

УДК 622.807

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЯ  
ГИДРОВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРИ ВЕДЕНИИ БУРОВЗРЫВНЫХ  
РАБОТ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Артамонов В.Н., Николаев Е.Б.

ДонНТУ

*Рассматривается новый подход к формированию физико-механической модели процесса увлажнения и исследуются механизмы разрушения угля в увлажненной зоне и процессы пылегазообразования при взрывной отбойке угля за счет поэтапного гидровоздействия на угольный пласт.*

Повышение уровня производства в угольной отрасли сопровождается не только применением высокопроизводительного оборудования и современных технологий, но и интенсификацией труда горнорабочих в условиях высокой запыленности на рабочих местах. Это приводит к увеличению числа профессиональных заболеваний работников угольных шахт и значительным потерям рабочего времени.

Результаты анализа постоянного санитарно-эпидемиологического контроля промышленных предприятий на Украине, свидетельствуют, что за последние годы наибольшие превышения предельно-допустимых концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны наблюдаются на угольных предприятиях Министерства топлива и энергетики (31%). Угольная отрасль остается первой в списке основных форм профзаболеваний (65%), связанных с органами дыхания – пневмокониоза и хронического пылевого бронхита, при этом наибольшее число профпаталогий регистрируется в Донецкой области (42%) [1].

Технологические процессы в угольных шахтах неразрывно связаны с образованием пыли. Одним из таких процессов являются БВР, объем применения, которых на шахтах Донбасса высок. Только на шахтах Донецко-Макеевского района при проведении горных выработок из 88 подготовительных забоев - 67 велись с применением БВР. В очистных забоях взрывные работы необходимы в основном для подготовки ниш: из 52 лав – в 37 ниши оформлялись взрывным способом.

Взрывные работы, являясь мощным средством разрушения и облегчения механизации трудоемких процессов загрязняют шахтную атмосферу ядовитыми газами и мелкодисперсной пылью, усложняют

пылегазовую обстановку на рабочих местах, создают потенциальную опасность отравлений и пылевых заболеваний для горнорабочих. Пыль, образующаяся при взрывных работах, усиливается адсорбцией на ее поверхности ядовитых газов, что повышает ее фиброгенную активность, способствует интенсивному развитию заболевания и снижая производительность труда.[2,3].

В результате, профессиональная заболеваемость пневмокониозом, в частности антракосиликозом, среди горняков продолжает оставаться на высоком уровне, превышая производственный травматизм не только со смертельным, но в отдельные годы и с тяжелым исходом. Только в 2000г в ГП «Донецкуголь» зарегистрировано 1738 случаев заболеваемости пневмокониозом [4].

Особенность проявлений пылегазового фактора такова, что при незначительной, в сравнении с другими факторами, частоте, их тяжесть весьма велика и, как правило, приводит к тяжелым социально-психологическим и экономическим последствиям.

Для угольных шахт практически не создано устойчивых систем и способов (кроме проветривания) подавления образующихся после взрывных работ, ядовитых газов и пыли. Широкое внедрение прогрессивной технологии производства взрывных работ и техники их выполнения, с одновременным осуществлением комплекса мер по снижению пылегазовыделения после взрывных работ не устраняет угрозы возникновения опасных загазований и отравлений ядовитыми продуктами взрыва, роста уровня запыленности воздуха и заболеваемости горнорабочих угольных шахт пневмокониозом. Орошения и вентиляции, как основных способов устранения вредных продуктов взрывных работ, оказывается недостаточно для снижения пылегазовыделений до требуемых норм.

Анализ основных факторов, влияющих на образование вредностей при производстве взрывных работ показал, что на процессы пылегазообразования при взрывной отбойке угля в первую очередь влияют энергетические параметры разрушения (длина и количество шпуров, тип и количество одновременно взрываемых ВВ, применяемые средства взрывания) и физико-механические свойства пласта, в котором происходит взрывание. Большинство исследований посвященных обеспечению минимального выхода пыли и ядовитых газов после взрывных работ направлены в основном на улучшение качества взрывчатых веществ (ВВ) и средств взрывания (СВ), совершенствования параметров БВР, средств и способов пылеподавления [5].

Механизм разрушения угля с позиций наименьшего пылеобразования за счет изменения свойств среды, в которой происходит взрывание, используется недостаточно. Таким образом, недооценивается возможность снижения выхода респирабельной пыли, образующейся при взрывной отбойке угля уменьшением пылеобразующей способности пласта при его увлажнении.

При взрывании в увлажненной зоне пласта меняется как механизм разрушения угля, так и процессы пылегазообразования. Подача увлажняющей жидкости непосредственно в пласт до его разрушения дает возможность связывать пыль, содержащуюся в пласте и пыль, образующуюся при разрушении угля. Подавляются как крупные фракции пыли, так и респирабельные, размером менее 5 мкм, на которые приходится преобладающее количество пыли – 90...95%. Весь процесс подавления пыли осуществляется путем смачивания и обволакивания пылинок жидкостью с ПАВ, что приводит к увеличению веса пылинок и склонности их к агрегации. Увлажнение при разрушении угля, не дает возможности образоваться "вторичной" пыли. Кроме того, увлажнение пласта, до его разрушения, способствует связыванию первичной «материнской» пыли находящейся в пласте.

Необходимо учитывать, что при разрушении угольного массива изменяется поверхность разрушения, которая рассматривается, как поверхность адсорбирования вредных газов, которые затем выделяются, так как поверхности разрушенного увлажненного и неувлажненного угля будут разные. МакНИИ было установлено, что суммарный выход пылевых частиц пропорционален работе, затраченной на разрушение угля, при этом на содержание пыли в разрушенном угле в большей степени оказывают влияние свойства пласта, чем режим его разрушения [5].

Исследованиями [6, 7, 8] подтверждается, что в увлажненном массиве при разрушении уменьшается выход мелких фракций пыли. Это не требует применения дополнительного мелкодисперсного орошения, достаточно водораспылительных завес с добавками ПАВ.

Наиболее предпочтительным в этом случае является комплексный метод нейтрализации ядовитых газов и пыли, включающий заблаговременное увлажнение угля в зонах ведения БВР, а также его последующее увлажнение как во время взрыва (гидропасты, гидрозабойки с растворами ПАВ), так и сразу после взрыва (орошение водными растворами ПАВ). Решение задачи очистки атмосферы от продуктов взрыва ВВ необходимо производить в комплексе с изменением технологии ведения взрывных работ,

конструкции вруба, забоечного материала, применения химических нейтрализаторов газов и др., наряду с изменением свойств самой среды, в которой происходит взрывание [9].

Общее количество пыли, образующееся при взрывных работах, можно определяется по формуле [10]:

$$P_B = \frac{0,785\alpha_B G Q E K_T}{\tau^2 (1 - \mu^2) d_{\Pi} K_{\Phi} S_{\text{уд}}}, \quad (1)$$

где  $\alpha_B$  – КПД взрыва;  $G$  – масса заряда, кг;  $Q$  – удельная теплота взрыва, Дж/кг;  $E$  – модуль упругости угля, Па;  $K_T$  – механический эквивалент теплоты;

$\tau$  – предел прочности угля на сдвиг, Па;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $d_{\Pi}$  – диаметр частиц пыли (средний), м;  $K_{\Phi}$  – коэффициент, учитывающий форму частиц пыли,  $K_{\Phi} = 20 \dots 26$ ;  $S_{\text{уд}}$  – площадь поверхности пыли, м<sup>2</sup>.

Входящие в формулу (1) параметры можно условно разделить на две группы: переменные параметры, характеризующие свойства среды, в которой происходит взрывание (в нашем случае это угольный пласт, находящийся в зоне ПГД) –  $P_{\text{пл}}$ ; постоянные энергетические параметры взрыва –  $P_{\text{взр}}$ :

$$P = P_{\text{взр}} \times P_{\text{пл}}, \quad (2)$$

$P_{\text{взр}} = 0,785\alpha_B G Q K_T$  – энергетический параметр взрыва;

$P_{\text{пл}} = \frac{E}{\tau^2 d_{\Pi} (1 - \mu^2) K_{\Phi} S_{\text{уд}}}$  – параметр, характеризующий свойства пласта.

Это дает возможность записать выражение (2) в виде уравнений с постоянными параметрами взрыва и переменными параметрами свойств угольного пласта до и после увлажнения :

$$P_1 = P_{\text{взр}1} \times P_{\text{пл}1},$$

$$P_2 = P_{\text{взр}2} \times P_{\text{пл}2}, \quad (3)$$

Тогда коэффициент изменения пылеобразования при взрывной отбойке угля с учетом изменяющейся влажности пласта:

$$k_{II} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{P_{взр1}}{P_{взр2}} \times \frac{P_{нл1}}{P_{нл2}} = \frac{0,785\alpha_{B1}G_1Q_1K_{T1}}{0,785\alpha_{B2}G_2Q_2K_{T2}} \frac{dK_{\phi}E_1\tau_2^2(1-\mu_2^2)S_{уд2}}{dK_{\phi}E_2\tau_1^2(1-\mu_1^2)S_{уд1}} \quad (4)$$

где  $\frac{P_{взр1}}{P_{взр2}}$  – постоянная величина,  $\frac{P_{нл1}}{P_{нл2}}$  – переменная величина.

Если отношения характеристик пласта до и после увлажнения в формуле (4) обозначить в виде:

$$k_E = \frac{E_1}{E_2}, \quad k_{\tau} = \frac{\tau_2^2}{\tau_1^2}, \quad k_{\mu} = \frac{(1-\mu_2^2)}{(1-\mu_1^2)}, \quad k_s = \frac{S_{уд2}}{S_{уд1}}, \quad (5)$$

где  $E_1, E_2$  – модули упругости,  $\tau_1, \tau_2$  – модули сдвига,  $\mu_1, \mu_2$  – коэффициенты Пуассона и  $S_{уд1}, S_{уд2}$  – площади поверхностей пыли угольного пласта – до и после увлажнения;

то коэффициент изменения пылеобразования при ведении взрывных работ за счет изменения физико-механических свойств угольного пласта под воздействием увлажнения, в общем виде описывается уравнением:

$$k_{II} = k_E \cdot k_{\tau} \cdot k_{\mu} \cdot k_s \quad (6)$$

Придания физического смысла входящим в выражение (6) коэффициентам, в зависимости от изменяющейся влажности пласта позволит определять количество образующейся при взрывных работах пыли:

$$P_B' = k_{II} \cdot P_B \quad (7)$$

а с учетом влияния увлажнения на составляющие выражения (6) – прогнозировать запыленность воздуха при взрывной отбойке угля.

С целью получения коэффициента изменения пылеобразования при взрывной отбойке угля, с учетом прироста влажности пласта были проведены лабораторные и натурные исследования по установлению изменений деформационных характеристик угля (модуля упругости  $E$ , модуля сдвига  $G$ , и коэффициента Пуассона  $\mu$ ) и поверхности его разрушения от степени увлажнения водными растворами ПАВ.

Для испытаний был выбран уголь пласта  $k_6$  шахты «Лидиевка» ГП «Донецкуголь», так как высокая крепость угля ( $f = 1,5$ ) и энергоемкость его разрушения требует применения БВР при подготовке ниш.

На расстоянии 25-50 м от нижней ниши 7 западной лавы пласта  $k_6$  шахты «Лидиевка» была сформирована увлажненная зона пласта, из которой после ведения взрывных работ производился отбор проб отбитого угля. Такой же отбор проб проводился из неувлажненной зоны верхней ниши. Ситовым методом определялся их гранулометрический состав. Качественная оценка влажности угля осуществлялась путем неразрушающего воздействия на уголь ультразвуковыми установками УК-10П с игольчатыми пьезодатчиками [11], что позволило определить деформационные характеристики угля неразрушающим методом на образцах неправильной формы.

Увлажнение угольного пласта водными растворами синтанола в зоне производства взрывных работ привела к изменению деформационных характеристик угля. В результате исследований были установлены зависимости, где четко прослеживается влияние увлажнения на деформационные характеристики угля, получена количественная зависимость влажности образцов от концентрации ПАВ в воде. Наибольшее насыщение достигнуто при концентрации синтанола в воде 0,7 %. При этой же концентрации наблюдались и максимальные изменения значений деформационных характеристик.

С увеличением влажности угля с 3 до 6% модули упругости и сдвига уменьшились на 80-85 %, коэффициент Пуассона увеличился на 20 %, что свидетельствует об увеличении пластичности угля, снижении его способности к накоплению энергии упругого деформирования и к хрупкому разрушению. Погрешность между результатами измерений деформационных характеристик образцов угля, увлажненных в лабораторных условиях и отобранных из увлажненной зоны угольного пласта, не превышала 21 %.

Полученные в результате натуральных исследований средние значения переменных величин, входящие в систему выражений (5) для определения выхода пыли при взрывной отбойке угля, с приростом его влажности на 3,5 % представлены в таблице 1.

Согласно (6), для различных значений прироста влажности пласта  $\Delta W, \%$  в результате поэтапного гидровоздействия, соответствующих изменений деформационных характеристик пласта и площади поверхности разрушения угля был рассчитан коэффициент изменения пылеобразования при ведении взрывных работ на участках пласта с разной степенью его увлажнения (табл. 2).

Таблица 1

## Переменные величины системы выражений (5)

| Прирост влажности, $\Delta W, \%$ | коэффициент Пуассона, $\mu$ | модуль упругости $E, \text{Па}$ | модуль сдвига, $\tau, \text{Па}$ | площадь поверхности пыли, $S_{\text{уд}} \text{ м}^2$ |
|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---|
| 0                                 | 0,38                        | 3448656                         | 1249513,1                        | 195,19  |
| 0,5                               | 0,392                       | 2968963                         | 1066438,0                        | 188   |
| 1                                 | 0,41                        | 2528390                         | 896592,5                         | 172   |
| 1,5                               | 0,421                       | 2103009                         | 739975,1                         | 156   |
| 2                                 | 0,432                       | 1708622                         | 596586,1                         | 140   |
| 2,5                               | 0,441                       | 1344239                         | 466425,8                         | 124   |
| 3                                 | 0,459                       | 1019823                         | 349494,1                         | 108   |
| 3,5                               | 0,47                        | 722625,1                        | 245791,7                         | 96,34   |

Таблица 2

Определение коэффициента изменения пылеобразования  $k_{\text{И}}$ 

| $\Delta W, \%$ | $k_E$  | $k_\tau$ | $k_\mu$ | $k_s$ | $k_{\text{И}}$ |
|----------------|--------|----------|---------|-------|----------------|
| 0              | 1      | 1        | 1       | 1     | 1              |
| 0,5            | 1,1616 | 0,7284   | 0,9891  | 1,038 | 0,869          |
| 1              | 1,3639 | 0,5148   | 0,9723  | 1,135 | 0,776          |
| 1,5            | 1,6398 | 0,3507   | 0,9616  | 1,25  | 0,691          |
| 2              | 2,0184 | 0,2279   | 0,9506  | 1,39  | 0,608          |
| 2,5            | 2,5655 | 0,1393   | 0,9414  | 1,57  | 0,528          |
| 3              | 3,3816 | 0,0782   | 0,9225  | 1,81  | 0,442          |
| 3,5            | 4,7724 | 0,0387   | 0,9105  | 2,02  | 0,339          |

Зависимость коэффициента изменения пылеобразования  $k_{\text{И}}$  от прироста влажности пласта  $\Delta W, \%$  описывается уравнением:

$$k_{\text{И}} = - 0,1805 \Delta W + 0,9725, \quad R = 0,98 \quad (8)$$

После подстановки значений было установлено, что с изменением физико-механических свойств угольного массива под воздействием увлажнения пласта  $k_6$  при неизменных параметрах БВР в нижней нише 7 западной лавы шахты «Лидиевка» ГП «Донецкуголь» в 3 раза уменьшается количество пыли при взрывной отбойке угля.

Следует так же отметить влияние увлажнения на технологию подготовительных работ. Так, в увлажненной зоне нижней ниши отброс угля при взрывных работах составлял не более 3 м, а в неувлажненной зоне верхней ниши - до 5 м. В увлажненной зоне превышение фактического сечения выработки вчерне над проектным отмечено в редких случаях, а в неувлажненной зоне это превышение имело место почти при каждом взрывании. В увлажненной зоне

наблюдалось снижение скорости бурения шпуров в 1,1...1,2 раза (диаметр шпуров – 45 мм), но при этом уменьшалась запыленность воздуха при их бурении и увеличивалось подвигание забоя за взрыв (КИШ увеличивался на 11...13 % ), что позволило бы при снижении расхода ВВ, добиваться установленных параметров сечения ниши.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Про стан професійної захворюваності в Україні у 2000 році: Звіт головного державного санітарного лікаря України. – Київ: від 31.08.2001. – № 5.05.33-898. – 7с.
2. Эдман М.И. Влияние взрывных газов на развитие пылевого фиброза легких // Материалы 12 пленума республиканской комиссии по борьбе с силикозом.– К.: АН УССР, 1960. – С. 34-38.
3. Борьба с силикозом. – М.: Недра, 1986. – т. 12. – 175 с.
4. Отчет о травматизме и его материальных последствиях в 1999 г. – Макеевка-Донбасс: МакНИИ., 2000. –135с.
5. Борьба с угольной и породной пылью в шахтах / Петрухин П.М., Гродель Г.С., Жилиев Н.И., Коренев А.П., Медведев Э.Н. и др.: 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1981. – 271с.
6. Чистюхин В.В, Почтаренко Н.С Пористость угля и дисперсный состав угольной пыли // Разработка месторождений полезных ископаемых: Респ.межвед. науч-техн.сб.– 1992. – вып. 92. – С. 87-92.
7. Медведев Б.И., Морозов И.Ф, Зехов В.Ф. Нагнетание воды в угольные пласты как средство борьбы с пылью и газом. - К.: Техника, 1968. - 92 с.
8. Чистюхин В.В. Разработка способа направленного изменения гидрофильности угля с целью повышения эффективности средств пылеподавления: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.26.01 /ДГИ. – Днепропетровск, 1986. - 17с.
9. Медведев Б.И., Артамонов В.Н., Николаев Е.Б. Совершенствование технологии ведения БВР в зонах гидровоздействия // Известия Донецкого горного института. – Донецк: ДонГТУ. – 2000. – № 2. – С. 3-7.
- 10.Ищук И.Г., Поздняков Г.А. Средства комплексного обеспыливания горных предприятий: Справочник. – М. : Недра, 1991. – 253с.
- 11.Руководство по эксплуатации. Прибор ультразвуковой ГСП УК-10ПМС ЩЮЗ.031.007 РЭ / ГВЦ Госкомстата МССР. – М.,1991. – 74с.

30.04.08