

DOI: 10.26730/1999-4125-2017-6-84-88

УДК 622.831.323

## ВНЕЗАПНЫЕ ВЫДАВЛИВАНИЯ УГЛЯ, ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА И УСЛОВИЯ ПРОЯВЛЕНИЯ

## COAL SQUEEZING-OUT, ITS DESCRIPTION AND CONDITIONS OF DEVELOPMENT

Джигрин Анатолий Владимирович,<sup>1</sup>

генеральный директор

Gegreen Anatoly V.<sup>1</sup>, general director

Мельник Владимир Васильевич<sup>2</sup>,

доктор техн. наук, профессор

Meljnik Vladimir V.<sup>2</sup>, D. Sc., Professor

Костюк Светлана Георгиевна<sup>2</sup>,

канд. техн. наук, проректор по научной работе, e-mail: kostuksg@rambler.ru

Kostyuk Svetlana G.<sup>3</sup>, Cand. Sc., vice-rector for scientific work

Лупий Михаил Григорьевич<sup>4</sup>,

директор

Lupcey Mikhail G.<sup>4</sup>, Director

<sup>1</sup> ООО «Геотехнология-Взрывозащита»

<sup>1</sup> ООО Geotechnology-Vzryvozaschita

<sup>2</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4,

<sup>2</sup> National University of Science and Technology MISIS, 2, Leninskiy prospekt, Moscow, 119049, Russian Federation

<sup>3</sup> Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

<sup>3</sup> T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

<sup>4</sup> ОАО «СУЭК-Кузбасс», 652507, Россия, г. Ленинск-Кузнецкий, ул. Васильева, 1.

<sup>4</sup> JSC "SUEK-Kuzbass", 652507, Russia, Leninsk-Kuznetsky, Vasilyeva St., 1.

**Аннотация.** В статье рассматриваются геомеханические, горно-геологические и горно-технические условия проявления внезапных выдавливаний угля, а так же приведены признаки характеризующие внезапные выдавливания.

**Abstract.** The article reviews the need to develop a normative document in Russia on sudden coal squeezing-out based on the analysis of scientific studies. Descriptions of geomechanical, mining, and geotechnical conditions for development of sudden coal squeezing-out are given including the indicators characteristic to sudden coal squeezing-out.

**Ключевые слова:** угольный пласт, газодинамические явления, отжим угля, зоны повышенного горного давления.

**Keywords:** coal seam, gas-dynamic phenomena, coal squeezing-out, areas of high rock pressure.

Сведения о первых выдавливаниях угля относятся к концу 40-х годов XX столетия, когда стали регистрироваться газодинамические явления (ГДЯ). В начале эти явления носили разнообразные названия: «выдвижения угля», «выпучивание груди забоя», «отжим». Позднее они получили термин «ГДЯ III рода», в настоящее время носят официальное название «внезапные выдавливания (отжим) угля».

В настоящей статье авторы на основании анализа научных исследований, выполненных уче-

ными МакНИИ, постарались поднять проблему необходимости разработки нормативного документа в России по внезапным выдавливаниям (отжиму) угля.

Ударо- и взрывоопасные пласты разрабатываются во многих бассейнах мира: США, Австралии, Индии, Польше, Китае и др.

За рубежом наиболее ранние исследования по горным ударам были сделаны Куком [1]. Обзор современных научных достижений при изучении ГДЯ был сделан Горно-металлургическим инсти-

тутом (г. Лондон, Англия) [2]. в этой работе было отмечено, что наибольшее значение в борьбе, в частности с горными ударами имеет не общее снижение высвобождающейся энергии а ограничения концентрации напряжений впереди очистного забоя. В работе [3] подробно изложена концепция влияния прочности угля и горных пород в объемном напряженном состоянии на характер протекания ГДЯ.

**Геомеханические условия проявления внезапных выдавливаний угля**

Геомеханическое влияние имеет место при залегании угольных пластов в виде свит, когда разработка одного из пластов приводит к изменению напряженно-деформированного состояния других пластов в свите. Причем это влияние носит различный характер в зависимости от соотношения горных работ на соседних пластах.

Для определения вида геомеханического влияния целесообразно рассмотреть общую схему сдвига и деформирования массива горных пород при проведении очистной выработки (рис. 1) [4].

Часть массива, в которой происходит изменение напряженного состояния, называется областью влияния выработки 1. В ней выделяют две большие геомеханические зоны: опорного давления 2 и разгрузки 3. В зоне опорного давления нормальные напряжения  $K_\sigma \gamma H$  выше, чем в нетронутым массиве 6 ( $K_\sigma$  - коэффициент концентрации напряжений, достигает значения 5 и более) вследствие того, что на краевые части угольного пласта передается часть веса подработанных пород при проведении очистной выработки.

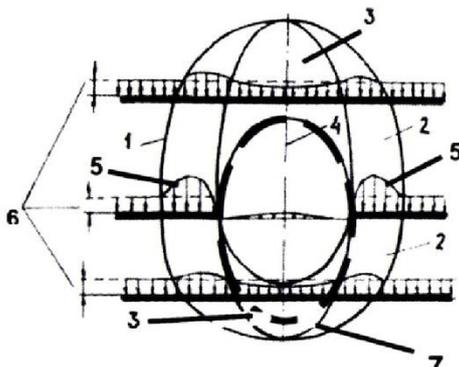


Рис. 1. Геомеханические зоны влияния очистной выработки

Зоны опорного давления на уровне над- или подработываемого пласта (породного слоя) называют зонами ПГД. Размеры этих зон по мере удаления от пласта уменьшаются.

В зоне разгрузки нормальные напряжения меньше напряжений в нетронутым массиве. В пределах этой зоны выделяют защищенную зону 4, в которой напряжения по нормали и напластованию меньше  $\gamma H_0$  ( $H_0$  - критическая глубина, с которой начинается проявление ГДЯ) [5].

В зоне разгрузки при надработке можно выделить также искусственную защищенную зону 7, образовавшуюся в результате дегазации надработанного массива пород [6].

Размеры и параметры геомеханических зон зависят от горно-геологических и горнотехнических условий разработки: глубины работ, мощности защитного пласта, угла падения пород, мощности междупластья, состава и свойств пород междупластья, размеров опережающей выработки, способа управления горным давлением и т.д.

В процессе подработки (надработки) угольный пласт претерпевает три основные стадии деформирования: стадия сжатия в зоне ПГД; стадия растяжения в зоне разгрузки; стадия повторного сжатия в зоне восстановления нагрузок.

Зона ПГД характеризуется интенсивным проявлением горного давления (повышенные смещения пород на контуре выработок, нагрузки на крепь и т.д.), а также повышенной опасностью проявления ГДЯ. Горные выработки (включая очистные) в этих зонах располагать нецелесообразно. В случаях образования зон ПГД по производственным (у границ предохранительных целиков) или горно-геологическим (у границ непереходимых геологических нарушений) причинам переход этих зон сопровождается дополнительными мероприятиями по предотвращению ГДЯ.

Анализ распределения внезапных выдавливаний в зонах ПГД, образованных створами очистных забоев показывает следующее:

- подавляющее большинство явлений (99%) произошло при переходе створов в направлении под массив угля;
- более опасными являются зоны ПГД, образованные створами остановленных очистных забоев (93% происшедших выдавливаний) по сравнению с зонами ПГД от створов, образованных разрезной печью;
- существенных различий в проявлении выдавливаний от расположения источников ПГД не прослеживается.

В надработанных зонах ПГД при мощности междупластья до 40 м внезапных выдавливаний угля не отмечено.

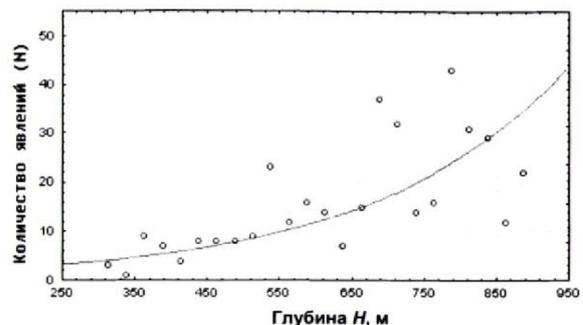


Рис. 2. Зависимость количества выдавливаний от глубины разработки

Одним из основных факторов, влияющих на

защитное действие, является мощность пород междупластья, представляющая собой расстояние от защитного до защищаемого пласта по нормали. Методами корреляционно-регрессионного анализа установлено, что зависимость количества внезапных выдавливаний угля  $N$  от мощности пород междупластья  $M$  при надработке носит следующий характер [4]:

$$N = a \cdot \exp(b \cdot M) \quad (1)$$

где  $a$ ,  $b$  - коэффициенты регрессии, которые найдены методом наименьших квадратов для линеаризованной формы уравнения и равны 0,0526 и 0,0897 соответственно.

Коэффициент корреляции этого уравнения в линеаризованной форме составляет  $K = 0,947$ .

### Горно-геологические условия проявления внезапных выдавливаний угля

Проанализируем зависимость проявления внезапных выдавливаний угля от основных горно-геологических факторов.

С увеличением глубины разработки угольных пластов количество внезапных выдавливаний увеличивается.

Зависимость количества внезапных выдавливаний  $N$  от глубины  $H$  представлена на рис. 2.

Математическая зависимость имеет вид [4]:

$$N = a \cdot \exp(b \cdot H) \quad (2)$$

где  $a$ ,  $b$  - коэффициенты регрессии, которые найдены методом наименьших квадратов для линеаризованной формы уравнения и равны 1,2617 и 0,003736 соответственно.

Коэффициент корреляции этого уравнения в линеаризованной форме составляет  $K = 0,765$ .

Распределение внезапных выдавливаний угля по мощности защитного пласта характеризуется следующими данными: пределы изменения величины 0,42-2,2 м; среднее значение 1,25 м и стандарт 0,37 м. Эти данные получены для условий без учета угла падения, так как различия по этому фактору оказались несущественными.

Внезапные выдавливания угля происходили во всем диапазоне углов падения разрабатываемых угольных пластов.

Анализ состава прочностных свойств пород кровли 33 пластов Центрального района Донбасса, наиболее опасных по внезапным выдавливаниям угля, показал, что 70% пород кровли склонны к периодическим зависаниям в выработанном пространстве и осадкам с динамическим воздействием на крепь и призабойную часть пласта [4].

Анализ статистических данных по влиянию

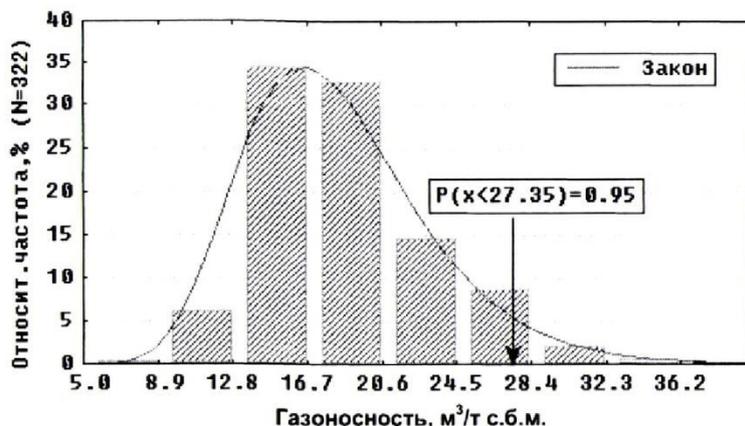


Рис. 3. Гистограмма распределения газоносности

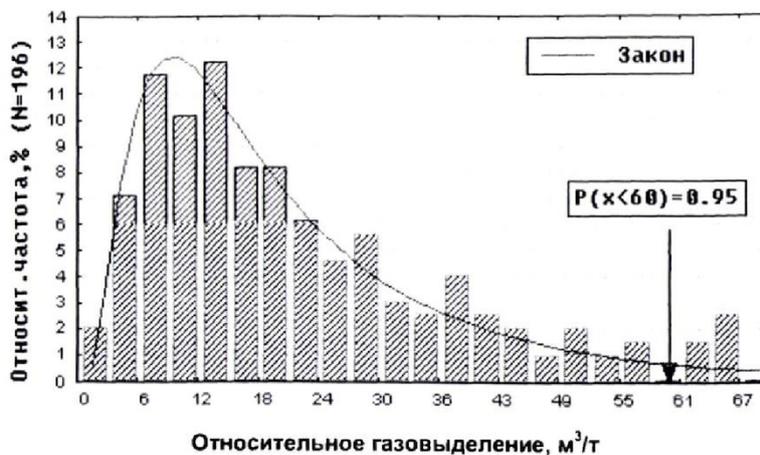


Рис. 4. Гистограмма распределения относительного газовыделения

геологических нарушений на проявление внезапных выдавливаний угля показал, что в зонах влияния геологических нарушений произошли 88,5% на пологих пластах и 15,2% на крутых.

Гистограмма распределения природной газоносности пластов, склонных к выдавливаниям, представлена на рис. 3.

Распределение газоносности подчиняется логнормальному закону, имеющему следующий вид

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3)$$

где:  $\mu$  - математическое ожидание логарифма случайной величины, принимается равным 2,87 м<sup>3</sup>/т с.б.м.;

$\sigma$  - среднеквадратическое отклонение, принимается равным 0,26 м<sup>3</sup>/т с.б.м.

Гистограмма распределения относительного газовыделения при внезапных выдавливаниях угля представлена на рис. 4. Распределение относительного газовыделения подчиняется логнормальному закону распределения с плотностью вероятности (3) и параметрами  $\mu = 2,84$  и  $\sigma = 0,77$ .

#### **Горнотехнические условия проявления внезапных выдавливаний угля**

Анализ представленных в работе [4] горнотехнических условий проявления внезапных выдавливаний угля показывает следующее:

1. Внезапные выдавливания угля происходят во всех видах горных выработок, при всех технологических схемах разработки угольных пластов, при любых видах механизации в очистных и подготовительных забоях, при применении всех основных способов управления горным давлением, однако уровень проявления выдавливаний в этих условиях различный.

2. На пологих пластах подавляющее большинство выдавливаний (90% от их общего количества) произошло при выполнении основных производственных процессов добычи угля: выемке угля в лавах и проведении подготовительных выработок. На пластах крутого падения подавляющее большинство выдавливаний (около 90%) произошло в очистных забоях, причем в щитовых забоях количество выдавливаний в 3,2 раза превышает количество выдавливаний в уступных лавах.

3. По виду очистной выемки большинство выдавливаний произошло при самых распространенных способах выемки: на пологом падении - при комбайновом и струговом, на крутом падении - при выемке конвейеростругом (щитовые лавы) и отбойным молотком (уступные лавы).

4. По способу управления горным давлением большинство выдавливаний как на пологом, так и на крутом падении отмечено при полном обрушении кровли; на крутом падении значителен также уровень выдавливаний при удержании боковых пород на кострах (21%).

5. В протяженных выработках максимальное количество выдавливаний на пологих пластах приходится на комбайновую проходку и выемку угля отбойными молотками; значителен уровень выдавливаний (21%), произошедших при проходке выработок буровзрывным способом. При крутом залегании пластов наибольшее количество выдавливаний (77%) отмечено при выемке угля отбойными молотками.

6. Анализ работ, предшествующих возникновению выдавливаний, позволяет однозначно утверждать, что большинство из них (76% на пологих и 94% на крутых пластах) произошло во время выемки угля. Необходимо обратить внимание на высокий уровень (12,2% на пологих пластах) возникновения выдавливаний при выполнении мероприятий по предотвращению ГДЯ.

Наиболее характерными особенностями внезапных выдавливаний угля являются следующие:

- интенсивность внезапных выдавливаний угля значительно ниже интенсивности внезапных выбросов угля и газа и обрушений угля; интенсивность двух последних видов ГДЯ может достигать нескольких сотен тонн и более;
- средняя величина относительного газовыделения при внезапных выдавливаниях в 1,2 раза превышает среднюю величину природной газоносности пласта, в то время как при внезапных выбросах угля и газа указанное соотношение может составлять несколько раз;
- форма полости при внезапных выдавливаниях в основном кармановидная или сводообразная;
- в очистных забоях ширина полости, как правило, больше ее глубины;
- средняя величина угла откоса выдавленного угля равна примерно величине угла его естественного откоса;
- минимальное отношение глубины полости при выдавливаниях к мощности пласта  $m$  составляет 0,6, в то время как минимальное отношение расстояния до максимума опорного давления к мощности пласта равно 2; следовательно, некоторая часть этих явлений происходит в призабойной части пласта до максимума опорного давления.

#### **Выводы**

1. При разработке свит угольных пластов опасными в отношении проявлений внезапных выдавливаний являются зоны ПГД. Из них наиболее опасны зоны ПГД, образованные створами очистных выработок, при переходе их в направлении на массив угля.

2. Основными горно-геологическими факторами, оказывающими влияние на проявление внезапных выдавливаний угля, являются следующие: глубина залегания, мощность пласта, его газоносность, выход летучих веществ, прочностные свойства боковых пород, наличие и тип геологических нарушений.

3. Внезапные выдавливания угля происходят практически во всех горнотехнических условиях

разработки пластов, склонных к выдавливаниям. Наибольший уровень проявления внезапных выдавливаний угля зафиксирован: на крутопадающих пластах - при выемке угля конвейеростругами в щитовых забоях и выемке угля отбойными молотками в уступных лавах; на пологопадающих пластах - при выемке угля узкозахватными комбайнами и стругами в лавах; в подготовительных

выработках - при выемке угля отбойными молотками на крутом падении и комбайновой проходке выработок на пологом падении; по способу управления горным давлением - при полном обрушении пород кровли.

4. Проанализированы характеристические параметры внезапных выдавливаний угля.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проскурjakов Н.М. Управление состоянием массива горных пород - М: Недра, 1991. - 358 с.
2. Rockbursts: prediction and control. - London: Institution of Mining and Metallurgy, 1984.
3. Норель Б.К., Боровков Ю.А. Прочность горной породы в объемном напряженном состоянии. 978-3-659-52217-8 LAMBERT Academic Publishing, 2013.-102 с.
4. Коптиков В.П., Южанин И.А., Евдокимов В.П., Муравьева В.М., Рыжков М.Ф. Внезапные выдавливания угля.- Донецк: Изд. «Ноулидж», 2010.-240 с.
5. Petukhov, I.M., Linkov, A.M. The theory of post-failure deformations and the problem of stability in rock mechanics. - International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Volume 16, Issue 2, April 1979, Pages 57-76
6. Petukhov I.M. Forecasting and combating rockbursts: recent developments. - Proc. 6th congress International Society for Rock Mechanics, Montreal. Vol. 2 1987, Pages 1207-1210.
7. Petukhov, I.M., Linkov, A.M. Theoretical principles and fundamentals of rock burst prediction and control - Proceedings - Congress of the International Society for Rock Mechanics 1983, Pages D113-D120

#### REFERENCES

1. Proskurjakov N.M. Upravlenie sostojaniem massiva gornyh porod - M: Nedra, 1991. - 358 s.
2. Rockbursts: prediction and control. - London: Institution of Mining and Metallurgy, 1984.
3. Norel' B.K., Borovkov Ju.A. Prochnost' gornoj porody v ob#-emnom naprjazhennom sostojanii. 978-3-659-52217-8 LAMBERT Akademik Publishing, 2013.-102 s.
4. Koptikov V.P., Juzhanin I.A., Evdokimov V.P., Murav'eva V.M., Ryzhkov M.F. Vnezapnye vydavlivanija uglja.- Doneck: Izd. «Noulidzh», 2010.-240 s.
5. Petukhov, I.M., Linkov, A.M. The theory of post-failure deformations and the problem of stability in rock mechanics. - International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Volume 16, Issue 2, April 1979, Pages 57-76
6. Petukhov I.M. Forecasting and combating rockbursts: recent developments. - Proc. 6th congress International Society for Rock Mechanics, Montreal. Vol. 2 1987, Pages 1207-1210.
7. Petukhov, I.M., Linkov, A.M. Theoretical principles and fundamentals of rock burst prediction and control - Proceedings - Congress of the International Society for Rock Mechanics 1983, Pages D113-D120

Поступило в редакцию 14.11.2017  
Received 14.11.2017