

УДК 622.276.346.2

Смекалин Е. С., *Кулакова С. И., Павлов В. И.
Донбасский государственный технический университет
*E-mail: kulakova_si@mail.ru

МЕТОДИКА ШАХТНЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ И УГЛЕДОБЫЧИ НА ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКАХ

Разработана методика шахтных наблюдений за процессами угледобычи механизированными комплексами, формирования метанообильности и геомеханическими процессами в выработанном пространстве. Предложена оценка интенсивности геомеханических процессов показателями акустической эмиссии, регистрируемой аппаратурой ЗУА-98. Обоснованы характеристики временных рядов, отражающие особенности процессов метановыделения в шахтных условиях.

Ключевые слова: методика, угледобыча, механизированный комплекс, технологические процессы, метанообильность, геомеханические процессы, акустическая эмиссия, параметры временных рядов.

На газоносных пластах техническая производительность современных механизированных комплексов ограничивается требованиями газовой безопасности и регламентируется в условиях Донбасса Руководством по проектированию вентиляции угольных шахт [1], со времени ввода в использование которого прошло почти 30 лет. За это время производительность выемочной техники возросла более чем в 2 раза, глубина ведения горных работ достигла 900–1400 м и, соответственно, усилились метановыделение и проявления горного давления, в связи чем возникла необходимость пересмотра отдельных положений руководства, что признается ведущими специалистами в этой области [2, 3].

Исследования метановыделения как случайного процесса заложили предпосылки обоснования технической производительности механизированных комплексов на новом принципе, заключающемся в текущем планировании добычи угля в процессе отработки выемочного участка в соответствии с изменяющейся газовой обстановкой [3]. Использование методов исследования случайных процессов [4] требует подготовки принципиально новой базы исходных данных в виде временных рядов с соблюдением ряда специальных условий.

Цель работы — обосновать методику шахтных инструментальных исследований процессов выемки угля и формирования метанообильности очистного забоя, обеспечивающую подготовку исходных данных для выявления закономерностей взаимного влияния этих процессов методами теории временных рядов.

В работе решаются следующие **задачи**:

- определение перечня процессов, влияющих на производительность механизированных комплексов, методов и оборудования для проведения шахтных наблюдений;
- обоснование характеристик временных рядов, отражающих взаимное влияние процессов выемки угля и метановыделения.

Процесс выемки угля вызывает развитие геомеханических процессов и формирование метанообильности очистного забоя. Изменение во времени метанообильности формируется из двух процессов: метановыделения из призабойного и выработанного пространств. Процесс метановыделения из призабойного пространства задается неравномерностью выполнения очистных работ во времени. Метановыделение из выработанного пространства формируется под воздействием геомеханических процессов в подрабатываемом массиве. Поэтому исследованию подлежат взаимосвязи между

этими процессами. Исходными данными для анализа являются временные ряды, сформированные по каждому процессу, — числовые последовательности через равные промежутки времени (интервалы) показателей процесса достаточно большой общей продолжительности (длины ряда). Методика сбора данных должна обеспечивать следующие характеристики временных рядов: одинаковые длины, интервалы, непрерывность по всей длине, одинаковую датировку рядов (сопряженность во времени). Кроме того, должна быть обоснована максимальная длина ряда и его минимальный интервал дискретизации.

Длина ряда должна обеспечивать возможность определения низкочастотной составляющей процесса с наибольшим периодом. За основу принимается период подвигания очистного забоя между осадками основной кровли:

$$T_o = \frac{Ш_o}{v_{оч}}, \quad (1)$$

где $Ш_o$ — шаг осадки основной кровли при отработке выемочного участка, м;

$v_{оч}$ — среднесуточное подвигание очистного забоя, м/сут.

Согласно рекомендациям Института горного дела им. А. А. Скочинского, длина ряда должна составлять 5–10 периодов осадок основной кровли.

Минимальный интервал временных рядов, согласно теореме Котельникова [4], рассчитывается по формуле:

$$\Delta t = \frac{1}{2 \cdot f_c}. \quad (2)$$

Максимально возможная частота f_c высокочастотного спектра задается технологической цикличностью с периодом, равным продолжительности снятия одной полосы угля в очистном забое [5]. В условиях шахты «Молодогвардейская» средняя длительность снятия одной полосы по плану k_2 составляет 2 часа. Тогда максимальная частота частотного спектра процесса

метановыделения составит $f_c = 0,5 \text{ ч}^{-1}$, а минимальный интервал ряда, рассчитанный по формуле (2), будет равен $\Delta t = 1$ час.

С другой стороны, для текущего планирования рациональным является суточный объём добычи, так как реализация плана обеспечивается минимальным временем технической подготовки (одной ремонтной сменой). Обоснование текущей суточной нагрузки возможно при прогнозе среднесуточной метанообильности за суточный период и оценке отклонения от среднего часовых значений. Таким образом, минимальный интервал временного ряда в 1 час обеспечит необходимую информативность в высокочастотном спектре.

Методика шахтных инструментальных исследований состоит из 3-х частей.

Часть 1. Контроль метанообильности.

За показатель процесса метановыделения в данной работе принимается скорость выделения метана ($\text{м}^3/\text{мин}$). В некоторых исследованиях [3] расчетный показатель метанообильности считается менее точным, чем измеряемая концентрация метана. С нашей точки зрения метанообильность, как показатель скорости процесса, больше способствует пониманию физической сущности самого процесса, чем уровень концентрации.

Применяемая аппаратура газовой защиты (АГЗ) позволяет подготовить исходный временной ряд концентрации метана с достаточно малым интервалом дискретизации и любой длительности. Однако одно и то же значение концентрации может свидетельствовать о разных объёмах выделившегося метана при изменении количества воздуха в выработке. Изменение расхода воздуха происходит по разным причинам: открытие и закрытие вентиляционных дверей, изменение сечения и длины выработок, загромождение выработок материалами и оборудованием и т. п., поэтому коэффициент вариации расхода воздуха в выработке может достигать 24–28 %. Автоматический контроль расхода воздуха по выработке осуществляется с помощью измерителя скорости движения воздуха

ИСВ-1 или стационарным комплексом «Воздух». Для контроля процесса метанообильности необходимо вести одновременно регистрацию показаний скорости воздуха и концентрации в нем метана.

Часть 2. Контроль угледобычи. Для регистрации интенсивности процесса выемки угля необходимо разработать специальный методический подход, так как добыча в шахтной документации отражается излишне укрупненно. В горных журналах через каждые десять дней по всей длине лавы геологической службой фиксируется средняя вынимаемая мощность пласта и объемный вес угля, маркшейдерской службой — площадь выемки. По полученным данным рассчитывается декадный объём добычи угля. Информация о сменной добыче фиксируется в участковой нарядной документации.

Для целей исследований необходима более детальная информация по добыче, поэтому предложена специальная методика контроля текущей добычи из очистного забоя на основе хронометражных круглосуточных наблюдений за положением комбайна в лаве и оценки производительности вынимаемого пласта. Регистрация положения комбайна в лаве производится по номерам секций механизированной крепи через принятый временной интервал. По длине вынимаемой полосы производятся замеры мощности угольных и пластовых породных пачек.

Пример заполнения результатов сменного хронометража с часовым интервалом при 6-часовой смене приведен в таблице.

В таблице приняты следующие обозначения:

N_n, N_k — номера секции механизированной крепи соответственно на начало и конец временного интервала ряда;

t — периодичность контроля положения комбайна (принятый интервал временного ряда), $t = 1$ ч;

m_y, m_n — замеры мощности угольных и породных пачек на длине участка лавы, где произошла выемка угля, м.

Текущее значение ряда (добыча за принятый временной интервал ряда) рассчитывается по формуле:

$$A = (N_n - N_k) \cdot b \cdot p, \quad (3)$$

где b — шаг расстановки секций крепи по длине лавы, м;

p — средняя производительность угольного пласта на длине лавы между номерами секций N_n и N_k :

$$p = \frac{\sum m_y \gamma_y + \sum m_n \gamma_n}{n}, \quad (4)$$

где γ_y, γ_n — плотность соответственно угля и породных пачек;

n — количество замеров мощности пласта.

Таблица

Пример заполнения таблицы сменного хронометража с часовым интервалом

Дата	Смена	Показатели	Положение комбайна в лаве по номерам секций						
			1	2	3	4	5	6	
1-я добычная	t								
	N_n		17	17	25	28	28	36	
	N_k		17	25	28	28	36	36	
	$N_n - N_k$		0	8	3	0	8	0	
	продолжительность отключения электроэнергии АГЗ, мин		0	10	8	10	22	15	
	m_y		0,8	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	
			0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,3	
			0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	
	m_n		0,1	0,15	0,2	0,15	0,15	0,1	
			0,2	0,1	0,05	0,20	0,15	0,2	

Часть 3. Контроль геомеханических процессов. Последовательное изменение интенсивности геомеханического процесса принято представлять динамикой опусканий кровли в очистном забое по мере его подвигания. Замеры опусканий кровли весьма трудоемки и не автоматизированы. С 1989 года на угольных шахтах используется контроль интенсивности геомеханических процессов в окрестности очистного забоя датчиками акустической эмиссии с целью прогноза выбросоопасности угольного пласта. В данной работе предлагается использовать показатель акустической эмиссии для представления геомеханического процесса временным рядом. Регистрация сейсмоакустической активности производится с помощью звукоулавливающей аппаратуры типа ЗУА-98 (рис. 1).

Пьезокерамический датчик приема акустических сигналов СПД-1Д устанавливается в шпурах, пробуренных в кровлю, или на контакте верхняка крепи подготовительной выработки с породами кровли. По данным ш. «Молодогвардейская», дальность качественного приема сигналов при категориях кровли А₃₋₄, Б₄₋₅ составляет 116 м. Дальность акустического контроля с учетом запаса расстояния на перестановку датчиков с шагом 20 м составляет 65–75 м, чего достаточно для регистрации процессов образования сводов обрушений в выработанном пространстве.

Из приведённого следует, что для обоснования математической модели текущего планирования добычи в очистном забое необходимы исходные данные в виде временных рядов добычи, метанообильности и акустической эмиссии.

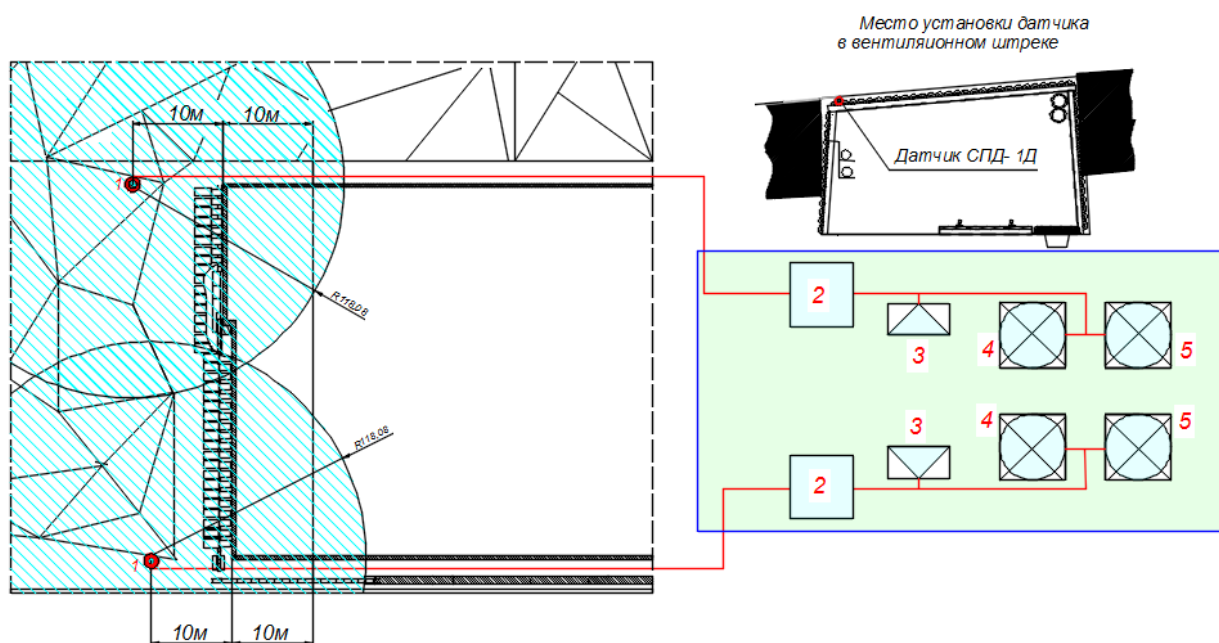


Рисунок 1 — Монтажная схема звукоулавливающей аппаратуры ЗУА-98

Выводы. Использование методов теории временных рядов в анализе процессов горного производства обуславливает требования к подготовке и сбору исходной базы данных по каждому объекту исследований, заключающиеся в следующем:

- минимальная продолжительность наблюдений за процессом (длина временного ряда) принимается равной пятикратной длине шага обрушения основной кровли;
- периодичность съёма информации (интервал дискретизации процесса или мини-

мальный интервал временного ряда) рассчитывается по теореме Котельникова, исходя из максимальной частоты частотного спектра, определяемой по средней продолжительности снятия одной полосы угля комбайном;

– возможность исследования геомеханических процессов определяется дальностью приема сейсмоакустической эмиссии по породам кровли.

Библиографический список

1. ДНАОТ 1.1.30-6.09.93. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт : утв. Приказом Гос. ком. Украины по надзору за охраной труда № 131 от 20.12.1993. К. : Основа, 1994. 312 с.
2. Касимов О. И., Бокий Б. В., Назимко И. В. Метановыделение в очистные выработки угольных шахт // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. 2007. № 1. С. 232–238.
3. Медведев В. Н., Азбель М. Д. Концепция развития мониторинга содержания метана в шахтной атмосфере // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах : сб. науч. тр. МакНДМ. Макеевка : Донбасс, 2017. № 1 (36). С. 5–16.
4. Марпл С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М. : Мир, 1990. 584 с.
5. Кулакова С. И., Павлов В. И. Спектральный анализ процесса метановыделения при повышении нагрузки на очистной забой // Сборник научных трудов ДонГТУ. 2020. № 18 (61). С. 35–41.

© Смекалин Е. С., Кулакова С. И., Павлов В. И.

Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. СГ ДонГТУ Литвинским Г. Г., директором ООО «ПКФ „Геолсервис“» Крамаренко А. А.

Статья поступила в редакцию 24.04.2023.

PhD in Engineering Smekalin E. S., *Kulakova S. I., PhD in Engineering Pavlov V. I. (Donbass State Technical University, Alchevsk, LPR, the Russian Federation, *kulakova_si@mail.ru)

METHODOLOGY FOR MINE INSTRUMENTAL STUDIES OF METHANE RELEASE AND COAL MINING PROCESSES AT EXCAVATION SITES

A mine observation technique is developed for coal mining processes by mechanized complexes, methane abundance formation and geomechanical processes in the worked-out area. An assessment of the intensity of geomechanical processes by acoustic emission indicators recorded by the ZUA-98 equipment has been proposed. The characteristics of time series reflecting the peculiarities of methane release processes in mine conditions are substantiated.

Key words: methodology, coal mining, mechanized complex, technological processes, methane abundance, geomechanical processes, acoustic emission, time series parameters.

References

1. ДНАОТ 1.1.30-6.09.93. Guidelines for coal mine ventilation design [Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт]. Kiev: Osнова, 1994. 312 p. (rus)
2. Kasimov O. I., Bokiy B. V., Nazimko I. V. Methane release into coal mines [Метановыделение в очистные выработки угольных шахт]. UkrNDMI NAN Ukraine. 2007. No. 1. Pp. 232–238. (rus)
3. Medvedev V. N., Azbel' M. D. The concept of the development of monitoring the content of methane in the mine atmosphere [Концепция развития мониторинга содержания метана в шахтной атмосфере]. Spособы i sredstva sozdaniya bezopasnyh i zdorovyh uslovij truda v ugol'nyh shahtah: sb. nauch. tr. MakNII. Makeevka: Donbass, 2017. No. 1 (36). Pp. 5–16. (rus)
4. Marpl S. L. Digital spectral analysis and its applications [Цифровой спектральный анализ и его приложения]. Moscow: Mir, 1990. 584 p. (rus)

5. Kulakova S. I., Pavlov V. I. Spectral analysis of the methane release process with increasing load on the slope [Spektral'nyj analiz processa metanovydeleniya pri povyshenii nagruzki na ochistnoj zaboj.] Scientific work collection of DonSTU. 2020. No. 18 (61). Pp. 35–41.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Смекалин Евгений Сергеевич, канд. техн. наук, доцент каф. строительных геотехнологий
Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Луганская Народная Республика, РФ

Кулакова Светлана Ивановна, ст. преп. каф. высшей математики
Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Луганская Народная Республика, РФ,
e-mail: kulakova_si@mail.ru

Павлов Валерий Иванович, канд. техн. наук, доцент каф. экологии и безопасности
жизнедеятельности
Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Луганская Народная Республика, РФ