 = X_1 + X_2 + X_3 + X_5,$$

$$I_2 = X_4 + X_6 + X_8,$$

$$I_3 = X_7 + X_9 + X_{10}.$$

Этап 4. Диагональное усреднение. На последнем шаге базового алгоритма каждая матрица сгруппированного разложения (3) переводится в новый ряд длины N по формуле:

$$g_k = \begin{cases} \frac{1}{k+1} \sum_{m=1}^{k+1} y_{m,k-m+2}^* & 0 \leq k < L^* - 1 \\ \frac{1}{L} \sum_{m=1}^{L^*} y_{m,k-m+2}^* & L^* - 1 \leq k < K^* \\ \frac{1}{N-k} \sum_{m=k-K+2}^{N-K+1} y_{m,k-m+2}^* & K^* \leq k < N \end{cases} \quad (4)$$

Применяя диагональное усреднение (4) к результирующим матрицам, получим ряд вида:

$$f_n = 1,48 + 1,25 + 1,07 + 0,54 + 1,05 + 0,95 + 0,78 + 1,12 + 0,71 + 1,41 + 1 + 1,21 + 1,19 + 1.$$

В результате применения метода «Гусеница», на примере доставки материала «анкер 2,4», получим следующий результат анализа (табл. 3).

Исходный временной ряд показывает доставку материала «анкер 2,4» на примере забоя №3 (горизонт 235, шахты «Павлоградская»).

Таблица 3

Результат использования метода «Гусеница»

ГК	Интерпретация	Рис.
1	Линейный тренд	2
2-3	Годовая периодика (сезонная компонента)	2
4-5	Полугодовая периодика (гармоника сезонной компоненты)	2
6	Нелинейный тренд	2
7-8	Колебания с периодом, приближенным к 50 суткам	2
9	60 недельных колебаний (гармоника сезонной компоненты)	2

Доставка материалов выполняется в ремонтно-подготовительную смену. Основанием для получения вспомогательных материалов и оборудования является «Лимитная карта на отпуск материалов».

Необходимое количество затребованных материалов выдается согласно «Паспорту выемочного участка» и «Паспорту проведения подготовительных выработок».

Исходный и восстановленный ряды приведены на рис. 1.

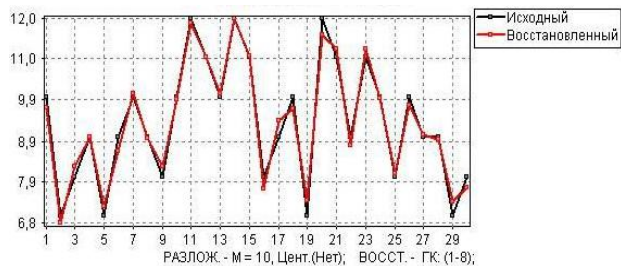


Рис. 1. Исходный и восстановленный ряды материала «анкер 2,4»

Из рис. 2 и 3 видно, что восстановление по ГК 1-8 дает синусоидальную кривую правильной формы с почти постоянной амплитудой. Первые 8 ГК в основном полностью описывают ряд, и согласование восстановленного ряда и исходного исключительно хорошее.

Необходимо отметить, что младшие ГК также дают гармоники достаточно правильной формы.

Для оперативного планирования и управления процессами горного производства широко используются методы прогнозирования [3].

Точность и надежность прогноза определяет эффективность реализации различных эффективных ло-

гистических операций и позволяет понизить степень риска при ведении горных работ в сложных горно-геологических условиях.

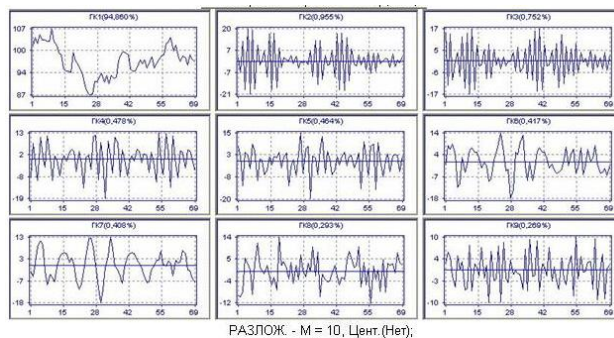


Рис. 2. Главные компоненты



Рис.3. Главные компоненты. Двумерные проекции

Для горных предприятий большое значение имеет прогноз в материальных ресурсах [4].

С одной стороны, шахта нуждается в образовании определенных запасов, чтобы обеспечить бесперебойность технологических процессов, а с другой – объем запасов должен быть минимальным, потому что их хранение и неиспользование связано с определенными материальными затратами.

Форма прогнозируемого ряда (рис. 4) практически полностью воспроизводит форму исходного ряда, однако имеются некоторые расхождения в тренде. Необходимо отметить, что прогнозируемый ряд находится в доверительных интервалах.

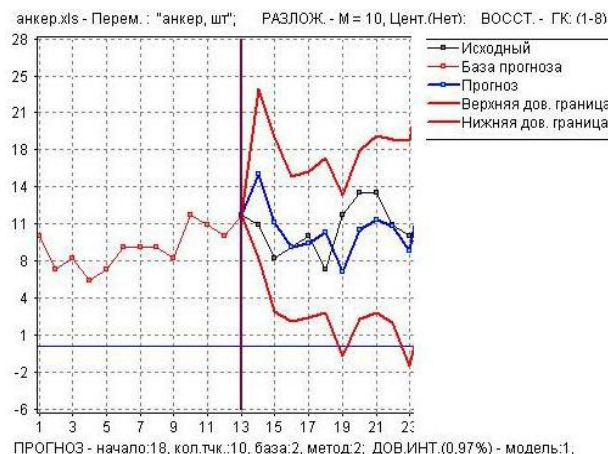


Рис. 4. Прогноз исследуемого ряда

Достоинством метода «Гусеница» является отсутствие требования априорного задания модели ряда, а также возможность выделения гармонических со-

ставляючих с изменяющимися амплитудами и частотами, что выгодно отличает его от методов, в основе которых лежит метод Фурье.

«Гусеница» позволяет исследовать структуру временного ряда, выделить отдельные его составляющие и прогнозировать как сам ряд, так и тенденции развития его составляющих.

Особенностями метода являются такие его свойства, как интерактивность и визуализация результатов вычислений.

Недостатком метода, ограничивающим возможности его применения, является предположение о линейности модели исследуемого ряда.

Использование метода позволяет наиболее точно проанализировать и спрогнозировать доставку материалов и оборудования в забои угольных шахт, а это в свою очередь способствует повышению оперативности и эффективности управления горным производством.

Метод не предусматривает знания параметрической модели ряда и работает с зашумленными нестационарными временными рядами.

#### Список литературы

1. Козина И.В. Оперативная обработка материальных и информационных потоков в забоях угольных шахт с использованием расширенного метода анализа иерархий // 36. наук. праць НГУ. – 2009. – № 33, Т. 1. – С. 135-140.
2. Голяндина Н.Э., Данилов Д.Л. Обработка многомерных временных рядов с помощью метода «Гусеница» // Главные компоненты временных рядов: ме-

тод «Гусеница» / Под ред. Д.Л. Данилова, А.А. Жиглявского: Изд-во СПбГУ, 1997. – С. 105-131.

3. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. – М.: Статистика, 1977. – 263 с.

4. Системы подземного транспорта на угольных шахтах / Под. ред. В.А. Пономаренко. – М.: Недра, 1975. – 309 с.

Розглядається застосування методу «Гусениця» для аналізу та прогнозу допоміжного матеріального й інформаційного потоку в вибоях вугільних шахт. Побудована математична модель тимчасового ряду на прикладі доставки допоміжного матеріалу «анкер 2,4»: вкладення, сингулярне розкладання траєкторної матриці ряду, відбір головних компонент, діагональне усереднення. Запропоновано результат аналізу головних компонент.

**Ключові слова:** метод «Гусениця», вугільні шахти, аналіз матеріального та інформаційного потоку.

The method SSA (Singular Spectrum Analysis) for the analysis and forecast of additional freight-flow and information flow in the phases of coal mines is considered. Mathematical model of temporal row on the example of delivery of additional freight-flow «anchor 2,4»: investment, singular decomposition of trajectory matrix of row, selection of main komponent, diagonal usredenenie is develop. The result of analysis of main komponent is offered.

**Key words:** “Caterpillar” method, coal mines, analysis of material and information flow.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Корсунюм 12.02.10