

УДК 622. 834

## МЕТОДЫ АНАЛИЗА ДИСКРЕТНОСТИ ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

**Быкадоров Алексей Иванович**<sup>1</sup>,

канд. техн. наук, генеральный директор, e-mail: aibykadorov@mail.ru

**Ларичкин Петр Михайлович**<sup>1</sup>,

канд. техн. наук, зав. отделом, e-mail: larichkin.petr@yandex.ru

**Свирко Сергей Владимирович**<sup>2</sup>,

аспирант, e-mail: svirko@ngs.ru

**Ренев Алексей Агафангелович**<sup>2</sup>,

доктор техн. наук, профессор, e-mail: raa@kuzstu.ru

<sup>1</sup>Сибирский институт геотехнических исследований, 653000, Россия, Кемеровская область, г. Прокопьевск, ул. К.Либкнехта, 4

<sup>2</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

### *Аннотация.*

**Актуальность работы:** Разработка угольных пластов может сопровождаться разрывами сплошности подрабатываемой земной поверхности с возникновением сосредоточенных деформаций. Оценка дискретности процесса сдвижения представляет особый малоизученный раздел в теории сдвижения горных пород - до настоящего времени не существует однозначных интерпретаций природы дискретности процесса и узаконенных методов ее анализа.

**Цель работы:** Разработать методические подходы для анализа дискретности процесса сдвижения земной поверхности при разработке угольных пластов.

**Методы исследования:** Дискретность процесса сдвижения земной поверхности, подрабатываемой горными работами, выявляется инструментальными наблюдениями на профильных линиях при расстояниях между реперами не более 5 метров. Показано, что анализ сосредоточенных деформаций можно произвести с помощью теории случайных функций и вейвлет-преобразований.

**Результаты:** Методами теории случайных функций в характере сосредоточенных деформаций подрабатываемой земной поверхности установлено наличие случайных и неслучайных (периодических) составляющих и выполнена их количественная оценка. Использование для таких оценок другого метода – метода вейвлет-преобразований носит постановочный характер. Анализы выполнены на натурных наблюдениях, проводимых на шахтах Прокопьевско-Киселевского угольного региона Кузбасса.

**Ключевые слова:** Подрабатываемая земная поверхность, натурные наблюдения, дискретный процесс сдвижения, сосредоточенные деформации, методы анализа.

Систематические натурные наблюдения за процессом сдвижения массива пород и земной поверхности при ведении горных работ, проводимые ВНИМИ во второй половине XX века, свидетельствуют о наличии в мульде сосредоточенных деформаций (дискретный характер процесса сдвижений), характеризующих локальные нарушения подработанной толщи. В работах [1 - 4] показано, что фиксация проявления дискретного характера сдвижения и деформаций подрабатываемой земной поверхности зависит от длины интервала между реперами в профильной линии наблюдательной станции.

Под дискретным характером процесса сдвижения понимается сдвижение горного массива и земной поверхности с разрывом сплошности пород и наносов по отдельным поверхностям ослабления [4]. На участках разрывов сдвижения и деформации принято называть сосредоточенными

(провалы от очистных и подготовительных выработок, трещины различной формы и величины, прямые и обратные уступы, канавообразные углубления, закрытые уступы).

Трещины, самый распространенный тип сосредоточенных деформаций, возникают, как правило, в зонах растяжения горных пород при изгибе над разрезными выработками, границами оставленных целиков угля, выходами под наносы слабых и крепких пород, плоскостями сместителей тектонических нарушений и т.д. Прямые и обратные уступы возникают в результате скольжения слоев по слабым контактам и приурочены в условиях Кузбасса к зонам провалов и канавообразных углублений, а также к выходу под наносы подрабатываемых осевых поверхностей шарнирных складок и крупных дизъюнктивов. Сосредоточенные сжатия (закрытые уступы) возникают на земной поверхности вследствие поворота и скола

призм в наносах, в том числе при наличии прямых и обратных уступов.

Для изучения сосредоточенных деформаций и дискретности процесса сдвижения земной поверхности в условиях Кузбасса проводились специальные натурные исследования с помощью наблюдательных станций на шахтах Прокопьевско-Киселевского района. Результаты исследова-

носью метода наименьших квадратов сглаженную кривую 2, которая представляет собой распределение усредненной деформации по длине наблюдаемого участка поверхности. Но при этом теряется информация о природе пиков деформации. Для анализа такой информации воспользуемся теорией случайных функций и будем рассматривать наблюдаемые деформации как запись ста-

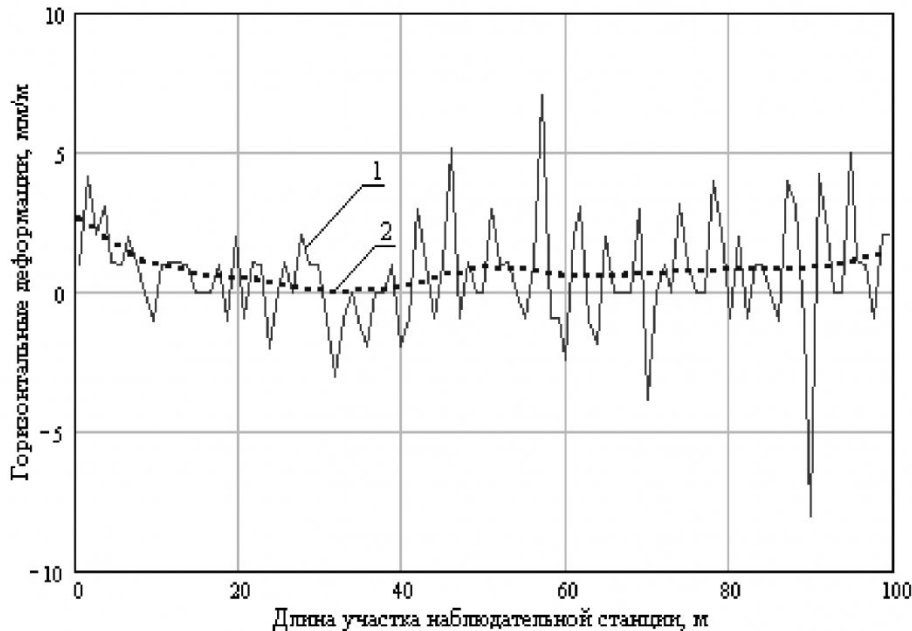


Рис. 1. Горизонтальные деформации поверхности шахты им. Дзержинского на участке наблюдательной станции № 207 с интервалом между реперами 1 м.

ний довольно полно описаны в работе [4], в которой, в частности, отмечено, что вопрос заложения оптимального интервала между реперами наблюдательных станций для получения параметров сдвижения земной поверхности остается открытым, так как природа дискретности процесса сдвижения и её параметры до конца не изучены. Инструкцией [5] рекомендованы интервалы измерений 10-20 м, однако при этом упускаются из вида деформации сосредоточенного характера (трещины, уступы), которые сглаживаются на больших интервалах.

В данной статье приведены два подхода к анализу сосредоточенных деформаций земной поверхности, выполненных на натурных наблюдениях на шахтах Прокопьевско-Киселевского района Кузбасса.

Рассмотрим натурные измерения, проводимые на шахте им. Дзержинского (наблюдательная станция № 207). На рис. 1 приведены горизонтальные деформации (кривая 1) средин интервалов непрерывного участка наблюдательной станции, где расстояние между реперами составляло 1 м.

Это типичный вид наблюдаемых сосредоточенных деформаций на шахтах Прокопьевско-Киселевского района. Если воспользоваться математической статистикой, можно получить с по-

ционарного случайного процесса [6].

Для выявления случайных и неслучайных составляющих горизонтальных деформаций в наблюдениях и оценки соотношений между ними вычислим автокорреляционную функцию  $R(k\Delta l)$  по известной методике [7]:

$$R(k\Delta l) = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (\varepsilon_i - \varepsilon_{CP}) \cdot (\varepsilon_{i+k} - \varepsilon_{CP});$$

$$k=0, 1, \dots, m \quad (m < n)$$

где  $\varepsilon_i$ ,  $\varepsilon_{CP}$  — текущее и среднее значения горизонтальных деформаций;  $n$  — количество наблюдений;  $m$  — число выводимых значений  $R(k\Delta l)$ ;  $\Delta l$  — шаг корреляции;  $l$  — текущее значение профильной линии.

При  $\Delta l = 0$  автокорреляционная функция равна дисперсии записи исследуемой деформации. Для удобства анализа вычислим нормированную автокорреляционную функцию:

$$R_H(k\Delta l) = \frac{R(k\Delta l)}{R(0)}$$

Нормированную автокорреляционную функцию в общем случае можно представить в виде:

$$R_H(k\Delta l) = \sum_{i=1}^v D_i \exp(-\alpha_i l) + \sum_{i=1}^q D_i \cos(\beta_i l) + \sum_{i=1}^z D_i \exp(-\alpha_i l) \cdot \cos(\beta_i l)$$

где первая сумма элементарных функций пред-

ставляет  $v$  случайных составляющих исследуемых деформаций, вторая сумма –  $q$  функций, описывающих чисто периодические колебания и третья сумма –  $z$  смешанных составляющих (затухающие колебания определенной частоты).

Вычисленная по деформациям на 100 метровом участке нормированная автокорреляционная функция наилучшим образом аппроксимируется выражением:

$$R_H(k\Delta l) = 0,77 \exp(-8,5l) + 0,13 \cos(1,64l) + 0,1 \cdot \cos(0,25l)$$

Анализ этого выражения показывает, что 77% всей дисперсии наблюдаемых деформаций вызваны случайными колебаниями и 23% - неслучайными (периодическими). Случайная составляющая имеет большой коэффициент затухания  $\alpha=8,5$ , что свидетельствует об отсутствии корреляционной зависимости между интервалами наблюдения деформаций по длине испытательной станции.

По частотам неслучайных составляющих определим периоды колебаний:  $T_i = 2\pi / \beta$ :

$$T_{i1} = \frac{2\pi}{1,64} = 3,8 \text{ м}; \quad T_{i2} = \frac{2\pi}{0,25} = 25,1 \text{ м.}$$

Это значит, что пики горизонтальных деформаций на исследуемом участке вызваны периодическими горизонтальными сдвигами земной поверхности, повторяющимися через 3,8 и 25,1 м.

Рассмотрим теперь кратко возможности сравнительно нового средства обработки функций, сигналов и изображений в прикладной математике с помощью вейвлетов. Вейвлеты - это обобщенное название особых функций, имеющих вид волновых пакетов той или иной формы, локализованных по оси независимой переменной ( $t$  или  $x$ ), способных к сдвигу по ней и масштабированию (сжатию, растяжению) [8]. Термин «вейвлет», введенный впервые Морле (J.Morlet), в переводе с английского означает «короткая или маленькая волна».

Не претендуя на математическую строгость, можно считать, что некоторый набор чисел, определенный как вектор в некотором пространстве  $V$ , представляет собой сигнал  $s(t)$  или  $s(x)$ . В теории вейвлетов часто используется бесконечно размерное гильбертово пространство  $L^2[\mathbb{R}]$ ,  $\mathbb{R} = (-\infty; +\infty)$ . Вейвлет-функции  $\Psi$ , принадлежащие пространству  $L^2[\mathbb{R}]$ , должны иметь нулевое среднее значение (интеграл) и затухать на бесконечности. Именно это свойство побудило считать вейвлеты короткими волнами. На основании понятия о векторном пространстве общепринятым подходом к анализу сигналов  $s(t)$  (или  $s(x)$ ) является их представление в виде взвешенной суммы простых составляющих - базисных функций  $\Psi_k(t)$ , помноженных на коэффициенты  $C_k$ :

$$s(t) = \sum_k C_k \Psi_k(t)$$

Поскольку базисные функции имеют вполне определенный заданный вид, то информацию о сигнале содержат только коэффициенты  $C_k$ .

Вейвлеты характеризуются своими временными и частотными образами. Временной образ определяется некоторой функцией времени  $\Psi(t)$ , а частотный образ задается её Фурье-образом  $\Psi(\omega) = F(\omega)$ , который определяет огибающую спектра вейвлета:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(t) \cdot e^{-i\omega t} dt$$

Фурье-образ смещен по оси времени и расположен вокруг некоторой ненулевой частоты  $\omega_0$ , которую можно рассматривать как среднюю круговую частоту вейвлета. Спектры многих вейвлетов напоминают всплеск, пик которого приходится на среднюю частоту  $\omega_0$ .

Одной из основополагающих идей вейвлет-представления сигналов является приближение сигнала путем разбивки его на две составляющие: аппроксимирующую (масштабирующую) или скейлинг-функцию  $\varphi(t)$  с единичным значением

интеграла  $\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(t) dt = 1$  и детализирующую

вейвлет-функцию  $\Psi(t)$  с нулевым значением ин-

теграла  $\int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(t) dt = 0$ .

Функции  $\varphi(t)$  имеют только ортогональные вейвлеты. Функция  $\Psi(t)$  используется для представления локальных участков сигнала  $s(t)$ , создается на основе базисной функции  $\Psi_0(t)$  и обеспечивает смещение по оси времени  $t - \Psi_0(t-b)$  при  $b \in \mathbb{R}$  и масштабирование  $- a^{-0,5} \Psi_0\left(\frac{t}{a}\right)$  при  $a > 0$  и  $a \in \mathbb{R}^+ - \{0\}$ , то есть  $\Psi(a, b, t) = a^{-0,5} \Psi_0\left(\frac{t-b}{a}\right)$ .

Параметр  $a$  определяет ширину пакета, а  $b$  - его положение. Для заданных  $a$  и  $b$  функция  $\Psi(t)$  и есть вейвлет.

В теории вейвлетов доказано [9], что ортогональными вейвлетами возможно точное восстановление сигнала, именуемое реставрацией, после прямого и обратного вейвлет-преобразований. Прямое вейвлет-преобразование можно рассматривать как разложение сигнала по всем возможным сдвигам и растяжениям-сжатиям. При этом параметры  $a$  и  $b$  могут принимать любые значения из области  $a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0$ . Вейвлет-коэффициенты определяются интегральным значением скалярного произведения сигнала на вейвлет-функцию заданного вида:

$$C(a, b) = \langle s(t), \Psi(a, b, t) \rangle = \int_{\mathbb{R}} s(t) a^{-0,5} \Psi_0\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$$

Обратное вейвлет-преобразование осуществляется по формуле реконструкции во временной области, используемой в программном комплексе Wavelet Toolbox:

$$s(t) = \frac{1}{K_\Psi} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty c(a,b) a^{-0.5} \Psi_0\left(\frac{t-b}{a}\right) \frac{da \cdot db}{a^2}$$

Здесь  $K_\Psi = C_\Psi$  – константа, определяемая функцией  $\Psi$ .

В общем случае для всех известных в практике вейвлетов можно считать, что вейвлет-преобразование на основе только детализирующей ортогональной вейвлет функции  $\Psi(t)$  способно восстановить (реконструировать), по крайней мере, тонкие детали временной зависимости сигнала  $s(t)$ . Для воспроизведения сигнала в целом приходится прибегать к применению аппроксимирующей функции  $\varphi(t)$ , называемой «отцовским вейвлетом». Ортогональные вейвлеты можно создать на представлении пространства сигналов  $V$  в виде системы вложенных подпространств  $V_j$ , отличающихся друг от друга только перемасштабированием независимой переменной. Основанный на этом представлении анализ называется кратномасштабным вейвлет-анализом. Здесь предполагается, что вложенные подпространства  $V_j$  не пересекаются и объединение их дает в пределе  $L^2(\mathbb{R})$ ; для любой функции  $s(t) \in V_j$  ее сжатая версия принадлежит пространству  $V_{j-1}$ ; если существует такая функция  $\varphi(t) \in V_0$ , для которой её сдвиги  $\varphi_{0,j}(t) = \varphi(t-k)$  при  $k \in \mathbb{Z}$  образуют ортонормированный базис пространства  $V_0$ . Эти скейлинг-функции называются масштабирующими, а пере-

менная  $j$  – масштабным коэффициентом. Сигнал  $s(t)$  есть предел аппроксимации  $s_j(t) \in V_j$ , то есть  $s(t) = \lim_{j \rightarrow \infty} s_j(t)$ .

Аппроксимация сигнала осуществляется по итерационной формуле:

$$s_j(t) = \sum_j C(j,k) \varphi_{j,k}(t), \text{ причем}$$

$$\varphi_{0,0}(t) = 2 \sum_k h_k \varphi(2t-k)$$

где  $h_k$  – некоторая последовательность коэффициентов.

Кратномасштабное представление сигналов лежит в основе многих применений вейвлет-анализа и вейвлет-преобразований. Для создания грубого образа сигнала служит функция  $\varphi(t)$ , а уточнение этого образа достигается с помощью вейвлет-функции  $\Psi(t)$  или вейвлет-коэффициентов. Сумма приближенной и детализирующей составляющих и дает точный исходный сигнал или с некоторым приближением. Приближение понимается в смысле минимума среднеквадратической погрешности восстановления.

Полное восстановление сигнала при прямом и обратном вейвлет-преобразованиях возможно, если для целых  $k$  существуют такие коэффициенты  $\{h_k\}$ , что выполняется условие:

$$\varphi\left(\frac{t}{2}\right) = \sqrt{2} \sum_k h_k \varphi(t-k).$$

Это уравнение является одним из важнейших в теории вейвлет-анализа и называется уравнением масштабирования.

Вейвлет-анализ стал возможным для практи-

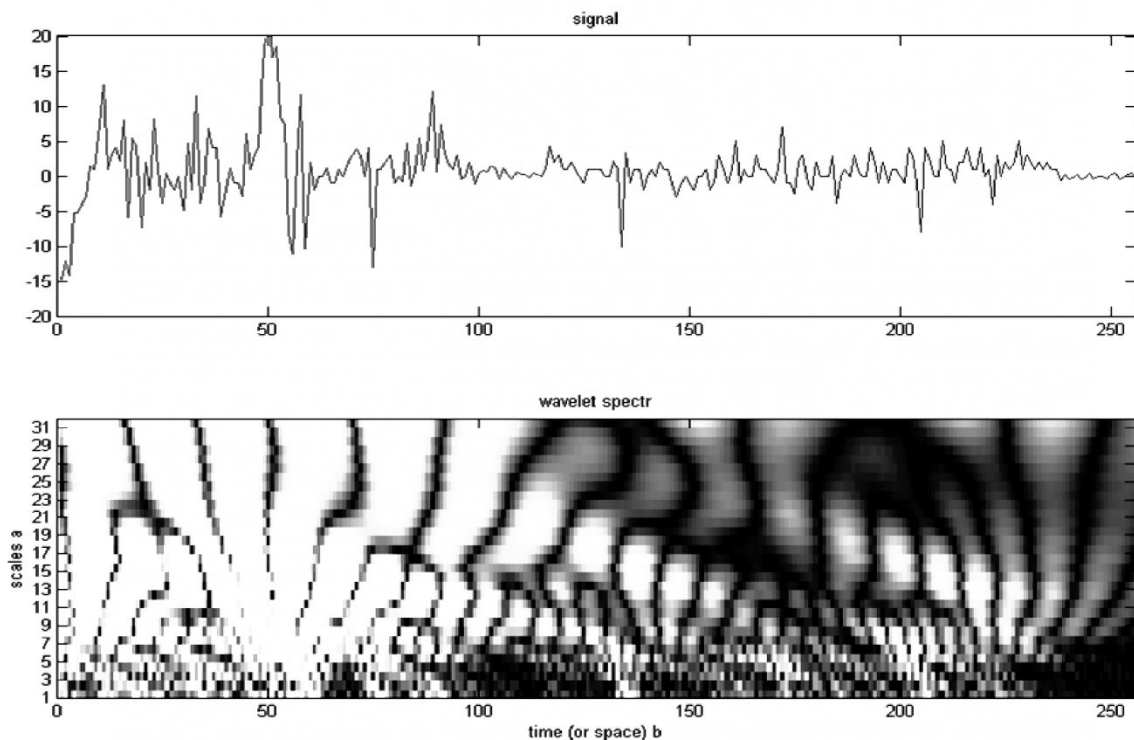


Рис.2. Горизонтальные деформации земной поверхности и их вейвлет-спектрограмма.

ческого применения благодаря разработанным мощным средствам компьютерной математики, таким как Mathcad, MATLAB, Mathematica и др.

На рис.2 представлены горизонтальные деформации земной поверхности (вверху рисунка), зафиксированные на всей длине наблюдательной станции №207, и вейвлет-спектрограмма (внизу рисунка) этих деформаций, полученная реализацией функции cwt системы MATLAB.

Спектрограмма представляет собой изменение коэффициентов вейвлет-представления по длине наблюдения и открывает уникальные возможности в распознавании тонких особенностей рас-

сматриваемых деформаций. Младшие коэффициенты описывают более высокие частоты и особенности наблюдения.

Нетрудно заметить, что выявленные с помощью корреляционного анализа периодические колебания горизонтальных деформаций проявились на вейвлет-спектрограмме и составляют незначительную часть информации, которую можно получить при её анализе.

Более детальную качественную и количественную характеристику вейвлет-преобразования деформаций можно получить реализацией других функций и утилит системы MATLAB.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варлашкин В.М. Влияние длины интервала между реперами на определение максимальных значений деформаций. – Тр. ВНИМИ, 1957, №31. С. 62 – 66.
2. Петухов И.А., Чепенко Л.П. Учет дискретности процесса сдвижения при прогнозировании деформаций земной поверхности. – Тр. ВНИМИ, 1980, сб. «Сдвижение земной поверхности и устойчивость откосов». С. 10 – 17.
3. Абельсеитов К.Б. Определение оптимальной длины интервала наблюдений при дискретном характере процесса сдвижения. – Тр. ВНИМИ, 1980, сб. «Сдвижение земной поверхности и устойчивость откосов». С. 18 – 19.
4. Ягунов А.С. Закономерности сдвижения горных пород в Кузбассе. – СПб.: ВНИМИ, 2000. – 304 с.
5. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях. – М.: Недра, 1989. –97 с.
6. Вентцель А.Д. Курс теории случайных процессов. – М.: Наука, 1975. – 319 с.
7. Солодовников В.В. и др. Вычислительная техника в применении к статистическим исследованиям в автоматике. – М.: Машгиз, 1963. – 300 с.
8. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. – М.: СОЛОН - Р, 2002. – 448 с.
9. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. – М.: R&Dynamics, 2001. – 464 с.

Поступило в редакцию 17.09.2015

UDC 622. 834

## THE METHODS OF ANALYSIS OF DISCRETE EARTH'S SURFACE DISPLACEMENTS IN THE COAL-BED DEVELOPMENT

**Bykadorov Aleksey I.**<sup>1</sup>,

C.Sc (Engineering), Director General, e-mail: aibykadorov@mail.ru

**Larichkin Petr M.**<sup>1</sup>,

C.Sc (Engineering), Head of the Department, e-mail: larichkin.petr@yandex.ru

**Svirko Sergey V.**<sup>2</sup>,

Postgraduate, e-mail: svirko@ngs.ru

**Aleksey A. Renev**<sup>2</sup>,

Dr.Sc (Engineering), Professor, e-mail: raa@kuzstu.ru

<sup>1</sup> Siberian Institute of Geotechnical Investigations, 4 street Karl Liebknecht, Prokopyevsk, 653000, Russian Federation

<sup>2</sup>T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

### Abstract.

*The urgency of the discussed issue: The development of coal seams may be accompanied by discontinuities undermined earth's surface with the appearance of concentrated deformations. The rating process of discrete*



*displacements is special section in the theory of rocks movement. There are no unambiguous interpretation of the discrete nature and the methods of discrete analysis.*

**The main aim of the study:** *The study's object is methodological developing for analysis of discrete displacement of the undermined earth's surface.*

**The methods used in the study:** *If the distance between the reference points is not more than 5 meters than the discrete process of Earth's surface displacement is revealed. It is shown that the concentrated deformation analysis can be produced by the theory of random functions and wavelet transforms.*

**The results:** *The methods of the theory of random numbers revealed the presence of random and nonrandom (periodic) components in the Earth's surface deformations character. Their quantitative assessment is made. The using of method of wavelet transforms has staging character. Analyses carried out on field observations made in the mines of Kuzbass coal region.*

**Key words:** *undermined daylight surface, field measurements, discrete process of displacements, concentrated deformations, methods of analysis*

## REFERENCES

1. Varlashkin V.M. Vliyanie dliny intervala mezhdru reperami na opredelenie maksimal'nykh znacheniy deformatsiy [Effect of the length of the interval between the reference points to determine the maximum strain]. – Tr. VNIMI [Bulletin of VNIMI], 1957, Vol.31. P. 62 – 66.
2. Petukhov I.A., Chepenko L.P. Uchet diskretnosti protsessa sdvizheniya pri pro-gnozirovanii deformatsiy zemnoy poverkhnosti [Account for the discrete process of displacement in the prediction of daylight's surface deformation]. – Tr. VNIMI [Bulletin of VNIMI], 1980, sb. «Sdvizhenie zemnoy poverkhnosti i ustoychivost' otkosov» [Displacement of the daylight's surface and slope stability]. P. 10 – 17.
3. Abel'seitov K.B. Opredelenie optimal'noy dliny intervala nablyudeniya pri diskretnom kharaktere protsessa sdvizheniya [Determining the optimal length of the interval of observations at discrete nature of the process of displacement]. – Tr. VNIMI [Bulletin of VNIMI], 1980, sb. «Sdvizhenie zemnoy poverkhnosti i ustoychivost' otkosov» [Displacement of the daylight's surface and slope stability]. P. 18 – 19.
4. Yagunov A.S. Zakonomernosti sdvizheniya gornykh porod v Kuzbasse [The regularities of rocks displacement in Kuzbass]. – SPb.: Publishing of VNIMI, 2000. – 304 P.
5. Instruktsiya po nablyudeniya za sdvizheniem gornykh porod, zemnoy poverkhnosti i podrabatyvaemymi sooruzheniyami na ugol'nykh i slantsevykh mestorozhdeniyakh [Instruction for observations of strata movement, the daylight's surface and undermined constructions at coal and shale deposits]. – M.: Nedra [Publishing house “Nedra”], 1989. – 97 P.
6. Venttsel' A.D. Kurs teorii sluchaynykh protsessov [Course of the theory of stochastic processes]. – M.: Nauka [Publishing house “Science”], 1975. – 319 P.
7. Solodovnikov V.V. i dr. Vychislitel'naya tekhnika v primenenii k statisticheskim issledovaniyam v avtomatike [Computers for statistical research in automation]. – M.: Mashgiz [Publishing house “Mashgiz”], 1963. – 300 P.
8. D'yakonov V.P. Veyvlety. Ot teorii k praktike [Wavelets. From theory to practice]. – M.: SOLON [Publishing house “SOLON”] - R, 2002. – 448P.
9. Dobeshi I. Desyat' lektsiy po veyvletam [Ten lectures on wavelets]. – M.: R&Dynamics [Publishing house “R&Dynamics”], 2001. – 464 P.

*Received 17 September 2015*

УДК 622.831; 622.2; 622.235

## ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ВНЕДРЕНИЯ НОВОГО ВАРИАНТА СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ НА ШЕРЕГЕШЕВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Еременко Андрей Андреевич<sup>1</sup>,  
доктор техн. наук, проф., зам. директора по научной работе. E-mail: eremenko@ngs.ru  
Мельниченко Владимир Федорович<sup>2</sup>,  
управляющий директор e-mail: Vladimir.Melinichenko2@evraz.com  
Башков Владимир Иванович<sup>3</sup>,  
главный инженер e-mail: Vladimir.Bashkov@evraz.com  
Гахова Лидия Николаевна<sup>1</sup>,  
старший научный сотрудник E-mail: gahoval@mail.ru

<sup>1</sup> Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, Россия, 630091, г. Новосибирск, Красный проспект, 54.

<sup>2</sup> ОАО "Евразруда", 654027, Новокузнецк, пр. Курако, 49а;

<sup>3</sup> ОАО "Евразруда", 654027, Новокузнецк, пр. Бардина, 49а.

***Аннотация:** Выполнена геомеханическая оценка варианта отработки Юго-Западного рудного тела участка Новый Шерегеш Шерегешевского железорудного месторождения. Согласно стратегии реконструкции рудника отработка запасов предусматривается с применением этажно-камерной системы разработки с шахматным расположением выемочных камер и междукамерных целиков. Для указанной системы разработки установлены закономерности формирования напряженно-деформированного состояния массива в районе очистной выемки камер и последующей отработки целиков, свидетельствующие о формировании в рудном массиве повышенных напряжений, превосходящих предел прочности рудного массива на сжатие, и зон неупругих деформаций, что может потребовать принятия дополнительных мер для обеспечения безопасной выемки рудных запасов. Предложен альтернативный вариант развития горных работ, заключающийся в изменении порядка отработки камер. Приведены результаты оценки напряженно-деформированного состояния массива при развитии работ на первой стадии «в линию» и при последующей корректировке порядка очистной выемки, позволяющей снизить риск развития неупругих деформаций в рудном массиве. Представлен один из вариантов порядка отработки запасов.*

***Ключевые слова:** Массив горных пород, месторождение, система разработки, напряжение, деформация, блок, закладка, целик*

### Введение

Необходимость роста темпов освоения Шерегешевского железорудного месторождения привела к решению о переходе на новые технологические решения, заключающиеся в отказе от применения переносного оборудования и переходе к выемке запасов с помощью современного высокопроизводительного самоходного оборудования. Потребовались изменения технологических схем выемки руды, в том числе, изменения систем разработки, схем вскрытия и подготовки запасов на основных и подэтажных горизонтах, организации работ и другие мероприятия [1].

В рамках реализации предложенной ОАО "Уралмеханобр" стратегии реконструкции Шерегешевского рудника по согласованию с техническим руководством ОАО "Евразруда" для проверки технологических решений в производственных условиях организовано проведение опытно-промышленные испытания (ОПИ) по внедрению новых вариантов систем разработки с применением высокопроизводительного оборудования. В

качестве опытно-промышленного участка было выбрано Юго-Западное рудное тело, расположенное на участке Новый Шерегеш. В проекте ОПИ предложена этажно-камерная система разработки с шахматным расположением выемочных камер и междукамерных целиков (рис. 1), а также рассматриваются вопросы обоснования параметров систем разработки и проведения опытной отработки запасов руды.

Целью данной работы является оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород Юго-Западного рудного тела участка Новый Шерегеш при выемке запасов руды с применением выше указанной системой разработки для принятия технологических решений, обеспечивающих повышение безопасности и эффективности ведения очистных работ.

### Геологическая, горнотехническая и геомеханическая характеристика

#### Юго-Западного рудного тела участка Новый Шерегеш

Горно-геологические условия эксплуатации

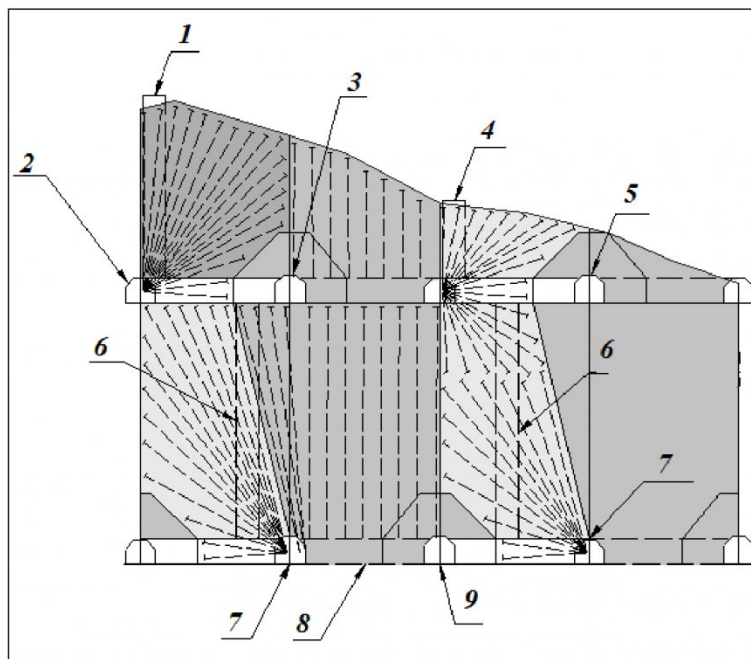


Рис. 1. Схема с шахматным расположением камер и обработкой запасов одновременно на всю мощность рудного тела: 1 — отрезной восстающий верхнего подэтажа камеры; 2 — подэтажный буровой штрек камеры; 3 — подэтажный транспортный штрек; 4 — отрезной восстающий верхнего подэтажа камеры; 5 — подэтажный транспортный штрек; 6 — отрезной восстающий нижнего подэтажа камеры; 7 — буровой штрек камеры; 8 — буровой орт целика; 9 — транспортный штрек

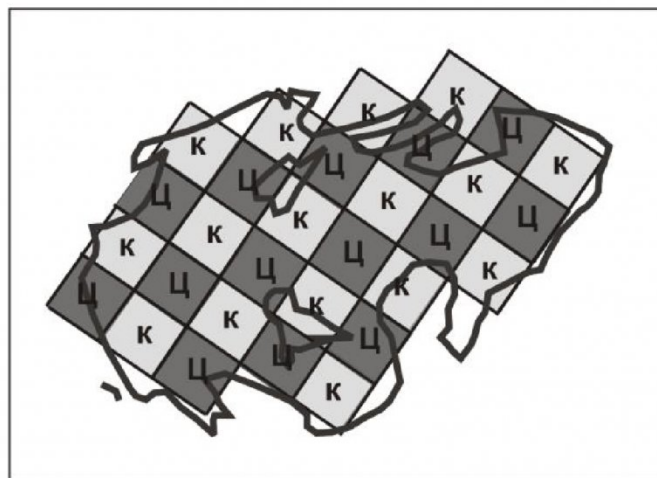


Рис. 2. Схема раскроя запасов Юго-Западного рудного тела при шахматном расположении камер (К) и целиков (Ц)

участка залежи определяются сложностью геологической структуры. Характерной особенностью рудного поля Шерегешевского месторождения является то, что рудовмещающая толща пород его сложена преимущественно породами (скарнами, диоритами, порфиритами и т. д.), крепость и упругие характеристики которых больше, чем у руды (до 1,5 раз), при том что руды имеют достаточно высокую прочность. Вмещающие породы и руды трещиноваты и относятся к III классу устойчивости. Текстура руд массивная. Обводненность слабая.

Данные о физико-механических свойствах горных пород и руд участка Новый Шерегеш,

представленные табл. 1, свидетельствуют о том, что прочность на сжатие горных пород колеблется от 1013 до 2404 кг/см<sup>2</sup>; коэффициент крепости по Протодяконову — от 8 до 21.

С горизонта +255 м и ниже Шерегешевское месторождение отнесено к опасным по горным ударам [2, 3]. Руды и вмещающие породы месторождения прочные, высокомодульные, хрупко разрушаются под нагрузкой, и способны накапливать значительную упругую энергию деформаций. Главными факторами, способствующими возникновению удароопасной ситуации, являются: глубина отработки, слепое залегание рудных тел, блочная тектоническая структура и разнородная