

будет предназначена для определенного уровня планирования или проектирования горных работ.

Изложенная выше методика реализована в виде комплекса программ формирования блочной минералого-технологической модели по сортам руд на исходных данных опробования керна скважин детальной и эксплуатационной разведок и кондиций на руду. Он позволяет производить оконтуривание сортов руд совокупностью элементарных блоков заданного технологом размера в плане, интерполировать значения качественных показателей и формировать базу данных в формате DBF или Paradox. Комплекс программ работает под управлением операционной системы Windows-95, и показал приемлемые временные характеристики эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Железисто-кремниевые формации докембрия европейской части СССР/ Под ред. акад. АН УССР Я.Н. Белевцева. // Минералогия; Отв. ред. Б.И. Пирогов; - Киев: Наукова думка, 1989. - 168 с.
2. Пирогов Б.И., Поротов Г.С., Тарасенко В.Н., Холошин И.В. Технологическая минералогия железных руд. - Л.: Наука, 1987. - 257 с.
3. Компьютеры и системы управления в горном деле за рубежом/ Астафьев Ю.П., Глушков А.Н., Горлов Н.И и др. М.: Недра, 1989. - 261 с., илл.
4. Давид М. Геостатистические методы при оценке запасов руд: пер. с англ. - Л.: Недра, 1980. - 360 с.

УДК 622.831.3-622.016.22

В.В. Левит, Е.Б. Новик

К ОЦЕНКЕ МЕХАНИЗМА И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЫВАЛООБРАЗОВАНИЯ В ШАХТНЫХ СТВОЛАХ

Досліджено передумови, механізм та кількісні показники вивалів у вертикальних стовбурах вугільних шахт; отримано аналітичний вираз прогнозування вивалів в залежності від міцності порід та глибини стовбурів.

Распространенной формой проявления горного давления в шахтных стволах является вывалообразование приконтурных пород. Поэтому актуальна задача оценки, описания и прогнозирования этих процессов в целях повышения безопасности в забое при проходке стволов и обеспечения их долговременной эксплуатационной надежности. Возможность формирования условий для вывалов определяется комплексом факторов [1]: природных – неуправляемых и горно-технологических – регулируемых. Установление взаимосвязей между ними представляет собой ключевую задачу в прогнозировании и предотвращении вывалов в стволах.

Нами по результатам маркшейдерских измерений в тринадцати стволах шахт Донбасса («Рассыпнянская», «Кочегарка», им. Карла Маркса, «Горецкая», им. А.Г. Стаханова, «Красноармейская-Западная», «Комсомолец Донбасса», «Ольховская», «Октябрьский рудник», «Новобутовская») выполнена статобработка данных о вывалах.

Остановимся на качественных особенностях вывалообразования в стволах.

Проходка стволов вызывает упругое последствие в породах, что сопровождается разрежением напряжений в массиве, развитием трещин отрыва, сдвига, скола. Буровзрывная отбойка пород значительно усиливает этот процесс и ухудшает поддержания стволов. Существенным в этом процессе является структурная и прочностная неоднородность массива. Большое различие пород по мощности слоев и геомеханическим характеристикам предопределяет слабое сцепление пород и особенности их деформирования. Отмечено, что первоначально трещинообразование проявляется в более прочных породах, склонных к хрупкому разрушению, затем оно развивается в многослойных более слабых, пластичных породах. Весьма важными факторами здесь выступают угол наклона плоскостей наложения пород, а также возрастающая роль условий нагружения слоев. В литолого-механическом плане доминантами являются условия контактирования слоев пород, переход трещин из слоя в слой, развитие фронта разрушения приконтурных пород и формирования слоисто-блочных структур, иерархия которых, размеры и вес отслоившихся блоков зависят от интенсивности трещиноватости массива, сцепления между блоками и вектора перемещения пород.

Безусловно, важным является технологический фактор, который проявляется в рациональном выборе удельного расхода взрывчатых веществ и величине отхода забоя от основного крепления. Именно с последней связаны эффекты разгрузки массива, вызывающие релаксацию напряжений в нем, расслоение и дилатансию, рост смещений пород в полость ствола.

Продолжая литолого-механическую оценку формирования зон потенциально обрушающегося массива (ЗПОМ), являющихся очагами развития вывалов, являющихся очагами развития вывалов, укажем еще на влияние мощности слоев и прочности пород на характер развития трещин в них. При большой мощности и прочности пород имеет место редкое развитие трещин с большим раскрытием. В тонких слоях, сложенных слабыми породами, имеет место высокая трещиноватость (до 100 на метр [2]), но раскрытие трещин меньше. В мощных слабых породах макротрещины – производные микроразрывных образований. Особенность здесь состоит в том, что раскрытие трещин наибольшее в средней части слоев, а фронт их распространения больший, чем в предыдущем случае.

Установлено [2], что изменение раскрытия трещин в углевмещающих породах с глубиной подчиняется экспоненциальной зависимости. Значительная раскрытость трещин на верхних горизонтах в карбоне Донбасса, на глубине 600 м она определяется в большей мере литосоставом пород, а на глубине более 600 м решающим фактором является геостатическое давление. Минимальное раскрытие трещин на глубине 700 м, а на глубинах 900–1000 м оно ничтожно мало. Следует сказать, что применительно к исследуемой нами задаче, весьма важным является ориентация раскрытости трещин по отношению к направлению действия сил геостатического давления. Именно это вызывает необходимость постановки специальных исследований по изучению вектора главных напряжений в регионах строительства шахтных стволов. Направленность главных на-

пряжений по отношению к структурным слоям пород и стволу в целом определяет характер формирования нагрузок на крепь ствола: асимметричность, зональность по глубине, величину неуравновешенности эпюры нагрузок. В качественной характеристике вывалообразования следует особо подчеркнуть влияние удельной силы трения между слоями, зависящей от коэффициента трения по поверхностям структурных (природных) и техногенно наведенных неоднородностей. Известно, что для слабых пород ее величина незначительна, поэтому они имеют большую деформационную способность, слабую связность между слоями, склонность к большим квазипластическим деформациям, являющихся причинами вывалов.

Маркшейдерские наблюдения показывают, что вывалообразование пород и вывалообразная потеря устойчивости формы контура ствола вызваны активными длительными деформационными процессами в приконтурных породах. На контактах разнопрочных пород их сжатие, изгиб и опускание достигает 100-200 мм. При мощности слоя 1,5-2,0 м это вызывает величину деформации 60-130 мм/м, что превышает регламентируемые СНиП (15 мм/м) в 4-8,5 раза. При толщине крепи 500 мм разрушенный поверхностный слой составляет 50-250 мм, а площади локальных отслоений бетона – 25-100 м². Повсеместно наблюдаемые вывалы пород и крепи стволов, характеризуемые протяженностью по стволу, увеличением его диаметра, объемом, весом, глубиной проникновения в массив и частотой, иногда приобретают угрожающий характер (шахта им. Ф.Э. Дзержинского – объем вывала 4300 м³).

Остановимся на оценке количественных показателей вывалообразования в стволах угольных шахт Донбасса. В качестве определяемых приняты такие показатели: интенсивность вывалов в зависимости от крепости пород и глубины стволов, а также вероятность вывалообразования. Материалы выполненной обработки данных маркшейдерских наблюдений приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Средние значения относительного (удельного) вывалообразования по глубине стволов некоторых шахт донбасса

Шахты										
«Рассыпнянская»	«Кочегарка», ствол №7	им. К. Маркса, № 4	«Коммунист», ствол № 7	«Горькая», ствол № 3	им. А.Г. Стаханова, № 4, № 8	«Ольховская»				
Глубина, м										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1
00	00	00	00	00	00	00	00	00	000	100
$m_r(H)_{100}$										
0,781	0,734	0,661	0,539	0,509	0,491	0,261	0,255	0,195	0,291	0,160

Совокупно результаты выполненного анализа по влиянию мощности и прочности пород, а также глубины ведения горных работ представлены на графике рис. 1. По оси абсцисс отложены коэффициент крепости f (или $R_{сж} = 10f$, МПа) и глубина H ; по оси ординат – удельное (относительное) вывалообразо-

вание на каждые 100 м глубины $m_i/100(H)$ – по данным табл. 1 и вероятность вывалообразования.

Обработкой данных установлено, что $m_i(H)_{100}$ надежно оценивается линейной зависимостью вида

$$m_i(H)_{100} = 88 - 0,073 H.$$

Коэффициент корреляции равен (-0,879), что свидетельствует об обратной зависимости между оцениваемыми величинами. Уравнение справедливо в таких пределах, определяющих величинах: $H \leq 1100$ м, $f \leq 14$. При этом погрешность вычисления $m_i(H)_{100}$ не превышает 16%.

Из рис. 1 отчетливо прослеживаются такие тенденции. С глубиной работ и увеличением прочности пород отмечается три зоны уменьшения интенсивности вывалов. Первая – глубины 0-300 м, $m_i(H)_{100} = 0,781-0,661$; вторая – глубины 400-600 м, $m_i(H)_{100} = 0,539-0,491$; третья – 700-1100 м, $m_i(H)_{100} = 0,261-0,161$. Это согласуется с данными работы по оценке количества вывалов в стволах с учетом их глубины и раскрытости трещин в породах.

Совокупный анализ данных позволяет приблизительно оценить количественные показатели вероятности вывалообразования (n_i/g_i). Именно приблизительно, т.к. ее значения варьируют в больших пределах, а в ряде случаев особенности структуры многослойной толщи пород изменяют обычно принятый механизм ее разрушения, что сказывается на вероятности вывалообразования.

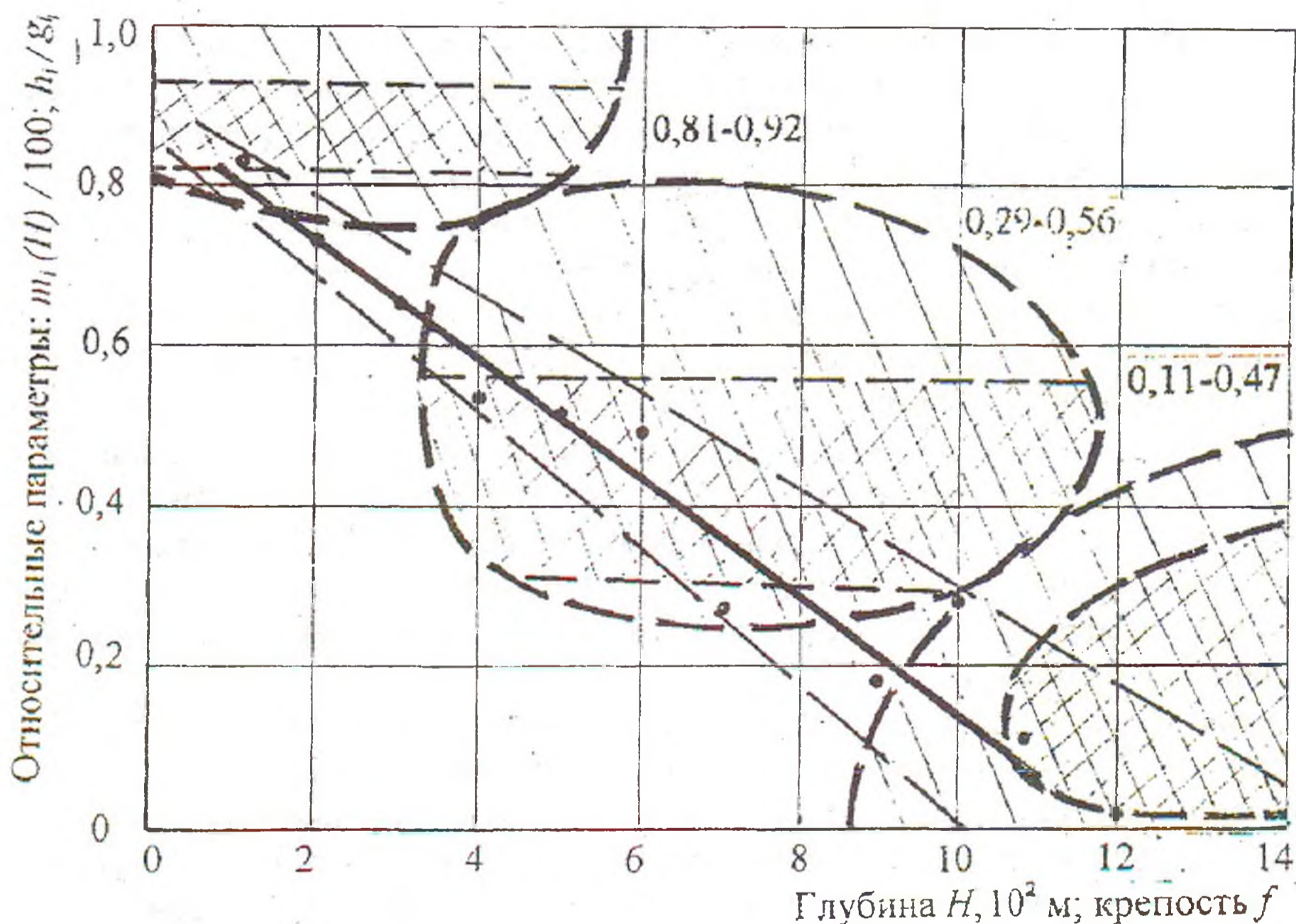


Рисунок 1 – Зависимость удельного вывалообразования в стволах и его вероятности от глубины залегания и крепости пород

Оценив в общем, по вероятности вывалообразования можно выделить три корреляционные «облака» (рис. 1) с такими количественными центрами в увязке к категориям прочности пород: I ($f > 12$) — $h_i/g_i = 0,11-0,47$; II ($f = 6-12$) — $h_i/g_i = 0,29-0,56$; III ($f \leq 6$) — $h_i/g_i = 0,81-0,92$.

На основании статанализа обширных данных о литолого-структурных показателях неоднородных породных толщ Донбасса выделены три основные типа условий заложения стволов с разделением по коэффициенту крепости по категории I — $f = 0-21$; II — $f = 0-12$; III — $f = 0-6$, для которых установлено: экспоненциальное распределение слоев пород по коэффициенту крепости и слоев, подвергающихся вывалам; обратное экспоненциальное распределение мощности всех слоев в пределах разреза толщи; статистическая закономерность уменьшения частоты вывалов с увеличением мощности пластов в виде распределения Парето; для указанных трех категорий значения вероятности вывалов в зависимости от мощности пластов изменяются в пределах — $0,33-0,67$; $0,16-0,67$; $0,72-0,92$ и от крепости пород — $0,11-0,47$; $0,29-0,56$; $0,81-0,92$ соответственно. Аномальные значения этих показателей выявлены для маломощных прочных пород, залегающих между слоями слабых пород. Наименее неблагоприятные условия проявляются в мощных слабых породах, залегающих между прочными слоями — интенсивность вероятности вывалов увеличивается вдвое при таком же, как и для других условий, нерегулярном характере изменения вероятности вывалов от мощности пластов.

Полученные аналитические выражения для определения потенциального показателя удельного вывалообразования в стволах в зависимости от глубины ведения горных пород и прочности пород, положены в основу прогнозирования и выбора технологических решений по предотвращению вывалов.

Резюмируя изложенное можно заключить, что вывалообразование в изучаемых стволах обусловлено не только низкой прочностью пород, но в большей степени особенностями деформирования и разрушения многослойного массива, которые помимо технологических факторов, зависят от градиента прочностей контактирующих неоднородностей (на это указывали специалисты УкрНИИМ), характера первичного и вторичного расширения толщи по высоте ствола и видов массива (влияние трещиноватости), а также временного разноскоростного развития деформаций вглубь массива и формы деформирования приконтурных пород — образование столбчатых структур, «бочкообразное» выпирание пород, сводовая во внутрь массива — результат движения фронта растягивающих напряжений вглубь массива.

Таким образом, вывалообразование в стволах обуславливается комплексом факторов, но первопричиной является совокупное проявление литолого-структурной, прочностной неоднородности массива и вызываемая ею неоднородность поля напряжений, приводящая к неравномерной разгрузке массива, локальной концентрации напряжений в нем и существенной асимметрии нагрузок на крепь стволов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левит В.В. Влияние свойств пород и типа крепи на взаимодействие системы «крепь – массив» в вертикальных стволах// Геотехническая механика, 1997. – №3. – С. 32-39.
2. Результаты исследований физико-механических свойств пород Донбасса и природных факторов, определяющих их поведение в горных выработках. – Киев, «Наукова думка». – 1971. – 60 с.

УДК 622.831.3

Ю.Ю. Булич, С.А. Головки

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАЗМЕРОВ ЗОНЫ НЕУПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ ВБЛИЗИ ВЫРАБОТОК

На прикладі відомої упруго-пластичної задачі приведена відпрацьована методика чисельного рішення, яка дозволяє отримати розміри зон неупругих деформацій для ускладнених моделей, рішення рівнянь яких аналітичними методами неможливо.

Современные математические модели разупрочняющихся сред описывают лишь узкий круг задач, не объясняя целого ряда наблюдаемых явлений, и, как следствие, не удовлетворяют потребностям практики, особенно для нетрадиционных методов малоэнергоёмкого управления предельно-напряжёнными породами.

Применительно к описанию напряженно-деформированного состояния разупрочняющихся горных пород вблизи выработок, круг решаемых задач может быть существенно расширен определенной процедурой стыковки решений дифференциальных уравнений для связно-нарушенных и нарушенных пород. Вычислительные трудности процедуры интегрирования с неявными границами и стыковки решений уравнений преодолены с помощью прикладного пакета Mathcad 7 Pro и проверены на известном аналитическом решении [1]. Дифференциальные уравнения решались методом Рунге-Кутты 4 порядка.

Рассмотрим процедуру определения размеров зоны неупругих деформаций r_L , размеров зоны нарушенных пород r_P , связанных соотношением из [1]:

$$\rho_L = \frac{r_L}{r_P} = \left[1 + \frac{E}{M} (1 - \sigma_{ост}^H) \right]^{\frac{1}{A-1}} \quad (1)$$

для следующих условий: $\sigma_0^H = 1$, $\sigma_{ост}^H = 0.1$, $P = 0.005$, $M/E = 5$, $A = 3$, где σ_0^H - предел прочности пород; $\sigma_{ост}^H$ - остаточная прочность; P - отпор крепи; M - модуль спада; E - модуль упругости; A - параметр, зависящий от угла внутреннего трения.

Напряженное состояние горных пород в зоне нарушенных пород характеризуется уравнением:

$$\frac{d\phi}{dr} = A \frac{\phi}{r} + \sigma_{ост}^H \sigma_0^H; \quad (2)$$

в зоне разупрочнения: