

УДК 622. 831.322:635

с.н.с. Радченко А. Г.
(УкрНИИМ, Украина),
с.н.с. Ашихмин В. Д.
(МакНИИ, Украина, e-mail: dmitrievich.valerij@yandex.ru),
к.т.н. Маркин В. А.
(МакНИИ, Украина),
Радченко А. А.
(ДонНАСА, Украина)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВЕДЕНИЯ ГИДРОРЫХЛЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В ЗОНАХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ

Рассмотрены параметры и технологические схемы ведения гидрорыхления пластов и контроля его эффективности в зонах геологических нарушений, а также направления по их дальнейшему совершенствованию.

Ключевые слова: *внезапный выброс угля и газа, зоны геологических нарушений, зона разгрузки, параметры гидрорыхления.*

Внезапные выбросы угля и газа часто происходят в зонах геологических нарушений. Параметры нагнетания воды в пласт, рассчитанные для нормальных условий залегания пласта, во многих случаях в зонах геологических нарушений не соответствуют изменившимся, конкретным, более сложным горно-геологическим условиям [1]. Анализ литературы показал, что в ряде случаев эффективность гидрорыхления в зонах горно-геологических нарушений (ГГН) более низкая по сравнению с нормальными условиями залегания угольных пластов. В нормативных документах [2] даны параметры гидрорыхления для нормальных условий залегания пластов, но применение этих нескорректированных параметров при пересечении зон горно-геологических нарушений (ГГН) приводит к их несоответствию конкретным горно-геологическим условиям, к авариям и травматизму. Наличие зоны ГГН оказывает существенное влияние на эффективность применения гидрорыхления. Так, за период 1971—2012 г.г. на участках, где применялось гидрорыхление, произошло 89 внезапных выбросов угля и газа, в том числе в зонах ГГН - 37. Статистический анализ, выполненный в работе

[1], показал, что внезапные выбросы угля и газа происходили как при выдержанных параметрах гидрорыхления, так и при нарушении этих параметров. При выдержанных параметрах способа произошло 40 внезапных выбросов, в том числе в зонах ГГН – 22; при нарушенных параметрах способа зафиксировано 49 выбросов, в том числе в зонах ГГН произошло 15 внезапных выбросов. Следовательно, важным направлением является повышение эффективности применения гидрорыхления в зонах нарушений.

Целью настоящей работы является рассмотрение перспективных направлений по совершенствованию эффективности ведения гидрорыхления в зонах геологических нарушений различных типов.

По нашему мнению, совершенствование эффективности применения гидрорыхления в зонах геологических нарушений различных типов необходимо выполнять по следующим направлениям:

© Радченко А. Г., 2016

© Ашихмин В. Д., 2016

© Маркин В. А., 2016

© Радченко А. А., 2016

а) выбор наиболее рациональных технологических схем и решений при ведении гидрорыхления и контроля его эффективности;

б) корректировка и оптимизация параметров гидрорыхления в зависимости от конкретных изменившихся горно-геологических условий;

в) обоснование оптимальных расстояний длин скважин для ведения контроля эффективности гидрорыхления в зонах геологических нарушений на глубинах разработки свыше 600 м.

Гидрорыхление угольных пластов в Донбассе выполняется согласно нормативного документа [2]. К параметрам гидрорыхления относятся: диаметр, длина скважин, глубина герметизации, величина неснижаемого опережения, радиус эффективного влияния скважины, расстояние между скважинами, количество воды, закачиваемой в скважину, давление и темп нагнетания. Ниже приведены основные параметры гидрорыхления:

Диаметр скважин, D , мм

$$D = 42 - 45.$$

Длина скважин, $L_{скв}$, м

$$L_{скв} = 4 - 8.$$

Глубина герметизации, L_2 , м

$$L_2 = 4,0 - 7,0.$$

Величина неснижаемого опережения, $L_{н.о}$, м

$$L_{н.о} = L_{\phi} = 2,0.$$

Расстояние между скважинами, S , м

$$S = 8,0 - 9,0.$$

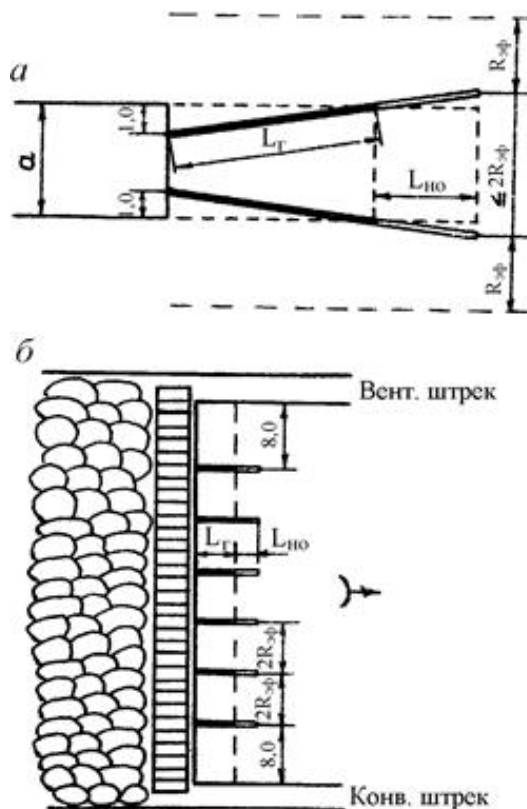
Расчетный удельный расход воды, $g_{уд}$, л/т,

$$g_{уд} \geq 20.$$

Сущность способа заключается в высоконапорном нагнетании воды в угольные

пласты через скважины, пробуренные из забоев очистных и подготовительных выработок. Под действием высокого давления воды происходит разрушение угля, которое в дальнейшем сопровождается разгрузкой и дегазацией призабойной части пласта. Скважины для гидрорыхления бурятся по наиболее крепкой пачке пласта. Число скважин в подготовительной выработке должно быть не менее двух. Скважины бурят на расстоянии 1,0 м от кутков с наклоном 5-7° в сторону массива. В очистных выработках скважины каждого последующего цикла гидрорыхления необходимо бурить между скважинами предыдущего цикла. В лаве скважины бурятся перпендикулярно забою.

На рисунке 1 приведено расположение скважин для гидрорыхления в подготовительном и очистном забоях.



а – в подготовительном забое
б – в очистном забое

Рисунок 1 – Схемы расположения скважин для гидрорыхления пласта

Расстояние между скважинами не должно превышать $2R_{эф}$, где $R_{эф}$ – эффективный радиус нагнетания воды в угольный пласт, определяемый из условия (1):

$$R_{эф} \leq 0,8L_z. \quad (1)$$

Количество воды Q (m^3), нагнетаемой в одну скважину, определяется по формуле:

$$Q = \frac{2R_{эф}gm\gamma}{1000}(L_z + L_{н.о}), \quad (2)$$

где g – расчетный удельный расход воды, л/т (должен составлять не менее 20 л/т);

m – мощность пласта, м;

γ – объемный вес угля, t/m^3 .

Давление воды при нагнетании принимают определяется по формуле:

$$P = (0,75 \div 2,0)\gamma H, \quad (3)$$

где q – объемная плотность пород, t/m^3 ;

H – глубина разработки, м.

Темп нагнетания должен составлять не менее 3 л/мин. Выемку угля после гидрорыхления допускается производить не более чем на глубину L_z . Гидрорыхление считается законченным, если в скважину подано расчетное количество воды и давление в высоконапорном трубопроводе снизилось не менее чем на 30% от максимального, достигнутого в процессе нагнетания. Гидрорыхление угольных пластов в Донбассе в настоящее время применяется достаточно широко в качестве противовыбросного мероприятия. По данным работы [1] в 1991 г. способ применялся в 53 очистных и 52 подготовительных забоях; а в 1992 г. – в 50 очистных и 51 подготовительном забоях. Для нормальных условий залегания пластов глубину герметизации скважин для гидрорыхления для каждого подготовительного или очистного забоя рассчитывают в зависимости от средней

величины зоны разгрузки призабойной части пласта по формуле:

$$L_z = 1,5 \cdot L_p, \quad (4)$$

где L_p – средняя величина зоны разгрузки, м.

Применение гидрорыхления в зонах ГГН предусматривает ряд последовательных этапов и операций: оценка степени выбросоопасности зоны ГГН; выбор комплекса мер для безопасного пересечения ГГН; выбор параметров и технологической схемы выполнения гидрорыхления в зависимости от параметров геологического нарушения; выбор параметров и технологической схемы ведения контроля эффективности гидрорыхления; в ряде случаев проведение серии опытных нагнетаний и уточнение параметров и технологической схемы гидрорыхления; уточнение технологической схемы параметров контроля эффективности гидрорыхления.

По результатам оценки степени выбросоопасности зоны ГГН – (оценка выполняется согласно требований [2]) принимается решение о возможности применения и осуществления выбора основных параметров гидрорыхления. Основные параметры гидрорыхления в зонах ГГН необходимо уточнять по сравнению с нормальными условиями залегания пластов.

В зонах геологических нарушений необходимо учитывать следующие факторы: глубину разработки – H , м; мощность пласта – m , м; угол падения пласта – α , град; крепость угля – f , у.е.; степень выбросоопасности зоны ГГН, которая определяется по результатам измерений величины зоны разгрузки; тип геологического нарушения; основные параметры нарушения; минимальную величину зоны разгрузки в геологическом нарушении L_p , м.

В зонах геологических нарушений определение величины зоны разгрузки выполняется согласно нормативного доку-

мента [2]. Оптимальный диаметр скважин для гидрорыхления рекомендуется принимать $D = 42 \div 44$ мм, а оптимальную длину скважины в зонах нарушений следует принимать $L_{скв} = 6 \div 8$ м. Длина скважины включает в себя две составляющие: глубину герметизации скважины L_2 и длину фильтрующей части скважины L_{ϕ} , $L_{\phi} = 2$ м.

Для определения оптимальной величины L_2 для конкретного геологического нарушения возможно использовать инженерный метод определения параметров гидрорыхления, основанный на использовании системы коэффициентов и согласно [1] глубина герметизации – L_2 (м) рассчитывается по формуле:

$$L_2 = 5m \cdot K_H \cdot K_{\alpha} \cdot K_f, \quad (5)$$

где m – мощность пласта, м;

K_H , K_{α} , K_f – коэффициенты, учитывающие соответственно, влияние глубины горных работ, угла падения пласта и прочностные свойства угля.

В таблице 1 приведены числовые значения коэффициентов K_H , K_{α} , K_f .

Важной характеристикой напряженного и газодинамического состояния пласта является величина зоны разгрузки в нарушении L_p , которая для уточнения параметров гидрорыхления в зонах ГГН измеряется перед производством гидрорыхления.

Согласно методике, изложенной в работе [3] величина L_2 в зависимости от значения величины L_p может выражаться следующей зависимостью:

$$L_2 = 0,41L_p + 4,54, \text{ м.} \quad (6)$$

Для зон ГГН характерна высокая степень изменчивости крепости угля (f) и углов падения пласта (α), поэтому величину L_2 необходимо корректировать с уче-

том конкретных горно-геологических условий. Согласно [3], для очистных забоев в зонах геологических нарушений величину L_2 следует определить по формуле:

$$L_2 = (0,41L_p + 4,54) \cdot K_{\alpha} \cdot K_f, \text{ м.} \quad (7)$$

В зонах ГГН, в связи с их высокой неоднородностью, наблюдается также повышенная изменчивость величины зоны разгрузки L_p , поэтому к расчету следует принимать ее минимальное измеренное значение. Выбранные основные параметры гидрорыхления в зоне нарушения уточняются путем проведения не менее чем в трех сериях опытных нагнетаний. Таким образом, путем корректировки достигается соответствие параметров гидрорыхления конкретным горно-геологическим условиям.

Рассмотрим наиболее типичные технологические схемы гидрорыхления и контроля эффективности способа на пологих нарушенных пластах. В зоне ГГН и на 10-метровых прилегающих к нарушению участках должно буриться оптимальное количество скважин для гидрорыхления. Число скважин N_c и технологические схемы гидрорыхления и контроля эффективности способа применяют в зависимости от степени выбросоопасности нарушения участка пласта, типа нарушения и основных его параметров. Для очистных забоев расстояние между скважинами гидрорыхления рекомендуется принимать не более $2R_{эф}$. Согласно [2] на выбросоопасных и особо выбросоопасных пластах в очистных забоях, непосредственно в самой зоне нарушения и на десятиметровых прилегающих к нарушению участках, необходимо вести усиленный контроль эффективности гидрорыхления. На рисунке 2 показаны технологические схемы гидрорыхления и контроля эффективности его применения для очистных забоев.

Таблица 1 – Значения коэффициентов

Наименование факторов и коэффициентов	Числовые значения влияющих факторов и коэффициентов									
	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
Глубина работ H , м	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
K_H	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Угол падения α , град.	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
K_α	1,01	1,00	0,98	0,95	0,91	0,87	0,83	0,80	0,78	0,77
Прочность f , у.е.	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
K_f	1,94	1,30	1,01	0,83	0,71	0,64	0,57	0,50	0,45	0,42

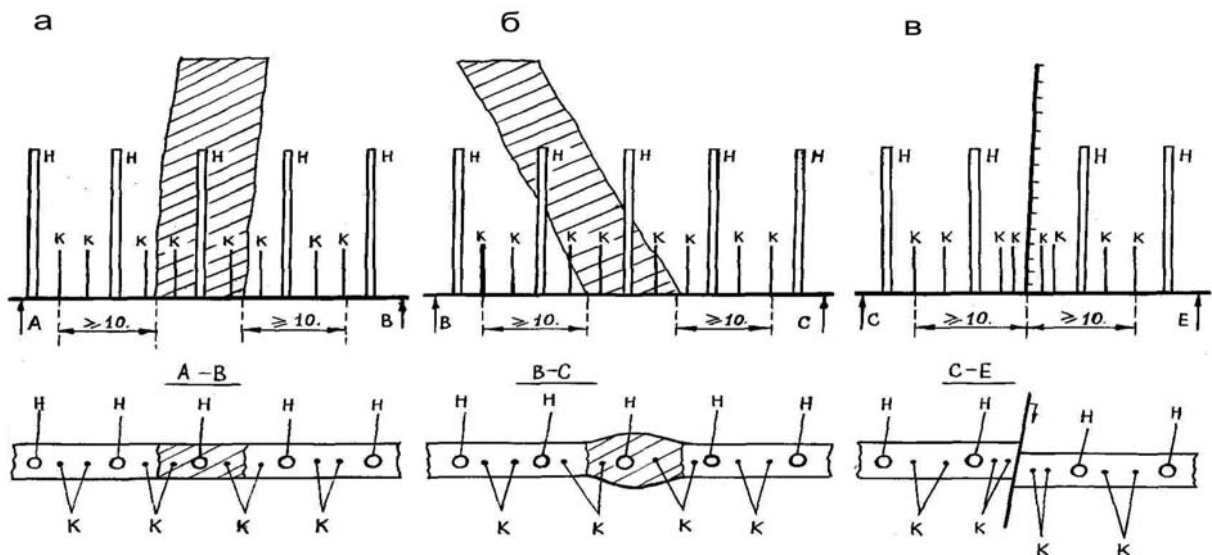


Рисунок 2 – Схемы выполнения гидрорыхления и контроля эффективности его применения для очистных забоев в зонах нарушений:

а – структурных; б – пликативных; в – диз'юнktivных (разрывных)

В разрывных геологических нарушениях с амплитудой смещения более половины мощности пласта, т.е. при значениях $A > m/2$ применение гидрорыхления не целесообразно и нами не рекомендуется.

Контроль эффективности гидрорыхления в Донбассе выполняется согласно [2] по методике измерения динамики начальной скорости газовыделения из шпуров - g_n (л/мин). По данным изменения началь-

ной скорости газовыделения из шпура, определяют величину зоны разгрузки на данном участке пласта. Длина измерительной газовой камеры равна 0,20 м.

Согласно п. 6.3, 6.5 нормативного документа [2] гидрорыхление считается эффективным, если после его применения величина зоны разгрузки превышает глубину полосы выемки угля, которая вынимается за цикл (например, $r = 0,63$ м) не меньше, чем на величину безопасного

опережения равного $b = 1,3$ м; т.е. $L_p > 0,63 + 1,3$ м или $L_p \geq 2,0$ м. Следует подчеркнуть, что это положение было изложено еще в нормативном документе [1] и разработано оно было для нормальных условий залегания угольных пластов, а не для зон геологических нарушений. Ведение горных работ на выбросоопасных угольных пластах в зонах геологических нарушений относится к сложным и особо сложным условиям разработки угольного месторождения и сопровождается рядом особенностей. Анализ 209 выбросов угля и газа, которые произошли в Донбассе в зонах геологических нарушений за период 1970–2012 гг., показал, что из них – 24 выброса произошли с интенсивностью выброшенного угля свыше 200 тонн.

В качестве примера рассмотрим последствия внезапного выброса угля и газа, который произошел 20.02.2003 г. на шахте «Ясиновская-Глубокая». Выброс произошел в зоне влияния надвига № 6 с амплитудой $A = 2,3$ м; было выброшено 1344 тонн угля и выделилось более 40 000 м³ газа, в результате выброса смертельно травмированы 4 человека. В работе [1] показано, если предположить, что ширина полости равна в среднем 12 м, то глубина полости выброса составит не менее 50 м. Таким образом, выбросы угля и газа в зонах геологических нарушений на глубинах разработки свыше 600 м формируются и происходят с глубины угольного массива, а расстояние от поверхности забоя до геометрического центра полости выброса превышает 5–10 м.

В Донбассе проведение подготовительных выработок на особо выбросоопасных угольных пластах в зонах нарушений всех типов рекомендуется осуществлять с помощью буровзрывных работ в режиме сотрясательного взрыва. На выбросоопасных и угрожаемых шахтопластах, в зонах нарушений при выявлении текущим прогнозом опасных зон, подготовительные забои разрешается проводить с применением

гидрорыхления (в случае возможности бурения скважин необходимой глубины), при этом обязателен усиленный контроль эффективности гидрорыхления (рис. 3).

На рисунке 3 приведены схемы расположения скважин для гидрорыхления и шпуров для ведения контроля эффективности гидрорыхления по начальной скорости газовыделения из шпуров для подготовительных выработок, проводимых по следующим типам нарушений: структурные, пликативные в виде утонения или увеличения мощности пласта.

Ширина обрабатываемой полосы угля в подготовительных забоях принимается равной:

$$C = B + 2v, \text{ м}, \quad (8)$$

где B – ширина угольного забоя, м;
 v – ширина обрабатываемой полосы за контуром выработки, $v = R_{\text{эф}} - 1,0$, м.

Число скважин в подготовительных выработках должно быть не менее двух.

Обзор многочисленной литературы и результаты статистической обработки размеров полостей выбросов угля и газа, происшедших в Донбассе на глубинах свыше 600 м, показали, что на расстоянии 5,0 – 6,0 м от поверхности забоя угольного пласта происходят следующие процессы: а) заканчивается зона отжима и начинается зона максимума опорного давления; б) уменьшается газопроницаемость пласта и происходит более интенсивное нарастание давления газа; в) достигается стабилизация значений природной газоносности пласта. В связи этим, формирование и проявление выбросоопасности в большинстве случаев происходит на расстоянии более 3,0 м от поверхности забоя угольного пласта.

Выполненный нами анализ внезапных выбросов угля и газа, которые произошли в Донбассе показал следующее. Оценку степени выбросоопасности угольных пластов в нормальных условиях их залегания

необходимо выполнять на глубину не менее 5,0 м, а в зонах геологических нарушений оценку степени выбороопасности угольных пластов и контроль эффективности гидрорыхления необходимо выполнять на глубину не менее 6,0 м с учетом следующих факторов: а) весовой выход летучих веществ; б) амплитуда геологического нарушения.

Выводы и направление дальнейших исследований

1. Для дальнейшего более совершенного и эффективного применения гидрорыхления в зонах геологических нарушений различных типов необходимо разработать конструкцию герметизатора скважин, позволяющую выполнять контроль эффективности гидрорыхления на глубину не менее 5,0÷6,0 м.

2. На глубинах ведения горных работ свыше 600 м в Донбассе необходимо разработать усовершенствованный способ определения величины зоны разгрузки.

Эта задача может быть успешно решена на основе применения комплекса геофизических и сейсмоакустических методов измерений. Без оперативного и точного определения величины зоны разгрузки пласта в зонах геологических нарушений и в других сложных горно-геологических условиях невозможна своевременная корректировка параметров противовыбросных мероприятий.

3. Контроль эффективности гидрорыхления на глубинах свыше 600м в зонах геологических нарушений рекомендуется в дальнейшем выполнять при следующих минимальных длинах скважин:

- а) на выбороопасных пластах $l \geq 5,0 - 5,5$ м;
- б) на особо выбороопасных пластах $l \geq 4,5 - 5,0$ м.

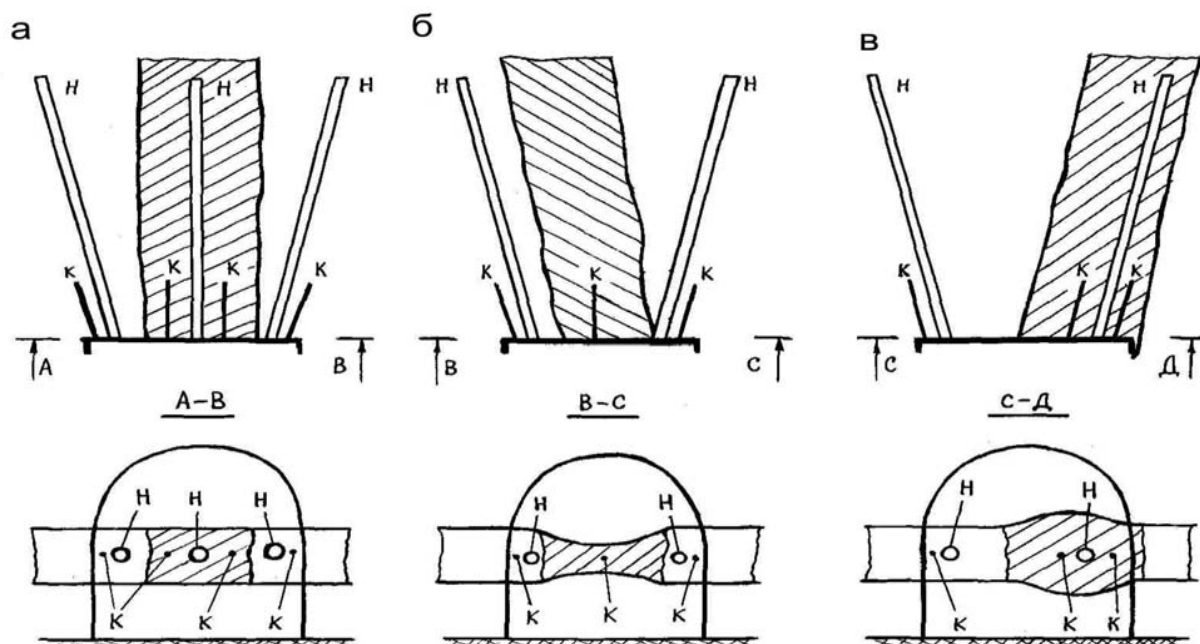


Рисунок 3 – Схемы выполнения гидрорыхления и контроля эффективности его применения для подготовительных выработок, проводимых по нарушенным участкам пласта: а – структурные нарушения; б – утонение мощности пласта; в – увеличения мощности пласта

4. Применение усовершенствованного безопасного ведения горных работ на глубинах свыше 600м в сложных горно-геологических условиях разработки выбросоопасных, газоносных нарушенных угольных пластов Донбасса.

Бібліографічний список

1. Минеев С. П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах : монография / С. П. Минеев, А. А. Рубинский, О. В. Витушко, А. Г. Радченко. – Донецк: ООО «Східний видавничий дім», 2010. – 603 с.
2. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям : СОУ 10.1.00174088.011-2005. – Киев: Минуглером Украины, 2005. – 225 с.
3. Балинченко И. И. Выбор параметров гидрорыхления для предотвращения выбросов в конкретных горно-геологических условиях / И. И. Балинченко, Л. Ф. Горягин, Т. Я. Мхатвари, А. И. Резниченко // Совершенствование технологии строительства горных предприятий. – Донецк: ЦБНТИ, 1992. – С. 125–135.
4. Радченко А. Г. Закономерности проявления внезапных выбросов угля и газа с глубиной / А. Г. Радченко, В. А. Маркин, В. Д. Ашихмин, А. А. Радченко // Сб. науч. тр. донбасского государственного технического университета. – Лисичанск: ДонГТУ, — 2015. — Вып. 1 (44). – С. 59–66.
5. Выбросы угля, породы в шахтах Донбасса в 1906–2007 гг.: справочник / [Н. Е. Волошин, Л. А. Вайнштейн, А. М. Брюханов и др.]. – Донецк: СПД Дмитренко, 2008. – 920 с.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонГТУ Антощенко Н. И., д.т.н., с.н.с. МакНИИ Кудиновым Ю. В.

Статья поступила в редакцию 31.03.16.

с.н.с. Радченко О. Г. (УкрНДМІ, Україна), с.н.с. Ашихмін В. Д., к.т.н. Маркін В. О. (МакНДІ, Україна), Радченко О. О. (ДонНАБА, Україна)
ВДОСКОНАЛЕННЯ ВЕДЕННЯ ГІДРОРОЗПУШУВАННЯ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ В ЗОНАХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПОРУШЕНЬ

Виконано аналіз ефективності гідророзпушування в зонах з нормальними умовами залягання вугільних пластів і в зонах гірничо-геологічних порушень.

Розглянуто перспективні напрямки щодо вдосконалення ефективності ведення гідророзпушування в зонах геологічних порушень.

Ключові слова: раптовий викид вугілля і газу, зони геологічних порушень, зони розвантаження, параметри гідророзпушування.

Senior researcher Radchenko O. G. (UkrNDMI, Ukraine), senior researcher Ashymin V. D., PhD (Engineering) Markin V. O. (MakSRI, Ukraine), Radchenko O. O. (DonNACEA, Ukraine)

IMPROVEMENT OF CONDUCTING HYDROLOOSENING OF COAL LAYERS IN ZONES OF GEOLOGICAL VIOLATIONS

The analysis of efficiency of hydroloosening in zones with normal conditions of a bedding of coal layers and in zones of mining-and-geological violations is made.

The perspective directions on improvement of efficiency of conducting hydroloosening in zones of geological violations are considered.

Key words: sudden emission of coal and gas, zone of geological violations, unloading zones, hydroloosening parameters.