© А.В. Зубков, 2008

УДК 622.833

А.В. Зубков

ВЛИЯНИЕ ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ КРЕПИ СТВОЛОВ

Семинар № 11

При проходке стволов в крепких упругих вмещающих породах принято иметь дело со следующими деформационными процессами приконтурного массива горных пород.

После проходки ствола полная конвергенция его стенок в условиях плоской деформации составит

$$U_D = \frac{D(1+\mu)}{2E_n}(\sigma_1 + \sigma_2 + (\sigma_1 - \sigma_2)\times$$

$$\times(3\text{-}4\mu)\cos 2\theta),$$

где U_D – конвергенция стенок ствола по диаметру, м; D - диаметр ствола, м; $E_п$ - модуль упругости массива пород, МПа; μ - коэффициент Пуассона:

σ_1, σ_2 – главные горизонтальные напряжения, МПа; θ - угловая координата, град.

С приближением к забою конвергенция уменьшается, составляя на расстоянии от забоя 2D – 100 %, D – 97 %, 0,5D – 80 %, 0,25D – 70 % и у забоя – 50 %. В зависимости от того, на каком расстоянии возводится постоянная крепь и когда она наберет прочность и упругость, на нее передается оставшаяся часть конвергенции стенок ствола. Следует заметить, что традиционные виды крепи практически сдерживают эту конвергенцию не более, чем на 5 %. Поэтому в высоконапряженных массивах пород стараются постоянную крепь возводить со значительным отставанием от забоя, уменьшая на нее нагрузку, для чего используют на начальной стадии временную крепь, или вводят элементы податливости.

К сожалению, эти признанные приемы проходки и крепления стволов могут оказаться в ряде случаев не эффективными из-за того, что уровень напряжений массива горных пород изменяется с периодичностью 11 лет, совпадающей с циклом солнечной активности (СА) [1].

В годы минимума СА Земля максимально сжата и наблюдаемые геодинамические явления имеют максимальную энергетику.

В годы нарастания СА напряженное состояние земной коры уменьшается и наблюдается максимальное число геодинамических явлений, но меньшей энергетики.

В годы максимума СА напряжения минимальны и геодинамических явлений минимум.

В годы спада СА напряжения растут, число геодинамических явлений со средней энергетикой увеличивается.

В то же время в мировой практике не было данных об абсолютной величине переменных (пульсирующих) тектонических напряжений $\sigma_{тп}$ в земной коре в течение цикла СА.

Исследования пульсирующих напряжений в земной коре Урала были начаты Институтом горного дела УрО РАН в 1998 г. Для этого в рудниках

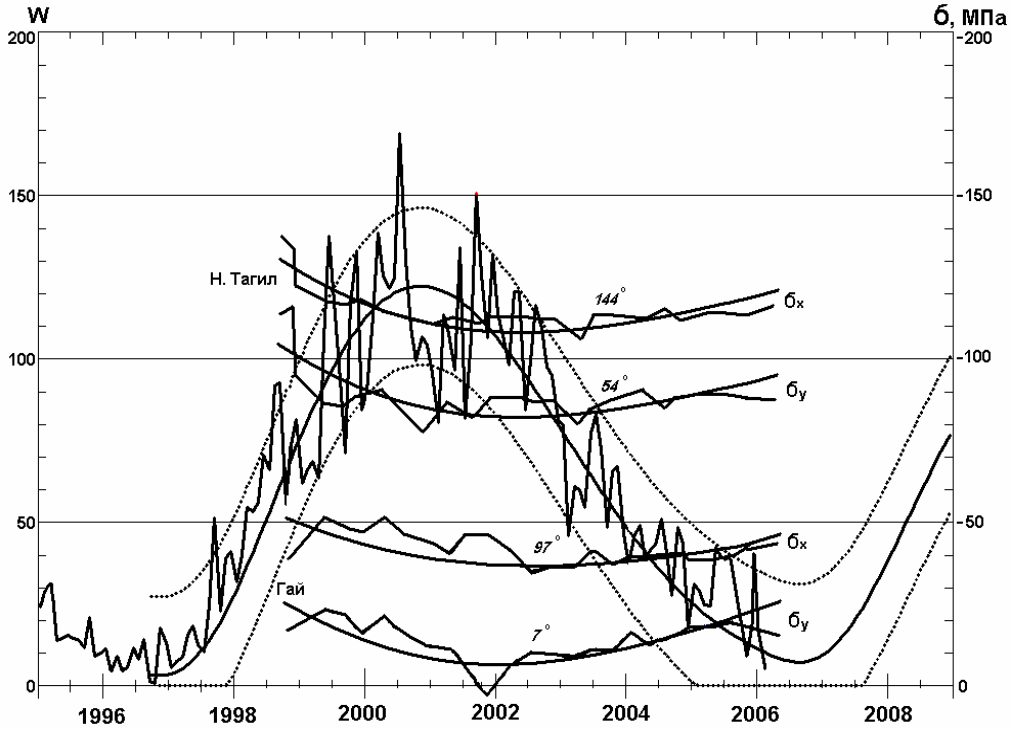

Рис. 1. Графики изменения горизонтальных напряжений в массиве горных пород на фоне 23-го цикла солнечной активности на шх. «Естюнинская» (г. Нижний Тагил) и на Гайском руднике (г. Гай)

были оборудованы наблюдательные деформационные станции в городах Краснотурьинск, Нижний Тагил, Березовский и Гай, соответственно на глубинах 600 м, 700 м, 500 м и 830 м. Измерения производим 3-4 раза в год.

Под землей наблюдательные станции включают 3-5 разно ориентированных реперных линий на базах 30-50 м, где расстояния между реперами измеряли рулетками по технологии гибких нитей с погрешностью 0,1 мм.

Наиболее стабильные результаты по величине $\sigma_{тп}$ получены на шахте Естюнинская (г. Нижний Тагил) и Гайском подземном руднике (г. Гай) (рис. 1). На рисунке видно, что в период минимума СА горизонтальные напряжения имеют максимальные значения, а в период максимума СА напряжения минимальны.

Если принять, что результирующие напряжения в массиве горных пород $\sigma_{г}^{n}$ являются суммой гравитационных, тектонических фоновых и тектонических пульсирующих $\sigma_{тп}$ (изменяющихся во времени), то анализ результатов измерения напряжений на рудниках Урала, полученных за последние 40 лет показывает:

- на Северопесчанском месторождении (г. Красноуральск) пульсирующие напряжения $\sigma_{тп}$ = 6 МПа при уровне максимальных $\sigma_{г}^{n}$ = - 18 ÷ 21 МПа и прочности пород $[\sigma_{сж}]$ = 80 ÷ 100 МПа;

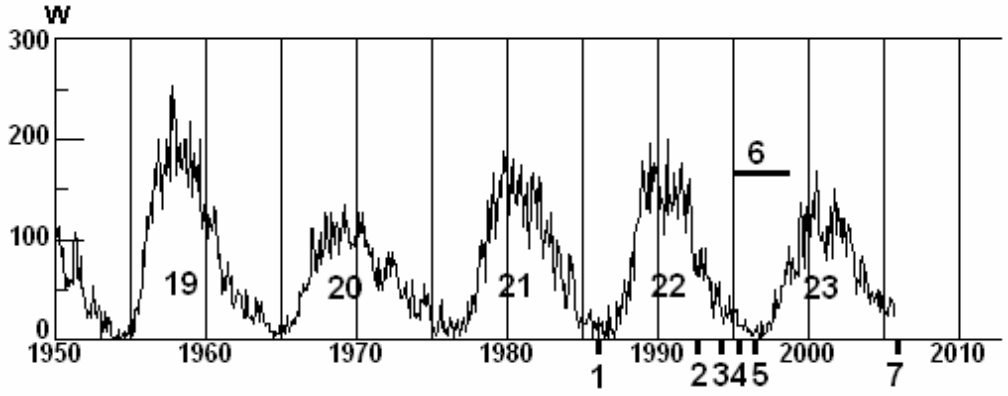

Рис. 2. Временная привязка катастрофических геодинамических событий на Урале к графику изменения солнечной активности

- на шх. Южная (г. Березовский) $\sigma_{тп}$ = 7 МПа при $\sigma_г^n$ = - 23 ÷ 27 МПа и [$\sigma_{сж}$] = 105 МПа;
- на Узельгинском подземном руднике $\sigma_{тп}$ = 6 ÷ 10 МПа при $\sigma_г^n$ = - 31 ÷ 38 МПа и [$\sigma_{сж}$] = 100 ÷ 120 МПа;
- на Гайском подземном руднике (г. Гай) $\sigma_{тп}$ = 20 ÷ 25 МПа при $\sigma_г^n$ = - 40 ÷ 60 МПа и [$\sigma_{сж}$] = 100 ÷ 160 МПа;
- на шх. Естюнинская (г. Нижний Тагил) $\sigma_{тп}$ = 35 МПа при $\sigma_г^n$ = - 130 ÷ 150 МПа и [$\sigma_{сж}$] = 300 ÷ 400 МПа.

Учитывая широкий диапазон геомеханических характеристик массивов магматических и метаморфических пород Урала, исключая кору выветривания, на территории можно ожидать $\sigma_{тп}$ в пределах от 6 МПа до 35 МПа, т.е. в среднем до 15 ÷ 20 МПа.

Влияние максимального сжатия массива горных пород на катострофические геомеханические события на Урале в периоды минимумов СА хорошо прослеживаются на следующих примерах (рис. 2).

1. В 1986 г. затоплен БКРУ-3 (г. Березники).
2. В 1993 г. произошло землетрясение 4 б. в г. Березники.
3. В 1994 г. произошли два 6 б землетрясения в ЮУБРе (Южно-Уральский бокситовый рудник).
4. В 1995 г. 5 бальное землетрясение на СКРУ-2 (г. Соликамск).
5. В 1997 г. 4-5 бальные землетрясения на БКРУ-2.
6. В 1995÷1998 гг. на шахте Естюнинская произошло 28 горных ударов, эквивалентных по сейсмике взрыву зарядов ВВ от 5 до 100 т. В остальные периоды их были единицы и меньшей энергии.
7. В октябре 2006 г. началось затопление БКРУ-1.

В связи с установленным фактом периодического изменения напряженного состояния массива горных пород на величину $\sigma_{тп}$ = 10 ÷ 30 МПа, а может быть и больше, необходим новый подход к проблеме обеспечения устойчивости крепи стволов.

В уже сформировавшейся крепи стволов $\sigma_{тп}$ приведут к изменению напряжений на величину

$$\sigma_{кр} = \frac{2(1-\mu^2\sigma_{тп}\cdot E_{б}}{E_{п}},$$

где $E_б = 2\cdot 10^4$ МПа – модуль упругости бетона.

Следовательно, если крепление ствола проводилось в период минимума СА (максимальное сжатие массива), то уменьшение $\sigma_{тп}$ в последую-щем приведет к появлению в крепи растягивающих напряжений, которые частично будут компенсированы сжатием крепи в период ее возведения.

Если крепление ствола проводи-лось в период максимума СА, то уве-личение $\sigma_{тп}$ в последующем приведут к увеличению сжатия крепи в дополнение к сжатию в период ее возведения.

Для менее прочных пород можно принять $\sigma_{тп} = 10$ МПа, $E_п = 4\cdot 10^4$ МПа и $\sigma_{кр} = \pm 9$ МПа. Для более прочных и упругих пород $\sigma_{тп} = 30$ МПа,

$E_п = 8\cdot 10^4$ и $\sigma_{кр} = 14$ МПа.

В практике подобные комбинации могут быть самые разнообразные, если учесть, что крепь возводится в промежутках между максимумом и минимумом $\sigma_{тп}$.

Наглядным примером поведения крепи стволов с учетом изменения напряжений в массиве при действии $\sigma_{тп}$ можно считать Таштагольский рудник.

Ствол шахты Ново-Капитальная

Ствол начали проходить в 1960 г. (минимальные σ) диаметром 8,3 м и крепить монолитным бетоном М150 [2].

В 1964 г. (σ максимальные) крепь начала разрушаться в пределах глубин Н =414 – 529 м и наблюдалась деформация проводников. Ствол был перекреплен железобетонной крепью толщиной 0,5 м на длине 112 м, на Н = 506 – 520 м вновь был деформирован.

В 1971 г. (σ минимальные) крепь разорвало по 3-м азимутам, трещины шириной 20 - 200 мм и длиной 10 м.

Перед 1991 г. (время неизвестно) крепь разрушилась (раздавило) на Н = 600 ÷ 800 м. Зоны разрушения имели ширину 0,6 ÷ 1,7 м и длиной до 80 м.

В 1991 – 1992 гг. (σ минимальные) скорость деформации резко снизилась [3].

Ствол «Сибиряк»

Ствол имел диаметр 8,3 закреплен до глубины 611 м монолитным бетоном толщиной 400 мм марки 200 [3]. Далее ствол крепили ж/б крепью.

При проходке ствола (1985-1988 гг.) отмечалось разрушение крепи в интервале 560 – 606 м и ж/б крепи в интервале 840 – 965 м.

Перед 1991 г. было произведено перекрепление ствола в интервале Н=756 ÷ 865 м с образованием податливой крепи. Если с августа по декабрь 1992 г. нагрузки на крепь были незначительными, то с 01.1993 по 01.1994 гг. нагрузки резко возросли (σ максимальное).

Ствол шахты «Западная»

Ствол шахты возводился яйцевидной формы площадью в проходке 34,1 м^2 [2].

В 1970-71 гг. на глубине 630 м произошли микроудары с образованием расщелины в диоритовой дайке глубиной 0,5 м и шириной 0,6 м.

В 1987 г. (σ максимальные) горный удар привел к разрушению 35 м ж/б крепи между горизонтами Н=540 м и Н=610 м [3].

Выводы

1. В крепких и упругих горных породах главным фактором, влияющим на

устойчивость крепи стволов, являются тектонические пульсирующие напряжения.

2. На месторождениях, где $\sigma_{тп}$ достигают величины 20-30 и более МПа, крепь стволов и растрелы должны быть податливыми.

3. Пульсирующие напряжения можно своевременно определить на действующих рудниках и использовать при углубке стволов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Яковлев Д.В., Тарасов Б.Г.* О взаимосвязи геодинамических событий в шахтах и рудниках с циклами солнечной активности //Геодинамика и напряженное состояние недр. Междунар. конф. 2-4 октября 2001. Новосибирск. С.56-65.

2. *Характер* проявления горного давления в шахтных стволах на Таштагольском месторождении /Боярский В.И., Шрепп Б.В., Захрюта Г.В. //Шахтное строительство – 1973. - №10. с 16-17.

3. *Исследование* состояния удароопасного массива при сооружении вертикальных стволов /Шрепп Б.В., Мозолев А.В., Синкевич Н.И. и др. //Горный журнал – 1996. - №1-2, с. 88-92.

ГИАБ

Коротко об авторе

Зубков А.В. – доктор технических наук, старший научный сотрудник, Институт горного дела УрО РАН.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 11 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. *И.М. Петухов.*

ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
ЗАЙЦЕВ Сергей Петрович	Эколого-экономическая оценка использования подземного пространства на территориях со сформировавшейся городской инфраструктурой	08.00.05	к.э.н.

ЗИНОВЬЕВА Татьяна Алексеевна	Обоснование параметров вибрационной мельницы с учетом прочностных характеристик помольной камеры	05.05.06	к.т.н.