

УДК 622.83+622.28

Фундаментальные закономерности и новая классификация проявлений горного давления

Литвинский Г. Г.

Донбасский государственный технический университет, Алчевск, Украина

Аннотация

Раскрыта сущность фундаментальных закономерностей проявлений горного давления в подземных выработках. Предложена новая классификация горного давления в подготовительных выработках.

1. Введение

Горное давление, – по терминологии проф. Г. А. Крупенникова, – собирательное понятие в горной геомеханике, объединяющее совокупность силовых полей (напряжённых состояний), формирующихся в земных недрах вследствие естественных и производственных воздействий [1]. Более употребительным термином, который получил распространение в последнее время, следует считать термин «проявления горного давления» (ПГД), под которыми следует понимать разнообразные механические процессы деформирования и разрушения массива горных пород при ведении горных работ. Главной причиной ПГД обычно считают напряженно-деформированное состояние (НДС) массива горных пород, вызванное гравитационными силами и геотектоническими процессами.

Процессы, связанные с ПГД, весьма разнообразны и, как правило, представляют серьезную опасность при ведении горных работ: смещения и разрушения породных обнажений и земной поверхности, нагружение и деформирование инженерных сооружений, взаимодействующих с породным массивом, горные удары, выбросы породы и газа и т. д.

Несмотря на значительные достижения, достигнутые в описании проявлений горного давления, процессы разрушения и деформирования горных пород все еще изучены недостаточно. Заметным успехом к 1980 гг. следует считать изучение поведения пород в запредельном состоянии при решении граничных задач устойчивости выработок (институты ВНИМИ, ИГД им. А. А. Скочинского, ИГТМ АН УССР, МГИ и др.). Тем не менее, актуальным остался выбор наиболее адекватного описания запредельного поведения горных пород в решении краевых задач разрушения и устойчивости пород в подземных выработках. Однако наиболее существенным пробелом в горной геомеханике остается существующая до сих пор путаница по систематизации различных форм ПГД, что заметно затрудняет дальнейшее проведение теоретических и экспериментальных исследований в этом актуальном направлении горной науки. Основная идея, положенная работы – использовать основные закономерности и особенности процессов разрушения пород в выработке для решения задачи по их систематизации и разработки новой классификации ПГД.

2. О методах прогноза проявлений горного давления

Как показывают производственно-экспериментальные исследования и аналитические решения задач об устойчивости пород в подземных выработках, развитие механических процессов разрушения и деформирования пород в массиве отличается большим разнообразием, что значительно затрудняет выбор критерия устойчивости и соответствующей расчетной схемы задачи о горном давлении. Поэтому такое значение имеет проблема классификации ПГД и устойчивости горных выработок.

Существующие в настоящее время методы прогноза ПГД в подготовительных горных выработках, разработанные у нас и за рубежом [2, 3] в основном базируются на одной, вполне определенной расчетной схеме, во многих случаях даже не всегда достаточно четко сформулированной. Ранее, при ведении горных работ на малых глубинах разработки, преобладали представления [3, 4] о горном давлении в виде формирующихся сводов естественного равновесия (СЕР). Расчеты при этом базировались в основном на упрощенных

подходах, где преобладали методы сопротивления материалов, причем в подавляющем большинстве случаев не учитывалось исходное напряженное состояние массива горных пород.

Впоследствии, с переходом горных работ на более глубокие горизонты, эта начальная концепция прогноза горного давления (как сводов естественного равновесия – СЕР) была, по сути, отброшена и ей на смену пришла более сложная расчетная схема, в которой рассматривалась, как правило, осесимметричная задача образования вокруг выработки зоны запредельных (неупругих) деформаций – ЗЗД [5–7]. Оказалось, что при таком описании проявлений горного давления необходимо учитывать не только давление пород на крепь, но и смещение разрушенных пород в выработку, которое зависит от деформационно-силовых характеристик крепи. Для решения подобных нелинейных задач необходимо было использовать методы механики сплошной среды – теорию упругости, пластичности и ползучести. Сложность решения таких задач об устойчивости горных выработок привела к весьма большому разнообразию расчетных схем, что, в свою очередь, обусловило разноречивые результаты и стало источником достаточно острых диспутов среди специалистов об основных закономерностях горного давления.

В конечном счете, в отечественной проектной практике расчета горного давления возобладал упрощенный, главным образом эмпирический подход, типичным представителем которого стал нормативный документ по проектированию подземных горных выработок [8]. Он появился в 1980 гг. и используется проектными и производственными организациями с некоторыми несущественными коррективами вплоть до настоящего времени. Основным достоинством этого документа является предельная простота и доступность использования, отсутствие требований по проведению инструментальных инженерных изысканий для определения свойств и исходного напряженно-деформированного состояния горного массива. Метод отличается минимальной потребностью в исходных данных, низким уровнем требований к квалификации проектировщика.

Однако преимущества таких упрощенных подходов, столь существенные для периода отсутствия должной лабораторной и теоретической базы, обращаются в свою противоположность, т. е. недостатки: поскольку отсутствуют явные физические представления о механизме развития ПГД, нет содержательной теоретической базы и обоснованной расчетной схемы взаимодействия массива с крепью, принятые критерии ПГД (например, абсолютное смещение пород контура выработки U), не являются инвариантами и отражают не исходную причину, а одно из последствий ПГД и т.д. Переход на большие глубины освоения подземного пространства и ведения горных работ в сложных горно-геологических условиях вскрыл несостоятельность существующих подходов и поставил задачу их кардинального изменения.

Кроме того, как правило, подавляющее большинство граничных задач механики горных пород рассматривалось в осесимметричной (одномерной) постановке, и только в некоторых из них учитывались или разнокомпонентность исходного поля напряжений, или некруговая форма выработки (отверстия). Однако большинство неосесимметричных факторов (прочностная анизотропия и неоднородность горных пород, гравитационные силы в зоне неупругих деформаций, неравномерность вектора поверхностных усилий как реакция крепи) остались так и не исследованными.

Особенно важно установить основные закономерности, которым подчиняются процессы деформирования и разрушения пород в процессе развития горного давления. Эти закономерности должны обладать достаточной общностью для охвата всего многообразия ПГД и, в то же время, информативностью и конкретностью с целью обоснования расчетных схем и области их применения.

3. Фундаментальные закономерности ПГД

Для адекватного описания разрушения пород вокруг выработки нами предложен удобный безразмерный параметр – локальный нормированный критерий разрушения (ЛНКР) ω_* , позволяющий сопоставлять действующие напряжения с прочностью пород в рассматриваемой точке массива:

$$\omega^* = F(\sigma_{ij}) / F(\sigma_{ij}; c_{ij}) \quad (1)$$

где $F(\sigma_{ij})$ – функция действующего тензора напряжений в данной точке массива, Па;

$F(\sigma_{ij}; c_{ij})$ – функция, вычисляемая в соответствии с теорией прочности пород [9], зависит от тензора действующих напряжений σ_{ij} и параметров прочности c_{ij} : когезий отрыва σ_0 и сдвига τ_0 , коэффициента хрупкости α .

ЛНКР ω_* позволяет удобно описать целый ряд важных состояний породы. При $|\omega^*| < 1$ разрушение отсутствует (породный контур устойчив), разрушению от растяжения соответствует неравенство $\omega^* < -1$, а разрушению от сжатия – $\omega^* > 1$

Важную роль в понимании устойчивости выработки играет понятие оптимальной формы выработки, без которого затруднительно оценить развитие в ней горного давления. Под оптимальной формой выработки мы будем понимать такую ее форму, при которой достигается равномерная концентрация напряжений на ее породном контуре. В терминах введенного понятия локального нормированного критерия разрушения (ЛНКР) на контуре выработки должно соблюдаться условие $\omega^* = Const$. В этом случае нетрудно на основе достаточно простых преобразований из теории горной геомеханики получить очень важное соотношение для расчета оптимальной формы выработки – это эллипс со строго заданным соотношением горизонтальной a и вертикальной b полуосей:

$$\left(\frac{a}{b}\right)_{opt} = \lambda; \quad \lambda = \frac{p_2}{p_1} \quad (2)$$

где λ – коэффициент бокового распора, равный отношению горизонтальной p_2 и вертикальной p_1 компонент исходного поля напряжений горного массива.

Таким образом, исходное напряженное состояние массива, заданное λ , диктует нам ту форму выработки, при которой она будет наиболее устойчивой. В этом случае на всем контуре эллиптической выработки тангенциальные напряжения пород постоянны и равны:

$$\sigma_\theta = p_1(1 + \lambda) \quad (3)$$

Однако, если на контуре выработки, как это часто бывает, прочность пород кровле и боках существенно различается, то равенство (2) следует заменить новым соотношением для оптимальной формы выработки:

$$\left(\frac{a}{b}\right)_{opt} = \sqrt{\frac{s}{\lambda} + \frac{(s+1)^2(1-\lambda)^2}{16\lambda^2}} + \frac{(s+1)(1-\lambda)}{4\lambda} \quad (4)$$

где s – соотношение прочности пород в кровле и боках выработки, $s = [\sigma_c^{sp}] / [\sigma_c^n]$.

Понятие оптимальной формы горной выработки является важным критерием оценки развития проявлений горного давления: если разрушение пород приводит к тому, что новый контур выработки приближается к оптимальной форме, то следует считать, что устойчивость выработки по мере ее формоизменения повышается, в противном случае приходим к противоположному выводу.

Поскольку значение коэффициента бокового распора λ для большинства горнопромышленных регионов, в том числе и для Донбасса, как правило, удовлетворяет неравенству $\lambda < 1$, то оказывается, что оптимальная форма выработки с позиций теории должна иметь соотношение размеров $\left(\frac{a}{b}\right)_{opt} = \lambda < 1$, т. е. быть «узкой и высокой». В то же время

технологические и функциональные требования, которым должна удовлетворять форма выработки, однозначны: выработка должна быть «низкой и широкой». Таким образом, требования теории горной геомеханики и требования практики использования выработки являются взаимно исключаящими. В этом заключается смысл **главного технического противоречия** горной геомеханики. Пока горные работы велись на относительно небольших глубинах (до 400...600 м) и в сравнительно благоприятных горно-геологических условиях, интенсивность ПГД была невысокой и нарушение закона оптимальности формы выработки не приводило к резкому ухудшению ее устойчивости. Но затем, по мере перехода на большие

глубины, положение коренным образом изменилось – устойчивость большинства выработок стала катастрофически низкой, а расходы на ремонты и перекрепления – чрезмерными. Решение этой проблемы оказалось невозможным в рамках старых представлений о ПГД, которые даже не смогли подняться до осмысления главного противоречия горной геомеханики.

Как же меняется форма выработки при разрушении породного контура, удаляется ли она от оптимальной (2) или приближается? Для изучения закономерностей формоизменения контура выработки при разрушении пород массива в ее окрестности, методом фотоупругости была исследована сложная нелинейная задача о постепенном развитии и движении фронта хрупкого разрушения в окрестности горной выработки [10]. При этом впервые удалось установить важный обобщенный закон перераспределения напряжений при разрушении и формоизменении контура выработки: если кривизна контура при разрушении пород увеличивается, то напряжения здесь возрастают, а при уменьшении кривизны – снижаются вплоть до появления растягивающих напряжений (с учетом знаков – плюс для сжимающих и минус для растягивающих напряжений). Этот обобщенный закон развития процессов разрушения вокруг горной выработки позволил обосновать фундаментальные закономерности, которым подчиняются всевозможные формы ПГД.

Фундаментальные закономерности развития ПГД в выработке, которые рассматривают не статическое равновесие пород, как ранее, а кинетику процессов разрушения контура, определяющих особенности его формоизменения, подтверждены экспериментально и аналитически и допускают достаточно простую и интуитивно понятную формулировку.

Первая фундаментальная закономерность (ФЗ-I): при разрушении пород вокруг выработки от растягивающих напряжений концентрация напряжений вокруг нее снижается, критерий ЛНКР ω_* уменьшается, форма выработки в процесс разрушения приближается к оптимальной, скорость движения фронта хрупкого разрушения падает до нуля, разрушение останавливается, и окончательный контур выработки приобретает устойчивую форму в виде свода естественного равновесия.

Вторая фундаментальная закономерность (ФЗ-II): при разрушении пород вокруг выработки от сжимающих напряжений концентрация напряжений на ее контуре повышается, критерий ЛНКР ω_* возрастает, форма нового контура выработки по мере разрушения пород удаляется от оптимальной, скорость движения фронта хрупкого разрушения растет, поэтому выработка без дополнительных мер по ее охране теряет устойчивость (происходит ее завал).

Если выработка надлежащим образом закреплена, то в условиях **ФЗ-I** на крепь выработки передают давление породы, заключенные в своде естественного равновесия (СЕР), а в условиях **ФЗ-II** вокруг выработки возникает зона запредельных (неупругих) деформаций (ЗЗД), взаимодействующая с крепью. Отметим, что определение параметров зоны запредельных деформаций пород вокруг выработки и результатов ее взаимодействия с крепью относится к самым сложным проблемам горной геомеханики и до сих пор не нашла своего удовлетворительного решения. В табл. 1 приведены условия реализации ПГД.

Таблица 1 – Особенности реализации ПГД на условно «малых» и «больших» глубинах

Влияние основных факторов на ПГД	Фундаментальные закономерности	
	ФЗ-I	ФЗ-II
Коэффициент бокового распора массива λ	$< 0,3...0,5$	$> 0,3...0,5$
Критерий ЛНКР ω_*	$\omega_* < -1$	$\omega_* > 1$
Тип разрушения пород вокруг выработки	растяжение	сжатие
Форма проявлений горного давления	СЕР	ЗЗД
Условное название глубины разработки	«малая»	«большая»

Понятия «малая» и «большая» глубина не следует понимать буквально. Так, глубина 300 м в условиях объединения «Павлоградуголь» будет большой, а 1000 м в «Ровенькиантрацит» может быть «малой» в зависимости от значения критерия ЛНКР ω_* .

Проанализируем особенности проявлений ПГД на условно малых и больших глубинах разработки, т. е. когда происходит разрушение по различным механизмам. Отразим это в сводной таблице, чтобы избежать длиннот текстовых описаний. Будем искать искомые зависимости давления q на крепь со стороны горного массива и смещений U пород в выработку в результате разрушения пород окружающего массива (табл.2) в виде:

$$\begin{aligned} q &= q(H; [\sigma]; r_0; U; \dots); \\ U &= U(H; [\sigma]; r_0; q; \dots); \end{aligned} \quad (5)$$

где $[\sigma]$ – предел прочности пород, r_0 – характерный размер выработки.

В табл. 2 приведены оценки основных зависимостей, характеризующих ПГД в выработке при реализации **I** или **II–ФЗ**, т. е. в «легких» и «сложных» горно-геологических условиях. В табл. 2 показаны зависимости q и U от наиболее важных влияющих факторов X_k ($k \in 1..4$) в виде оценки знака и величины их частных производных $\partial q / \partial X_k$ и $\partial U / \partial X_k$ по каждому из факторов.

Как видим, особенности ПГД в ГГУ, где реализуются **I** или **II–ФЗ**, прямо противоположны. При **I–ФЗ** ПГД не зависит от глубины H и прочности пород на сжатие $[\sigma_c]$, зато заметно влияют размер выработки r_0 и прочность на растяжение $[\sigma_p]$. Режим работы крепи (податливый или жесткий) – несущественен, поскольку $\partial U / \partial q \approx 0$. Напротив, при **II–ФЗ** на интенсивность ПГД сильно влияет глубина H и прочность пород на сжатие $[\sigma_c]$, тогда как размер выработки r_0 и прочность на растяжение $[\sigma_p]$ несущественны. Особенно важно, что в этих условиях зависимость $\partial U / \partial q \ll 0$, что доказывает необходимость применения в этих условиях податливых, а не жестких конструкций крепи.

Таблица 2 – Законы изменения параметров ПГД q и U при разных ФЗ

Фундаментальные закономерности ПГД	Зависимость $\partial q / \partial X_k$ нагрузки на крепь q от фактора X_k , равного				Зависимость $\partial U / \partial X_k$ смещений пород U от фактора X_k , равного			
	H	$[\sigma_p]$	r_0	U	H	$[\sigma_c]$	r_0	q
ФЗ–I ; $\omega_-^* < -1$ $\lambda < 0,3..0,5$	≈ 0	≤ 0	$\gg 0$	≈ 0	≈ 0	≈ 0	> 0	≈ 0
ФЗ–II ; $\omega_+^* > 1$ $\lambda > 0,3..0,5$	$\gg 0$	$= 0$	$= 0$	$\ll 0$	$\gg 0$	$\ll 0$	≈ 0	< 0

Закономерности, отраженные в табл. 2, особенно важны для понимания принципиальной разницы ПГД в условиях реализации первой или второй фундаментальных закономерностей

4. Новая классификация проявлений горного давления

Поскольку все множество существующих классификаций ПГД основано на рассмотрении, как правило, лишь одной из множества возможных его форм, и то лишь в статике, они не вполне способны адекватно отразить сложные процессы изменения устойчивости выработки.

Какие требования следует предъявить к методу прогноза и классификации ПГД? К сожалению, формулировке таких требований уделялось недостаточно внимания. Это было обусловлено в определенной степени влиянием традиций, возникших в самом начале изучения ПГД, когда на первый план ставились задачи определения нагрузки на крепь – «горное давление». Теперь, опираясь на значительные достижения горной геомеханики и накопленный проектный и производственный опыт, можно, исходя из современных представлений о физико-механических процессах, происходящих в массиве горных пород, эти требования сформулировать. Таким образом, целесообразно разработку метода прогноза ПГД начинать с формулирования основных требований к прогнозу, затем на основании фундаментальных закономерностей ПГД следует дать физически содержательную классификацию форм

Итак, метод прогноза ПГД должен:

1. исходить из достаточно четкой поставленной и обоснованной расчетной схемы задачи, основанной на физически обоснованной механической модели процессов деформирования и разрушения массива горных пород в окрестности выработки;
2. учитывать особенности исходного напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород, а также его аномалии, возникающие при ведении горных работ;
3. рассматривать ПГД не как статический феномен конечного равновесия пород вокруг выработки, а как процесс, развивающийся во времени и, в зависимости от конкретных условий, способный «ветвиться», т. е. менять направление своего развития во времени и в пространстве;
4. учитывать особенности взаимодействия элементов крепи и способов охраны с окружающим массивом в процессе его деформирования и разрушения;
5. оценивать влияние «неосесимметричных» горнотехнических факторов, способных значительно исказить форму и размеры зоны запредельных деформаций вокруг выработки;
6. определять достоверность результатов прогноза ПГД и вероятностный их разброс.

В основу новой классификации горного давления и устойчивости подземных выработок были положены установленные фундаментальные закономерности. Классификация базируется на составлении паспорта устойчивости контура выработки и вычислении ЛНКР ω_* , а затем анализе изменения его знака и величины при формоизменении контура в процессе его разрушения.

Согласно фундаментальным закономерностям проявлений горного давления, если в процессе разрушения пород происходит повсеместное разрушение по модулю локального критерия ω_* , то разрушение самопроизвольно остановится и новый контур выработки будет устойчив, а при возрастании ЛНКР ω^* породный контур выработки будет неустойчив и она, в конечном счете, будет разрушена, если не принять соответствующие меры по ее креплению и охране.

Вторичными классификационными признаками, позволяющими выделить многочисленные подклассы в предлагаемой классификации, являются:

- модель поведения горных пород (пластичная, хрупкая, вязко-упругая и др.),
- участок на контуре выработки, где происходят процессы разрушения (кровля, почва, бока),
- геоструктура массива горных пород (трещиноватость, слоистость, неоднородность, угол падения пластов и др.),
- ориентация выработки в пространстве и относительно напластования (горизонтальная, вертикальная, наклонная, вкрест, диагонально и вдоль напластования и др.).

Представление о классификации проявлений горного давления можно получить из табл. 3. Здесь также даны рекомендации по выбору режима работы и конструкции крепи. В первой колонке таблицы приведены тип горно-геологических условий (ГГУ), которые разделяют все возможные формы ПГД, относя их условно к «малым» и «большим» глубинам разработки, а, по сути, к обычным и интенсивным условиям ПГД.

Из предложенной классификации следует, что метод расчета горного давления в выработке должен базироваться на *разных* расчетных схемах, отличающихся в зависимости от того, будет ли разрушение пород в выработке происходить от напряжений сжатия или растяжения.

Подчеркнем важное отличие новой классификаций: она основана на важном параметре – коэффициенте бокового распора λ , характеризующем исходное напряженное состояние массива (его в настоящее время при ведении горных работ в Украине не измеряют). Это серьезное препятствие для применения прогрессивных технических решений по управлению состоянием массива и оно должно быть устранено.

С учетом отсутствия сведений о коэффициенте бокового распора λ , помимо главного критерия устойчивости – ЛНКР ω^* , целесообразно использовать вспомогательные критерии:

1. Критерий устойчивости проф. Ю.З. Заславского [7], который приближенно позволяет оценить интенсивность проявлений горного давления:

$$k_3 = \gamma H / [\sigma_c^0], \quad (6)$$

где γH – давление вышележащей толщии пород, равное, как правило, вертикальной компоненте p_1 исходного поля напряжений в массиве, Па;

2. Деформационный критерий для оценки относительных (относительно не абсолютных, как это принято сейчас!) смещений пород:

$$\varepsilon = U / \sqrt{A/\pi}, \quad (7)$$

где U – смещения породного контура выработки, м; A – площадь сечения выработки в черне, м².

Таблица 3 – Классификация устойчивости пород

Тип ГГУ	Класс ПГД	Значение критериев	Формы проявлений горного давления	Типы крепи
I-ФЗ- «малые» глубины разработки, $\lambda < 0,3...0,5$	I вполне устойчив	$ \omega \ll 1$ $k_z < 0,1$ $\varepsilon < 1\%$	На породном контуре возможны трещины, мелкие отслоения и отдельные вывалы на участках со сниженной прочностью пород или неровностях контура	Без крепи, легкие изолирующие и ограждающие конструкции
	II устойчив	$\omega^+ < 1 < \omega^- $ $0,1 < k_z < 0,4$ $1 < \varepsilon < 5\%$	Преобладает разрушение породного контура от растяжения. Происходит образование СЕР в кровле или (и) в почве выработки	Оградительно-поддерживающие крепи
	III не вполне устойчив	$1 < \omega^+ < \omega^- $ $0,2 < k_z < 0,5$ $5 < \varepsilon < 10\%$	Разрушение пород от растяжения опережает разрушение от сжатия. Образование СЕР с вторичным разрушением пород в боках от сжатия	Крепи поддерживающие с ограниченной податливостью
II-ФЗ- «большие» глубины разработки, $\lambda >> 0,3...0,5$	IV слабо неустойчив	$1 < \omega^- < \omega^+$ $0,2 < k_z < 0,5$ $10 < \varepsilon < 20\%$	Разрушение пород от сжатия в боках выработки вызывает разрушение в кровле от растяжения.	Отпорно-поддерживающие типы крепи с ограниченной податливостью
	V неустойчив	$\omega^+ > 1$ $0,5 < k_z < 1$ $20 < \varepsilon < 40\%$	Разрушение большей части контура от сжатия, образование ЗЗД асимметричной формы, вытянутой перпендикулярно напластованию	Отпорные и грузонесущие податливые крепи, породонесущие конструкции
	VI весьма неустойчив	$\omega^+ \gg 1$ $0,7...1 < k_z$ $40\% < \varepsilon$	Особые формы горного давления: а) вязкое или пластическое течение пород, б) динамическое хрупкое разрушение пород в виде выбросов и горных ударов	Мощные податливые или породонесущие крепи, разгрузка и упрочнение пород,

В зависимости от соотношения прочности пород на одноосное растяжение в кровле и почве выработки, возможно развитие сводов естественного равновесия (СЕР) односторонних и двусторонних (в кровле или почве).

Высоту h_c СЕР при его образовании в кровле или почве можно определить по формуле

$$h_c = \frac{a}{\lambda} \left(1 - \lambda - \frac{\sigma_0}{p_1} \right) - 2b, \quad (8)$$

где a, b – половина соответственно ширины и высоты выработки с учетом разрушенных в боках пород, м;

λ – коэффициент бокового распора, равный отношению горизонтальной p_2 и вертикальной p_1 компонент исходного поля напряжений массива, Па;

σ_0 – предел прочности пород на одноосное растяжение или когезия отрыва [9], Па;

Если происходит образования СЕР одновременно в кровле и боках выработки (что бывает в случае возникновения на этих участках контура отрицательных напряжений и при $\omega_k^*; \omega_n^* > 1$), тогда высоту СЕР в кровле h_k и почве h_n следует определить из более сложных формул:

$$h_k = \left[\frac{a}{\lambda} \left(1 - \lambda - \frac{\sigma_0}{p_1} \right) - 2b \right] \frac{\omega_k^*}{\omega_k^* + \omega_n^*}, \quad h_n = \left[\frac{a}{\lambda} \left(1 - \lambda - \frac{\sigma_0}{p_1} \right) - 2b \right] \frac{\omega_n^*}{\omega_k^* + \omega_n^*}; \quad (9)$$

где $\omega_k^*; \omega_n^*$ – значения ЛНКР в кровле и почве соответственно.

Выводы. На основании использования нового критерия ЛНКР и анализа развития процессов разрушения пород вокруг выработки сформулированы фундаментальные закономерности ПГД, которые позволили разработать новую классификацию ПГД. Показана недопустимость ведения расчетов ПГД по универсальным единообразным расчетным схемам и методикам и необходимость разработки новых нормативных документов

Преимуществом предлагаемого подхода является четкая идентификация возможных расчетных схем ПГД, из которых вытекают важные рекомендации по выбору параметров крепи и способов управления ПГД, существенно различающиеся на «малых» и «больших» глубинах.

Библиографический список

1. Крупенников Г. А. Методы изучения горного давления и его проявлений, в кн.: Горное дело. Энциклопедический справочник, т. 5, М., 1958
2. Талобр Ж. Механика горных пород. – М.: Госгортехиздат, 1960. – С. 346.
3. Протодьяконов М. М. Давление горных пород и рудничное крепление. – М.-Л.: ОГИЗ, 1931. – С. 186.
4. Максимов А. П. Горное давление и крепь выработок. – М.: Недра, 1973. – С. 288.
5. Лабасс А. Давление горных пород в угольных шахтах/ В кн. Вопросы теории горного давления. – М.: Госгортехиздат, 1961. – С. 59–164.
6. Либерман Ю. М. Давление на крепь капитальных горных выработок. – М.: Наука, 1969. – С. 126.
7. Заславский Ю. З. Исследование проявлений горного давления в капитальных выработках глубоких шахт Донбасса. – М.: Недра, 1966. – С. 267.
8. СНиП-II-94-80. Подземные горные выработки./Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1982. – 24 с.
9. Литвинский Г. Г. Аналитическая теория прочности горных пород и массивов: Монография/ ДонГТУ. – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 207 с.
10. Литвинский Г. Г. Научная концепция прогноза горного давления в подземных выработках. – Уголь Украины, 1996, №8. – С. 9-12.

© Литвинский Г. Г., 2009 г.