

**Д**инамическое перераспределение горного давления при техногенном воздействии на него сопровождается быстропотекающим разрушением предельно напряжённой части массива, прилегающей к выработке – горным ударом. Причиной его возникновения в рудных месторождениях является наличие в массиве тектонических напряжений, в несколько раз превышающих по величине гравитационные.

Горный удар является результатом совокупного воздействия потенциальной энергии упругого сжатия пород и энергии упругих деформаций окружающих пород. Динамический характер потери устойчивости объясняется превышением притока энергии над её поглощением.

Степень удароопасности оценивается на основе многолетней статистики явлений и процессов, сопровождающих горные работы: крупность буровой мелочи при проходке скважин, сейсмоакустические импульсы, заклинивание бурового снаряжения в скважине при её деформировании, интеграция породного ядра на выпуклые диски и вдавливания пуансона или индентора в забой или стенки скважины.

Опасными по удароопасности считают участки месторождения, если в их составе имеются хрупкие породы, в нетронутых массивах возникают высокие напряжения или проявляются признаки горных ударов. Степень удароопасности отдельных участков массива численно характеризуется величиной на-

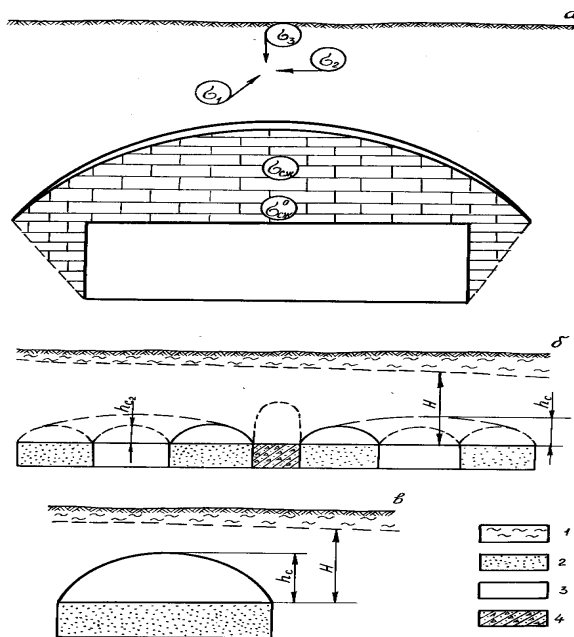
пряжений в зоне максимума опорного давления и расстоянием от него до выработки.

Профилактика горных ударов обеспечивается посредством раскройке месторождения и оптимизация порядка его отработки, исключая опасную концентрацию напряжений, опережающей отработки защитных слоев и залежей, исключением целиков, минимизацией количества выработок впереди фронта работ, уменьшением способности пород к накоплению упругой энергии камуфлетными взрывами, нагнетанием воды в пласт, разгрузочными скважинами и щелями и др. (рис. 1).

Крайней формой изменения состояния массивов являются техногенные землетрясения, вызываемые быстрым смещением крыльев существующих или вновь образующихся тектонических нарушений в земной коре, способных передаваться на большие расстояния, обусловленные горными работами.

С позиций теории упругой отдачи землетрясение происходит при длительном смещении тектонических пород, контактирующих по разлому, в противоположные стороны. Силы сцепления удерживают крылья разлома от проскальзывания и зона разлома испытывает нарастающие сдвиговые деформации. При достижении деформациями предельно допустимых значений разлом вскрывается и крылья его смешаются.

Землетрясения являются результатом развития систем взаимодействующих трещин, формирующих зону по-



**Рис. 1. Раскройка массива на безопасные участки:**

**а** - модель напряженности:  $\sigma_{1,2,3}$ ,  $\sigma_{сж}$ ,  $\sigma_0$  - напряжения в массиве, в нарушенных породах и в породах кровли выработки; **б** - разделение массива на безопасные участки: 1 - наносы; 2 - твердеющая закладка; 3 - изолированные пустоты; 4 - искусственный или рудный целик;  $H$  - глубина работ;  $h_{св}$  - высота зоны влияния выработки

верхности вызываются сходами ледников, горными обвалами, оползнями, обрушением подземных пустот и т.п.

Подверженность земной коры землетрясениям характеризуется распределением очагов землетрясений различного энергетического потенциала, оцениваемом

вышенной концентрации локальных разрывов, образующих результирующий разрыв.

Чаще всего наведённые землетрясения происходят в результате заполнения водохранилищ. Заполнение водохранилища Койна (Индия. 1962-67г.) возбудило землетрясение с магнитудой 6,3 и интенсивностью 8 баллов.

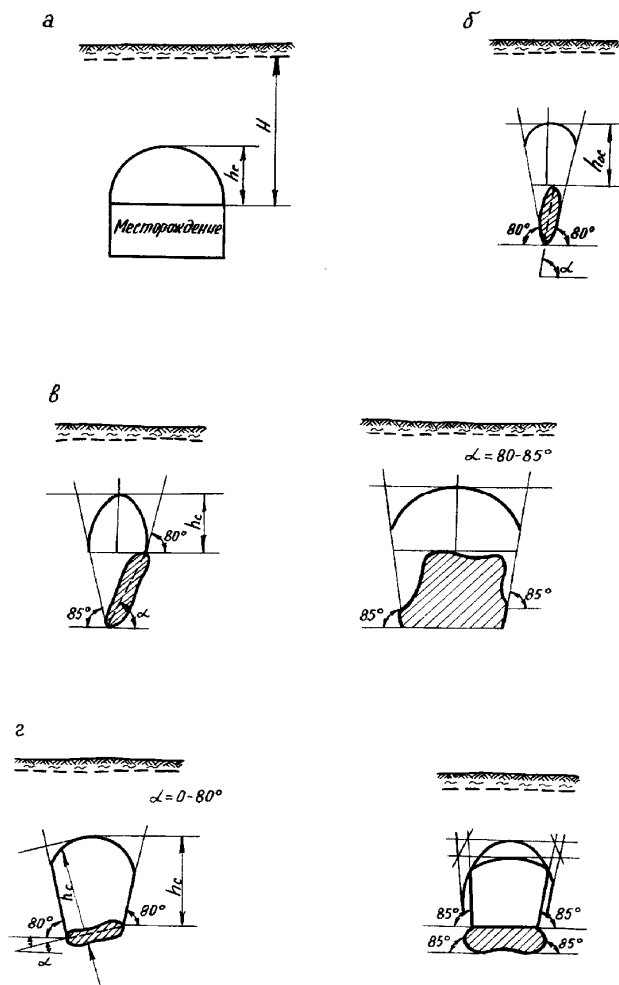
Наведённые тектонические землетрясения провоцируют подземные ядерные взрывы в сейсмоактивных зонах. Взрывы на полигоне в штате Невада с тротильным эквивалентом до несколько Мт инициировали в течение нескольких месяцев тысячи толчков.

Наведённая сейсмичность сопровождается закачку воды в скважины при добыче нефти и газа, захоронение отходов, добычу минералов технологиями с выщелачиванием. Между механизмами наведённых землетрясений и горных ударов много схожего. Региональные сотрясения земной по-

верхности вызываются сходами ледников, горными обвалами, оползнями, обрушением подземных пустот и т.п. Подверженность земной коры землетрясениям характеризуется распределением очагов землетрясений различного энергетического потенциала, оцениваемом

магнитудой или шкалой энергетических классов, интенсивностью их проявления в баллах, частотой сейсмических событий и другими критериями. Строительство и эксплуатация горных объектов, в том числе, освоение месторождений в регионах, подверженных землетрясениям, осуществляется с учётом воздействия сейсмических явлений на выработки, здания и сооружения. Сейсмичность характеризуется интенсивностью динамических явлений и определяется по картам сейсмического районирования.

Интенсивность явлений, например, землетрясений измеряется в баллах. Для её оценки используются шкалы сейсмической балльности, например, 12-балльная шкала MSK-64. Опасной для сооружений считается сейсмичность более 6 баллов. Повторяемость наиболее сильного землетрясения учитывается при расчёте сооружений



**Рис .2. Безопасное соотношение зон влияния пустот и глубины работ:** а - условие сохранности поверхности; б - для залежи с углом падения 85-90°; в - то же для угла падения 80-85°; г - то же для угла падения до 80°

воздействия усиливается в песчаных, глинистых, насыпных грунтах. Участки с крутизной склона св. 15°, сильной нарушенностью пород, с осыпями, оползнями, обвалами, пливунами и селями для сейсмостойкого строительства неприемлемы.

Сейсмические нагрузки на элементы сооружений определяются в зависимости от сейсмичности района, характера и интенсивности движения грунтов и характеристики сооружений.

Методы определения сейсмических нагрузок основаны на использовании приближённых моделей. Первые методы расчёта основались на статической теории, где сооружение рассматривалось как абсолютно жёсткое тело, все точки которого движутся

так же, как и основание. С позиций этой теории сейсмическая нагрузка на сооружение определяется как произведение масс на ускорение грунта при землетрясении.

Преобладает динамический метод расчёта, рассматривающий сооружение как систему с неопределенно большим числом степеней свободы. Расчёт сейсмических нагрузок проводится с учётом динамического характера сооружения, периода и формы колебаний, распределения инерционных масс внешнего воздействия с применением реальных и

на прочность увеличением несущей способности конструктивных элементов на величину до 30%.

Сейсмичность уточняется по данным сейсмического районирования и микрорайонирования в зависимости от местных геологических условий и наличия локальных очагов землетрясений. На опасность последствий землетрясений на сооружения приоритетное влияние оказывают свойства фундаментных пород.

Для строительства в сейсмических районах более благоприятны скальные грунты. Интенсивность сейсмического

виртуальных акселерограмм землетрясений. При проектировании и строительстве подземных горных объектов, кроме того, учитывают сейсмическое давление, вызванное изменением напряжённого состояния среды при прохождении в ней природных и техногенных сейсмических волн, сейсмической нагрузки от собственной массы сооружений и пригрузки породами вышележающего свода.

Одним из критериев сохранности земной поверхности является соблюдение соотношения зон влияния пустот и глубины работ (рис. 2).

При проходке в сейсмических районах горных выработок на участках пересечения с тектоническими разломами для компенсации продольных деформаций применяют деформационные шели, конструкция которых допускает смещение части массива при сохранении расчетных свойств в безопасном диапазоне.

При сейсмичности 7 баллов обделку горных выработок выполняют из набрызг-бетона с анкерным креплением, а стены изготавливают из железобетона. Для ответственных объектов: атомные электростанции, крупные гидротехнические сооружения, объекты химической промышленности, высотные здания и т.п. расчётная сейсмичность сооружения повышается на 1-2 балла.

Строительство зданий и сооружений в районах с сейсмической активностью более 9 баллов разрешается в особом порядке.

Рекомендуются системы разработки и технологии погашения выработанно-

го пространства с заполнением выработанного пространства материалами: обрушенными или полученными от проходки горных выработок породами, глиной, песком, твердеющими закладочными смесями, а также хвостами подземного физико-химического выщелачивания металлических руд.

Динамическое течение процессов колебания поверхности Земли в результате смещения крыльев существующих или вновь образующихся тектонических нарушений в земной коре провоцирует разрушение предельно напряжённой части массива.

Превышение притока энергии над её поглощением обуславливает динамический характер потери устойчивости при сложении потенциала энергии упругого сжатия пород и энергии упругих деформаций в процессе горных работ.

Массовые динамические явления, провоцируемые наведенными колебаниями земной коры, при совпадении частот способствуют динамическому разрушению массивов, которое, в свою очередь, генерируя колебания, дают импульс сходу ледников и другим катастрофическим явлениям.

Эксплуатация месторождений должна осуществляться с комплексным учетом гравитационных, тектонических и сейсмических условий участка Земной коры, рассматриваемого как система с неопределенно большим числом степеней свободы. На таких участках необходим мораторий систем разработки месторождений с естественным управлением массивом и с открытым выработанным пространством. ■■■

### **Коротко об авторах**

*Исмаилов Т.Т.* – кандидат технических наук, доцент, МГГУ,  
*Голик В.И.* – доктор технических наук, профессор, СКГМИ,  
*Комашенко В.И.* – доктор технических наук, профессор, РГТРУ.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 8 симпозиума «Неделя горняка-2008».  
Рецензент д-р техн. наук, проф. *Е.А. Ельчанинов.*