

ГЕОМЕХАНИКА И СТАТИСТИКА ОБРУШЕНИЙ ПОТОЛОЧИН КАМЕР В ГИПСОВЫХ ШАХТАХ

На базі довготривалих спостережень та вимірювань розкрито механізм обвалень покрівель в камерах гіпсових шахт; виконано статистичну обробку фактичних даних і отримані емпіричні оцінки параметрів обвалень; сформульовані умови геомеханічної готовності покрівель до обвалення.

CAMERAS CEILINGS COLLAPSES GEOMECHANICS AND STATISTICS AT GYPSUM MINES

Ceilings collapses mechanism is detected in terms of long time observations and measuring at gypsum mines cameras; statistical manipulation of the facts is carried out and collapses parameters empirical estimations are given; conditions of ceilings geomechanical readiness for collapse are formulated.

Горнотехнологическая постановка задачи.

Отработка мощных гипсовых пластов ведётся камерно-столбовыми системами с неограниченно долгим поддержанием открытых выработанных пространств. Линейные размеры пролётов камер и целиков в зависимости от мощности пластов, свойств пород и технологического оборудования изменяется в больших пределах. Пролёты камер варьируют в пределах 7-17 м, а высота целиков – от 10 до 40 м, при этом сечения камер в среднем составляет 80-100 м², достигая в максимуме 300-400 м². Проектными решениями управление устойчивостью выработанных пространств, объёмы которых на гипсовых шахтах достигают 10-15 млн. м³, предусматривается за счёт рационального выбора параметров пролётов камер, целиков, несущего и защитного слоёв потолочины. Однако, влияние горнотехнических факторов, и особенно буровзрывной отбойки гипса, негативно сказывается, в первую очередь, на устойчивости потолочин камер. Задача обеспечения безопасности ведения горных работ и повторного использования непогашаемых выработанных пространств больших сечений и объёмов, представляющих собой уникальные подземные сооружения, обуславливает необходимость изучения геомеханических процессов, протекающих в потолочине камер. Особенно это важно с точки зрения оценки такой опасной и труднопрогнозируемой формы проявления горного давления как вывалообразование.

Следует отметить, что проблема вывалообразования на шахтах не была обойдена вниманием учёных и специалистов. Во многих разработках авторы стремились раскрыть механизм вывалообразования, дать теоретическую базу его описания и прогнозирования. В настоящее время необходимость проведения работ по затронутой проблеме вытекает из двух ключевых предпосылок. Во-первых, практикой доказано, что утвердившееся мнение о высокой устойчивости гипсовых обнажений не всегда обосновано, они со временем могут находиться даже в состоянии повышенной опасности. Во-вторых, необходимость выбора дополнительных решений по повышению устойчивости потолочин ка-

мер (анкера, инъектирование) требует количественной оценки вывалообразования и установления взаимосвязи между факторами, определяющими его. Важнейшим моментом в изучении этого явления, на наш взгляд, должна быть оценка геомеханической готовности массива потолочины камер к обрушению. Она должна базироваться на совокупном количественном анализе литолого-геомеханических показателей гипсоносных толщ и характеристик развития деформационных процессов при вывалообразовании, раскрывающих его механизм.

Литолого-геомеханическая оценка предпосылок вывалообразования.

Анализ показывает, что высокая генетическая литологическая и механическая неоднородность гипсоносных толщ является причиной приконтурной и глубинной неустойчивости породного массива при его обнажении. Имманентно присущая слоистость гипсовых пластов является причиной возникновения комбинаций литомеханических структур, характеризующихся развитием вертикальных и послойных трещин в несущем и защитном слоях над камерами. Развитие этих явлений в несущем слое вызывает приконтурную неустойчивость, как правило, наблюдаемую вблизи геометрического центра потолочины. При многослойных потолочинах (защитных слоях) по мощности гипсового массива имеет место как внутрислоевое, так и межслоевое расщепление массива. Это является причиной развития глубинной неустойчивости массива. Именно с ней связана опасность образования вывалов большой высоты.

Наши наблюдения показывают, что деформационные процессы, предшествующие обрушению гипса потолочин, характеризуются критическими геомеханическими показателями. При расслоении гипса (отрыв несущего слоя от защитной пачки) свыше 10-15 мм, обрушение наблюдается при относительной деформации $(2,3-2,5) \times 10^{-3}$, что более чем в три раза превышает относительную величину прогиба $(6-7) \times 10^{-4}$ балок гипса до начала трещинообразования. Безусловно, что определяющими в этих процессах являются: структура и прочность, слоистость и трещиноватость пород, наличие геологических нарушений и условия нагружения породного массива. От этих факторов зависят как количественные так и качественные показатели вывалообразования. При более однородных породах в зависимости от пролёта камер может иметь место локальное симметричное или ассиметричное куполение, сливающееся в единый свод естественного равновесия, формирующийся над камерой. В слоистых породах свод имеет ступенчатую форму с уменьшением его пролёта вглубь массива. Здесь уместно указать на особенность работы потолочины камер гипсовых шахт: они нагружены весьма низкими гидростатическими давлениями (глубина разработки 100-300 м). Поэтому весьма важным является учёт трещинообразования в потолочинах камер и развитие реологических эффектов (ползучесть, релаксация, длительная прочность). Наблюдаются разные случаи развития трещинообразования. Наиболее часто первоначальные трещины формируются в плоскости слоистости гипса, причём даже при малых нагрузках они взаимодействуют, создавая пунктирные несплошности, перерастающие со временем в трещинные зоны расслоения пласта. Зачастую первоначальные трещины ортогональны к

слоистости пород, что хорошо прослеживается на потолочине камер в результате формирования по ней многоугольных мозаичных фигур. При преобладающей вертикальной нагрузке и частично горизонтальной пригрузке фронт развития трещин происходит по контактам слоёв, но наблюдается и внутрислоевое трещинообразование (при слабых породах несущего слоя). Вариант, когда плоскость имеющихся трещин и развитие фронта распространения трещин отроgonальны слоистости пород является доминирующим в глубинной потере устойчивости и развитии вывалов большой высоты. Развитие реологических процессов в гипсовом массиве усиливает неустойчивый характер деформирования гипса в потолочине камер.

Можно резюмировать, что вывалообразование в камерах гипсовых шахт характеризуется стадийностью: 1-я фаза – обрушение несущего слоя потолочины; 2-я фаза – обрушение защитной пачки гипса над камерой. И возможна 3-я фаза, при которой вывал вовлекает породы налегающей толщи. Проявление второй и третьей фаз крайне опасно, так как может привести к риску возникновения механической неустойчивости выработанных пространств на больших площадях.

Статистика вывалообразования.

Анализ обрушений потолочин камер был произведен в условиях Артёмовской и Пешеланской гипсовых шахт. Обследовано всего 67 подземных камер. Установлено, что в выработках первой шахты максимальная высота зоны обрушения составляет 3,5 м, минимальная – 0,5 м, при среднем значении равном 1,35 м. Для условий второй шахты эти показатели соответственно составляют: 4,9; 30 и 9,3 м. Отношение высоты обрушения к его ширине составляет в среднем 0,35 при изменении в диапазоне 0,1-1,17.

При анализе вывалов оценивали взаимосвязь между высотой полости, состоящей из высоты камеры (h) и высоты вывала (Δh) и шириной обрушения ($b_{обр}$). Установлено, что зависимость между этими показателями удовлетворительно описывается выражением вида:

$$h' = a \cdot \exp\left(\frac{d}{b_{обр}}\right). \quad (1)$$

Для условий исследуемых шахт эмпирические параметры составляют: для Артёмовской – $a=0,66$; $d=4,48$; Пешеланской – $a=0,72$; $d=3,04$. Для этих же шахт установлена взаимосвязь между объёмом обрушенных пород (V) и площадью обрушения (S), которая выражается линейным законом:

$$V = AS_{обр} + B. \quad (2)$$

Для первого случая $A=0,33$; $B=1,45$; для второго – $A=1,75$; $B=13,1$. Коэффициент корреляции составляет 0,7-0,8.

Проведенные наблюдения показали, что наибольшее влияние на частоту обрушений и их интенсивность оказывают: мощность защитной пачки, свойства

гипса, слагающего её и параметры полостей-камер. Анализ экспериментальных данных по обрушению гипса потолочин камер позволяет рассматривать величину

$$P = \frac{n_{обр}}{S_{пан} - S_{ц}} \quad (3)$$

как плотность обрушения, т.е. это величина равная количеству обрушений ($n_{обр}$) отнесенных к площади обнажений, которая выражается разностью площадей панели ($S_{пан}$) и целиков ($S_{ц}$). В таком случае величина

$$P_{отн} = \frac{n_{обр} \sum S_i}{S_{пан} - S_{ц}}, \quad (4)$$

где S_i – площадь i -го обрушения, может быть определена как относительная плотность обрушений. Обработкой установлено, что зависимость между $P_{отн}$ – $n_{обр} \sum S_i$ имеет S-образный характер (рис. 1).

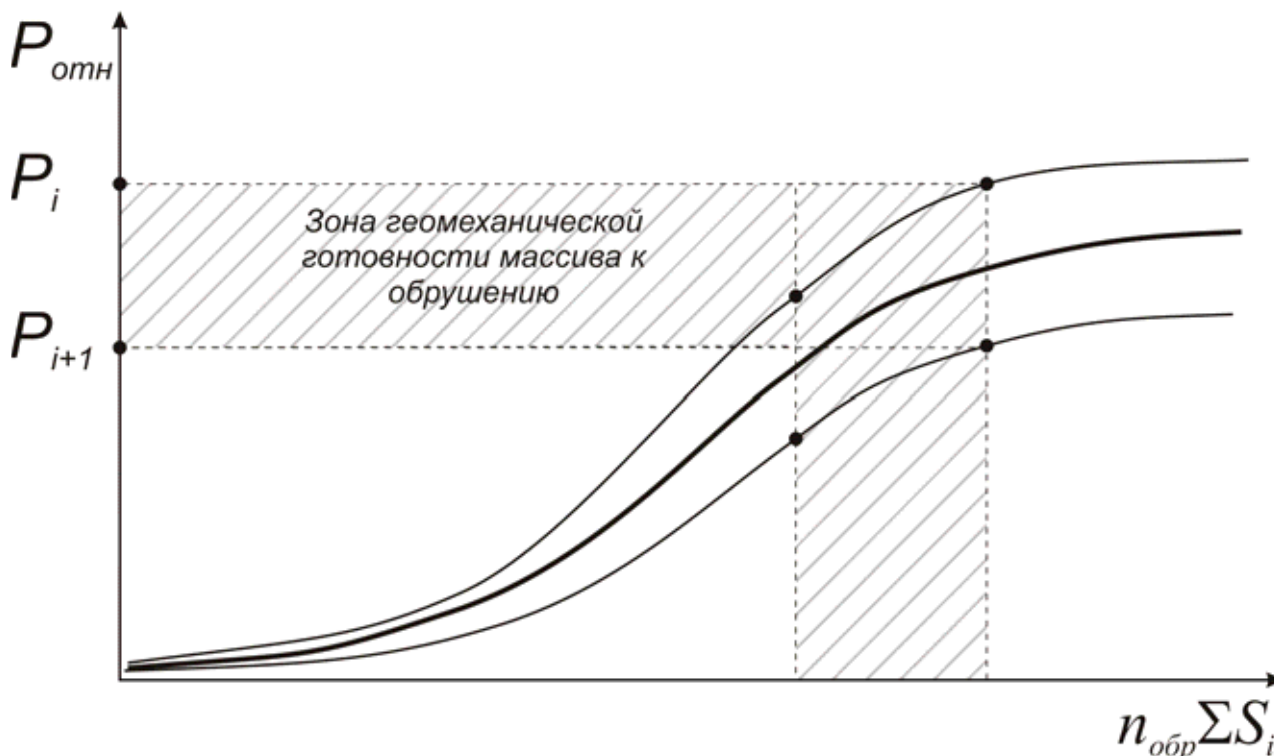


Рис. 1 – Характер связи $P_{отн}$ – $n_{обр} \sum S_i$

Исследование поведения этой функции показывает, что значение её изменяются от 0 до 1. Такие эмпирические кривые удовлетворительно описываются функцией вида:

$$P_{\text{отн}} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^\alpha\right] \quad (5)$$

где α и σ – параметры, подлежащие определению на основе фактических данных. При $x \rightarrow \infty$ y – асимметрически приближается к 1, т.е. система находится в состоянии квазигеомеханического риска. Параметр α можно рассматривать как скорость подготовки (возникновения) обрушения на определённой площади обнажения, что позволяет использовать его как показатель однородности пород. По данным анализа α изменяется в пределах 1-4. Вторым параметром σ принимается как параметр масштаба описываемой кривой.

Особенность геомеханического поведения массива в подготовке к обрушению выражается в нахождении геометрического места точек перегиба на кривой. Известно, что для определения точек перегиба непрерывной функции находят точки, в которых вторая производная обращается в нуль.

Для оценки скорости нарастания процесса и определения координат точек перегиба кривой найдены первая и вторая производные функции (5):

$$P'_{\text{отн}} = \frac{\alpha}{\sigma} \left(\frac{x}{\sigma}\right)^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^\alpha\right]; \quad (6)$$

$$P''_{\text{отн}} = \frac{\alpha}{\sigma} \left\{ \frac{1}{\sigma} \left(\frac{x}{\sigma}\right)^{\alpha-2} \exp\left(-\frac{x}{\sigma}\right)^\alpha \left[(\alpha-1) - \left(\frac{x}{\sigma}\right)^\alpha \right] \right\}. \quad (7)$$

Выражение второй производной содержит три сомножителя. Очевидно $\left(\frac{x}{\sigma}\right)^{\alpha-2} = 0$ будет только при $x=0$; второй сомножитель стремится к нулю при $x \rightarrow \infty$. Оцениваются параметры по третьему сомножителю:

$$(\alpha-1) - \left(\frac{x}{\sigma}\right)^\alpha = 0. \quad (8)$$

Для анализа получаем уравнение:

$$\left(\frac{x}{\sigma}\right)^\alpha = \alpha - 1.$$

Принимая замечательные точки (значения) для Артёмовской шахты: минимальная площадь одного обрушения 40 м^2 , размер панели 6000 м^2 , количество целиков – 5, площадью $20 \times 10 \text{ м}$, вычисляем необходимые показатели. Установлено, что для условий этой шахты $\alpha=2,1$; $\sigma=400$. Аналогичным образом уста-

новлены эти параметры для Пешеланской гипсовой шахты: $\alpha=2,6$; $\sigma=450$.

Определив параметры α и σ находятся точки резкого изменения скорости геомеханической готовности к обрушению. Установлено, что для Артёмовской шахты $P_{отн}=0,7$; $n_{обр}\Sigma S_i=500 \text{ м}^2$. Физический смысл этих показателей (координаты верхней точки перегиба) состоит в том, что за этими точками наступает геомеханическая готовность массива к обрушению.

Полученные результаты составили основу для разработки геомеханической системы управления устойчивостью подземных камер на гипсовых шахтах.

УДК 622.831.3

В.Я. Кириченко

ГРАВИСИНЕРГЕТИКА ПОДРАБАТЫВАЕМОЙ УГЛЕПОРОДНОЙ ТОЛЩИ ДВИЖУЩИМСЯ ОЧИСТНЫМ ЗАБОЕМ

Розглянуто гравісинергетичні процеси підроблюваної вуглепородної товщі очисного вибою, що рухається.

GRAVYSYNERGETIC PROCESSES OF THE WRECKED COAL THICKNESS OF THE CLEANSING COAL-FACE, WHICH IS MOVING

Gravysynergetic processes of the wrecked coal thickness of the cleansing coal-face, which is moving are given.

При разработке пластов угля впереди очистного забоя наблюдается изменение первоначального состояния горного массива, вызванное опусканием кровли [1]. Предполагалось, что впереди забоя лавы движется волна давления, причем ее интенсивность уменьшается с удалением от забоя. Основоположником этой идеи признан Вебер.

Шпаккелер [2] предполагал, что слой непосредственной кровли представляет собой зажатую одним концом балку. Следовательно, в зажатом конце должен возникать крутящий момент, а образование последнего влечет за собой некоторую разгрузку в нижней плоскости этого слоя.

Последующими исследованиями [3] не подтверждалось это явление. Во всех случаях отмечалось постепенное уменьшение величины смещения кровли от забоя вглубь целика. Ширина зоны опорного давления изменяется до 200 м, а расстояние до максимума опорного давления – до 15м [4].

Такое модельное представление геомеханики указанных процессов не отражает в полной мере особенностей поведения подрабатываемой породной толщи в условиях перемещающихся в ней искусственных обнажений.

Исследованиями [5-7] выявлено, что в горном массиве снижение напряжений в зоне опорного давления практически всегда сопровождается образованием сети ориентированных трещин в краевой части пласта.

При расположении горных выработок в зонах повышенного горного давления (ПГД) отмечается большая изменчивость интенсивности и протяженности рас-