

*Е.П. Чистяков, канд. техн. наук, зав. лабораторией  
Научно-исследовательский горнорудный институт ГВНЗ «КНУ»*

## **МЕХАНИЗМЫ И ИНТЕНСИВНОСТЬ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ И СДВИЖЕНИЯ ПОРОД ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ОТРАБОТКЕ КРУТОПАДАЮЩИХ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ**

*На основании шахтных и лабораторных исследований изложена версия механизмов и интенсивности проявления горного давления при отработке глубоко залегающих круто падающих залежей. Предложена методическая схема их оценки в зависимости от уровня напряжённого состояния массива и деформационной характеристики вмещающих пород*

*Ключевые слова: механизм, интенсивность, напряжение, давление, концентрация, разгрузка, прогноз, сдвигание, обрушение.*

*На підставі шахтних і лабораторних досліджень викладена версія механізмів і інтенсивності прояву гірського тиску при відпрацюванні глибоко залягаючих круто падаючих покладів. Запропоновано методичну схему їх оцінки в залежності від рівня напруженого стану масиву і деформаційної характеристики вміщуючих порід.*

*Ключові слова: механізм, інтенсивність, напруження, тиск, концентрація, розвантаження, прогноз, зсув, обвалення.*

*Based on mine and laboratory researches expounded version of the mechanisms and intensity of rock pressure in the working out of steeply dipping deposits. Offered the methodical scheme of estimation of they from dependence of the state of strain and deformation characteristics of an massif of contained rocks*

*Key words: mechanism, intensity, strain, pressure, concentration, unloading, forecasting, moving, bringing down.*

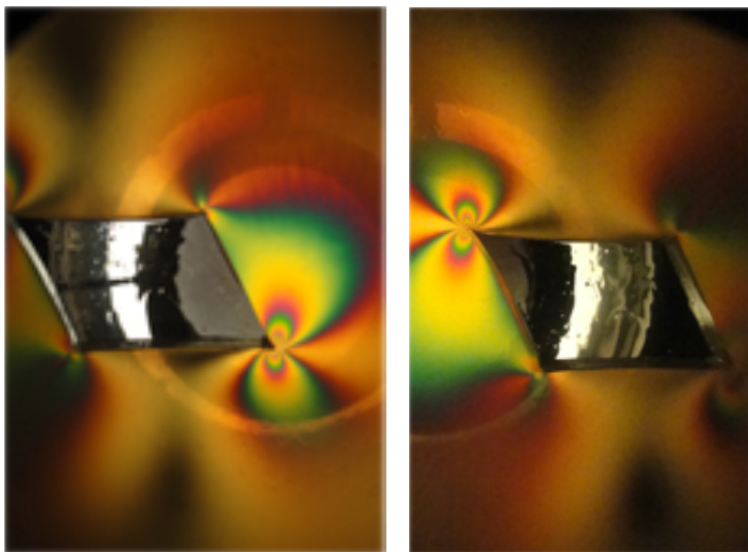
**Актуальность проблемы.** К двадцать первому столетию разведанные запасы руд черных и цветных металлов вне селитебных и заповедных территорий на малых и средних глубинах практически выработаны. Их отработка в большинстве случаев выполнялась с обрушением налегающих пород. Специфика крутопадающих залежей в отличие от пологопадающих обуславливает пошаговое обрушение налегающих толщ с возрастанием, по мере увеличения глубины разработки, площадей плоскостей сдвигания пород всячего и лежачего боков. В этой связи процессы сдвигания проявляются на поверхности с все большим отставанием во времени. Особую сложность развития и по механизму сдвигания представляют пластобразные залежи, имеющие склонение по простиранию. Согласно действующим нормативным документам [1, 2] они с некоторой глубины переходят в категорию «слепых», над которыми образуется свод естественного равновесия. Однако, по мере увеличения глубины горных работ и размера выработанного пространства по

простираю высота свода может достичь коры выветривании и на поверхности образуется мульда сдвижения. В зависимости от соотношения объема выработанного пространства и мощности обрушающейся толщи на поверхности образуется мульда сдвижения, представленная нарушениями от образования только зон плавных сдвижений и трещин до выхода воронок. Так, в Криворожском железорудном бассейне на глубинах более 1000 м в режиме слепых и перешедших в слепые отрабатывается большая часть запасов богатых руд. Действующими нормативными актами и нормами технического проектирования предусматривается отчуждение из пользования попадающих в мульды сдвижения земель с начала выемки приращиваемых запасов. При этом не учитывается ни деформации поверхности, ни срок их развития. При мощности подрабатываемых толщ более 1000 м в связи с самозабучиванием пустот с высокой степенью вероятности следует ожидать преимущественного развития мульды сдвижения без образования воронок. Поэтому выявление механизма и интенсивности проявлений горного давления и сдвижения пород при подземной отработке крутопадающих рудных залежей является актуальной задачей.

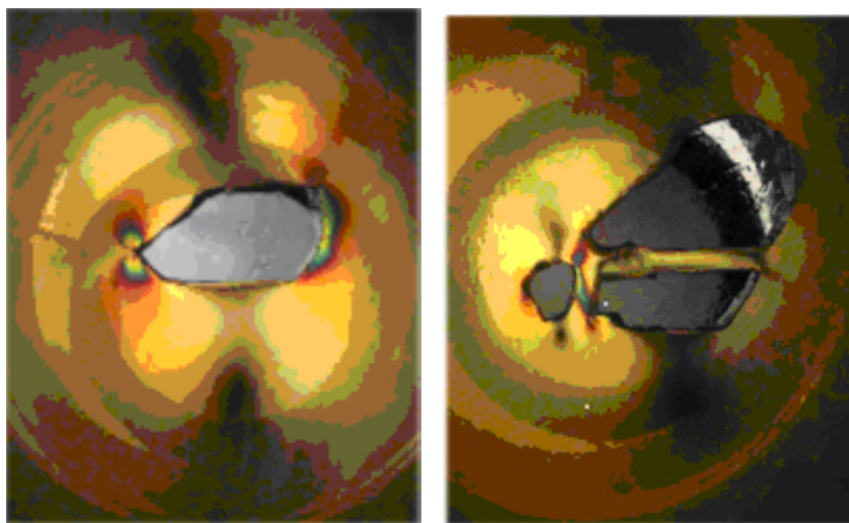
Извлечение из недр десятков миллионов тонн руды в слепом режиме отработки крутопадающих залежей на глубинах более 1000м обуславливает развитие как зон опорного давления по периферии выработанного пространства, так и разгрузку напряжений в подработанных и надработанных толщах вмещающих пород. Исследованием поляризационно-оптическим методом [3, 4] распределения напряжений вокруг выработанного пространства, образованного под мощными породными толщами вмещающих пород установлено, что непосредственно над и под ним массив разгружен, нагрузки от массы подработанной толщи воспринимаются по периферии выработанного пространства. Картина распределения напряжений приведена на рис. 1.

Наибольшие концентрации напряжений, характеризующиеся количеством полос (изохром), приурочены к лежащему и висящему бокам. Тёмные области – зоны гидростатического напряжённого состояния.

По мере развития очистных работ в этаже по «схеме камера-целик» над выработанным пространством образуется ассиметричный свод естественного равновесия, оконтуренный прочным включением висячего бока и параболическим участком, как показано на рис. 2. При отработке последующих этажей с возрастанием площади подработки механизм сдвижения от сводообразования изменяется на механизм работы защемлённой по периметру плиты. По достижении ею критической массы происходит обрушение подработанной толщи. В зависимости от уровня напряженного состояния массива  $\eta$  и деформационной характеристикой пород  $K_0$  процесс сдвижения может протекать либо монотонно в форме



*Рис 1. Картина изохром до развития свода обрушения над выработанным пространством*



*Рис 2. Изохромы после сводообразования и развития очистных работ*

всплытия свода до коры выветривания, либо быстротечно интенсивностью до горных ударов. На основании обработки данных шахтных исследований методами маркшейдерских измерений, сейсмоакустических наблюдений и глубинных реперов разработана методическая схема к прогнозу механизмов и интенсивности проявления горного давления в зависимости от уровня напряженного состояния массива  $\eta$  и деформационной характеристикой пород  $K_d$ , представленная на рис. 3. Уровень напряжённого состояния массива определяется зависимостью:

$$\eta = \frac{K\gamma H + \sigma_T}{R_{сж}} \quad (1)$$

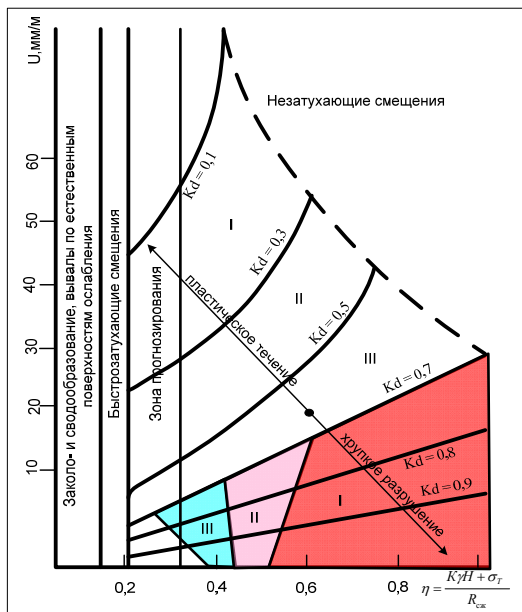
где  $K$  – коэффициент концентрации напряжений, наведенный очистными работами;  $\gamma H$ ,  $\sigma_T$ ,  $R_{сж}$  – соответственно гравитационная и тектоническая составляющие напряжений, предел прочности пород на сжатие, т/м<sup>2</sup>,  $\gamma$  – приведенный объёмный вес, т/м<sup>3</sup>;  $H$  – нижняя граница выработанного пространства от поверхности, м.

Деформационной характеристикой пород определяется механизм проявления горного давления. При  $K_d > 0,7$  породы относятся к склонным к горным ударам [5]. Как следует из картин напряжений, приведенных на рис. 1 и 2, над и под выработанным пространством массив разгружен. Подработанная толща согласно [5] относится к защищённой области. Напряжения в ней меньше  $\gamma H$ , динамические проявления горного давления исключены. В надрботанной толще напряжения монотонно возрастают от нулевых значений до  $\gamma H$ . К потенциально удароопасным относятся участки массива, сложенные удароопасными породами крепостью  $f \geq 9$ , при уровне напряженного состояния  $\eta > 0,2$ , определяемом по формуле (1) имеющие деформационную характеристику  $K_d \geq 0,7$  (рис. 3). К I категории относятся участки месторождения с повышенной опасностью проявления горного удара – интервал на схеме прогноза  $\eta > 0,5$ . Участки II категории (интервал на схеме прогноза  $0,3 < \eta \leq 0,5$ ) – опасные по проявлению горного удара. Участки III категории (интервал на схеме) прогноза  $0,2 < \eta \leq 0,3$  – не представляющие непосредственной опасности проявления горного удара.

Для прогнозной оценки механизма и интенсивности проявления горного давления прочность пород рекомендуется определять по формуле

$$R_{сж} = 37,164 f^2 + 766,39 f + 184,36,$$

где  $f$  – предел прочности пород при одноосном сжатии, т/м<sup>2</sup>. При  $f < 10$  и  $K_d \leq 0,7$  контролируемая область не удароопасна, процесс сдвижения протекает монотонно до выхода свода обрушения под кору выветривания. В удароопасных областях массива процесс протекает последовательными циклами по мере потери устойчивости крепких пропластков.



**Рис. 3. Схема к прогнозу механизмов и интенсивности проявления горного давления в зависимости от уровня напряженного состояния массива  $\eta$  и деформационной характеристикой пород  $K_d$**

**Выводы.** Прогнозирование развития процесса сдвижения при отработке мощных крутопадающих залежей представляет собой сложную задачу горной геомеханики, прежде всего её пространственно-временной характер. Даже после образования воронок на поверхности развитие мульд сдвижения в стороны висячего и лежачего боков, глубоко залегающих пластообразных рудных тел, происходит в форме сползания блоков с образованием террас на поверхности.

Подсечение подработанных толщ на глубинах порядка 1000м обуславливает длительность процесса сдвижения. Реально он развивается во времени по периферии выработанного пространства по мере достижения с увеличением площади подсечки налегающих пород нового предельного состояния механической системы, уравновешенной предыдущим циклом сдвижения. Высокая степень вариации механических свойств пород (коэффициент вариации 20...25%) и не выдержанность элементов залегания

разнопрочных пропластков обуславливают принятия не только высоких коэффициентов запаса устойчивости при расчётах параметров сдвига, но и исключения из пользования земель с начала очистных работ на приращиваемой площади выемки запасов.

Многофазовый характер развития процесса сдвига последовательно от фаз всплывания свода до обрушения плиты, защемлённой по периферии выработанного пространства, и наступление последней во времени можно контролировать геоинформационными системами (ГИС).

Задача дальнейших исследований – разработка геомеханических основ ГИС, включающих: выявление надёжных информационных признаков приближения критической ситуации и создание системы мониторинга потенциально опасных участков земной поверхности.

#### *Список использованных источников*

1. Временные правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на месторождениях руд редких металлов. – Л.: ВНИМИ, 1981. – 65 с.

2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных работ в Криворожском железорудном бассейне. – Л.: ВНИМИ, 1975. – 68 с.

3. Фрохт М.М. Фотоупругость, т.1. М., Л: ОГИЗ, 1948. - 432 с.

4. Хаимова - Малькова Р.И. Методика исследования напряжений поляризионно - оптическим методом. – М: Наука, 1970. – 114 с.

5. Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях (объектах строительства подземных сооружений), склонных к горным ударам. – Л.: ВНИМИ, 1989. – 46 с.

Рукопись поступила 15.10.2013 г.

УДК622.012.2.023

*А.И Федоренко, и.о. старшего научного сотрудника  
Научно-исследовательский горнорудный институт ГВНЗ «КНУ»*

## **ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД, ПОДРАБОТАННОГО ШАХТОЙ «ВАЛЯВКО-СЕВЕРНАЯ»**

*Представлены результаты исследований состояния массива горных пород восточного борта карьера №3 горного департамента ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», подработанного шахтой «Валявко-Северная», которые позволили классифицировать выработанные пространства по критерию вероятности выхода воронок на дневную поверхность. Дано описание характерных особенностей отработанного месторождения и результатов систематических инструментальных наблюдений за сдвижением земной поверхности. По результатам исследований и расчетов выявлены зоны возможного образования воронок и участки*