УДК 622.274.4

Д.Ю.МИНАЕВ
Горный факультет,
аспирант кафедры разработки месторождений
полезных ископаемых

ВЛИЯНИЕ ВОСХОДЯЩЕГО ПОРЯДКА ОТРАБОТКИ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РУДНОГО МАССИВА

Проведено сравнение напряжений на кромке рудного массива при восходящем и нисходящем порядках отработки месторождения. В результате теоретических расчетов получено, что при ведении работ на глубоких горизонтах напряжения при восходящем порядке меньше, чем при нисходящем.

This work compares stresses at the rock ore edges at the ascending and descending ways of mining. As the result of theoretical calculations it is established, that the ascending mining method applied at deep horizons creates less stress, than the descending technique.

Данная статья продолжает серию работ, посвященных проблемам восходящего порядка отработки крутопадающих рудных месторождений полезных ископаемых. В предыдущих публикациях автором подробно рассматривался восходящий порядок отработки, вопросы вскрытия и систем разработки. Однако ранее не рассматривались вопросы геомеханики и управления состоянием горного массива при ведении работ в восходящем порядке.

При восходящем порядке ведения работ рудное тело вскрывают сразу на всю глубину распространения (или на величину ступени вскрытия при больших глубинах залегания) и начинают отработку с нижнего горизонта, постепенно поднимаясь вверх. Для исключения сдвижения вышележащих пород выемку руды ведут системой с закладкой выработанного пространства. Запасы этажа отрабатывают выемочными блоками в две стадии с делением блока на камеры первой и второй очереди. Камеры первой очереди, заполняемые твердеющей закладкой, служат в качестве подпорных стенок для камер второй очереди. Камеры второй очереди, имеющие большие размеры по сравнению с камерами первой очереди, заполняют сыпучей закладкой.

В данной работе проведен анализ геомеханического состояния рудного массива при восходящем и нисходящем порядке отработки рудного тела. При отработке месторождения, начиная с нижнего горизонта, все работы по проходке вскрывающих, подготовительных и нарезных выработок, а также при очистной выемке руды проводились в условиях значительных напряжений в рудном массиве. Таким образом, наибольший интерес представляет сравнение напряженного состояния рудного массива при нисходящем и восходящем порядках отработки месторождения.

Как известно, массив горных пород, расположенный на определенной глубине от земной поверхности, подвергается воздействию вертикальных и горизонтальных сил. Первое представление о напряженном состоянии горного массива основывалось на гипотезе Гейма (1878), согласно которой все силы, действующие в массиве горных пород, обуславливаются весом вышележащих пород. Гейм считал, что горная порода находится в скрыто-пластическом состоянии, и поэтому напряжения в ней выравниваются по всем направлениям за счет пластических деформаций, причем такое состояние развивается даже на сравнительно небольшой глубине. Напряжение по этой гипотезе по

всем площадкам одинаково, т.е. отмечается гидростатическое состояние равновесия, определяемое из выражения*

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \rho g H,$$

где σ_x, σ_y, σ_z – напряжения на соответствующих площадках, МПа.

В 1925 г. Динником была предложена гипотеза, основанная на упругой модели среды, что предопределяет разницу между вертикальными и горизонтальными напряжениями. Вертикальные напряжения являются максимальными и определяются так же, как и по гипотезе Гейма, весом налегающих пород. Горизонтальные напряжения – следствие вертикальных и зависят от коэффициента Пуассона пород:

$$\sigma_z = \rho g H;$$

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu_n}{1-\mu_n} \rho g H,$$

где $\mu_п$ – коэффициент Пуассона пород.

Таким образом, обе гипотезы предполагают, что напряжения в горном массиве зависят от веса налегающих пород и однородны по всему массиву. Однако, как показали исследования, гипотезы Гейма и Динника не соответствуют фактическому напряженному состоянию горных пород, а горизонтальная составляющая в ряде случаев превышает вертикальную. К 1980 г. в различных точках земной коры были проведены замеры фактических вертикальных и горизонтальных напряжений. Измерения проводились более чем в 150 типах горных пород до глубины 5 км. В результате установлено, что уже на глубине 100-200 м сжимающие горизонтальные напряжения зачастую превышают вертикальные. Избыточные напряжения обнаружены, главным образом, в кристаллическом фундаменте и в складчатых поясах разного возраста. В осадочных и в сильнотрещиноватых скальных массивах повышенные горизонтальные напряжения обычно отсутствуют**.

Относительно причин и природы формирования напряженного состояния нетронутого массива горных пород пока нет единого мнения. Большинство исследователей считают, что основным фактором, влияющим на структуру горизонтальных (или тектонических) напряжений, является тектоническое движение земной коры. Различные участки земной коры перемещаются относительно друг друга в вертикальной и горизонтальной плоскостях на достаточно большие величины, что фиксируется высокоточными геодезическими съемками.

Таким образом, в рудном массиве одновременно действуют вертикальные (геостатические) от давления вышележащих горных пород и горизонтальные (тектонические) напряжения.

Вследствие подработки массива горных пород естественное поле напряжений меняется. Значения напряжений в рудном массиве при прочих равных условиях определяются размером подработанной зоны: чем больше величина подработки, тем бóльшие напряжения испытывает рудный массив***.

Исследованию напряжений на кромке рудного массива посвящено большое количество работ, однако большинство из них носят экспериментальный характер, а их результаты применимы только для отдельных регионов. Для исследования напряженного состояния рудного массива при восходящем и нисходящем порядке отработки месторождения автором была использована методика В.Г.Гмошинского, согласно которой эпюра напряжений (в мегапаскалях) строится по двум кривым:

$$\sigma_1 = Ce^{\frac{fx}{h\varepsilon}};$$

$$\sigma_2 = pgH\left(1 + ke^{-\frac{x}{\lambda}}\right),$$

где C – сцепление руды, МПа; f – коэффициент трения; h – половина мощности рудного тела, м; ε – коэффициент бокового дав-

---

* *Влох Н.П.* Управление горным давлением на железных рудниках / Н.П.Влох, А.Д.Сашурин. М.: Недра, 1974.

** Там же.

*** *Галаев Н.З.* Управление горным давлением при разработке рудных месторождений системами с открытым очистным пространством / Н.З.Галаев, А.А.Иванов. Ленинградский горный институт. Л., 1986.

ления; pgH – давление на рудное тело до проведения в нем выработок; k – коэффициент концентрации напряжений; λ – половина размера выработанного пространства.

Учитывая угол падения пласта и наличие горизонтальных тектонических напряжений, получили графические зависимости (рис.1).

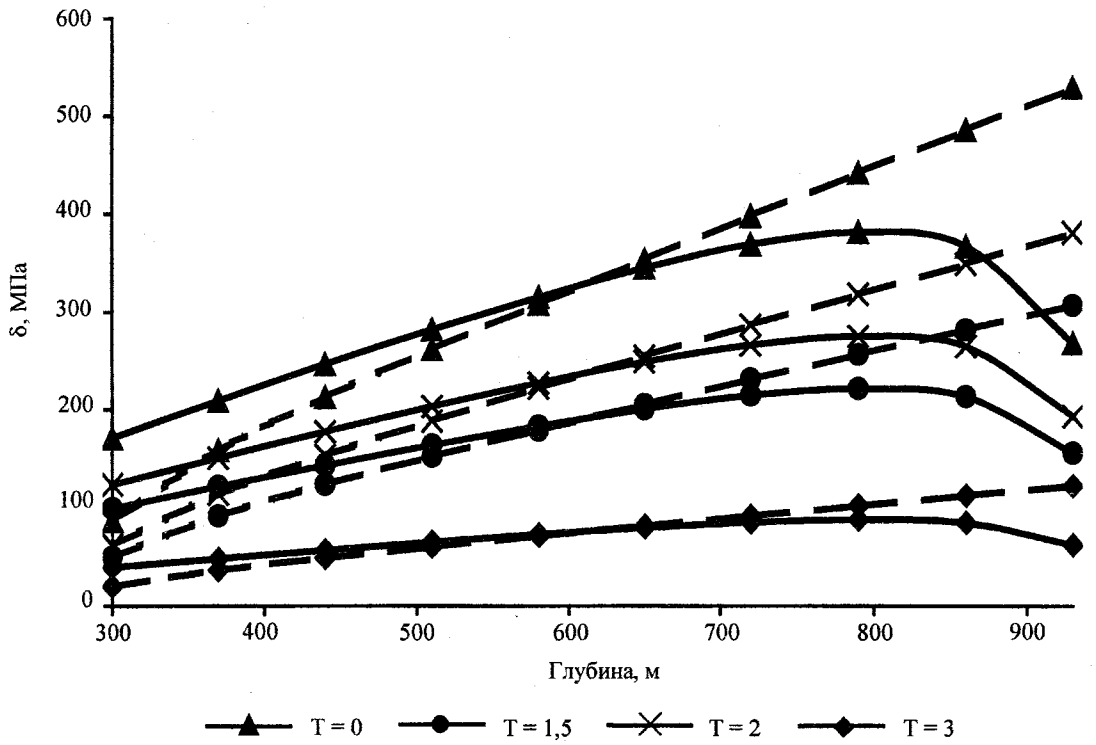


Рис.1. Зависимость напряжений в рудном теле на кромке отрабатываемого этажа при восходящем (сплошная линия) и нисходящем (пунктир) порядках отработки месторождения при различных значениях тектонических напряжений

Данные кривые построены для различных значений тектонических напряжений, причем соотношение между тектоническими и геостатическими напряжениями на любой глубине для каждой пары кривых одинаковы. Для случая отсутствия тектонических напряжений (T = 0) расчет велся по теории Динника.

Однако постоянное соотношение между горизонтальными и вертикальными напряжениями не подтверждается на практике. Эта зависимость носит более сложный характер и для каждого региона индивидуальна. По данным практики, на глубинах 300-500 м среднее отношение горизонтальных напряжений к вертикальным варьирует от 3 до 5. На глубинах более 2 км (по данным проф. Хэргета) породы переходят в пластическое состояние, где давление распределяется во все стороны одинаково, а значение напряжений по вертикали и горизонтали выравниваются. При увеличении глубины разработки вертикальные и горизонтальные составляющие напряжений увеличиваются, но остаются равными друг другу. Следующий график (рис.2) построен из предположения, что на глубине 300 м тектонические напряжения в 4 раза превосходят геостатические, а на глубине 2 км они равны, причем тектонические напряжения изменяются линейно.

Как видно из этих графиков, при малых глубинах ведения работ напряжения при восходящем порядке ведения работ превосходят напряжения при нисходящем порядке, однако напряжения при этих глубинах незначительны и в условиях объемного сжатия не приведут к динамическим формам проявления горного давления. При больших

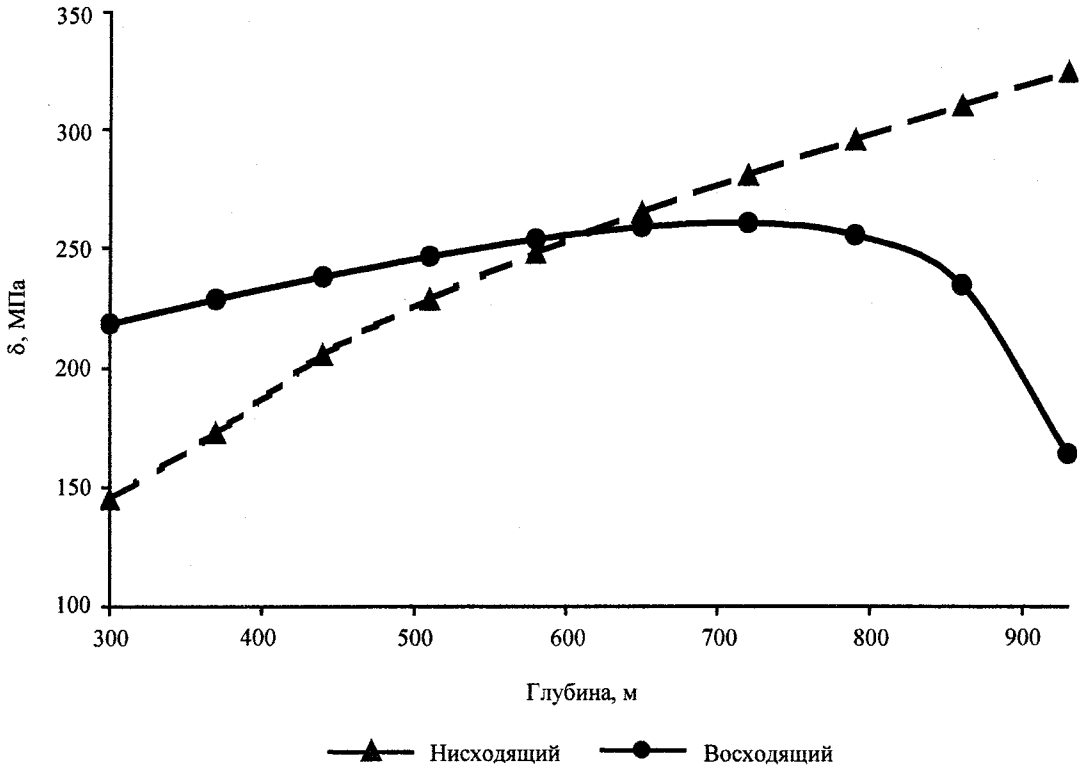


Рис.2. Зависимость напряжений на кромке отрабатываемого этажа при восходящем и нисходящем порядках отработки месторождения

глубинах напряжения при восходящем порядке значительно ниже, чем при нисходящем. Снижение напряжений на этих глубинах приведет к уменьшению возможности возникновения горных ударов или снижению их энергии.

При нисходящем порядке отработки месторождения с увеличением глубины горных работ растут как геостатические, так и тектонические напряжения, а также площадь подработанного массива. Все это приводит к росту напряжений на кромке рудного массива.

При восходящем порядке отработки наблюдается противоположная картина. При увеличении площади подработки уменьшается глубина ведения работ, а соответственно и значения вертикальных и горизонтальных сил. На малых глубинах, где площадь подработанного массива максимальна, значения геостатических и тектонических напряжений минимальны.

Научный руководитель д.т.н. проф. *Э.И.Богуславский*