

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЫБРОСОВ УГЛЯ И ГАЗА НАСЫПНЫМИ ПОРОДНЫМИ ПЕРЕМЫЧКАМИ

к.т.н. Канін В.А. (УкрНИМИ), инж. Пишев А.В. (МакНІІІ Минтопэнерго Украины)

Розглянуто ідею використання розвалів висадженої породи у якості перемички для локалізації викидів вугілля і газу, спровокованих струсним висадженням. Теоретично показано і підтверджено експериментально, що ця ідея може бути реалізована на практиці, якщо утворення перемички буде завершуватися до початку розв'язання викиду, якщо перемичка зможе протистояти зусиллю, що діє на неї з боку вибою в початковій стадії розвитку викиду, і якщо тверда фаза газо-вугільного потоку не зможе поширюватися через тіло перемички.

THEORETICAL BASES OF LOCALIZATION OF COAL-AND-GAS OUTBURSTS BULK GIRTS FROM ROCK

Kanin V.A., Pishev A.V.

The idea of use of disorder of the blown up soil is considered as a girt for localization of coal-and-gas outbursts provoked by a shock blasting. Is theoretically shown and is confirmed experimentally, that this idea can be realized in practice. Under conditions: the formation a girt will be finished prior to the beginning development of an outburst; the girt can resist to effort working on it on the part of working face in an original stage of development of an outburst; the solid phase of a gas-coal flow can not be distributed through a body a girt.

В сложных горно-геологических условиях угольных месторождений основным способом обеспечения безопасных условий труда при разработке одиночных выбросоопасных пластов является сотрясательное взрывание. С углублением горных работ объем применения сотрясательного взрывания возрастает. Одновременно увеличивается количество провоцируемых выбросов и их интенсивность, что повышает вероятность возникновения аварийных ситуаций и значительно осложняет ведение горнопроходческих, а в последствие – и очистных работ. В этой связи реально существует необходимость разработки способов и средств локализации выбросов угля и газа при сотрясательном взрывании в забоях подготовительных выработок.

Исходя из сложившихся к настоящему времени представлений о механизме протекания выбросов угля и газа [1, 2], борьба с выбросами при сотрясательном взрывании может вестись в двух направлениях – путем разработки способов ведения взрывных работ, обеспечивающих снижение вероятности инициирования выбросов, либо путем разработки способов и средств, позволяющих ограничить их интенсивность.

Учитывая известную недетерминированность процесса образования выбросоопасных ситуаций, эффективность способов, составляющих первое направление, подвержена влиянию большого числа случайностей, особенно в сложных горно-геологических условиях.

Идея устранения отрицательных последствий сотрясательного взрыва путем ограничения интенсивности провоцируемых выбросов лишена этого недостатка, так как ее реализация возможна без прямого воздействия на пласт. Однако, до настоящего времени все попытки создания таких способов сводились к конструированию различного типа ограждающих перемычек, использование которых в подготовительных выработках оказалось нецелесообразным либо с экономической точки зрения (из-за громоздкости конструкций при установке в зоне действия взрыва), либо из-за незначительного локализирующего эффекта (при установке на большом расстоянии от забоя).

В то же время при проведении выработок буровзрывным способом в их призабойной зоне образуются массивные развалы взорванной породы, которые можно рассматривать как естественные насыпные породные перемычки. Использование таких перемычек для локализации выбросов возможно лишь при совместном выполнении нескольких условий.

Во-первых, если образование перемычки будет завершаться до начала развязывания выброса; во-вторых, если перемычка сможет противостоять сдвигающему усилию, действующему на нее со стороны забоя в начальной стадии развития выброса, и в-третьих, если твердая фаза газугольного потока не сможет распространяться через тело перемычки.

Для оценки выполнимости первого условия локализации выбросов был выполнен сравнительный анализ продолжительности формирования развалов взорванной породы при различных паспортах ведения сотрясательного взрывания и длительности подготовительного периода спровоцированных выбросов угля и газа. При анализе использовались результаты собственных экспериментальных исследований, проведенных на особо выбросоопасных пластах Донецкого бассейна [3], и данные, заимствованные из литературных источников [4, 5]. Длительность подготовительного периода выбросов (T_n) определялась по сейсмограммам (рис. 1) как длина отрезка, соединяющего точки начала взрывного импульса (a) и начала разрушения угля при выбросе (b).

Точка a на рис. 1 взята в качестве исходной на основании тех соображений, что в подготовительных выработках инициирование выброса более вероятно при взрывании первых серий зарядов, находящихся в угольном пласте. Точка b соответствует началу процесса массового трещинообразования при выбросе.

Обработка статистически представительной выборки из 58 значений длительности подготовительных периодов выбросов, спровоцированных сотрясательным взрыванием, позволила сделать вывод, что их средняя ве-

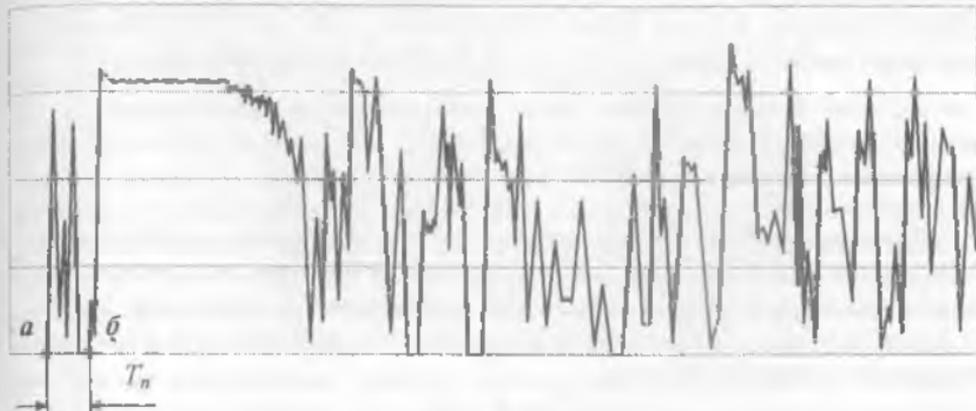


Рис.1. Фрагмент сейсмограммы, включающий импульс взрыва и начальную стадию выброса угля и газа.

личина составляет 0,93 с, а распределение этих значений в выборке подчиняется логнормальному закону с параметрами $\mu_L = -0,285$ и $\sigma_L^2 = 0,426$.

Анализ продолжительности формирования развалов взорванной породы при различных паспортах ведения сотрясательного взрывания показал, что с момента образования в угольном пласте обнаженной поверхности, способной инициировать развязывание выброса, и до окончания перемещения основной массы взорванной породы, завершающегося формированием развала длиной не более 10 м, затрачивается порядка 0,12...0,30 с.

На основании этих данных была установлена вероятность наступления события $T_n > T$

$$P(T_n > T) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \Phi(t)$$

где T – время образования насыпной породной перемычки;

$\Phi(t)$ – функция Лапласа, $t = (l - \mu_L)/\sigma_L$ и $l = \ln T$, которая составила 0,921...0,997.

Таким образом, в большинстве возможных ситуаций (более чем в девяноста случаях из ста) рассмотренное условие локализации выбросов является выполнимым.

Для определения сдвигающих усилий, действующих на перемычку в начальной стадии развития выброса, использовались положения энергетически-силовой теории выбросов угля и газа, в соответствии с которой распространение волны дробления и вынос разрушенного угля возможны при совместном выполнении двух условий – силового [2]

$$m_e (p_0 - p) \geq \sigma_p \quad (1)$$

и энергетического, которое можно представить в виде соотношения, определяющего скорость массы угля и газа за фронтом волны дробления [1]

$$w = \frac{a_0}{\sqrt{1+A}} \sqrt{\frac{2}{\alpha(\alpha-1)}} \sqrt{1-\zeta-B}. \quad (2)$$

Если неравенство (1) выполняется, но $w = 0$, то волна дробления не может распространяться, так как в этом случае энергии газа достаточно для разрушения угля, но не хватает для сообщения ему начальной скорости. Следовательно, для локализации начавшегося выброса угля и газа необходимо выполнение условия

$$1 - \zeta - B \leq 0, \quad (3)$$

где ζ – коэффициент, оценивающий часть внутренней энергии газа, которая расходуется на работу, совершаемую газом при расширении в пустотах угля к моменту его дробления;

B – коэффициент, оценивающий потерю энергии газа на преодоление сопротивления, оказываемого движущейся газоугольной смеси давлением за фронтом волны дробления.

Если известно значение ζ , то, используя соотношения [1]

$$B = \left(\frac{p}{p_0}\right)^{n-1} \left[1 + m_z(\alpha-1) \frac{\frac{p_0}{p} - 1}{1 + m_z \left(\frac{p_0}{p} - 1\right)} \right] \quad (4)$$

и

$$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^n, \quad (5)$$

где ρ_0 и ρ – соответственно плотность газа перед фронтом волны дробления и за фронтом;

p_0 и p – то же давление газа;

n – показатель политропы;

α – показатель адиабаты;

m_z – коэффициент, оценивающий долю поверхности, к которой приложено давление газа перед фронтом волны дробления,

можно определить величину критического давления ($p = p_{кр}$), удовлетворяющее условию (3).

Таким образом, нахождение давления $p_{кр}$, препятствующего распро-

странению волны дробления сводится к определению значения коэффициента ζ . При решении этой задачи была принята следующая модель инициирования выбросов сотрясательным взрыванием.

Перемещение забоя выработки после взрывания происходит с высокой скоростью (порядка 30...50 м/с) и сопровождается перераспределением напряжений у вновь образуемой поверхности забоя. При этом возникает волна упругой разгрузки, за фронтом которой в пласте угля происходит раскрытие трещин тектонического происхождения, а в окрестности пор и микротрещин вследствие расширения заполняющего их газа создается предельно-напряженное состояние. При падении напряжений ниже некоторого критического уровня расширение газа в этих пустотах приводит к массовому прорастанию трещин, которое распространяется по массиву в виде волны разрушения [6] и при соответствующих условиях может перерасти в волну дробления. В этом случае, полагая, что процесс расширения газа за фронтом волны упругой разгрузки до момента прорастания трещин является адиабатическим и что параметры начального состояния газа (p_i и T_i) во всех пустотах одинаковы, соотношение, определяющее значение коэффициента ζ , можно представить в виде

$$\zeta = \frac{\sum_{i=1}^n v_{ni} \left[1 - (p_{0i} / p_0)^{(\alpha-1)/\alpha} \right]}{m_0 \left[1 - (p_a / p_0)^{(\alpha-1)/\alpha} \right]}, \quad (5)$$

где v_{ni} – объем пустот i -того размера в единице объема угля;

p_{0i} – давление газа в пустотах i -того размера за фронтом волны упругой разгрузки;

p_a – атмосферное давление;

m_0 – полный фильтрующий объем угля.

Значения p_{0i} определялись по известной методике оценки изменения объема пустот в упруго изотропной среде под действием растягивающего напряжения [6]. Исходные физические параметры для решения этой задачи устанавливались на основании анализа результатов исследований физико-механических свойств и пористо-трещиноватой структуры углей различных типов тектонической нарушенности [7].

Коэффициент m_2 из-за отсутствия экспериментальных данных о росте трещин и разрушении угля под действием расширяющегося газа интерпретируется в настоящее время как доля поверхности, к которой приложено газовое давление. В этом случае при низкой водонасыщенности угля и равномерном распределении пор величина m_2 примерно соответствует пористости угля. С таким физическим смыслом этот коэффициент использовался и при выводе соотношения (3). Вместе с тем следует отметить, что в сооб-

шении массе раздробленного угля начальной скорости участвует не весь содержащийся в угле газ, а только та его часть, которая успеваеет выделиться за период времени между прохождением волн упругой разгрузки и дробления. Остальная часть газа выделяется из угля в процессе его перемещения по выработке. Поэтому при аналитическом описании процесса распространения волны дробления в угольном массиве m_2 можно трактовать как коэффициент, оценивающий долю объема пор, которая содержит газ, участвующий в сообщении массе раздробленного угля начальной скорости. Его величина в этом случае будет определяться соотношением

$$m_2 = q(t) p_n T_0 / p_0 T_n, \quad (6)$$

где $q(t)$ – объем газа, притекающий к внутренним поверхностям отрываеваемых частиц из пор, трещин и сорбционного объема угля за время $t = 2 \cdot 10^{-4}$ с, что соответствует скорости распространения разрушения массива при выбросе, равной 0,6...1,5 м/с [8], и толщине отрываеваемого слоя 0,02 см.

Полученная на основании выполненных расчетов результирующая зависимость $p_{кр} = f(p_0)$ приведена на рис. 2. Из нее следует, что величина противодавления, необходимого для локализации выбросов в начальной стадии их развития, значительно меньше давления газа, заключенного в угольном пласте, и на максимальных глубинах разработки выбросоопасных пластов в Донбассе не превышает 0,4 МПа.

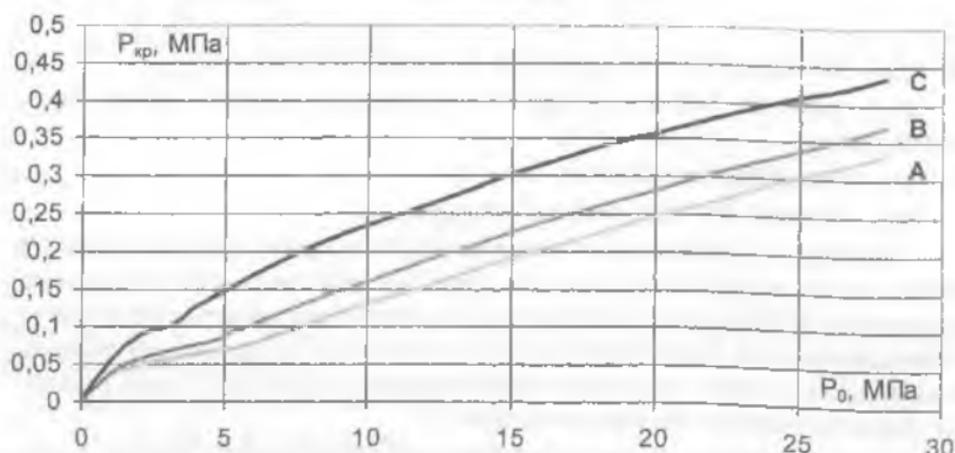


Рис.2. График зависимости критического давления газа за фронтом волны дробления ($p_{кр}$) от начального давления (p_0) при различных категориях нарушения угля: А – слабо нарушенный (I и II тип); В – средней степени нарушения (III тип); С – сильно нарушенный (IV и V тип).

Сравнение полученных значений $p_{кр}$ с динамическими нагрузками, которые были рассчитаны по величине скорости массы угля и газа за фронтом волны дробления (w), найденной из выражения (1), показало (табл. 1), что критические значения давления газа за фронтом волны

Таблица 1. Сравнение абсолютных значений силовых факторов выброса угля и газа, действующих на породную перемычку.

p_0 , МПа	$(p_{кр} - 0,1)$, МПа	$p_{ск}$, МПа	$p_{уд}$, МПа
<i>При категории нарушенности угля А</i>			
8	0,004	0,002	0,002
10	0,030	0,016	0,005
18	0,124	0,067	0,012
26	0,212	0,112	0,018
<i>При категории нарушенности угля С</i>			
8	0,007	0,005	0,003
10	0,134	0,089	0,016
18	0,238	0,149	0,024
26	0,315	0,191	0,030

дробления во всем диапазоне изменения горно-геологических условий и степени нарушенности угля превышают динамические нагрузки от скоростного напора ($p_{ск}$) и воздушной ударной волны ($p_{уд}$) и являются наибольшим силовым фактором, действующим на перемычку в процессе выброса.

При выполнении аналитических исследований были определены также значения объемной концентрации твердой фазы в газо-угольной смеси (β). В настоящее время в зависимости от величины β выделяются:

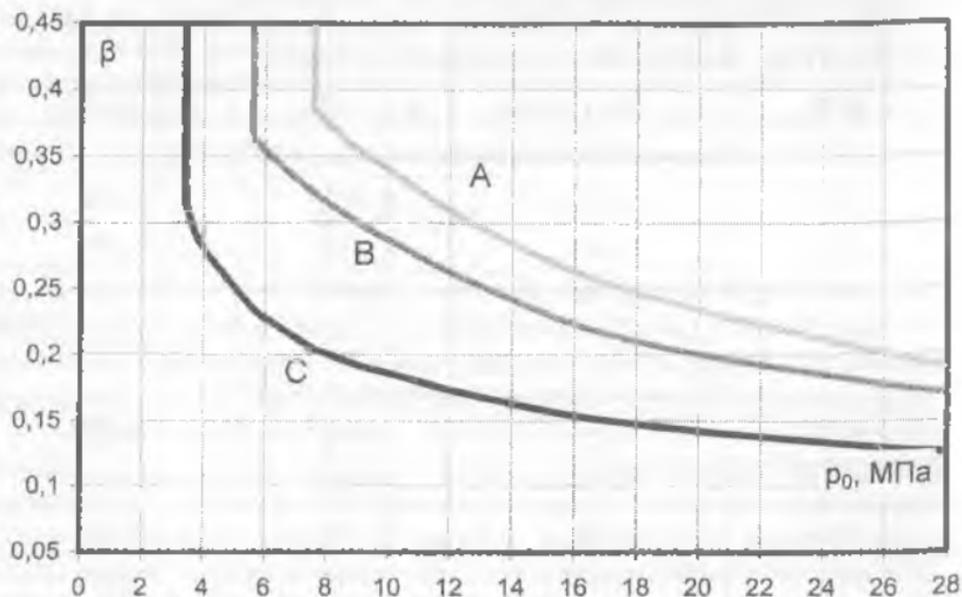
поток газозвеси	$(\beta < 0,03)$
флюидный поток	$(0,03 < \beta < 0,3)$
поток в плотной фазе	$(0,3 < \beta < 0,7)$
гравитационно движущийся слой	$(\beta > 0,7)$.

В нашем случае значения объемной концентрации твердой фазы в газо-угольной смеси, как это показано на рис. 3, составили $0,10 < \beta < 0,35$. На основании этих данных был сделан вывод, что в типичных условиях применения сотрясательного взрывания движение газо-угольной смеси в начальной стадии выброса происходит в режиме флюидного потока.

Известно [9], что кризис течения флюидного потока наступает при скорости газа $w_{кр} = 10...15$ м/с, ниже которой начинается интенсивное осаждение угольных частиц. Следовательно, для исключения возможности распространения твердой фазы газо-угольного потока через породную пе-

ремычку его скорость должна быть уменьшена до уровня $w \leq w_{кр}$.

Насыпная породная перемичка образуется при взрывном разрушении породного забоя выработки и состоит из большого числа подвижных



элементов, связанных между собой гравитационными силами. На основа-

Рис.3. Графики зависимости объемной концентрации твердой фазы в смеси (β) от начального давления газа (p_0) при различной категории нарушения угля (A, B, C).

нии результатов изучения литологического состава и трещиноватости пород, вмещающих выбросоопасные пласты, формы разрушенных взрывом кусков породы и характера их упаковки была построена модель перемички, близкая по своим геометрическим параметрам и фильтрационным характеристикам к реальным развалам взорванной породы, образующимся в условиях тонких пологих пластов Донбасса. Пустотность таких развалов составляет 0,36...0,45 (в среднем 0,40), а расчетные значения коэффициентов проницаемости в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно равны $4,2 \cdot 10^{-6}$ и $6,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

При инициировании выброса газо-угольный поток поступает в пустоты перемички с начальной скоростью w_1 . В процессе движения через породную в результате потерь напора, обусловленных силами вязкого трения, изменением, изменением направления движения, увеличением площади фильтрации и т.п., скорость потока снижается до величины w_2 . При соответствующей высоте перемички скорость w_2 может уменьшиться до

уровня $w_{кр}$, при котором флюидный поток существовать не может. Тогда на участке перемычки, начиная с которого $w_2 = w_{кр}$, начнется интенсивное осаждение угольных частиц. По мере заполнения фильтрующих каналов перемычки выброшенным углем ее проницаемость будет снижаться, достигая в пределе проницаемости выброшенного угля. Одновременно с этим будет происходить увеличение давления газа за фронтом волны дробления от p_1 до p_2 . При $p_2 = p_{кр}$ распространение волны дробления в угольном массиве прекратится.

Определение высоты породной перемычки, удовлетворяющей фильтрационному условию локализации выбросов $w_2 \leq w_{кр}$, выполнялось путем оценки потерь давления, обусловленных действием сил вязкого трения при турбулентной фильтрации газа, а высота, обеспечивающая устойчивость перемычки к сдвигающему усилию, действующему на ее внутреннюю поверхность со стороны полости выброса, определялась из условия предельного равновесия сыпучего материала (разрушенной породы) в призабойной зоне выработки. На основании этих результатов была разработана методика оценки возможности локализации выбросов породной перемычкой по величине параметра ℓ , значения которого определялись по формуле

$$\ell = (w_1^2 \rho_1 - w_2^2 \rho_2) k_T^2 / 2 w_2^2 n^2 \quad (7)$$

где k_T – коэффициент турбулентной фильтрации;

n – величина просвета перемычки в направлении фильтрации.

Расчетные значения параметра ℓ для наиболее сложных условий проведения выработок в зависимости от глубины горных работ (H) и различной степени тектонической нарушенности угля (III-V тип) представлены в табл. 2.

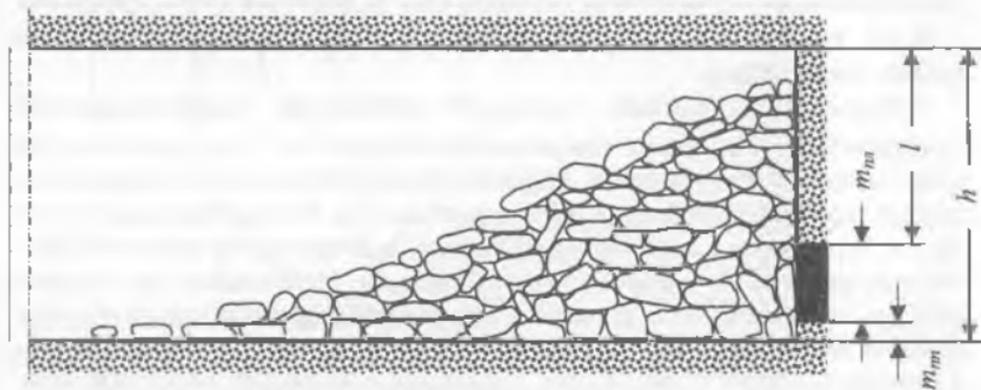
Таблица 2. Расчетные значения необходимой высоты породной перемычки.

H , м	ℓ , м	H , м	ℓ , м
400	0,4...0,9	800	0,9...1,8
500	0,5...1,1	900	0,9...1,9
600	0,6...1,3	1000	1,0...2,0
700	0,7...1,5	1200	1,2...2,2

Локализация выбросов будет эффективной в том случае, если на данной глубине проведения выработки

$$\ell \geq h - m_{ns} - m_{nn} \quad (8)$$

где h – фактическая высота породного развала (рис. 4), м;
 $m_{на}$ – мощность угольного пласта, м;
 $m_{пн}$ – мощность породного слоя, подрываемого в почве пласта, м.
 Для практической реализации изложенных выше теоретических по-



ложений были разработаны специальные паспорта БВР [10], при использо-

Рис.4. Расчетная схема к оценке эффективности локализации выбросов по геометрическим параметрам.

вании которых путем варьирования очередности взрывания шпуровых зарядов и угла наклона шпуров обеспечивается формирование породных развалов требуемой конфигурации. В подготовительных выработках сечением в черне 15...20 м² такие паспорта БВР позволяют получать породные развалы высотой у поверхности забоя до трех метров при максимальной дальности отброса породы 10 м. Это означает, что на пластах мощностью до 0,6 м вопрос локализации выбросов с точки зрения устойчивости перемычки и выполнения фильтрационных условий решается однозначно положительно. На пластах с большей мощностью возможность проявления эффекта локализации определяется вероятностью появления благоприятных сочетаний начальной площади разрушения угольного забоя и критической скорости флюидного потока. Исходя из этого применение способа локализации выбросов породными перемычками целесообразно в подготовительных выработках с верхней подрывкой вмещающих пород сечением в черне более 10...15 м², проводимых на глубине до 1000 м по пластам мощностью до 1,0 м, с углом падения: не более 15°, если выработка проводится по простиранию, и не более 5° – по восстанию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Христианович С.А. Свободное течение грунтовой массы, вызванное расширением содержащегося в порах газа высокого давления. Волна

дробления. – М., 1979.- 61 с. (Препринт / Ин-т проблем механики АН СССР: Р 128).

2. Петухов И.М., Линьков А.М. Механизм развязывания и протекания выбросов угля (породы) и газа./ Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа. – М.: Недра, 1978.- С. 62-91.
3. Канин В.А., Жуков А.Е. Длительность подготовительного периода выбросов угля и газа, спровоцированных сотрясательным взрыванием.// Безопасность труда в промышленности.- 1988.- № 5.
4. Установление продолжительности подготовительной стадии выбросов угля и газа./ А.Е. Ольховиченко, Ф.И. Верховский, Л.В. Сухуров и др.- В кн.: Борьба с пылью, газом и выбросами в угольных шахтах. - Макеевка-Донбасс, 1972, – С. 159-167.
5. Reinhard A. Etude par les procedes geophysiques, des ebranlements de terrains a l'occasion des tirs et desdegagements instantanes.- Revue de L'Industrie minerale.- 1965.- No 618.- P. 226-239.
6. Коваленко Ю.Ф. Эффективные характеристики тел с изолированными газонаполненными трещинами. Волна разрушения. – М., 1980. – 52 с. (Препринт / Ин-т проблем механики АН СССР: Р 155).
7. Особенности структуры и определяемых ею свойств тектонически пре-парированных углей / В.А. Канин, В.Н. Артамонов, Г.А. Лозобко и др. // Технология подземной разработки месторождений: Межвуз. науч. темат. сб. – Свердловск: Свердл. горный ин-т, 1988. – С. 61-66.
8. Шевелев Г.А. Закономерности самоподдерживающегося разрушения массива при выбросах // Тез. докл. VII Всесоюз. конф. по механике горных пород (Днепропетровск, 29 сент. – 1 окт. 1984) М., 1984. – С. 52-53.
9. Бусройд Р. Течение газа со взвешенными частицами. М.: Мир, 1975.
10. Руководство по выбору способов сотрясательного взрывания, снижающих интенсивность и частоту выбросов угля и газа. Макеевка-Донбасс, 1986.