

УДК 622.235.535.2

*докт. техн. наук, проф. Литвинский Г.Г.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина, ligag@ua.ru)*

## **ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ НА МАЛЫХ И БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ РАЗРАБОТКИ**

*Запропоновано новий критерій руйнування порід навколо виробок. Узагальнено поняття оптимальної форми виробки. Сформульовано головне технічне протиріччя гірничої геомеханіки і фундаментальні закономірності гірського тиску, розроблено його нову класифікацію на «малих» і «великих» глибинах розробки.*

***Ключові слова:** гірнична виробка, гірський тиск, критерії та фундаментальні закономірності, гірнична геомеханіка, класифікація, глибини розробки*

*Предложен новый критерий разрушения пород вокруг выработок. Обобщено понятие оптимальной формы выработки. Сформулировано главное техническое противоречие горной геомеханики и фундаментальные закономерности горного давления, разработана его новая классификация на «малых» и «больших» глубинах разработки.*

***Ключевые слова:** горная выработка, горное давление, критерии и фундаментальные закономерности, горная геомеханика, классификация, глубины разработки.*

### **1. Введение.**

Опасные обрушения пород в горных выработках, которые ранее нередко сопровождалась гибелью горняков, заставили горных практиков и учёных глубоко изучать проявления горного давления и создавать методы его расчёта и прогноза. Опыт подземных работ и анализ обрушений пород показал, что вокруг выработки образуются и растут зоны ослабленных и разрушенных пород, которые разрушают крепь горных выработок. Уже в середине XIX в., когда глубины разработки были невелики (до 200-300 м), возобладала точка зрения, что зоны обрушения приобретают устойчивую форму, и их стали называть сводами естественного равновесия (далее СЕР). Учёные по-разному пытались предугадать свойства сводов обрушения и возможную нагрузку на крепь со стороны разрушенных пород.

Научно обоснованные гипотезы о горном давлении стали появляться в разных странах с середины XIX в. Вначале, когда выработки

были вблизи поверхности, полагали, что на крепь давит полный вес столба породы над ней. Шульц (1867) рассматривал пласт породы в кровле выработки как изгибающуюся балку. В. Риттер (1879) определял уравнение кривой свода оторвавшихся от массива пород, давящего на крепь под собственным весом. Греггер (1881) пытался определить давление на крепь по излому установленной крепи. Энгессер (1882) на основе лабораторного моделирования сводообразования в сыпучих телах определил условия образования сводов, считая их форму параболической; Фейоль (1885) провёл лабораторные опыты и шахтные наблюдения за изгибом и расслоением пластов на различном удалении от кровли. Биргбаумер (1892) предполагал, что на крепь выработки давит вес жёсткого столба пород над выработкой, который частично удерживается боковыми силами трения. Манцель (1894) показал наличие в породном массиве значительных напряжений, способных разрушить любую крепь. Янсен (1895) решил дифференциальное уравнение равновесия сыпучего в силосе с учётом боковых распорных напряжений, что позволило это решение обобщить на горные выработки. Коммерель (1912) считал, что своды имеют параболическую форму и их высоту следует определять по прогибу кровли выработки. Наконец, наш отечественный учёный проф. Протоdjяконов М.М. (1908) предложил свою гипотезу и расчётный метод определения высоты параболического свода над выработкой и давления его на крепь [1]. Исследования горного давления интенсивно проводились в XX веке и даже сейчас они ещё далеки от своего завершения [2].

В настоящее время в отечественной проектной практике расчёта горного давления возобладал упрощённый, главным образом эмпирический подход, типичным представителем которого стал нормативный документ по проектированию подземных горных выработок [3]. Он разработан в 1980 гг. и используется горными организациями с некоторыми несущественными коррективами вплоть до настоящего времени [4]. Основным достоинством этих документов является предельная простота и доступность использования, минимальная потребность в исходных данных, низкий уровень требований к квалификации проектировщика. В целом все расчёты используют в основном эмпирические соотношения и соответствуют началу, а не концу XX в.

Такие упрощённые оценки проявлений горного давления (ПГД), вызваны отсутствием должной лабораторной и теоретической базы и явно устарели. Ведение горных работ в сложных горно-геологических условиях (ГГУ) на всё больших глубинах вскрыл научную несостоятельность существующих подходов и поставил задачу их кардинального изменения.

Особенно важно установить основные закономерности, которым подчиняются *процессы* деформирования и разрушения пород, т.е. следует перейти от рассмотрения статической картины равновесия пород над выработкой к исследованию развития горного давления вокруг выработки во времени, т.е. изучению направленности процессов разрушения и деформирования пород вокруг подземного объекта.

Цель данной работы – выявить основные закономерности проявлений горного давления, действующие на малых и больших глубинах разработки. Предмет исследования – формы ПГД, объект исследования – горные выработки. Основной задачей работы является изучение законов ПГД на малых и больших глубинах разработки

Закономерности развития ПГД должны обладать достаточной общностью для охвата всего многообразия ПГД и, в то же время, информативностью и конкретностью с целью обоснования расчётных схем и области их применения. Основываясь на этих базовых требованиях можно, без опасения совершить критическую ошибку, развивать расчётные методы прогнозирования горного давления.

## 2. Об оптимальной форме выработки

Без понятия оптимальной формы выработки затруднительно оценить развитие в ней горного давления. Под *оптимальной формой* выработки ранее понимали такую её форму, при которой достигается равномерная концентрация напряжений на её породном контуре, что приводит к равновероятности его разрушения.

Для адекватного описания разрушения пород вокруг выработки нами [5] предложен удобный безразмерный параметр – *локальный нормированный критерий разрушения* (ЛНКР)  $\omega^*$ , 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 [6], зависит от тензора действующих напряжений  $\sigma_{ij}$  и параметров прочности  $c_{ij}$  (от когезий отрыва  $\sigma_0$  и сдвига  $\tau_0$ , коэффициента хрупкости  $\alpha$ ).

Критерий ЛНКР  $\omega^*$  показывает, насколько напряжённое состояние соотносится с прочностью пород и позволяет удобно описать целый

ряд важных состояний породы при действии на неё напряжений различных знаков (табл. 1).

Таблица 1 – Поведение пород при разном значении критерия ЛНКР

ЛНКР	Особенности разрушения пород
$-1 < \omega^* < 1$	отсутствует (породный контур устойчив)
$1 \leq \omega_+^*$	от сжатия по механизму сдвига
$\omega_-^* \leq -1$	от растяжения бегущими трещинами отрыва

Оптимальная форма выработки в однородных породах – это, согласно теории, 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  $\lambda$  – коэффициент бокового распора, равный отношению минимальной  $p_2$  к максимальной (часто вертикальной)  $p_1$  компонент исходного поля напряжений горного массива.

Таким образом, исходное напряжённое состояние массива, которое задают с помощью коэффициента бокового распора  $\lambda$ , диктует нам ту форму выработки, при которой она будет наиболее устойчивой. Только в этом случае в разных точках контура эллиптической выработки по всему её периметру тангенциальные напряжения одинаковы и равны:

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

Используя введённое понятие локального нормированного критерия разрушения (ЛНКР) на контуре выработки, мы предлагаем более **общее условие оптимальности формы** выработки, а именно – на всём контуре выработки должно соблюдаться постоянство критерия ЛНКР  $\omega^* = Const$ . Это важно для случая, когда прочность пород в кровле  $\sigma_c^{kp}$  и боках  $\sigma_c^b$  существенно различается и вместо равенства (2) получим новое соотношение для оптимальной формы выработки:

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

где  $S_{\bar{\sigma}}$  – соотношение прочности пород в кровле и боках выработки,  $S_{\bar{\sigma}} = [\sigma_c^{kp}] / [\sigma_c^{\bar{\sigma}}]$ .

Если прочность пород в кровле меньше, чем в боках ( $S_{\bar{\sigma}} < 1$ ), то выработке следует придать более «приземистую» оптимальную форму и наоборот. Возможен ещё один случай, когда на контуре выработки различается прочность в кровле  $\sigma_c^{kp}$  и почве  $\sigma_c^n$  выработки, а прочность в боках  $\sigma_c^{\bar{\sigma}}$  принимает промежуточное значение. Тогда получим при соблюдении условия равенства на контуре ЛНКР  $\omega_{kp}^* = \omega_n^*$  разные полуоси эллипсов для кровли и почвы, а оптимальная выработка приобретёт овальную форму, более вытянутую в сторону меньшей прочности либо вверх (рис. 1), либо вниз. Если залегание пластов наклонное, то ранее вертикальная ось оптимальной формы выработки вследствие прочностной анизотропии будет ориентирована по нормали к напластованию пород.

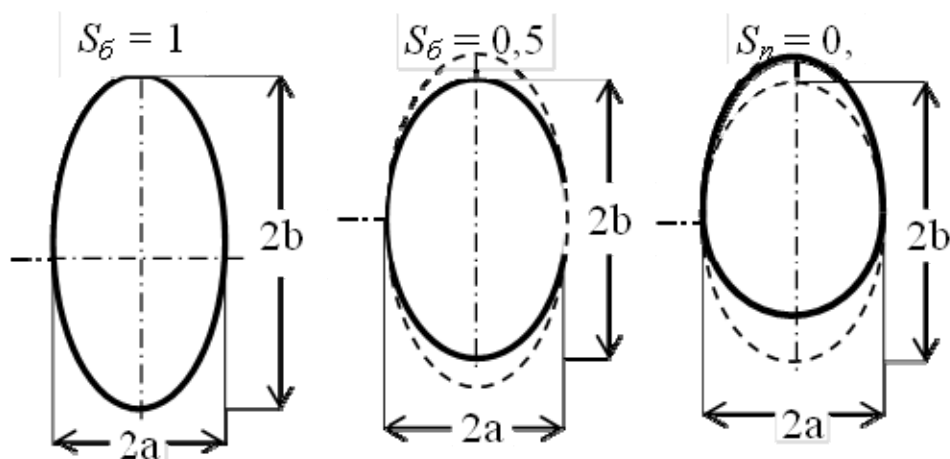


Рисунок 1 – Оптимальная форма выработки при разных соотношениях прочности пород в кровле и боках  $S_{\bar{\sigma}}$ ,  $S_n$ , и  $\lambda = 0,5$

### 3 Главное техническое противоречие горной геомеханики

Понятие оптимальной формы горной выработки является важным **критерием оценки развития** проявлений горного давления, который в наиболее простом виде можно сформулировать так: если разрушение пород приближает новый контур выработки к оптимальной форме, то устойчивость выработки по мере её формоизменения повышается, в противном случае – снижается.

Поскольку в большинстве горнопромышленных регионов  $\lambda < 1$ , то оказывается, что оптимальная форма выработки с позиций теории должна иметь соотношение размеров  $(a/b)_{opt} = \lambda < 1$ , т. е. ширина

должна быть меньше, чем высота  $a < b$ . Такая выработка должна быть «узкой и высокой». В то же время технологические и функциональные требования к выработке, вытекающие из необходимости размещения оборудования и полезного использования сечения, – однозначны: выработка должна быть «низкой и широкой», т.е.  $(a/b) > 1$ .

<b>ГЛАВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРОТИВОРЕЧИЕ:</b>	требования геомеханики → $(a/b)_{opt} = \lambda < 1$
	требования технологии → $(a/b) > 1 \neq \lambda$

Таким образом, требования практики и теории геомеханики к форме выработки являются взаимно исключаящими. В этом состоит смысл *главного технического противоречия* горной геомеханики.

Пока горные работы велись на относительно небольших глубинах (до 300...400 м) и в сравнительно благоприятных ГГУ, интенсивность ПГД была низкой, и нарушение закона оптимальности формы выработки не приводило к резкому ухудшению её устойчивости. Но затем, по мере перехода на большие глубины, устойчивость многих выработок стала катастрофически низкой, а расходы на ремонты и перекрепления – чрезмерными. Решение этой проблемы оказалось невозможным в рамках старых представлений о ПГД<sup>1</sup>.

Зададим кардинальный вопрос: как и когда меняется форма выработки при разрушении породного контура, удаляется ли она от оптимальной (4) или приближается?

Основываясь на экспериментальных данных и теоретических исследованиях, нами установлен *обобщённый закон перераспределения напряжений* на контуре выработки: если его кривизна при разрушении пород увеличивается, то напряжения здесь возрастают, а при уменьшении кривизны контура – снижаются вплоть до появления растягивающих напряжений (правило знаков: сжатие – плюс, растяжение – минус). Этот обобщённый закон позволил впервые обосновать *фундаментальные закономерности*, которым подчиняются все известные формы ПГД.

#### 4 Фундаментальные закономерности развития ПГД

Фундаментальные закономерности (ФЗ) рассматривают не статическое равновесие пород, как это делалось ранее, а развитие (кинетику) процессов разрушения пород, учитывают особенности формоизменения контура, т.е. отвечают на вопрос – как проходит разрушение пород вокруг выработки. Формулировки ФЗ таковы:

<sup>1</sup> Проблема была решена в 70-х гг. прошлого века в ДонГТУ (способ АРПУ и др.)

**Первая фундаментальная закономерность (ФЗ-I):** при разрушении породного контура от растяжения форма выработки приближается к оптимальной, критерий ЛНКР  $\omega_-^*$  уменьшается, концентрация напряжений вокруг выработки снижается, скорость движения фронта хрупкого разрушения асимптотически стремится к нулю, разрушение затухает, а контур разрушенных пород приобретает устойчивую форму в виде *свода естественного равновесия* (рис. 2а).

Если выработка надлежащим образом закреплена, то в условиях **ФЗ-I** на крепь выработки оказывают давление породы, заключённые в своде естественного равновесия (СЕР). Крепь работает в режиме заданных нагрузок, которые не зависят от деформационных показателей крепи (от податливости). Поэтому при СЕР можно использовать крепи самых разнообразных конструкций и режимов работы – нагрузки на них со стороны СЕР будут одинаковы. На рис. 2а показан общий случай возникновения СЕР в кровле и (или) в почве выработки 1, своды формируются бегущими трещинами разрыва.

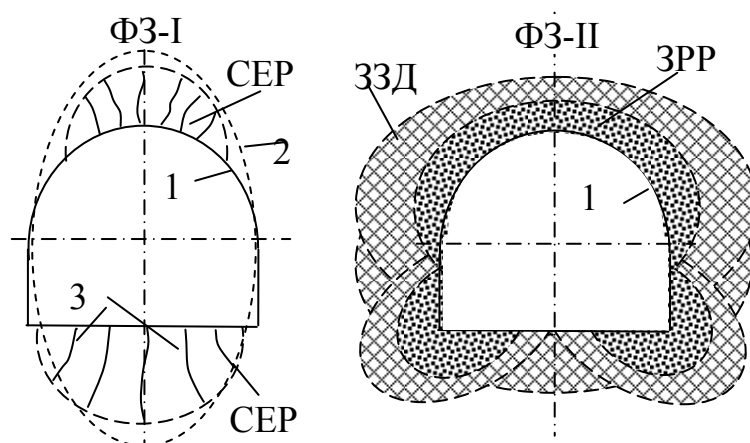


Рисунок 2 – Горное давление в условиях первой (ФЗ-I) и второй (ФЗ-II) фундаментальных закономерностей

**Вторая фундаментальная закономерность (ФЗ-II):** при разрушении пород от сжатия их концентрация на фронте разрушения повышается, критерий ЛНКР  $\omega_+^*$  возрастает, новый контур выработки удаляется от оптимальной формы, его устойчивость снижается, скорость разрушения растёт, что ведёт к «завалу» выработки породой или, при наличии крепи достаточного отпора, формированию *зоны запредельных деформаций* (ЗЗД).

Зона запредельных деформаций (ЗЗД) переходит в зону «руинного» разрушения (ЗРР), зоны нелинейно взаимодействуют с крепью (рис. 2б). Нагрузка на крепь  $q$  здесь существенно зависит от времени и

условий её возведения, а также деформационно-силовых характеристик (ДСХ) конструкции, что резко усложняет прогноз горного давления.

Поэтому для характеристики крепи следует использовать понятие «жёсткость конструкции»  $E_k$ , т.е. степень роста отпора крепи  $q$  на единицу её податливости  $U$  в виде частной производной от деформационно-силовой характеристики крепи  $q = f(u)$ :

$$E_k = \frac{\partial q}{\partial U} \approx \frac{\Delta q}{\Delta U}; \frac{kPa}{m}. \quad (5)$$

У идеально податливых крепей  $E_k=0$ , у «идеально» жёстких  $E_k \rightarrow \infty$ . Чем больше жёсткость конструкции крепи  $E_k$ , тем выше нагрузка  $q$  на неё со стороны массива, тем меньше смещения  $U$  пород внутрь выработки.

Исследование и раскрытие этих закономерностей в различных условиях и составляет предмет изучения механики подземных сооружений. Отметим, что определение параметров взаимодействия зон ЗЗД и ЗРР с крепью относится к самым сложным проблемам геомеханики, которые до сих пор не нашли своего удовлетворительного решения.

В таблице 2 приведены оценки границ условий реализации ПГД на разных глубинах

Таблица 2 – Особенности реализации ПГД на условно «малых» и «больших» глубинах

Влияние основных факторов на ПГД	Фундаментальные закономерности	
	ФЗ-I	ФЗ-II
Коэффициент бокового распора массива $\lambda$	$< 0,3...0,5$	$> 0,3...0,5$
Критерий ЛНКР $\omega^*$	$\omega_-^* < -1$	$\omega_+^* > 1$
Тип разрушения пород вокруг выработки	от растяжения	от сжатия
Форма проявлений горного давления	СЕР	ЗЗД + ЗРР
Условное название глубин разработки	«малые»	«большие»

В терминах **ФЗ** ПГД находят своё объяснение понятия «малые» и «большие» глубины разработки. Теперь эти термины обретают вполне конкретное значение. В таблице 2 приведены основные параметры, обуславливающие особенности ПГД на «малых» и «больших» глубинах: коэффициент бокового распора  $\lambda$ , критерий ЛНКР  $\omega^*$  – именно они



«диктуют», какие закономерности ПГД станут определяющими для устойчивости горной выработки.

### 5. Анализ влияния глубины разработки $H$ на ПГД

Понятия «малая» и «большая» глубина  $H$  не следует понимать буквально. Так, глубина 300 м в условиях объединения «Павлоградуголь» будет считаться «большой»  $\omega_+^* > 1$ , а 1000 м в «Ровенькиантрацит» может быть «малой», в зависимости от значения критерия ЛНКР  $\omega^*$ .

Проанализируем особенности проявлений ПГД на условно «малых» и «больших» глубинах разработки. Будем искать искомые зависимости давления  $q$  на крепь со стороны горного массива и смещений  $U$  пород в выработку при разрушении пород окружающего массива (табл. 3) в виде:

$$\begin{aligned} q &= q(H; [\sigma]; r_0; U; \dots) \\ U &= U(H; [\sigma]; r_0; q; \dots) \end{aligned} \quad (6)$$

где  $[\sigma]$  – предел прочности пород, Па;

$r_0$  – характерный размер выработки, м.

В таблице 3 приведены оценки основных зависимостей, характеризующих ПГД в выработке при реализации **I** или **II–ФЗ**, т.е. в «обычных» и «сложных» горно-геологических условиях.

Таблица 3 – Законы изменения параметров ПГД  $q$  и  $U$  на «малых» (**ФЗ–I**) и «больших» (**ФЗ–II**) глубинах разработки

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

Здесь анализ «малых и больших» глубин проведён с помощью коэффициентов влияния, т.е. с использованием частных производных. Последние показывают, как быстро изменяется исследуемый показатель

горного давления, - нагрузка на крепь  $q$  и смещения пород  $U$ , - при изменении остальных влияющих факторов  $X_k = (H, [\sigma_p], r_0, U)$ . Так, если возьмём соотношение в первом столбце таблицы для **ФЗ–II**  $\partial q / \partial X_k = \partial q / \partial H \gg 0$ , то из него следует, что нагрузка на крепь  $q$  резко увеличивается при возрастании глубины разработки  $H$ . Здесь же 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. Если зависимость по данному параметру  $\approx 0$  или  $= 0$ , то его роль незначительна или равна нулю, если  $\leq 0$  или  $\ll 0$  – то изучаемый параметр существенно снижает  $q$  или  $U$ , знак  $\gg 0$  – наоборот.

Как видно из таблицы 3, особенности проявлений горного давления ПГД на «малых» (**ФЗ–I**) и «больших» (**ФЗ–II**) глубинах прямо противоположны. На «малых» глубинах ПГД не зависит от глубины  $H$  и прочности пород на сжатие  $[\sigma_c]$ , зато заметно влияют на ПГД размер выработки  $r_0$  и прочность на растяжение  $[\sigma_p]$ . Режим работы крепи (податливый или жёсткий) – незначителен, поскольку отпор крепи не влияет на смещения пород  $\partial U / \partial q \cong 0$ .

Напротив, на «больших» глубинах ПГД сильно зависит от глубины  $H$  и прочности пород на сжатие  $[\sigma_c]$ , тогда как размер выработки  $r_0$  и прочность на растяжение  $[\sigma_p]$  незначительны. Особенно важно, что в этих условиях отпор крепи  $q$  во многом зависит от смещений пород  $\partial q / \partial U \ll 0$ , что требует применения податливых, а не жёстких конструкций крепи.

Важные соотношения, отражённые в таблице 3, показывают ошибочность попыток многих горняков использовать свой опыт, полученный на «малых» глубинах, где действует **ФЗ–I**, в условиях «больших» глубин, т.е. при **ФЗ–II**, когда необходимо принятие во многом иных инженерных решений по управлению ПГД.

Столь разительные отличия в поведении массива вокруг выработки на «малых» и «больших» глубинах разработки, с одной стороны, позволяют объяснить причины резкого снижения устойчивости выработок при увеличении глубины, а с другой – показывают, что устранять ПГД на «больших» глубинах следует с использованием качественно новых способов, направленных не только на удержание разрушенных пород крепью, но и на изменение главных влияющих факторов – напряжённого состояния пород и их прочности.

## 6 Новая классификация проявлений горного давления

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

Какие же требования следует предъявить к методу прогноза и классификации ПГД? К сожалению, формулировке таких требований до сих пор не уделялось внимания. Теперь можно, исходя из современных представлений о физико-механических процессах, происходящих в массиве горных пород, эти требования сформулировать.

Итак, метод прогноза ПГД **должен**:

- исходить из чётко поставленной расчётной схемы задачи, основанной на **физически обоснованной** механической модели процессов деформирования и разрушения массива горных пород в окрестности выработки;

- учитывать особенности **исходного** напряжённо-деформированного состояния (НДС) массива горных пород, а также его аномалии, возникающие при ведении горных работ;

- рассматривать ПГД не как статический феномен конечного равновесия пород вокруг выработки, а как **процесс разрушения** пород, последовательно развивающийся во времени и способный «ветвиться», т. е. менять направление своего развития во времени и в пространстве;

- учитывать особенности **взаимодействия** крепи и элементов охраны с окружающим массивом в процессе его деформирования и разрушения;

- оценивать влияние **«неосесимметричных»** горнотехнических факторов, способных значительно исказить форму и размеры зон ЗЗД и ЗРР вокруг выработки (деформационная и прочностная анизотропия, неоднородность свойств и состояний массива и крепи) ;

- определять достоверность результатов прогноза ПГД и вероятностный их разброс.

В основу новой классификации горного давления и устойчивости подземных выработок (табл. 4) легли установленные нами фундаментальные закономерности. Классификация базируется на составлении паспорта устойчивости контура выработки и вычислении значений на нём ЛНКР  $\omega^*$ , а затем на анализе изменения знака и величины ЛНКР при формоизменении контура в процессе его разрушения.

Согласно фундаментальным закономерностям ПГД, если в процессе разрушения пород происходит повсеместное уменьшение по модулю локального критерия  $\omega^*$ , то разрушение самопроизвольно прекратится и новый контур выработки будет устойчив. Напротив, при возрастании ЛНКР  $\omega^*$  породный контур выработки будет неустойчив и выра-

ботка, в конечном счёте, будет разрушена, если не принять соответствующие меры по её креплению и охране.

Таблица 4 – Классификация устойчивости пород и проявлений горного давления в капитальных выработках

Тип ГГУ	Класс ПГД	Значения критериев	Формы проявлений горного давления	Типы крепи
I-ФЗ «малые» глубины разработки, $\lambda \ll 0,3...0,5$	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, лёгкие 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, $\lambda \gg 0,3...0,5$	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,

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

– модель поведения горных пород (пластичная, хрупкая, вязкоупругая и др.);

- участок на контуре выработки, где идут процессы разрушения (кровля, почва, бока);
- геоструктура массива (трещиноватость, слоистость, неоднородность и пр.);
- ориентация выработки в пространстве и относительно напластования и др.

Представление о классификации ПГД можно получить из таблицы 4. 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 «сложным» условиям ПГД.

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

Подчеркнём важное отличие новой классификаций: она основана на базовом для геомеханике параметре – критерии ЛНКР  $\omega^*$ , в котором учтены прочность пород и коэффициент бокового распора  $\lambda$ , хотя он при ведении горных работ в Украине пока не измеряется, т.е. по сути нельзя учесть исходное напряжённое состояние массива.

Из-за отсутствия сведений о коэффициенте бокового распора  $\lambda$ , помимо главного критерия устойчивости – ЛНКР  $\omega^*$ , целесообразно использовать два вспомогательных критерия:

1. Критерий устойчивости проф. Ю.З. Заславского [7], чтобы приближённо оценить интенсивность проявлений горного давления:

$$k_3 = \gamma H / [\sigma_c^0], \quad (7)$$

где  $\gamma H$  – давление вышележащей толщи пород, равное, как правило, вертикальной компоненте  $p_1$  исходного поля напряжений в массиве, Па;

2. Деформационный критерий для оценки относительных (отнюдь не абсолютных, как это принято сейчас [4]!) смещений пород:

$$\varepsilon = U / \sqrt{A / \pi}, \quad (8)$$

где  $U$  – смещения породного контура выработки, м;  
 $A$  – площадь сечения выработки в черне, м<sup>2</sup>.

Рассмотрим, какие же основные соотношения между параметрами проявлений ПГД существуют при качественном изменении глубины разработки, или, в современных терминах, при разных фундаментальных закономерностях (табл. 4)?

Соотношения между основными влияющими факторами (табл. 3 и 4), позволяют понять принципиальную разницу ПГД в условиях реализации **ФЗ– I** или **ФЗ–II**. Это существенно меняет существующие подходы в практике управления горным давлением, требует пересмотра методологии его прогноза и алгоритмов проектирования крепи горных выработок, особенно на «больших» глубинах разработки. Игнорирование этих закономерностей, а зачастую их незнание, приводит к тому, что горные выработки крепят и охраняют без должного научного обоснования, в результате zaproektirovannyye крепи либо имеют излишние массу и стоимость, либо их устойчивость неудовлетворительна и выработки приходится неоднократно ремонтировать и перекреплять. Только основываясь на научно достоверных представлениях о закономерностях проявлений горного давления можно обеспечить высокую эффективность управления состоянием массива и устойчивостью горных выработок.

#### **Выводы:**

1. Локальный нормированный критерий разрушения ЛНКР (1) позволяет определить возможность и интенсивность разрушения породы по разным механизмам – от сжатия или растяжения.

2. Оптимальная форма выработки (4) зависит от напряжённого состояния массива и изменения прочности пород на контуре и служит критерием для суждения о развитии ПГД в выработке.

3. Главное техническое противоречие горной геомеханики устанавливает форму и размеры выработки и доказывает необходимость смены научной парадигмы управления горным давлением.

4. Фундаментальные закономерности ПГД раскрывают сущность и направленность разрушения пород вокруг выработки и обнажают противоречивые особенности ПГД на «малых» и «больших» глубинах.

5. Сформулированы требования к классификации ПГД и предложена новая её концепция, основанная на фундаментальных закономерностях ПГД и локальном нормированном критерии разрушения ЛНКР, что позволяет установить законы изменения параметров ПГД для разных глубин разработки (табл. 3 и 4).

#### **Библиографический список**

1. Протодьяконов М. М. Давление горных пород и рудничное крепление. – М.-Л.: ОГИЗ, 1931. – 186.

2. Литвинский Г. Г. Научная концепция прогноза горного давления в подземных выработках. – Уголь Украины, 1996, №8. – С. 9-12.

3. СНиП-II-94-80. Подземные горные выработки./Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1982. – 24.

4. СОУ 10.1.00185790.011:2007 / Мін-во вугільної промисловості України; ДонВУГІ, УкрНДІпроект. – К.: Мінвуглепром України, 2007. – 116 с.

5. Литвинский Г.Г. Закономерности влияния неосесимметричных факторов на формирование зоны неупругих деформаций вокруг горных выработок. / В сб. Горное давление в капитальных и подготовительных выработках. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1979. - С. 22-27.

6. Литвинский Г.Г. Аналитическая теория прочности горных пород и массивов: Монография/ ДонГТУ. – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 207 с.

7. Заславский Ю.З. Исследование проявлений горного давления в глубоких шахтах Донецкого бассейна. – М.: Недра, 1966. – 160 с.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. Гайко Г.И.**