

УДК 622.831.325.3

В.В. НАЗИМКО (д-р техн. наук, проф.)

Л.В. СЕРГИЕНКО (мл. науч. сотр.)

Е.В. ГЛАДКАЯ (канд. техн. наук, и.о. зав. отд.)

Институт физики горных процессов НАН Украины, г.Днепр, Украина

А.И. СЕРГИЕНКО (канд. техн. наук)

Красноармейский индустриальный институт ДВНЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Покровск, Украина

ВЛИЯНИЕ МАЛОАМПЛИТУДНОЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ НАРУШЕННОСТИ НА ПРОЦЕССЫ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ИЗ ПОДРАБАТЫВАЕМОГО УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА

В статье приведены результаты экспериментальных исследований газовой выделения из подрабатываемого углепородного массива в условиях ПАО «ШУ «Покровское». Выполнена статистическая обработка экспериментальных данных с помощью Фурье анализа. При этом использовался перекрестный гармонический анализ, с помощью которого возможно не только выделить характерный шаг вариации газовой выделения в пространстве, но и установить количественную оценку между шагом газопроявления и его интенсивностью. Анализ полученных результатов исследования показал, что ускорение газовой выделения, его интенсивность определяются ростом проницаемости массива в области мелкоамплитудной нарушенности и процессом взаимодействия геологических и техногенных систем трещин.

Ключевые слова: метан, геологическое нарушение, дегазация, мелкоамплитудная тектоника, породный массив.

Известно, что при ведении очистных работ в сложных горно-геологических условиях значительно возросло выделение метана в выработанное пространство, основными источниками которого являются пласты-спутники, осложнились условия проветривания очистных забоев, а коэффициент эффективности дегазации на добычных участках в среднем составляет 30 %. Это, прежде всего, связано с неравномерным распределением свободного метана в углепородном массиве. Неравномерность газовой выделения из подрабатываемого массива, отмечалась многими исследователями [1–4], однако, несмотря на разностороннюю изученность проблемы, знания о состоянии нарушенного углепородного массива на больших глубинах и условия образования в нем скоплений свободного метана недостаточны. Поэтому, необходимо выполнить экспериментальные исследования газовой выделения из подрабатываемого углепородного массива.

Для изучения характера газовой выделения из подрабатываемого углепородного массива были проведены исследования в пределах выемочного поля пласта d_4 шахты ПАО «ШУ «Покровское» на участках: 1-я северная лава бл. № 3, 1-я северная лава бремсберга бл. № 5, 6-я южная лава центральной панели бл. № 8 7-я южная лава бл. № 6, 2-я северная лава бл. № 3, 4-я южная лава бл. № 10.

Разрабатываемый угольный пласт d_4 на площади выемочного поля имеет сложное строение, состоящее из одной угольной пачки и пачки углистого сланца. Вне зон геологических нарушений мощность угольного пласта колеблется в пределах 1,3– 1,76 м. Природная газоносность угольного пласта d_4 составляет 11,7 – 25 м³/т.с.б.м, песчаника до 6 м³/м³ породы. Потенциально опасными источниками метановыделения являются пласты-спутники d_4^1 и d_4^2 , мощностью 0,3– 0,5 м, залегающих от разрабатываемого пласта на расстоянии 15,3 – 19,7 м и 24,1 – 35,2 м.

На исследуемых участках, в результате высокой газоносности вмещающих пород и пластов-спутников, согласно [5] предусматривается дегазация вышележащих пластов-спутников. Дегазация осуществляется путем отвода метана по скважинам, пробуренным до пересечения пластов-спутников навстречу очистному забою.

Зависимости изменения газовой выделения из подрабатываемого массива полученные по данным максимального дебита метана из дегазационных скважин, пробуренных с интервалом 20 м по длине выемочного столба, некоторых исследуемых участков представлены на рисунках 1 – 3.

С целью изучения закономерностей газовыделения из подрабатываемого углеродного массива по длине выемочного столба, была выполнена статистическая обработка экспериментальных данных с помощью Фурье анализа [6]. Анализ Фурье позволяет выделить гармоники в общем зашумленном процессе газовыделения. После этого выделенные гармоники связывали с физическими процессами, протекающими при разрушении массива и газовыделении. При этом использовался перекрестный гармонический анализ, так как он дает возможность не только выделить характерный шаг вариации газовыделения в пространстве, но и установить количественную оценку между шагом газопроявления и его интенсивностью.

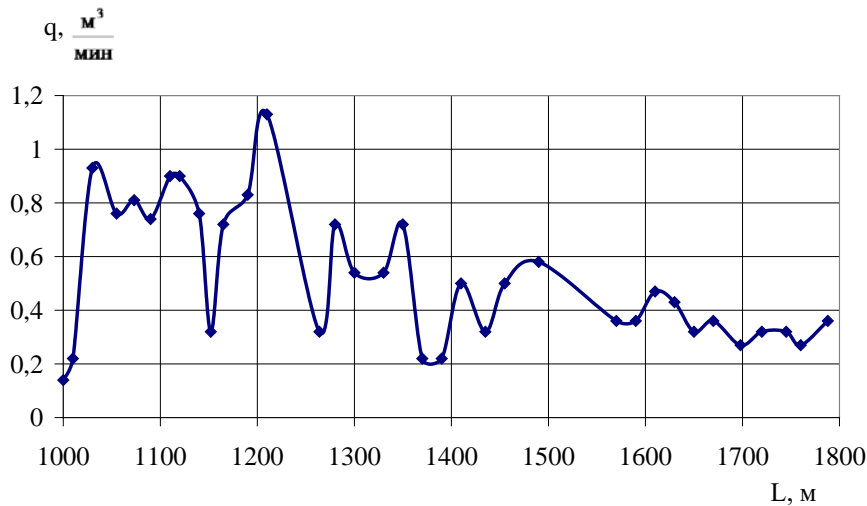


Рис. 1. Изменение максимального дебита метана из дегазационных скважин по длине выемочного столба 2-ой северной лавы пласта d_4 блока № 3

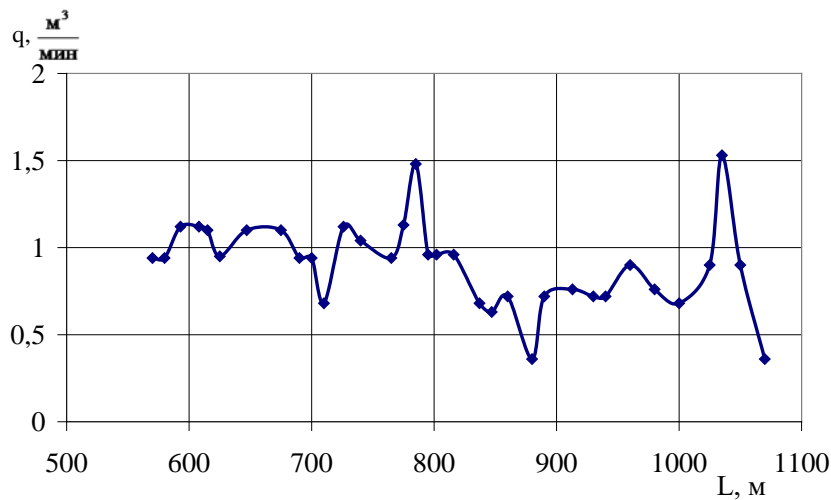


Рис. 2. Изменение максимального дебита метана из дегазационных скважин по длине выемочного столба 4-ой южной лавы «бис» пл. d_4 блока № 10

В качестве исходного экспериментального материала были выбраны графики газовыделения, на которых явно выраженные аномалии газовыделения связаны с переходом мелкоамплитудных дизъюнктивных нарушений. В результате перекрестному гармоническому анализу подвергались графики газовыделения: 7-ой южной лавы пл. d_4 блока № 6, 2-ой северной лавы пл. d_4 блока № 3 и 4-ой южной лавы «бис» пл. d_4 блока № 10.

В таблице 1 приведены результаты перекрестного гармонического анализа процесса газовыделения 7-ой южной лавы блока № 6.

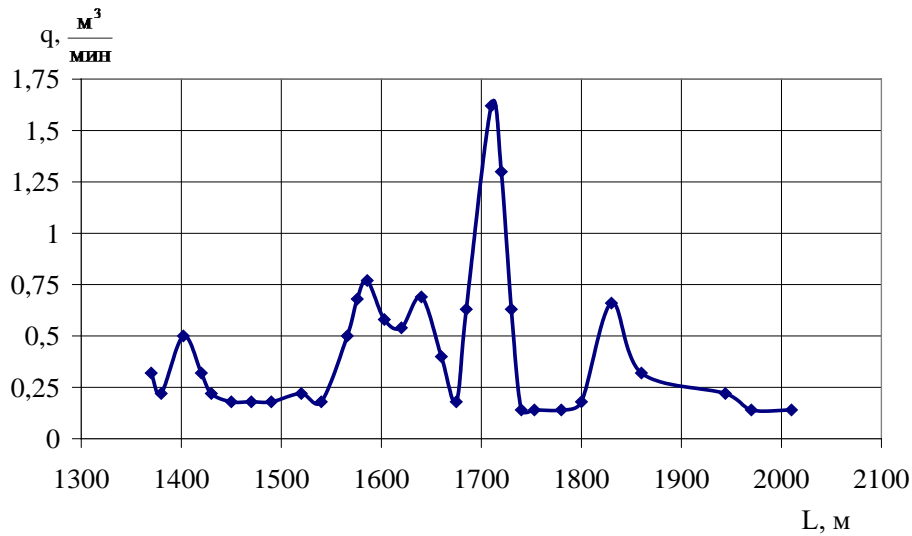


Рис. 3. Изменение максимального дебита метана из дегазационных скважин по длине выемочного столба 4-ой южной лавы пл. d_4 блока № 10

Таблица 1. Перекрёстный гармонический анализ процесса газовыделения по 7-ой южной лаве блока № 6

Bivariate Spectral Analysis; No. cases: 24 (Spreadsheet1.sta)																			
Indep.(X): 7SOUTH																			
Dep.(Y): DISTANCE																			
Frequency	Шаг, м	X Cosine	X Sine	X Period	X Density	Y Cosine	Y Sine	Y Period	Y Density	Cross-p. Real	Cross-p. Imagin.	Cross Density	Cross Quad	Перекрест ампл	Squared Coherency	Gain val X over Y	Gain val Y over X	Phase un	
0	0,000		0,000	0,000	0,000	0,085	0,00	0,00	0,0	58,8	0,00	0,00	1,04	0,00	1,04	0,21	12,1	0,02	0
1	0,042	24,00	-0,119	-0,004	0,171	0,094	-1,28	-2,53	96,3	88,2	1,95	3,56	1,28	2,26	2,60	0,82	27,8	0,03	1
2	0,083	12,00	0,057	0,010	0,041	0,069	1,39	3,53	172,5	101,3	1,37	2,26	1,14	1,86	2,19	0,68	31,5	0,02	1
3	0,125	8,00	-0,032	0,041	0,032	0,048	-0,34	0,42	3,5	48,7	0,34	0,00	0,43	0,64	0,77	0,25	15,9	0,02	0
4	0,167	6,00	-0,040	-0,060	0,062	0,058	0,25	0,72	7,0	13,3	-0,64	-0,16	0,09	-0,01	0,09	0,01	1,6	0,01	-0
5	0,208	4,80	0,060	0,054	0,078	0,068	0,76	0,68	12,4	9,4	0,99	0,00	0,41	-0,17	0,44	0,30	6,5	0,05	-0
6	0,250	4,00	-0,068	-0,029	0,065	0,062	-0,58	0,42	6,2	10,5	0,33	-0,54	0,59	-0,28	0,65	0,65	10,5	0,06	-0
7	0,292	3,43	0,058	0,011	0,042	0,053	1,19	0,07	17,0	12,4	0,84	-0,11	0,68	-0,17	0,70	0,75	13,3	0,06	-0
8	0,333	3,00	-0,045	0,042	0,046	0,061	-0,58	0,72	10,3	11,6	0,68	-0,10	0,68	0,13	0,70	0,69	11,5	0,06	0
9	0,375	2,67	0,018	-0,095	0,112	0,067	0,84	-0,42	10,5	9,1	0,66	0,87	0,54	0,41	0,67	0,75	10,1	0,07	0
10	0,417	2,40	0,024	0,027	0,016	0,038	-0,05	0,64	5,0	5,6	0,19	0,20	0,27	0,29	0,39	0,72	10,3	0,07	0
11	0,458	2,18	0,007	0,006	0,001	0,024	0,33	-0,26	2,1	2,6	0,01	-0,05	0,08	0,06	0,10	0,15	4,0	0,04	0
12	0,500	2,00	0,073	0,000	0,064	0,030	0,00	0,00	0,0	1,4	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,01	0,6	0,01	0

Пространственные гармоники газовыделения, равные 24 м и 12 м (выделены курсивом во втором столбике таблицы 1) характеризуются максимальными значениями периодограмм и плотности (равными 96–172 и 88–101 соответственно). При этом перекрестная амплитуда газовыделения для указанных пространственных гармоник максимальна и составляет 2,6 и 2,19 м³/мин (подавляющее большинство остальных амплитуд меньше единицы). Показатель тесноты связи газовыделения и пространственных гармоник также имеет максимальное значение, равное 27–31. По результатам перекрёстного гармонического анализа видно, что главная гармоника (24 м) в данном случае тесно коррелирует с шагом посадки основной кровли. Это подтверждается паспортом крепления 7-ой южной лавы блока № 6 и результатами инструментальных наблюдений за проявлением горного давления в бортовых выработках по мере отработки лавы.

Полученные результаты хорошо согласуются с данными перекрёстного гармонического анализа газовыделения 2-ой северной лавы блока № 3 и 4-ой южной лавы «бис» блока № 10. Так по 2-ой северной лаве блока № 3 главная гармоника пространственной периодики газовой-

деления составляет 37 м, а перекрестная амплитуда достигает $17 \text{ м}^3/\text{мин}$, тогда как остальные амплитуды не превышают $7,4 \text{ м}^3/\text{мин}$. Пространственная гармоника газовыделения 4-ой южной лавы «бис» блока № 10 составляет 34 м, а перекрестная амплитуда газовыделения достигает $8,3 \text{ м}^3/\text{мин}$, в то время как остальные амплитуды не превышают единицы.

Таким образом, анализ показал, что пространственные гармоники газовыделения отличаются от шагов посадки основной кровли во всех лавах не более чем на 17 %, что обеспечивает достоверность результата гармонического перекрёстного анализа. Также, перекрёстный гармонический анализ позволил доказать, что процесс вариации газовыделения в действующих очистных забоях имеет главную (основную) гармонику, которая совпадает с шагом посадки основной кровли. В тоже время, перекрёстный гармонический анализ не показал связи аномальных скачков газовыделения с переходом зон мелкоамплитудных нарушений. Это говорит о том, что процессы вариации газовыделения на ненарушенных участках выемочных столбов и в зонах мелкоамплитудных тектонических нарушений имеют разную геомеханику и газодинамику. Следовательно, дальнейший анализ этих процессов должен осуществляться отдельно. В частности, закономерности распределения вариации газовыделения следует устанавливать отдельно для участков, которые обрабатываются за пределами мелкоамплитудных нарушений. Процесс очистки набора экспериментальных данных показан на примере графика газовыделения 7-ой южной лавы блока № 6 (рис. 4).

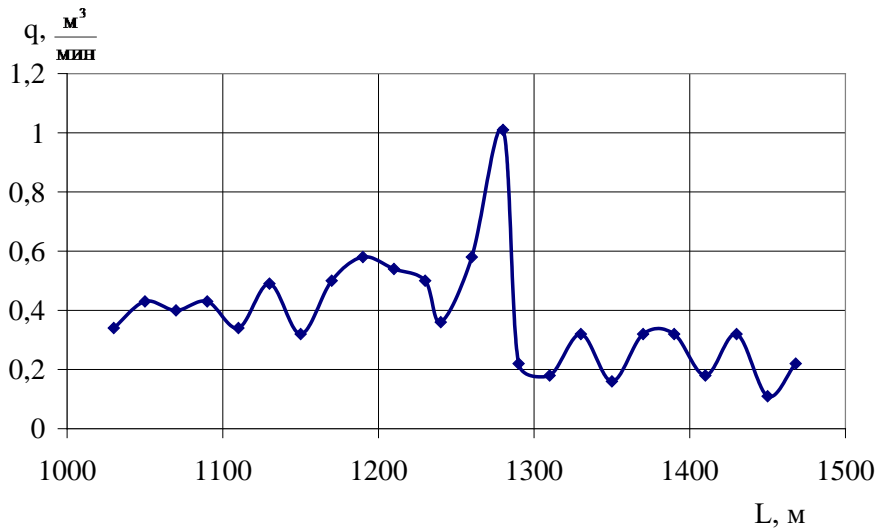


Рис. 4. Изменение максимального дебита метана из дегазационных скважин по длине выемочного столба 7-ой южной лавы пл. d_4 бл. № 6

Для установления закономерности распределения вариации газовыделения необходимо убрать всплески интенсивности газовыделения и выделить тренды газовыделения с учетом нестационарности процесса. После того, как был убран пик газовыделения в диапазоне 1250-1300 м и выделено два тренда (в левой части графика и отдельно – в правой), получено два отдельных графика (рис. 5).

В пределах каждого тренда установлены регрессионные зависимости методом наименьших квадратов. С помощью полученных зависимостей вычислены средние величины газовыделения в каждой точке. Таким образом, было получено экспериментальное значение скорости газовыделения. После этого вычислены отклонения газовыделения от трендов.

Аналогичный график вариации газовыделения, очищенный от локальных пиков газовыделения для 2-ой северной лавы блока № 3 приведен на рис. 6.

На рисунке 6 видно, что по мере обработки выемочного столба с уменьшением длины выемочных выработок с 1700 м до 1000 м средняя скорость газовыделения возрастала от $0,3 \text{ м}^3/\text{мин}$ до $0,9 \text{ м}^3/\text{мин}$. Зависимость скорости газовыделения удовлетворительно отражена обратной линейной зависимостью.

Похожая зависимость найдена и в случае 4-ой южной лавы «бис» блока № 10 после отсеивания локальных аномалий ускорения газовыделения. Наличие установленных трендов дало

возможность получить вариацию газовыделения в чистом виде в местах участка, где нет мелко-амплитудных тектонических нарушений.

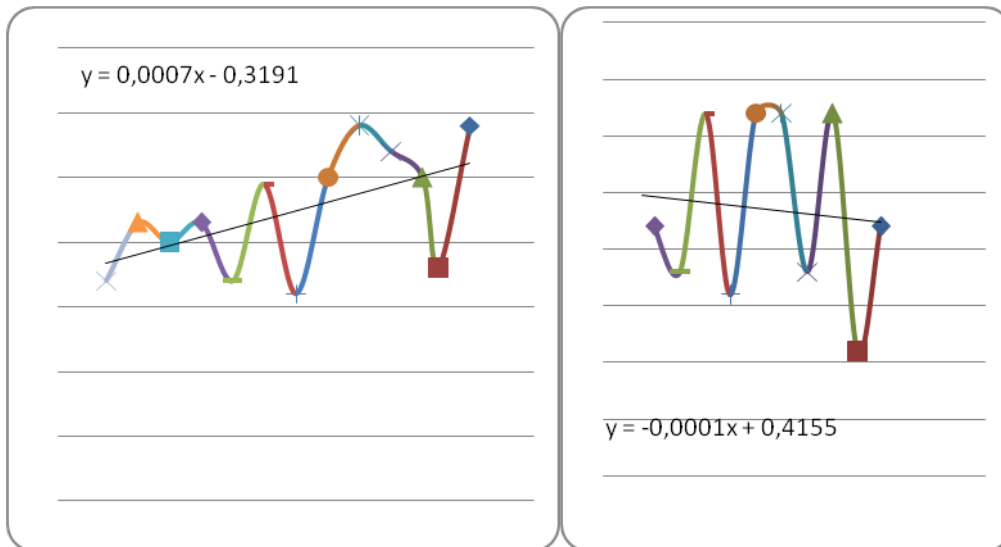


Рис. 5. Графики газовыделения после выделения двух трендов

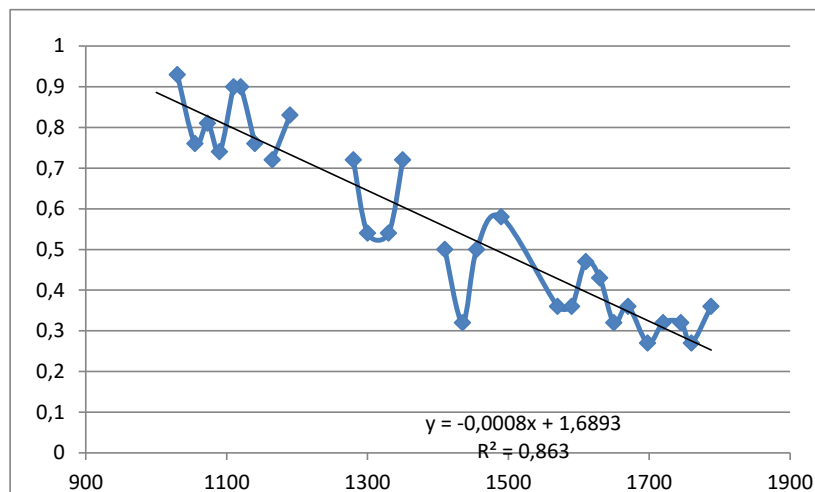


Рис. 6. Возрастающий тренд газовыделения по 2-й северной лаве блока № 2

Обработанные таким образом данные для всех выбранных лав объединены в одну общую статистическую выборку, на основании которой построена гистограмма вариации газовыделения на участках, не затронутых мелкоамплитудными нарушениями (рис. 7).

Анализ показал, что данная гистограмма не противоречит нормальному закону распределения с вероятностью более 95%. Среднеквадратическое отклонение газовыделения на нетронутых нарушениями участках составляет всего $0,112 \text{ м}^3/\text{мин}$. При этом, как правило, наблюдаются нестационарные линейные тренды газовыделения (то есть происходит постепенное возрастание или затухание газовыделения по мере отработки выемочных столбов). Если учесть, что средний уровень газовыделения на графиках, которые анализировались, составляет от $0,5$ до $1 \text{ м}^3/\text{мин}$, коэффициент вариации газовыделения составит 11–22%.

В результате установлено, что естественная случайная вариация газовыделения в окрестности действующего очистного забоя имеет основную гармоническую составляющую, которая совпадает с шагом посадки основной кровли.

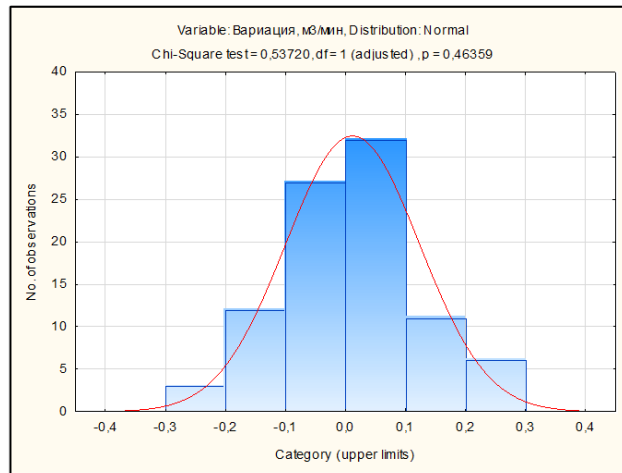


Рис. 7. Гистограмма вариации газовыделения на ненарушенных участках

Для исследования газовыделения в зонах мелкоамплитудных нарушений обработка экспериментальных данных была выполнена в два этапа. На первом этапе выделялись наборы экспериментальных данных, которые превышали в два раза среднеквадратическое отклонение, что говорит о присутствии аномальных скачков газовыделения. После этого, выделенные наборы данных проверялись путем сопоставления графиков изменения газовыделения по длине выемочного столба с мелкоамплитудными нарушениями на плане горных выработок исследуемых участков. Для окончательного отбора принимались только такие наборы данных, которые содержали выраженные скачки газовыделения и координаты которых на графике газовыделения совпадали с попикетной разбивкой выемочных выработок на планах горных выработок. Характерные примеры таких наборов приведены на рисунках 8, 9.

В ходе анализа планов горных выработок осуществлялась попытка установить привязку пиков газовыделения к определенным участкам выемочных столбов, таким образом, чтобы это совпадало с указанными реперами на графиках газовыделения. При этом сомнительные участки на планах или на графиках газовыделения удалялись с анализа, поскольку либо не были ясны причины скачков газовыделения, либо лавы переходили замещения пласта, которые также вносили определенные возмущения и не являлись предметом исследований. В данной работе исследовались мелкоамплитудные разрывные нарушения, которые характеризуются конкретными параметрами трещиноватости: углами и азимутами падения, густотой трещин основных систем [7].

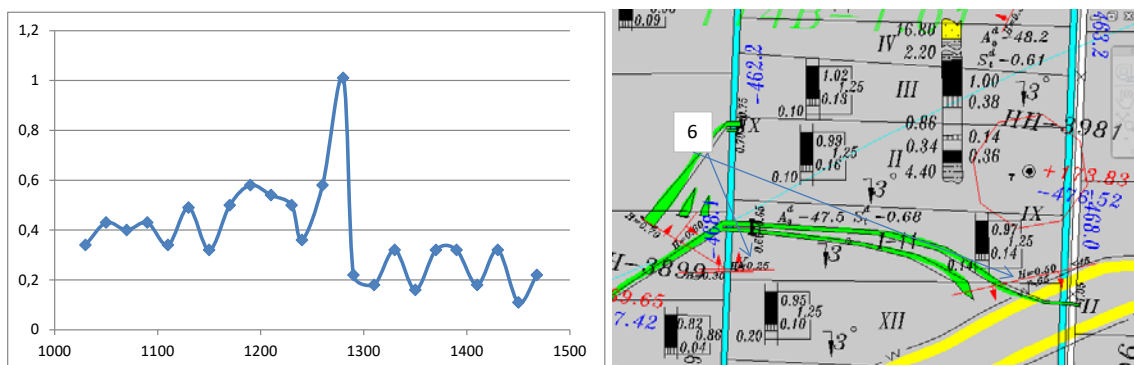


Рис. 8. Газовыделения по 7-ой южной лаве блока № 6

Исследования показали, что процесс газовыделения связывался с явными системами трещин, которые имеют геологическую или техногенную причину. Геологическая система трещин принималась параллельной сместителю мелкоамплитудного нарушения, параметры

котрого указаны на фрагментах планов горних виработок. Техногенна система трещиноватости совпадає з лінією очистного забоя і орієнтована субвертикально.

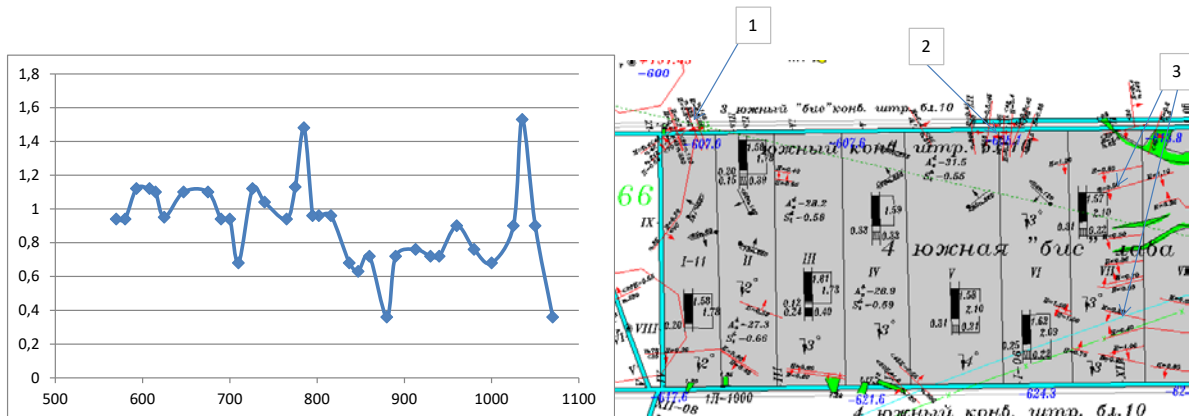


Рис. 9. Скачки газовыделения в 4-ой южной «бис» лаве, которые связаны с наличием мелкоамплитудных нарушений (1, 2, 3– системы тектонической трещиноватости)

Таким образом, анализ полученных результатов показал, что ускорение газовой выделение, его интенсивность определяются ростом проницаемости массива в области мелкоамплитудной нарушенности и процессом взаимодействия геологических и техногенных систем трещин. При этом газовыделение вне зоны мелкоамплитудной нарушенности в действующем очистном забое в общем случае характеризуется нестационарным трендом, а его вариация согласуется с нормальным законом распределения, имеющим коэффициент вариации 11-22%, причем основная пространственная гармоника вариации совпадает с шагом посадки основной кровли.

Библіографічний список

1. Шевелев Г.А. Фильтрация газа в шахтах / Г.А. Шевелев, В.Г. Перепелица. – Киев: Наук. думка, 2010. – 296 с.
2. A numerical evaluation on the effects of impermeable faults on degasification efficiency and methane emissions during underground coal mining / C.O. Karacan, J.P. Ulery, G.V. R. Goodman // International Journal of Coal Geology. – 2008. – vol. 75, no. 4. – pp. 195 – 203.
3. Determination of a potential set of factors which influence the situation of methane emission into roadways being driven / Marian Turek // Journal of Coal Science and Engineering (China). – 2009. – vol. 15, no. 4. – pp. 337 – 345.
4. Влияние сдвижений пород кровли на газовыделение из выработанного пространства / И.И. Клочко, Н.И. Лобков, А.И. Сергиенко, Л.В. Сергиенко // Сб. науч. труд. Физико-технические проблемы горного производства: сб. науч. тр. / Ин-т физики горных процессов НАН Украины. – Донецк. – 2010. – №13. – С.103 – 108.
5. Дегазація вугільних шахт. Вимоги до способів та схеми дегазації: СОУ 10.1.00174088.001:2004. – [Чинний від 2005-01-01]. – К.: Мінпаливенерго України, 2005. – 169 с. – (Національний стандарт України).
6. Лизоркин П.И. Курс дифференциальных и интегральных уравнений / П.И. Лизоркин. – Москва: Наука, 1981. – 384 с.
7. Лукинов В. В. Тектоника метаноугольных месторождений Донбасса / В. В. Лукинов, Л. И. Пимоненко. – Киев: Наук. думка, 2008. – 352 с.

Надійшла до редакції 24.09.2016

В.В. Назімко, Л.В. Сергієнко, О.В. Гладка

Інститут фізики гірничих процесів НАН України, Дніпро, Україна

О.І. Сергієнко

Красноармійський індустріальний інститут ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Покровськ, Україна

ВПЛИВ МАЛОАМПЛІТУДНОЇ ТЕКТОНІЧНОЇ ПОРУШЕНОСТІ НА ПРОЦЕСИ ГАЗОВИДІЛЕННЯ З ПІДРОБЛЮВАНОВОГО ВУГЛЕПОРОДНОГО МАСИВУ

У статті приведені результати експериментальних досліджень газовиділення з підроблюваного вуглепородного масиву в умовах ПАТ «ШУ «Покровське». Виконана статистична обробка експеримен-

тальних даних за допомогою Фур'є аналізу. При цьому використовувався перехресний гармонійний аналіз, за допомогою якого можливо не лише виділити характерний крок варіації газовиділення в просторі, але і встановити кількісну оцінку між кроком газопрояву і його інтенсивністю. Аналіз отриманих результатів дослідження показав, що прискорення газовиділення, його інтенсивність визначаються зростанням проникності масиву в області малоамплітудної порушеності і процесом взаємодії геологічних і техногенних систем тріщин.

Ключові слова: метан, геологічне порушення, дегазація, малоамплітудна тектоніка, породний масив.

V. Nazimko, L. Sergienko, E. Gladkaya

Institute of Physics of Mining Processes of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

A. Sergienko

Krasnoarmeysky Industrial Institute of Donetsk National Technical University», Pokrovsk, Ukraine

INFLUENCE OF SMALL-AMPLITUDE TECTONIC IMPERFECTION ON PROCESSES OF GASSING FROM UNDERWORKED ROCK MASS

In the article the results of experimental researches of gassing from the underworked rock mass in the conditions of «Pokrovskoye» mines are provided. Statistical processing of experimental data by means of Fourier analysis is made. We used cross-harmonic analysis, with which it is possible not only to distinguish characteristic step of a variation of gas release in space, but also to set the quantification step between gas flow and its intensity. The analysis of obtained results showed that the acceleration of the gassing, its intensity is determined by the increase in the permeability of the array in the field small-amplitude imperfection and the process of interaction of geological and technogenic systems of cracks.

Keywords: methane, geological imperfection, decontamination, small-amplitude tectonics, rock mass.