
УДК [622.411.332:533.17]:622.33

Софийский К.К., д-р техн. наук, профессор
Гаврилов В.И., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
Власенко В.В.
(ИГТМ НАН Украины)

**СНИЖЕНИЕ ГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ ПОЛОГОГО УГОЛЬНОГО
ПЛАСТА i_3^1 ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ**

Софійський К.К., д-р техн. наук, професор
Гаврилов В.І., канд. техн. наук, ст. наук. співроб.
Власенко В.В.
(ИГТМ НАН України)

**ЗНИЖЕННЯ ГАЗОНАСИЧЕНОСТІ ПОХИЛОГО ВУГІЛЬНОГО
ПЛАСТА i_3^1 ГІДРОДИНАМІЧНОЮ ДІЄЮ**

Sofiiskyi K.K., D.Sc. (Tech.), Professor
Gavrylov V.I., Ph.D. (Tech.), Senior Researcher
Vlasenko V.V.
(IGTM NAS of Ukraine)

**GAS-SATURATION REDUCTION IN THE FLAT COAL SEAM i_3^1 BY
APPLYING HYDRODYNAMIC IMPACT**

Аннотация. *Объект исследований* – процессы, происходящие в массиве горных пород, при гидродинамическом воздействии на него через скважины, пробуренные из подготовительных выработок через породы кровли на угольный пласт. *Цель работы* состоит в оценке эффективности гидродинамического воздействия на газонасыщенный угольный пласт i_3^1 через подземные скважины для интенсификации его дегазации. *Предмет исследования* – параметры способа гидродинамического воздействия на напряженный газонасыщенный пологий угольный пласт. *Методы исследований* – шахтный эксперимент, статистическая обработка данных. Шахтные экспериментальные работы по интенсификации дегазации пласта i_3^1 24 восточной уклонной лавы шахты «Суходольская-Восточная» гидродинамическим воздействием показали, что газовыделение из пологого пласта происходит неравномерно с всплесками на 40 и 60 сутки, зависит от расстояния скважин до лавы. Установлены параметры гидродинамического воздействия на пологий выбросоопасный пласт, позволяющие снизить его газонасыщенность на 30%.

Ключевые слова: подготовительная выработка, технологическая скважина, гидродинамическое воздействие, газовыделение, дегазация, пологий угольный пласт.

Введение. Отработка напряженных газонасыщенных угольных пластов по-прежнему остается одной из наиболее сложных проблем горной науки. Так, недостаточная эффективность и технологичность традиционных способов подземной дегазации приводит к возрастанию разрыва между потенциальными возможностями прогрессивной технологии, механизации и организации подземных горных работ и фактическими показателями [1-3]. Рост добычи угля,

сопровожающийся увеличением глубины разработки, повышение нагрузки на механизированные очистные забои и скорости подвигания подготовительных забоев еще больше обостряют проблему метана угольных пластов.

Наиболее опасными источниками метана в угольных шахтах являются разрабатываемые угольные пласты, основное выделение метана из которых происходит в очистных забоях, где работают люди и очистные комбайны с электрическим приводом. Более 62 % аварий произошло из-за высокого содержания метана в угольном массиве и неконтролируемого газовыделения.

Применение традиционных способов дегазации и снижения газодинамической активности угольных пластов, основанных на бурении дегазационных скважин, с увеличением глубины разработки резко сократилось в связи с уменьшением радиуса эффективного влияния скважин. Необходимо отметить, что методы дегазации не в полной мере учитывают характер протекающих в углепородном массиве геомеханических процессов и реакцию на них различных по литологическому составу слоев пород. В настоящее время фактически отсутствуют достоверные и обоснованные технологии и методики определения пространственных и временных параметров источников газовыделения в горные выработки, что препятствует правильной организации работ по дегазации, целевому заложению дегазационных скважин на конкретные источники газовыделения, не рассматриваются проблемы интенсификации предварительной дегазации из низкопроницаемых угольных пластов путем искусственной активизации в них геомеханических процессов, способствующих увеличению газотдачи, не учитываются в должной степени специфические горно-геологические условия Донецкого бассейна.

Институтом геотехнической механики НАН Украины разработаны способы воздействия на напряженный газонасыщенный углепородный массив, применение которых позволяет эффективно производить разгрузку и дегазацию значительной площади угольного пласта при сравнительно небольших объемах работ по бурению [4, 5]. Метод гидродинамического воздействия предусматривает создание в пористой системе перепада давления на свободных поверхностях путем сброса давления закаченной в пласт жидкости. При этом, время сброса давления должно быть меньше времени, необходимого для обратной фильтрации жидкости из пористого тела.

Целью работы является исследование в натуральных условиях параметров дегазации угольного пласта при применении гидродинамического воздействия и установление зависимости допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору от показателей воздействия.

Изложение материалов исследований и результаты. Экспериментальные исследования снижения газонасыщенности и выбросоопасности пологого угольного пласта i_3^1 проводили в условиях 24-й западной уклонной лавы СП «Шахтоуправление «Суходольское-Восточное» ОАО «Краснодонуголь».

Угольный пласт i_3^1 мощностью 1,70-2,51 м залегает моноклиально с углом падения 7-8°. Строение пласта сложное, 2-4 пачечное, суммарная мощность породных прослоек 0,02-0,50 м.

Уголь черный, полублестящий, дюрено-клареновый, слоистой текстуры, разбит трещинами кливажа 2-3 систем. Трещины ориентированы перпендикулярно наслоению или под углом 70-80°, частота трещин 5-40 тр/пм. Крепость угля $f_{кр}=1,0-1,5$. Природная газоносность пласта 22,5-22,8 м³/т с.б.м.

Породные прослои представлены сланцами глинистым и углистым.

Вмещающие породы непосредственной и основной кровель сложены песчаником мощностью до 25,2 м, крепостью $f_{кр}=6-8$ МПа и алевролитом мощностью до 24,3 м и крепостью $f_{кр}=4-6$.

Непосредственная почва сложена алевролитом мощностью 6-15 м, основная – аргиллитом мощностью 4-18 м и песчаником мощностью 3-16 м.

Пласт i_3^1 и песчаники кровли и почвы опасны по внезапным выбросам.

Очистные работы в 24 западной уклонной лаве велись по простиранию пласта. Система разработки – столбовая. Длина выемочного столба – 810 м. Длина лавы – 270 м. Лавы оснащена очистным комплексом ЗМКД-90Т. Способ управления кровлей – полное обрушение.

Исходя из ограничений по газовому фактору, нормативная нагрузка на лаву составляла 1100 т/сут (3 цикла выемки). При прогнозе «Опасно» и выполнении противовыбросных мероприятий производилось два цикла выемки в сутки.

Для обеспечения безопасности работ предусматривалась:

- дегазация вмещающих пород и сближенных пластов за лавой кустами скважин (по 3 шт.) длиной 50-70 м с расстоянием между кустами 20-30 м и отставанием от лавы не более 50 м с 24 западного вентиляционного штрека;
- дегазация выработанного пространства поверхностными дегазационными скважинами;
- подсвежение исходящей из лавы струи воздуха;
- автоматическая газовая защита.

Кроме того, осуществлялся текущий прогноз выбросоопасности по параметрам акустического сигнала АПСС-1, а при работе в опасных зонах – по начальной скорости газовыделения и гидрорыхление пласта.

Для проведения работ из 23 западного конвейерного штрека на 24 западную уклонную лаву было пробурено 13 скважин: 7 технологических и 6 дегазационных (рис. 1).

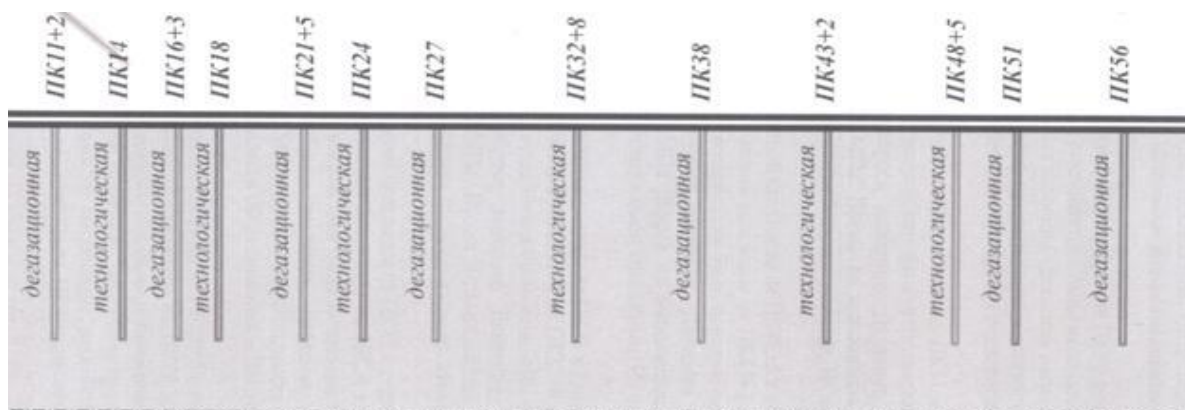


Рис. 1 – Схема расположения технологических и дегазационных скважин на пласте i_3^1 24 западной уклонной лавы

Технологические скважины бурили длиной 100 м, из них 10 м – по породам кровли пласта. Дегазационные скважины такой же длиной бурили по угольному пласту.

Технологические скважины обсаживали на всю длину породной пробки металлическими трубами и затрубное пространство тампонировали цементно-песчаным раствором. Через четверо суток на коллектор монтировали устройство гидродинамического воздействия (УВГ), которое подсоединяли к водяному насосу УНГ и масляному насосу 50НР-16. Питание насосов электродвигателями ВР мощностью 11 кВт.

Технологическая скважина на ПК56 была пробурена под углом - 13° к горизонту. Гидродинамическое воздействие (ГДВ) было выполнено в количестве 8 циклов с давлением нагнетания жидкости $P_n=3$ МПа, сброс давления производили до $P_c=0$ МПа. Время на выполнение воздействия составило 160 мин. Из технологической скважины было извлечено 0,5 т угля и израсходовано 3 м^3 воды. Признаков проявления газодинамических явлений не наблюдалось.

Технологическая скважина на ПК51 была пробурена под тем же углом к горизонту. ГДВ производили с теми же параметрами. Всего было выполнено 13 циклов нагнетания-сброса давления воды в скважине. Время на выполнение ГДВ составило 270 мин. Из технологической скважины было извлечено 0,5 т угля и израсходовано $4,9 \text{ м}^3$ воды. Признаков проявления газодинамических явлений не наблюдалось.

Дегазационная скважина на ПК48+5 была пробурена под углом - 12° к горизонту.

Технологическая скважина на ПК43+2 была пробурена под углом - 13° к горизонту. ГДВ было выполнено в количестве 12 циклов с давлением нагнетания жидкости $P_n=7$ МПа, сброс давления производили до $P_c=0$ МПа. Время на выполнение воздействия составило 240 мин. Из технологической скважины было извлечено 0,5 т угля и израсходовано $5,1 \text{ м}^3$ воды. Признаков проявления газодинамических явлений не наблюдалось.

Дегазационная скважина на ПК38 была пробурена под углом - 13° к горизонту.

Технологическая скважина на ПК32+8 была пробурена под углом - 15° к горизонту. ГДВ было выполнено в количестве 11 циклов с давлением нагнетания жидкости $P_n=7$ МПа, сброс давления производили до $P_c=0$ МПа. Время на выполнение воздействия составило 220 мин. Из технологической скважины было извлечено 0,5 т угля и израсходовано $4,7 \text{ м}^3$ воды. Признаков проявления газодинамических явлений не наблюдалось.

Дегазационная скважина на ПК27 была пробурена под углом - 13° к горизонту.

Технологическая скважина на ПК24 была пробурена под углом - 10° к горизонту. ГДВ было выполнено в количестве 11 циклов с давлением нагнетания жидкости $P_n=7$ МПа, сброс давления производили до $P_c=0$ МПа. Время на выполнение воздействия составило 220 мин. Из технологической скважины было извлечено 0,5 т угля и израсходовано $4,5 \text{ м}^3$ воды. Признаков проявления газодинамических явлений не наблюдалось.

Дегазационная скважина на ПК21+5 была пробурена под углом - 14° к горизонту.

Технологическая скважина на ПК18 была пробурена под углом - 13° к горизонту. ГДВ было выполнено в количестве 5 циклов с давлением нагнетания жидкости $P_n=7$ МПа, сброс давления производили до $P_c=0$ МПа. Время на выполнение воздействия составило 100 мин. Из технологической скважины было извлечено 0,3 т угля и израсходовано $4,9$ м³ воды. Признаков проявления газодинамических явлений не наблюдалось.

Дегазационная скважина на ПК16+3 была пробурена под углом - 12° к горизонту.

Технологическая скважина на ПК14 была пробурена под углом - 13° к горизонту. ГДВ было выполнено в количестве 3 циклов с давлением нагнетания жидкости $P_n=7$ МПа, сброс давления производили до $P_c=0$ МПа. Время на выполнение воздействия составило 180 мин. Из технологической скважины было извлечено 0,2 т угля и израсходовано $3,5$ м³ воды. Признаков проявления газодинамических явлений не наблюдалось.

Дегазационная скважина на ПК11+2 была пробурена под углом - 12° к горизонту.

Время работы технологических скважин до пересечения их очистным забоем составляло 40-90 сут. Максимальный объем выделившегося метана 40 тыс. м³ пришелся на скважину на ПК56, проработавшую 90 сут. Ее дебит составил 492 м³/сут. Минимальный объем метана выделился из скважины на ПК51, проработавшую 50 сут. Интенсивность газовыделения из нее составила 324 м³/сут. Динамика дебита технологических скважин приведена на рис. 2.

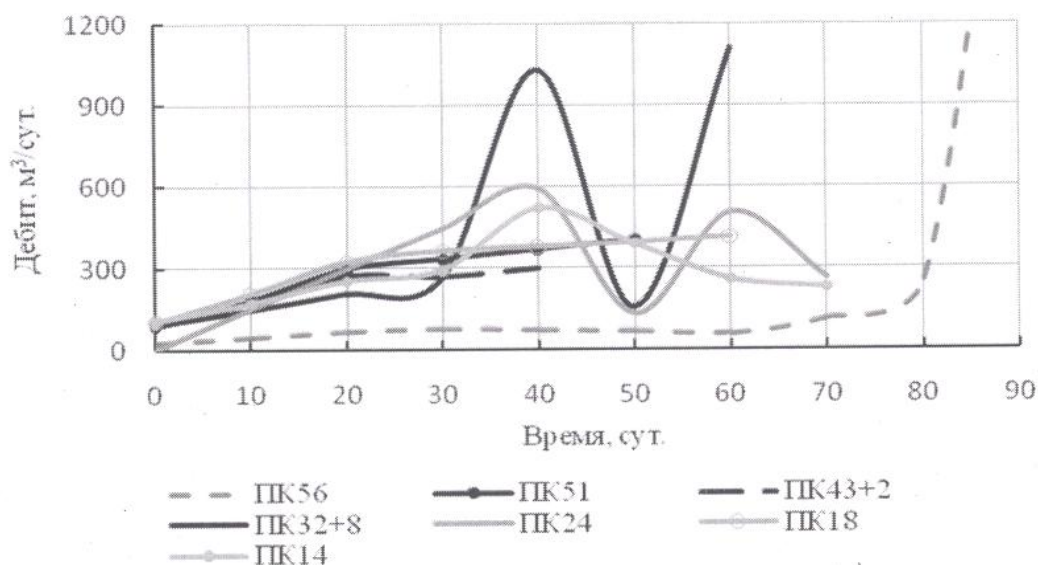


Рис. 2 – Динамика дебита технологических скважин после ГДВ

Всего из технологических скважин выделилось $176,9$ тыс м³ метана, при этом средний дебит составил 402 м³/сут, а количество выделившегося метана на одну скважину – более 25 тыс м³.

Время работы дегазационных скважин до пересечения их очистным забоем составило 40-70 сут. Максимальный объем выделившегося газа 21 тыс м³ пришелся на скважину, пробуренную на ПК48+5 и проработавшую 50 сут. Наибо-

лее интенсивно выделялся метан из скважины на ПК38, проработавшей 40 сут. Интенсивность газовыделения через нее составила 486 м³/сут. Минимальный объем выделившегося метана, приходится на скважину на ПК16+3, проработавшую 60 сут, и составил более 17 тыс. м³. Интенсивность газовыделения составила 295 м³/сут. Динамика дебита дегазационных скважин приведена на рис. 3.

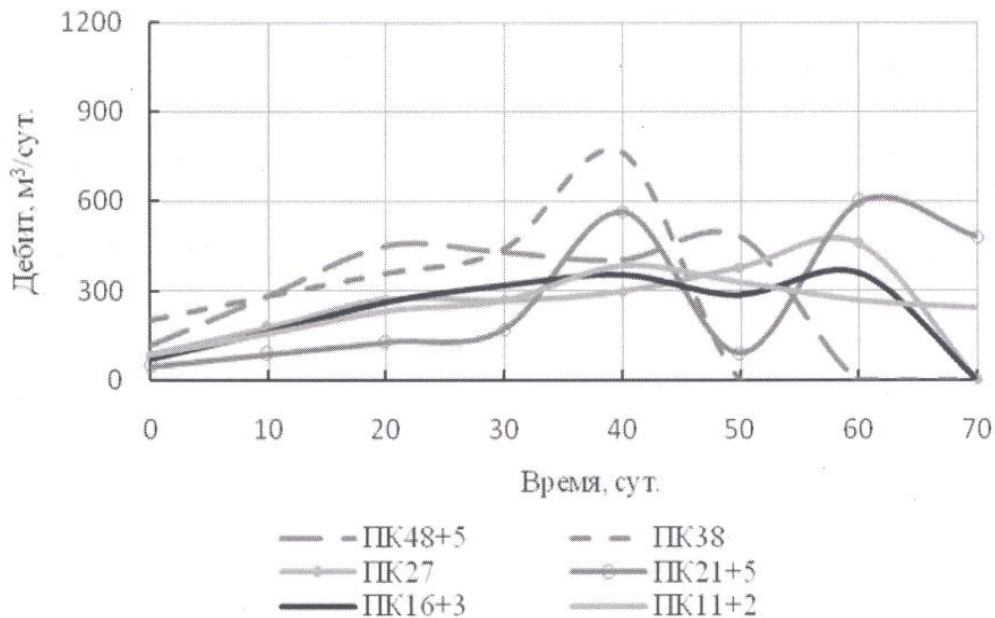


Рис. 3 – Динамика дебита дегазационных скважин после ГДВ

Всего из дегазационных скважин выделилось свыше 117 тыс м³ метана при среднем дебите 336 м³/сут. Среднее количество выделившегося метана на одну скважину составило более 16 тыс м³.

Результаты дебита технологических и дегазационных скважин за весь срок их существования приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Дебит технологических и дегазационных скважин после проведения ГДВ

Время после ГДВ, сут	Дебит скважин, м ³ /сут												
	Технологические скважины, ПК							Дегазационные скважины, ПК					
	56	51	43+2	32+8	24	18	14	48+5	38	27	21+5	16+3	11+2
0	25	85	180	88	0	102	102	115	202	83	44	68	85
10	46	182	245	146	148	205	173	283	281	177	85	161	155
20	66	296	310	205	296	321	251	451	359	271	127	263	233
30	76	332	375	264	444	362	291	427	438	268	169	315	266
40	68	367	1008	1029	592	378	520	403	764	297	564	351	386
50	62	403	-	153	131	395	389	480	-	376	88	285	326
60	56	-	-	1110	504	412	258	-	-	455	597	359	267
70	111	-	-	-	263	-	225	-	-	-	479	-	241
80	250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	2456	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Всего	44317	16216	20280	29510	23766	21243	21577	21018	19436	18856	21303	17685	19155

По данным табл. 1 построены графики среднестатистических дебитов тех-

нологических и дегазационных скважин за время после гидродинамического воздействия (рис. 4).

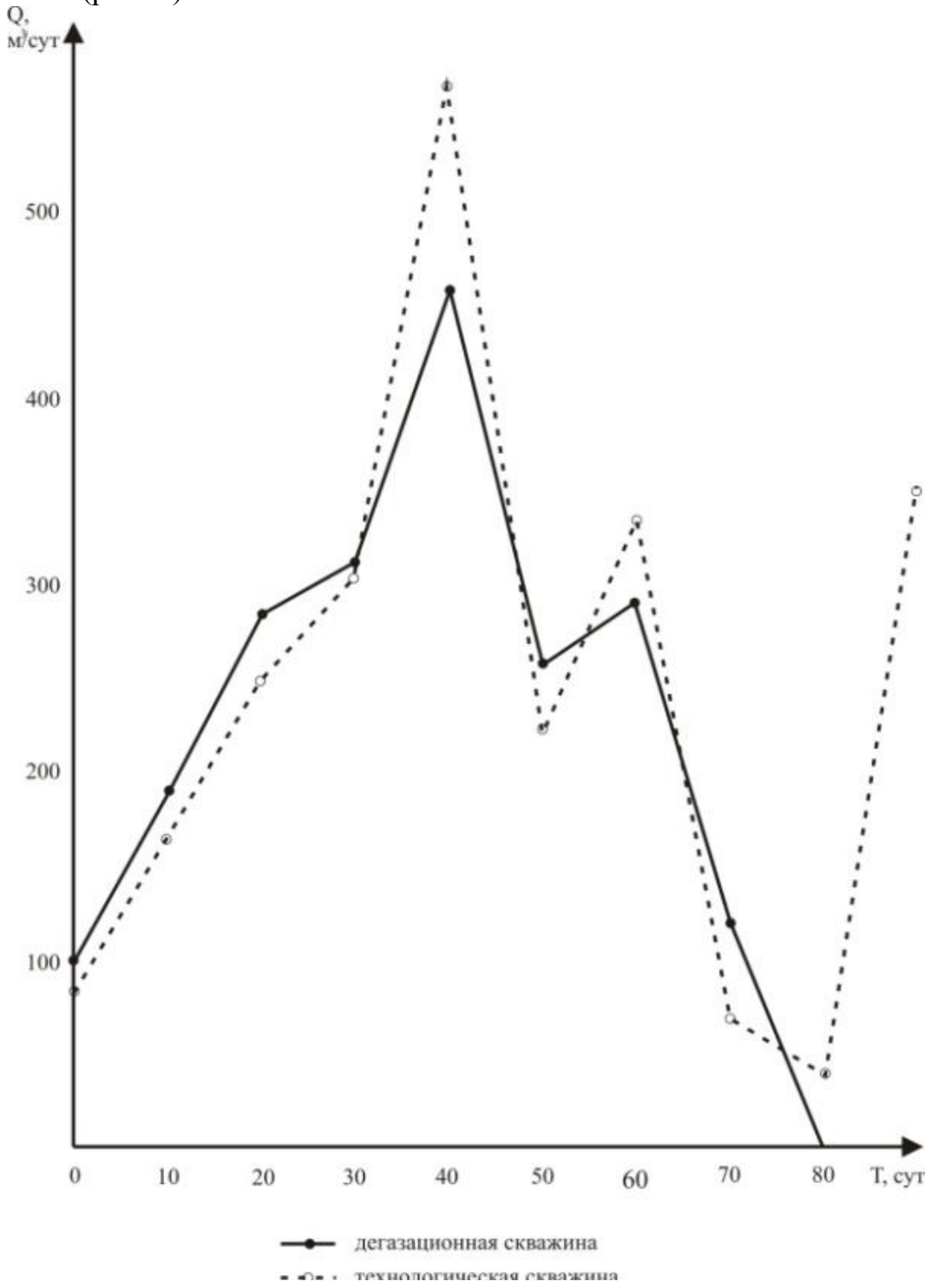


Рис. 4 – Динамика среднестатистических дебитов технологических и дегазационных скважин после ГДВ

Характер изменения дебита для обеих типов скважин аналогичен, что свидетельствует о правильности выбора схемы заложения технологических и дегазационных скважин и соответствии параметров воздействия предложенной схеме.

Учитывая обстоятельство, что радиус эффективности технологических скважин $R_{эф}=25$ м рассчитаем достигнутый коэффициент дегазации обработанной зоны пологого угольного пласта. Коэффициент дегазации определяется по формуле

$$k_{\partial} = \frac{V_{\phi}}{V_p}$$

где V_{ϕ} - фактический объем газа, выделившийся через технологическую скважину, м^3 ; V_p - расчетное количество газа в обрабатываемой зоне, м^3 ; определяется по формуле

$$V_p = Sm\chi\gamma,$$

где S - площадь зоны обработки, м^2 ; $S=(l_{ПК56}-l_{ПК11+2})R_{эф}=(560-112)25=11200 \text{ м}^2$; m - мощность пласта, м; χ - природная газоносность угольного пласта, $\text{м}^3/\text{т с.б.м.}$

Фактический объем газа, выделившийся через технологическую скважину

$$V_{\phi}=V_{\tau}+V_{\partial}$$

где V_{τ} - объем газа, выделившегося из технологических скважин, м^3 ; V_{∂} - объем газа, выделившегося из дегазационных скважин, м^3 .

Отсюда

$$V_{\phi}=176909+117452=294361, \text{ м}^3$$

$$V_p=11200 \cdot 2,51 \cdot 1,47 \cdot 22,8=942202, \text{ м}^3$$

$$k_{\partial}=\frac{294361}{942202}=0,31$$

Выводы. Таким образом, применение гидродинамического воздействия с установленными параметрами на пологом выбросоопасном пласте с целью его дегазации и разгрузки от горного давления показало, что оно позволяет:

- интенсифицировать процесс дегазации пласта. Степень дегазации обработанной зоны превышает 30%;
- увлажнить угольный пласт, уменьшив тем самым пылеобразование при работе комбайна;
- повысить концентрацию метана в дегазационном ставе за счет увеличения дебита скважин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волошин, Н.Е. Изменение выбросоопасности угольных пластов с увеличением глубины разработки / Н.Е. Волошин, Я.Н. Бойко // Уголь Украины. – 2004. – № 6. – С. 40 – 42.
2. Гусельников, Л.М. Совершенствование способов активизации газовыделения при дегазации неразгруженных угольных пластов / Л.М. Гусельников, А.Н. Осипов, С.П. Ганшевский // ГИАБ. – 2000. – №2. – С. 93-95.
3. Пучков, Л.А. Эффективное решение проблемы метанобезопасности угольных шахт России – безотлагательная задача сегодняшнего дня / Л.А. Пучков, С.В. Слостун // Уголь. – 2006. - №12. – С. 24-28.
4. Гаврилов, В.И. Снижение газонасыщенности и выбросоопасности угольных пластов в потолкоуступных лавах знакопеременным воздействием / В.И. Гаврилов, В.В. Власенко, А.В. Пищев // Вібрації в техніці та технологія: Всеукраїн. науково-техніч. журн. – 2011. – №4(64). – С. 94-96.
5. Житленок, Д.М. Способы дегазации крутых угольных пластов Центрального района Донбасса / Д.М. Житленок [и др.] // Импульсные процессы в механике сплошных сред: Матер. X междунар. научн. конф., 19-22 августа 2013 г. – Николаев: ИИПТ, 2013. – С. 165-170.

REFERENCES

1. Voloshin, N.E. and Boyko Ya.N. (2004), “Change of outburst coal seams with depth development”, *Ugol Ukrainy* [Coal of Ukraine], vol. 6, pp. 40 – 42.
2. Guselnikov, L.M., Osipov, A.N. and Ganshevskiy, S.P. (2000), “Perfection of methods activation gas release during the degassing of coal seams”, *Gornyu informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining information-analytical bulletin], vol. 2, pp. 93-95.
3. Puchkov, L.A. and Slastunov, S.V. (2006) “Effective solution is of methane safety of coal mines in Russia - an urgent task today”, *Ugol* [Coal], vol. 12, pp. 24-28.
4. Gavrylov, V.Y., Vlasenko, V.V. and Pishchev, A.V. (2011), “Reduction of gas saturation and the outburst of coal seams in overhead longwalls of variable sign impact”, *Vibracii v tekhnitsi ta tekhnologiiakh*, vol. 4(64), pp. 94-96.
5. Zhitlenok, D.M., Sofiiskyi, K.K., Sylin, D.P., Gavrylov, V.Y., Moskovskiy, O.V., Petukh, O.P. and Vlasenko, V.V. (2013), “The methods the degassing steep coal seams of the Central District of Donbass”, *Impulsnye protsessy v mekhanike sploshnykh sred* [Impulse processes in continuum mechanics], Proc. 10th Int. scientific conference “*Impulse processes in continuum mechanics*”, 19-22 Augusts 2013, Nikolaev, Ukraine, pp. 165-170.

Об авторах

Софийский Константин Константинович, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом Проблем технологии подземной разработки угольных месторождений (ОПТПРУМ), Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), г. Днепропетровск, Украина. e-mail: igtm16@yandex.ru.

Гаврилов Вячеслав Иванович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела Проблем технологи подземной разработки угольных месторождений, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), г. Днепропетровск, Украина, e-mail: gawrilov.slawick@yandex.ru.

Власенко Василий Викторович, аспирант, инженер 1 категории отдела проблем технологи подземной разработки угольных месторождений, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), г. Днепропетровск, Украина, e-mail: igtm16@yandex.ru.

About the authors

Sofiiskyi Konstantin Konstantinovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Underground Coal Mining Technology, M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics under The National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: igtm16@yandex.ru e.

Gavrylov Vyacheslav Ivanovych, Candidate of Tachnical Sciences, Senior Researcher, Senior Researcher of Department of Underground Coal Mining Technology, M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics under The National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: gawrilov.slawick@yandex.ru.

Vlasenko Vasyl Victorovych, Doctoral Student, Engineer 1st category of Department of Underground Coal Mining Technology, M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics under The National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: igtm16@yandex.ru

Анотація. *Об'єкт досліджень* – процеси, що відбуваються в масиві гірських порід, при гідродинамічній дії на нього через свердловини, пробурені з підготовчих виробок через породи покрівлі на вугільний пласт. *Мета роботи* полягає в оцінці ефективності гідродинамічної дії на газонасичений вугільний пласт i_3^1 через підземні свердловини для інтенсифікації його дегазації. *Предмет дослідження* – параметри способу гідродинамічної дії на напружений газонасичений пологий вугільний пласт. *Методи досліджень* – шахтний експеримент, статистична обробка даних. Шахтні експериментальні роботи по інтенсифікації дегазації пласта i_3^1 24 східної похилої лави шахти «Суходольська-Східна» гідродинамічною дією показали, що газовиділення з пологого пласта відбувається нерівномірно із сплесками на 40 і 60 добу і залежить від відстані свердловин до лави. Встановлено параметри гідродинамічної дії на пологий викидонебезпечний пласт, що дозволяють понизити його газонасиченість на 30%.

Ключові слова: підготовча виробка, технологічна свердловина, гідродинамічна дія, газовиділення, дегазація.

Abstract. *Object of the research:* processes in the rock massif induced by hydrodynamic impact in the holes drilled from preparatory roadways through the roof rocks into the coal seam. *Purpose of the research:* to estimate effectiveness of hydrodynamic impact on the gas-saturated coal seam i_3^1 performed through the underground holes with the aim to intensify degassing processes. *Subject of the research:* parameters for method of hydrodynamic impact on the stressed gas-saturated flat coal seam. *Methods of the research:* experiments in the mine; statistical processing of data. Mine experiments on intensifying degassing of the coal seam i_3^1 in the 24th east sloping longwall of the Sukhodolskaya East Mine with the help of hydrodynamic impact shown that gas release from the flat seam is uneven, with bursts on the 40th day and 60th day, and depends on distance between the boreholes and longwall. The authors specified parameters for the hydrodynamic impact on the flat prone-to-outburst seam allowing to reduce the seam gas saturation by 30%.

Keywords: preparatory working, technological boreholes hydrodynamic impact, gas emission, degassing.

*Стаття поступила в редакцію 30.09.2013
Рекомендовано к публікації д.геол.наук В.А. Барановым*