

УДК 622.333.007.5

С.О. Кузьменко, А.В. Вильгельм

**АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ПАРАМЕТРОВ
СОСТОЯНИЯ ГОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-МЕТОДОВ
ОБРАБОТКИ ДАННЫХ**

Одной из основных проблем на предприятиях с подземной добычей полезных ископаемых остается обеспечение контроля и управления безопасностью ведения горных работ. Одно из направлений возможного решения этой проблемы – анализ и прогноз опасных состояний горно-технологического объекта на основе современных методов обработки данных, одним из которых является вейвлет-преобразование. Для решения поставленной задачи необходимо наличие полной, достоверной и своевременной информации о горно-технологическом объекте, которая является источником исходных данных для анализа и последующего прогноза контролируемых параметров.

На подавляющем большинстве российских угольных шахт и рудников сбор информации о горно-технологических объектах в единую информационную систему осуществляется современными компьютерными шахтными информационно-управляющими системами (ШИУС). Но лишь небольшая часть ШИУС имеет реализацию, позволяющую на основе единичных сигналов производить оценку текущего состояния горно-технологического объекта и осуществлять построение простых прогнозов его дальнейшего поведения. Использование же современных вейвлет-методов обработки данных позво-

ляет проводить комплексную обработку всего информационного потока, характеризующего состояние горно-технологического объекта.

Так, в [1] рассматриваются возможности методов обработки данных на основе частотно-временного вейвлет-преобразования, позволяющие проводить разномасштабный анализ всех типов сигналов ШИУС. При этом необходимо отметить появляющуюся возможность одновременного полного отображения данных в масштабно-временной плоскости, что позволяет «разглядеть» различные свойства сигнала, которые невозможно выделить при его обычном представлении. Там же показано, что вейвлет-преобразование может быть использовано для обработки сигналов ШИУС, характеризующих основные параметры состояния горно-технологического объекта, среди которых наиболее важными, с точки зрения безопасности ведения горных работ, являются параметры состояния шахтной атмосферы.

К основным параметрам состояния шахтной атмосферы, от которых во многом зависит безопасность на горно-технологическом объекте, и которые являются обязательными для контроля, относятся: концентрация метана, скорость воздушного потока (расхода воздуха) и концентрация оксида углерода. Используя данные, соби-

раемые и накапливаемые ШИУС, можно установить, какие факторы и в какой степени оказывают влияние на состояние шахтной атмосферы. Так, на скорость воздушного потока (расход воздуха) в шахте (на участке) оказывают влияние работа и производительность вентиляторов главного (ВГП) и местного (ВМП) проветривания, положение дверей вентиляционных шлюзов, различного рода утечки воздуха. На концентрацию метана в шахте или на участке оказывают влияние такие основные технологические факторы как работа и производительность очистных и проходческих комплексов, работа и производительность ВГП, ВМП, газотсасывающих и дегазационных установок, положение дверей вентиляционных шлюзов, утечки воздуха и т. д. Все эти факторы могут и должны учитываться имеющимися техническими средствами современных ШИУС.

Очевидно, и многими исследователями доказано, что основным фактором оказывающим влияние на содержание метана в шахтной атмосфере, является работа и производительность очистных и проходческих комплексов. Для оценки наличия взаимосвязи и величины влияния работы комплексов на концентрацию метана в шахтной атмосфере проведем обработку выборок соответствующих сигналов на масштабе, позволяющем выявить 6-8-ми часовые периодичности. Используем данные, полученные ШИУС «Микон 1Р» в лаве 31-73 на шахте ОАО «Шахта Первомайская» ОАО «УК Кузбассуголь». Рассмотрим выборку $\{s_k^1\}$ сигнала $s_1(t)$ датчика метана, установленного на исходящей струе очистной выработки, на вентиляционном штреке в 10-20 м от очистного забоя, и выборку $\{s_k^2\}$ сигнала $s_2(t)$ датчика работы очистного комбайна. Для визуальной наглядности выберем временной интервал t продолжительностью пять суток содер-

жащий 7200 отсчетов с шагом $\Delta t = 60$ секунд. Графики изменения сигналов $s_1(t)$ и $s_2(t)$ в выборках $\{s_k^1\}$ и $\{s_k^2\}$ представлены на рис. 1.

Для анализа сигналов $s_1(t)$ и $s_2(t)$ используем непрерывное вейвлет-преобразование которое обеспечит избыточность, связанную с непрерывным изменением масштабного коэффициента a и параметра сдвига b .

Итак, $s_1(t)$ и $s_2(t)$ – сигналы с датчика метана и датчика работы очистного комбайна соответственно. Тогда ψ_1 и ψ_2 – вейвлеты для преобразования аналогового сигнала с датчика метана и дискретного сигнала с датчика работы очистного комбайна. При непрерывном преобразовании вейвлет-коэффициенты сигналов $s_1(t)$ и $s_2(t)$, соответствующие масштабным коэффициентам a_1, a_2 и параметрам сдвига b_1, b_2 , определяются формулами:

$$C_{a_1, b_1}^1 = W_1[f](a_1, b_1) = \frac{1}{\sqrt{a_1}} \int_{-\infty}^{\infty} s_1(t) \overline{\psi_1\left(\frac{t-b_1}{a_1}\right)} dt, \quad (1)$$

$$C_{a_2, b_2}^2 = W_2[f](a_2, b_2) = \frac{1}{\sqrt{a_2}} \int_{-\infty}^{\infty} s_2(t) \overline{\psi_2\left(\frac{t-b_2}{a_2}\right)} dt. \quad (2)$$

Так как сигналы $s_1(t)$ и $s_2(t)$, заданные выборками значений $\{s_k^1\}$ и $\{s_k^2\}$, являются дискретными, то в качестве $s_1(t)$ и $s_2(t)$ примем кусочно-постоянные функции, определенные следующим образом:

$$s_1(t) = s_1(k_1 \Delta t) = s_k^1, \text{ при } t \in [k_1 \Delta t, (k_1 + 1) \Delta t), \quad (3)$$

$$s_2(t) = s_2(k_2 \Delta t) = s_k^2, \text{ при } t \in [k_2 \Delta t, (k_2 + 1) \Delta t). \quad (4)$$

Возьмем вейвлет $\psi_d(t)$ с компактным носителем на промежутке $[0, M]$ и его первообразную $\Psi(t)$. Поскольку аргумент t пробегает значения с шагом Δt , то используем вейвлет. $\psi(t) = \psi_d(t/\Delta t)$ с носителем на промежутке $[0, M\Delta t]$.

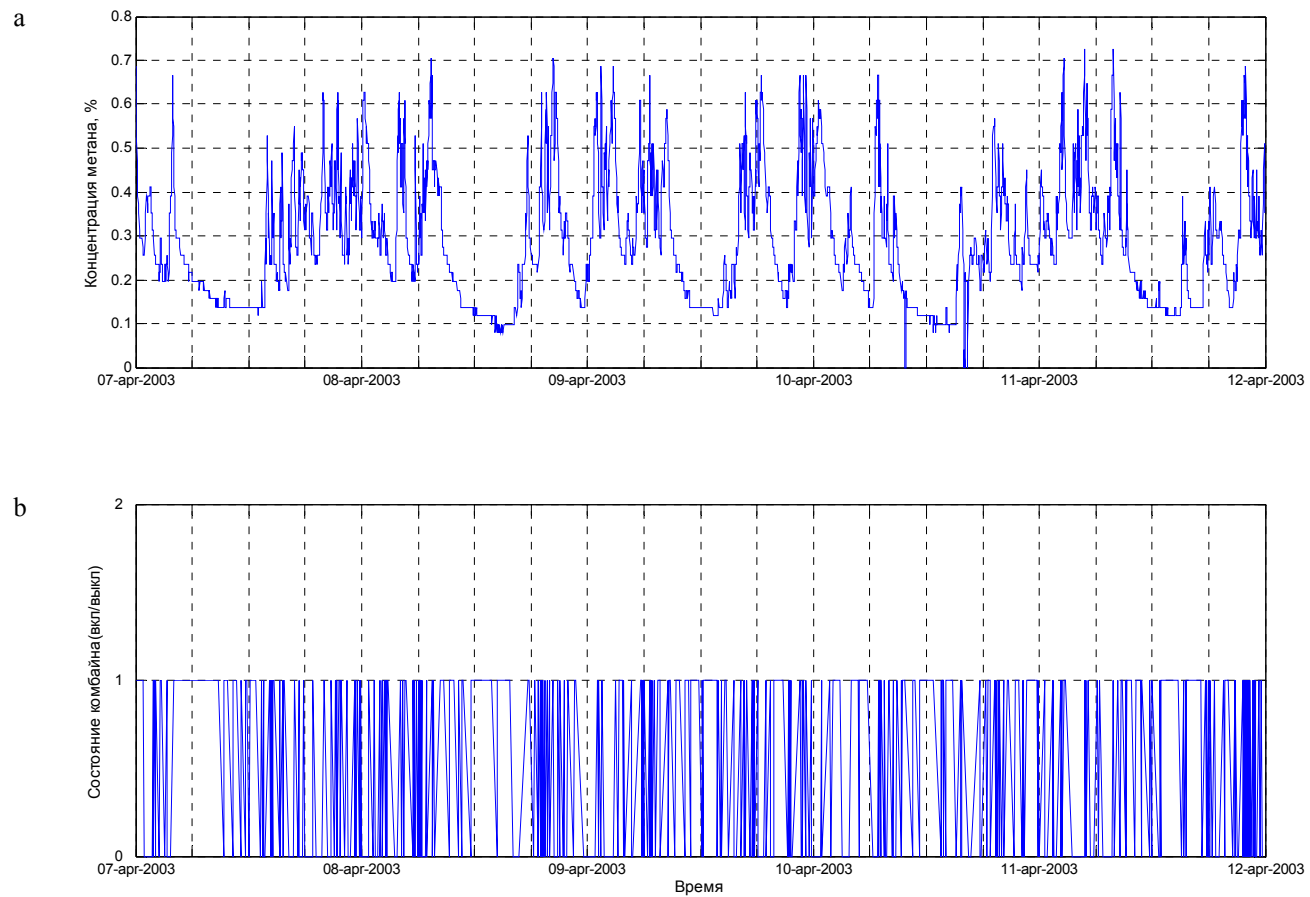


Рис. 1. Графики изменение концентрации метана и работы очистного комбайна ш. Первомайская, лава 31-73 (07.04.2003-11.04.2003 г.)

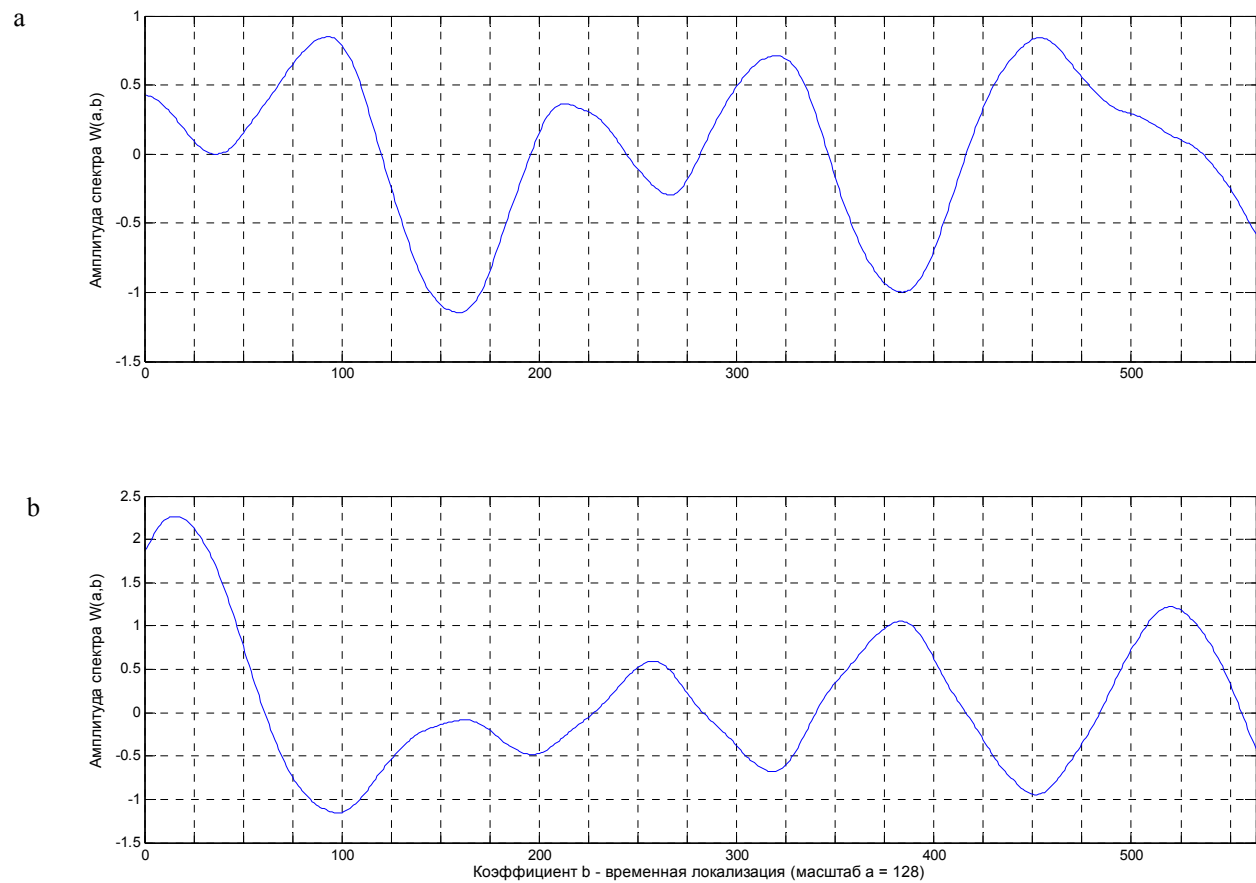


Рис. 2. Графики зависимости масштабного-временного спектра $W(a,b)$ от вейвлет-коэффициентов временной локализации b для сигналов датчика метана (а) и датчика очистного комбайна (б) соответственно (07.04.2003-11.04.2003 г.)

Носитель вейвлета $\tilde{\psi}\left(\frac{t-b}{a}\right)$ находится на промежутке $[b, b+aN\Delta t]$. Найдем коэффициенты C_{a_1, b_1}^1 и C_{a_2, b_2}^2 при $b_1 = n_1\Delta t$ и $b_2 = n_2\Delta t$:

$$\begin{aligned} C_{a_1, b_1}^1 &= \frac{1}{\sqrt{a_1}} \int_{-\infty}^{\infty} f_1(t) \overline{\tilde{\psi}_1\left(\frac{t-b_1}{a_1}\right)} dt = \\ &= \frac{1}{\sqrt{a_1}} \int_{n_1\Delta t}^{n_1\Delta t + a_1 N \Delta t} f_1(t) \overline{\tilde{\psi}_1\left(\frac{t-b_1}{a_1}\right)} dt = \\ &= \frac{1}{\sqrt{a_1}} \sum_{k_1 \geq n_1} \int_{k_1\Delta t}^{(k_1+1)\Delta t} f_1(t) \overline{\tilde{\psi}_1\left(\frac{t-b_1}{a_1}\right)} dt = \\ &= \frac{1}{\sqrt{a_1}} \sum_{k_1=n_1}^{k_1=n_1+[a_1N]+1} s_{k_1}^{(k_1+1)\Delta t} \overline{\tilde{\psi}_1\left(\frac{t-b_1}{a_1}\right)} dt, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} C_{a_2, b_2}^2 &= \frac{1}{\sqrt{a_2}} \int_{-\infty}^{\infty} f_2(t) \overline{\tilde{\psi}_2\left(\frac{t-b_2}{a_2}\right)} dt = \\ &= \frac{1}{\sqrt{a_2}} \int_{n_2\Delta t}^{n_2\Delta t + a_2 N \Delta t} f_2(t) \overline{\tilde{\psi}_2\left(\frac{t-b_2}{a_2}\right)} dt = \\ &= \frac{1}{\sqrt{a_2}} \sum_{k_2 \geq n_2} \int_{k_2\Delta t}^{(k_2+1)\Delta t} f_2(t) \overline{\tilde{\psi}_2\left(\frac{t-b_2}{a_2}\right)} dt = \\ &= \frac{1}{\sqrt{a_2}} \sum_{k_2=n_2}^{k_2=n_2+[a_2N]+1} s_{k_2}^{(k_2+1)\Delta t} \overline{\tilde{\psi}_2\left(\frac{t-b_2}{a_2}\right)} dt. \end{aligned} \quad (6)$$

Вычислим интегралы

$$\int_{k_1\Delta t}^{(k_1+1)\Delta t} \overline{\tilde{\psi}_1\left(\frac{t-b_1}{a_1}\right)} dt \text{ и } \int_{k_2\Delta t}^{(k_2+1)\Delta t} \overline{\tilde{\psi}_2\left(\frac{t-b_2}{a_2}\right)} dt, \text{ сделав несколько}$$

замен переменных.

$$\begin{aligned} &\int_{k_1\Delta t}^{(k_1+1)\Delta t} \overline{\tilde{\psi}_1\left(\frac{t-b_1}{a_1}\right)} dt = \\ &= a_1 \Delta t \int_{k_1/a_1 - b_1/(a_1\Delta t)}^{(k_1+1)/a_1 - b_1/(a_1\Delta t)} \psi_1^1(y) dy = \\ &= a_1 \Delta t \left(\Psi_1\left(\frac{k_1+1}{a_1} - \frac{b_1}{a_1\Delta t}\right) - \Psi_1\left(\frac{k_1}{a_1} - \frac{b_1}{a_1\Delta t}\right) \right) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} &\int_{k_2\Delta t}^{(k_2+1)\Delta t} \overline{\tilde{\psi}_2\left(\frac{t-b_2}{a_2}\right)} dt = \\ &= a_2 \Delta t \int_{k_2/a_2 - b_2/(a_2\Delta t)}^{(k_2+1)/a_2 - b_2/(a_2\Delta t)} \psi_2^2(y) dy = \\ &= a_2 \Delta t \left(\Psi_2\left(\frac{k_2+1}{a_2} - \frac{b_2}{a_2\Delta t}\right) - \Psi_2\left(\frac{k_2}{a_2} - \frac{b_2}{a_2\Delta t}\right) \right) \end{aligned} \quad (8)$$

где $\Psi_1(t)$ и $\Psi_2(t)$ – первообразные вейвлетов $\psi_1^1(t)$ и $\psi_2^2(t)$ соответственно. Таким образом,

$$\begin{aligned} C_{a_1, b_1}^1 &= \frac{1}{\sqrt{a_1}} \sum_{k_1 \geq n_1} s_{k_1}^{(k_1+1)\Delta t} \overline{\tilde{\psi}_1\left(\frac{t-b_1}{a_1}\right)} dt = \\ &= \sqrt{a_1} \Delta x \sum_{k_1=n_1}^{k_1=n_1+[a_1N]+1} s_{k_1}^1 c_k^1(a_1, b_1), \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} C_{a_2, b_2}^2 &= \frac{1}{\sqrt{a_2}} \sum_{k_2 \geq n_2} s_{k_2}^{(k_2+1)\Delta t} \overline{\tilde{\psi}_2\left(\frac{t-b_2}{a_2}\right)} dt = \\ &= \sqrt{a_2} \Delta x \sum_{k_2=n_2}^{k_2=n_2+[a_2N]+1} s_{k_2}^2 c_k^2(a_2, b_2), \end{aligned} \quad (10)$$

где $b_1 = n_1\Delta t$, $b_2 = n_2\Delta t$, а коэффициенты c_k^1 и c_k^2 имеют вид:

$$\begin{aligned} c_k^1(a_1, b_1) &= \left(\Psi_1\left(\frac{k_1+1}{a_1} - \frac{b_1}{a_1\Delta t}\right) - \right. \\ &\left. - \Psi_1\left(\frac{k_1}{a_1} - \frac{b_1}{a_1\Delta t}\right) \right) = \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} &= \Psi_1\left(\frac{k_1+1-n_1}{a_1}\right) - \Psi_1\left(\frac{k_1-n_1}{a_1}\right), \\ c_k^2(a_2, b_2) &= \left(\Psi_2\left(\frac{k_2+1}{a_2} - \frac{b_2}{a_2\Delta t}\right) - \right. \\ &\left. - \Psi_2\left(\frac{k_2}{a_2} - \frac{b_2}{a_2\Delta t}\right) \right) = \\ &= \Psi_2\left(\frac{k_2+1-n_2}{a_2}\right) - \Psi_2\left(\frac{k_2-n_2}{a_2}\right). \end{aligned} \quad (12)$$

В результате проведения непрерывного вейвлет-преобразования сигналов $s_1(t)$, $s_2(t)$ по описанной методике были получены масштабнo-временные спектры или вейвлет-спектры $W_1(a_1, b_1)$, $W_2(a_2, b_2)$ коэффициентов вейвлет-преобразования a_1 , a_2 и b_1 , b_2 , характеризующие временной масштаб и временную локализацию.

Для анализа выборок $\{s_k^1\}$ и $\{s_k^2\}$ сигналов $s_1(t)$ и $s_2(t)$ на выбранном масштабе $a_1 = a_2 = 128$ были построены графики зависимости $W_1(a_1, b_1)$ от b_1 и $W_2(a_2, b_2)$ от b_2 (рис. 2), на которых явно видны периодичности различной амплитуды. Анализ графика $W_1(a_1, b_1)$ от b_1 датчика метана (рис. 2, а) и его сравнение с выборкой $\{s_k^1\}$ исходного сигнала $s_1(t)$ (рис. 1, а) позволили установить, что положительные полупериоды графика соответствуют повышению концентрации в добычные смены, а отрицательные полупериоды соответствуют ремонтным сменам, проводимым ежедневно. Анализ графика $W_2(a_2, b_2)$ от b_2 датчика работы комбайна (рис. 2, б) и его сравнение с графиком $W_1(a_1, b_1)$ от b_1 датчика метана (рис. 2, а) наглядно демонстрирует наличие ярко выраженной взаимосвязи между состоянием очистного комбайна и величиной концентрации метана в исходящей струе очистного участка. Отрицательные полупериоды на графике $W_2(a_2, b_2)$ от b_2 датчика работы комбайна (рис. 2, б), соответствующие периодам работы комбайна, совпадают с положительными полупериодами графика $W_1(a_1, b_1)$ от b_1 датчика метана, соответствующим повышению концентрации метана. Установленные соответствия работы добычного комбайна и повышения кон-

центрации метана совпадают как по началу интервалов, так и по их продолжительности. Необходимо отметить, что данная зависимость, выявленная при помощи метода разномасштабного вейвлет-анализа, абсолютно не видна при сопоставлении и анализе графиков исходных сигналов, что позволяет сделать вывод о целесообразности и перспективности применения данной методики для анализа сигналов ШИУС. Используя предлагаемую методику анализа взаимосвязи сигналов для разных масштабов коэффициента вейвлет-преобразования, можно выявить наличие и степень влияния других факторов, контролируемых ШИУС, на основные параметры, характеризующие безопасность ведения работ на горно-технологическом объекте.

При анализе влияния нескольких технологических факторов на один параметр, для каждого фактора могут быть применены весовые коэффициенты, характеризующие наличие и степень его влияния на конкретный параметр. В этом случае можно говорить о возможности разработки метода фильтрации влияния отдельных факторов на конкретный параметр с целью получения его исходного состояния, например, естественное метановыделение угольного пласта не зависящее от влияния технологических процессов и режимов проветривания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вильгельм А.В. Повышение эффективности шахтных информационно-управляющих систем на основе вейвлет-методов обработки данных.

2. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB / Смоленцев Н.К. // М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с. **PLAB**

Коротко об авторах

Кузьменко С.О. – аспирант,
Вильгельм А.В. – кандидат технических наук, ассистент,
Уральский государственный горный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 22 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. А.В. Ляхомский.