

**Regularities of deformation of mine workings rock bump-hazardous ore deposits**  
**Trushko O.<sup>1</sup>, Potemkin D.<sup>2</sup>**  
**Закономерности деформирования горных выработок удароопасных рудных**  
**месторождений**  
**Трушко О. В.<sup>1</sup>, Потёмкин Д. А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Трушко Ольга Владимировна / Trushko Olga - кандидат технических наук, доцент;

<sup>2</sup>Потёмкин Дмитрий Александрович/ Potemkin Dmitriy - кандидат технических наук, доцент,  
кафедра строительства горных предприятий и подземных сооружений, строительный факультет,  
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург,

**Аннотация:** натурными наблюдениями за смещениями пород вокруг подготовительных и очистных выработок удароопасных участков шахт ОАО «Севералюокситруда» установлен эффект расслоения кровли выработок и очистных камер под действием сейсмических волн. На основе выявленных динамики сейсмических напряжений и закономерностей деформирования, вмещающих выработки пород разработаны конструкция усиления упрочняющей штанговой крепи кровли камер и сопряжений пластовых выработок глубокими железобетонными анкерами.

**Abstract:** natural supervision over displacement of breeds around of preparatory and clearing developments (manufactures) sites of mines (shafts) ОАО Sevuralboksitruda establish effect of stratification of a roof of developments (manufactures) and clearing chambers under action of seismic waves. On the basis of the seismic pressure (voltage) revealed dynamics (changes) and laws of deformation of breeds containing development (manufacture) are developed a design of amplification (strengthening) strengthening a roof of chambers and interfaces developments (manufactures) by deep ferro-concrete anchors.

**Ключевые слова:** рудник, горные выработки, удароопасные месторождения, динамические явления, массив горных пород.

**Keywords:** mine, mine workings, bump hazardous deposits, dynamic effects, rock ore.

Наблюдения за состоянием нарезных и очистных выработок шахт ОАО «Севералюокситруда», испытавших влияние многих горных ударов, выявили зависимость динамических проявлений горного давления от многих факторов: параметров поля статических напряжений в массиве, ориентировки выработки относительно вектора максимальных напряжений, прочности, слоистости и трещиноватости пород, энергии динамических явлений, расстояния до очага горного удара и его положения относительно выработки.

В сложных, изменчивых горно-геологических условиях Североуральских месторождений бокситов невозможно выстроить типовую схему развития деформационных процессов во вмещающем массиве под воздействием динамических явлений. Тем не менее, обработка натуральных наблюдений за смещениями пород кровли подготовительных и очистных выработок, выполненных с помощью комплексных замерных станций, оснащённых глубинными реперами, выявила некоторые закономерности деформирования массива, проявляющиеся в выработках, отличающихся по технологическому назначению, геометрическим параметрам и условиям поддержания [1].

Для смещений вмещающих пород вокруг полевого штрека гор. -500м шахты №14-14<sup>бис</sup>, закреплённого железобетонными штангами длиной 1,8м типичен график представленный на (рис.1). За два года штрек подвергался действию пяти горных ударов (на рисунке 1 они отмечены значениями 1-5) интенсивностью от  $10^2$  до  $5,4 \cdot 10^4$  Дж. Смещения прослеживались до глубины 4 м от контура, при этом подавляющая часть деформаций вызвана горными ударами. Продолжительность периода поддержания практически не имеет значения. Например, в период от 16 до 24 мес., где горных ударов не происходило, приращения смещений нет. В момент горного удара смещения растут скачкообразно, причём величина приращений явно зависит от мощности и расстояния до очага динамического явления.

Пятый, самый мощный, горный удар вызвал одинаковые по величине (до 9мм) смещения реперов на глубине 0,1,2 и 3 м, в то время как породы на расстоянии 4м от контура не сместились. Очевиден эффект откола приконтурного слоя на глубине от 3 до 4м. Подобный характер явлений прослеживается по многим выработкам. Как правило, рост смещений пород наблюдается при горном ударе с энергией всего  $10^2 - 10^3$  Дж, при этом смещения со стороны падения волны в 1,5 - 2 раза больше.

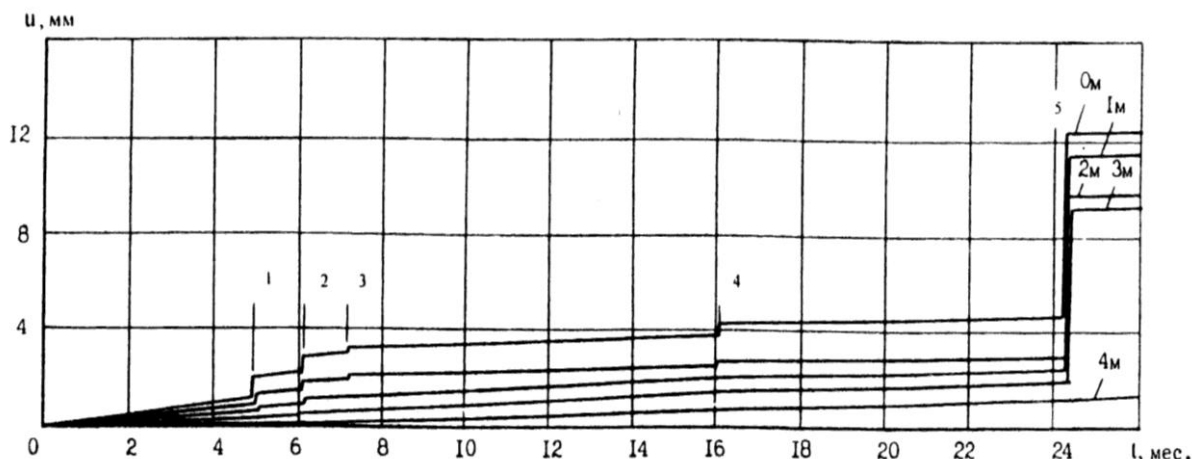


Рис. 1. Зависимость смещений пород вокруг подготовительной выработки ( $u$ ) от времени ( $t$ ) и динамических воздействий (шахта №14-14<sup>бис</sup>, гор. -500м., район орт-заезда I юг): 1-горный удар с энергией  $E=4 \cdot 10^3$  Дж, при расстоянии до очага  $L=100$ м; 2-  $E=5 \cdot 10^3$  Дж, при расстоянии до очага  $L=100$ м; 3-  $E=10^2$  Дж, при расстоянии до очага  $L=300$ м; 4-  $E=1,1 \cdot 10^4$  Дж, при расстоянии до очага  $L=200$ м; 5-  $E=5,4 \cdot 10^4$  Дж, при расстоянии до очага  $L=40$ м

Смещения сопровождаются расслоением массива с образованием концентрических трещин, повторяющих контур выработки.

При горных ударах с энергией  $10^4 - 10^6$  Дж мгновенные смещения достигают 6 - 10мм и во многих случаях ведут к нарушениям крепи. Штанги «обыгрываются» породой, верхняки деревянной крепи ломаются.

В очистных камерах скачкообразное приращение опускания кровли при горных ударах, эффект расслоения кровли и зависимость смещений кровли от энергии горных ударов и массовых взрывов также имеют место, однако на характере приращения смещений сказываются отличия в горно-технических условиях: значительная, до 6 м ширина камер; плоская кровля, представленная слоистой пачкой сланцев и известняков мощностью от 1,0 до 3,5 м, (непосредственная кровля) и мощными слоями известняков или известняковых глинистых сланцев (основная кровля); повышенная сейсмическая активность выемочных блоков с частыми горными ударами различной мощности, генерирующими сейсмические волны, падающие на камеры под разными углами. Например, в камере блока №1 гор. -500м шахты 14-14<sup>бис</sup> за 480 суток зарегистрировано 36 динамических явлений с энергиями от  $1,74 \cdot 10^2$  до  $1,04 \cdot 10^4$  Дж.

Кровля смещалась и расслаивалась интенсивно в период отработки камеры (25-30 суток) со средней скоростью 0,7-0,8 мм/сут. Нижние, упрочнённые штангами слои смещаются в 1,5-2 раза быстрее, что служит доказательством расслоения кровли с отслоением непосредственной кровли от основной. Горный удар создаёт колебания кровли с амплитудой 2 - 4 мм; при каждом последующем динамическом воздействии растёт опасность обрушения пачки слоёв, упрочнённых штангами.

Причиной мгновенных приращений оседания кровли камер могут служить не только горные удары, но и массовые взрывы, проведённые в кровле обрабатываемого блока с целью его разгрузки от напряжений. Отмеченная выше камера испытала динамическое воздействие от взрыва веера скважин с массой заряда 3388 кг. Взрыв вызвал осадку контура кровли на 65 мм. На глубине 4 м кровля сместилась на 45 мм, т.е. взрыв форсировал процесс расслоения кровли. После взрыва осадка кровли активизировалась и продолжалась до 40 суток со скоростью 0,25-0,3 мм/сут., после чего наступила относительная стабилизация. Таким образом, разгрузка блока взрывом способна, в свою очередь, вызвать обрушение кровли в очистных камерах.

Для выявления механизма расслаивания вмещающих пород выполнено математическое моделирование процесса взаимодействия сейсмической волны с выработками прямоугольной, сводчатой и шатровой форм поперечного сечения. Рассматривалась плоская задача, с направлением падения плоской прямой волны, фронт которой ориентирован параллельно оси выработки. Установлено, что вероятность достижения предельного состояния вмещающих пород вследствие максимальной разницы главных напряжений выше у выработок прямоугольной и шатровой форм. Для прямоугольной выработки самое неблагоприятное распределение динамических напряжений создаётся при падении волны сверху, для шатровой – под углом к вертикальной оси сечения в  $45^\circ$ .

Решение плоской задачи позволяет, с некоторым приближением, представить особенности процесса взаимодействия сейсмических волн с выработкой, падающих на выработку под острым углом к её продольной оси, при этом очаг динамического явления может быть сбоку, сверху и даже снизу от

выработки. Первая полуволна растяжения, падающая под углом, отражается от поверхности выработки. На поверхностях трещин и контактах слоёв происходит частичное преломление и отражение волн с весьма сложной картиной формирования динамично меняющегося поля сейсмических напряжений. Точка выхода волны на контур будет перемещаться вдоль выработки со скоростью, растущей с приближением направления волны к нормали относительно поверхности. Перемещение волны растяжения вдоль выработки создаёт условия для деформаций сдвига (скола) по поверхностям ослабления (трещинам, плоскостям напластования), ориентированным субпараллельно траекториям максимальных тангенциальных динамических напряжений. Совместное действие сил растяжения и сдвига по плоскостям ослабления вызывает появление откольных трещин, которые при повторных горных ударах формируют поверхность откола с обрушением пород. Для устойчивости выработок и особенно плоской слоистой кровли очистных камер наибольшую опасность представляют поверхности откола, параллельные их контуру. Соответственно неблагоприятным падением волны будет направление, составляющее с продольной осью выработки угол, близкий к  $45^{\circ}$ . В этом случае траектории максимальных тангенциальных напряжений ориентированы по напластованию слоёв непосредственной кровли. Деформации растяжения и сдвига по контактам слоёв сопровождаются и усиливаются дилатацией (разуплотнением) по причине неровностей на площадках скола. Решающая роль сдвигающих напряжений в деформационных процессах в кровле камер подтверждается характерным (в виде «заводных ручек») изгибом стержней штанг, обыгранных обрушившейся породой.

На основе выявленных динамики сейсмических напряжений и закономерностей деформирования вмещающих выработки пород разработаны конструкции усиления упрочняющей штанговой крепи кровли камер и сопряжений пластовых выработок глубокими железобетонными анкерами. Параметры анкеров – длина, плотность расстановки – определены из условия предупреждения расслоения и резонансных колебаний непосредственной кровли. Для камер рекомендованы анкера глубиной 3,5 м, с расстановкой в пролёте камеры 1 - 3 рядов, с расстоянием между анкерами до 1,5 м, в зависимости от структуры непосредственной кровли. Для сопряжений очистных камер с рудными штреками предложены кусты из 9 анкеров длиной по 4,5 м, устанавливаемых в квадрате  $1,5 \times 1,5$  м. Разработанные рекомендации приняты ОАО «Севералюкситруд» к внедрению.

#### *Литература*

1. *Трушко О. В.* Методики натурных исследований воздействия динамических явлений на горные выработки // Журнал «European research». Издательство «Проблемы науки». 2015 г. № «1» (2). С. 15-18.