© А.И. Мороз, 2008

УДК 622.023.23

А.И. Мороз

ВЛИЯНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ НА НДС МАССИВА ПОРОД ПРИ ТЕХНОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Семинар № 18

Освоение подземного пространства, которое является техногенным воздействием на массив горных пород, связанное в настоящее время в основном с увеличением глубины добычи полезных ископаемых, а также развитием инфраструктуры больших городов, по-прежнему сталкивается с многочисленными проблемами. Одной из таких проблем продолжает оставаться оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) массива пород при проходке горных выработок, поскольку результаты теоретических расчетов, как правило, качественно отличаются от данных натурных наблюдений. Причиной такого несоответствия является "…*постановка задач при выполнении теоретических расчетов, а точнее – расчетная схема*"[1]. В традиционной расчетной схеме, основанной на применении решений теории упругости и заимствованной из металловедения о вырезе отверстия в пластине [2], массив нагружается с уже существующей выработкой.

В принципиально иной схеме, предложенной проф. И.В. Родиным [3], выработка проходится в массиве, находящемся в напряженном состоянии. По контуру будущей выработки до ее проходки действуют начальные (природные) напряжения в виде сил реакции породы, заключенной в этом контуре, на силовое воздействие остающейся части массива. При проходке выработки силы реакции, с которой действовала выбираемая порода внутри ее контура, снимаются, и эта нагрузка с обратным знаком, и является тем активным силовым фактором, который вызывает изменение НДС массива пород. Результирующее НДС определяется наложением существовавшего природного поля напряжений на новое, снимаемое, величина которого равна начальному полю, но направленному в обратную сторону.

Анализ результатов работы [1] показывает, что применение расчетной схемы в снимаемых напряжениях, в отличие от традиционной схемы, при которой концентрация напряжений возникает в стенках выработки, максимальный размер области предельного состояния наблюдается в кровле выработки, что совпадает с наблюдениями практики.

Вместе с тем, как показали результаты исследований, на возникающее НДС породного массива при проходке выработок оказывает влияние также фактор, связанный с историей образования совмещенных структурных генетических напряжений в условиях гравитации. Генетическими называют сформировавшиеся к моменту их рассмотрения природные напряжения, обусловленные способом образования НДС в процессах генезиса породы, постгенетических преобразований и изменений пространст-

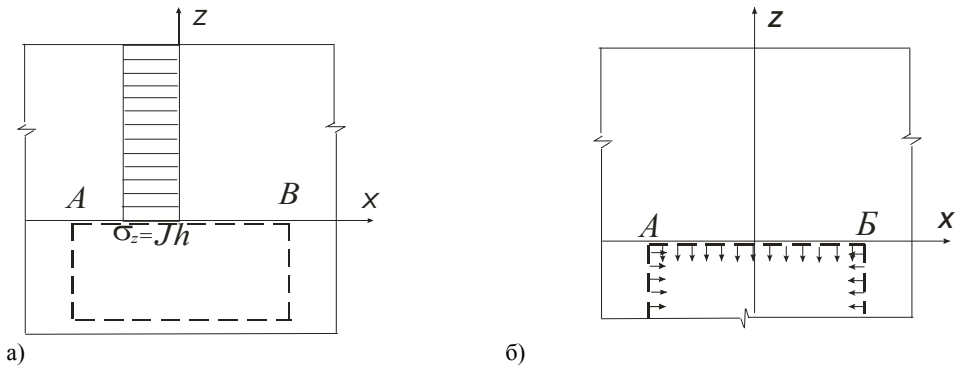

Рис. 1. Природные напряжения в кровле будущей выработки (а) и снимаемые (б) на контуре выработки

венного положения [4]. В своей основе история происхождения НДС породы имеет концепцию механики грунтов об одновременном действии двух систем напряжений: эффективных – в скелете, которые связаны с передачей давления нижележащим слоям скелета, воспринимающих основную силовую нагрузку, и нейтральных, которые в этом процессе не участвуют [5].

Снижение внешних силовых воздействий приводит к тому, что генетические напряжения, образование которых, в частности, в осадочной породе с эпигенетической цементацией происходило при твердении цементирующего заполнителя пор после сжатия скелета, являются причиной возникновения в породе совмещенных остаточных механических напряжений разных знаков. Растягивающие напряжения, в свою очередь, приводят к изменению механических свойств породы.

Поэтому постановка задачи и расчетная схема при малой величине градиента начального поля напряжений по высоте, учитывающие историю формирования таких напряжений в горной породе, предлагается в следующем виде. Проектируемая выработка будет проходиться в породном массиве с двух системным напряженным состоянием. Величины компонентов гравитационного природного поля напряжений можно принять в соответствие гипотезой А.Н. Динника, как наиболее распространенной. Следует отметить, что начальное поле перемещений равно нулю [3].

На втором этапе находится результирующее поле напряжений, определяемое наложением снимаемого и остаточного полей напряжений на начальное, и поле перемещений после проходки выработки. Величина перемещений проектного контура выработки полностью определяется компонентами снимаемого поля напряжений.

В качестве примере рассмотрим изменение НДС на контуре проектируемой выработки прямоугольного сечения, и, в частности для ее кровли. На участке *АБ* в пределах кровли будущей выработки (рис. 1, *а*) действуют вертикальные напряжения $\sigma_z = \gamma h$, $\tau_{xy} = \tau_{xz} = \tau_{yx} = 0$, равные высоте h столба пород, и боковые напряжения $\sigma_x = = \sigma_y = (\nu/1-\nu)\sigma_z$. При проходке горной выработки, существовавшие ранее напряжения на ее контуре снимаются, т.е. прикладыва-

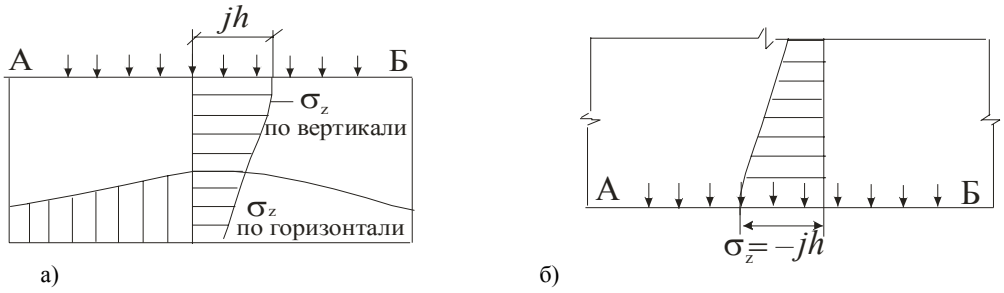

Рис. 2. Распределение напряжений от равномерно распределенной нагрузки γh по вертикали и горизонтали (а) и изменение знака этой нагрузки для удобства анализа (б)

ется одноименная нагрузка с обратным знаком (рис. 1, *б*).

Из курсов теории упрости [6] известно, что для случая равномерно распределенной нагрузки имеет место затухание вертикальных напряжений (рис. 2, *а*). Представим его в другом виде, изменив для удобства анализа расположение полуплоскости и знаков нагрузки на участке *АБ* (рис. 2, *б*). Определение горизонтальных напряжений выполняется аналогичным сложением природных и снимаемых напряжений.

Согласно имеющимся решениям (для целиков массива) в боковых стенках выработки будут действовать сжимающие напряжения, превышающие природные, по разным данным, в 2–3 раза.

Сложение начальных γh и снимаемых ($-\gamma h$) напряжений (рис. 3, *а*) позволит определить результирующую эпюру вертикальных напряжений σ_z в кровле выработки (рис. 3, *б*).

После этого можно определить влияние генетических напряжений в структурных элементах породы на изменения НДС породного массива. Анализ динамики этих напряжений в породе при разгрузке может быть выполнен из следующих соображений.

Полагаем, что в породе, образовавшейся по рассмотренной схеме, существовавшие до твердения системы напряжений сохранятся, в результате чего при уменьшении внешних силовых воздействий порода придет в состояние самонапряжения [7, 8]. Принадлежность породы к такому состоянию можно определить известными методами: тензометрическим способом изменения размеров, геофизическим методом или испытанием на разрушение непосредственно в забое, а затем с интервалом времени в лабораторных условиях. Далее установить величину ожидаемых напряжений во второй системе после разгрузки и определить прочность на разрыв.

Для нахождения зависимости между напряжениями и деформациями от действия нескольких полей напряжений принято использовать принцип их наложения (суперпозиции) [7]. Согласно ему, результирующая зависимость $\sigma = f(\varepsilon)$ будет изменяться по ветви *АО* (рис. 4).

Увеличение растягивающих напряжений происходит между отрезками *СО* и *СД* (в треугольнике *СОД*), максимальная величина которых σ_{z0} как раз и достигнет в точке *О*, соответствующей полной разгрузке. В этой точ-

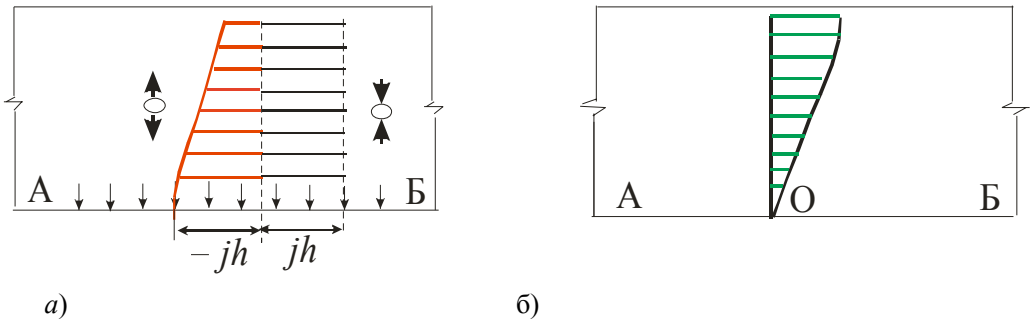

Рис. 3. Эпюры снимаемых и начальных напряжений (а) и результирующая эпюра (б) в кровле выработки

ке с деформацией ε_{z0} порода приходит в равновесное самонапряженное состояние с величиной остаточных напряжений, равных отрезку *ОД* [8], прочность которой на растяжение характеризуется в основном прочностью затвердевшего раствора и (частично) сложившейся структурной прочностью.

Эта величина остаточных напряжений σ_{z0} может быть определена, если известны реализованные относительные деформации в кровле выработки. В соответствии с этим вся область деформаций может быть разделена на два интервала: ε_{zi} и ε_{z0}. Следует отметить, что деформации в боковых стенках выработки будут сжимающими, отвечающими области *AN* на графике 4.

Если прочность материала омоноличивающего раствора на растяжение $R_p>\sigma_{z0}$, то в этом случае порода, например, в виде керна после извлечения из массива будет сохранять стабильность свойств при его последующем хранении, и она может быть исследована в лаборатории. При этом остается открытым вопрос о том, находится ли он в самонапряженном состоянии или нет. При $R_p=\sigma_{z0}$ состояние материала цементирующего раствора является неустойчивым.

Если этот материал является хрупким и его прочность на растяжение $R_p\leq\sigma_{z0}$, то, будучи извлеченным из массива, (в забое) уже изменит свою прочность и величина этого понижения будет зависеть от соотношения σ_{z0}/R_p. Когда это отношение значительно, например, 1,5 – 2,0 и более, произойдет нарушение природной прочности и разрушение породы.

Если материал имеет прочность на растяжение R_p, показанную на рис.4, то в области значений деформаций

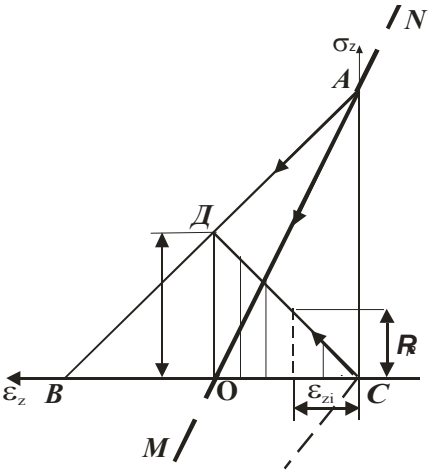

Рис. 4. Зависимость σ = f (ε) для породы с генетическими напряжениями при разгрузке

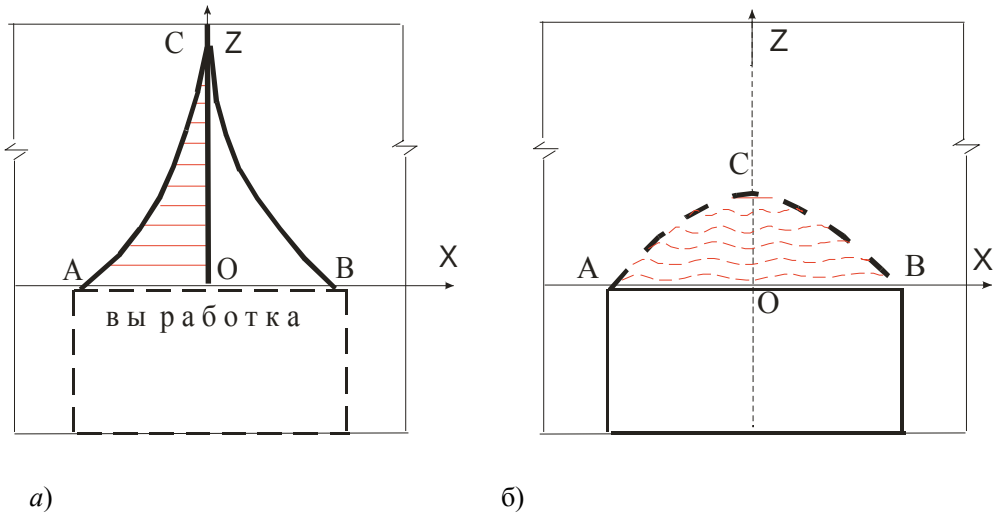

Рис. 5. Эпюра напряжений растяжения на контуре кровли выработки для породы с генетическими напряжениями (а) и свод, в пределах которого происходит снижение прочности породы в результате действия этих напряжений (б)

$\varepsilon_{zi}<\varepsilon_{z0}$ порода будет находиться в допредельном состоянии, и, следовательно – без снижения прочности.

В случае, если он обладает пластическими или вязко-пластическими свойствами, и предел пластичности цементирующего раствора $R_p \leq \sigma_{z0}$, то при извлечении из забоя образец в первое время будет сохранять стабильность свойств. Это позволит доставить образцы в лабораторию для исследования изменения его прочностных свойств во времени.

Поскольку на контуре кровли выработки после наложения снимаемого поля напряжений на начальное поле результирующая напряжений равна нулю, то, как следует из рис.4, в породе с генетическими напряжениями на этом контуре будут действовать остаточные напряжения (сжимающие и растягивающие), причем растягивающие напряжения (ОД на рис. 4) будут максимальными (рис. 5). Эти напряжения будут являться причиной возможного расслоения породы кровли выработки, образуя свод АСВ в соответствии с эпюрой растягивающих напряжений (рис. 5, *а*), в пределах которого будет происходить снижение прочности породы кровли выработки.

Таким образом, проведенный анализ НДС пород при образовании выработки, показывает, что изменение генетических напряжений приводит к формированию зоны расслоения пород в кровле прямоугольной выработки, а не в ее боковых стенках, что подтверждается данными практики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Хлопцов В.Г., Баклашов И.В.* О постановке задач при оценке устойчивости подземных горных выработок // ГИАБ. – М.:МГГУ, 2004. – №4. – С.69 – 75.

2. *Основы* механики разрушения. Нотт Дж.Ф. /Пер. с анг. –М.: Металлургия, 1978. – 256с.

3. *Родин И.В.* Снимаемая нагрузка и горное давление./ В кн.: Исследования горного давления. – М.: Госгортехиздат, 1960. – С.343 – 374.

4. *Грунтоведение* /Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А. и др. Под ред. В.Т.Трофимова. – 6–е изд., переработ. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.

5. *Герсеванов Н.М., Польшин Д.Е.* Теоретические основы механики грунтов и их практическое применение. – М.: Стройиздат, 1948. – 247 с.

6. *Жемочкин Б.Н.* Теория упругости. – М.: Госстройиздат, 1957.– 256 с.

7. *Тимошенко С.П., Гудьер Дж.* Теория упругости. /Перевод с англ. – М.: Наука, 1979. – 560с.

8. *Мороз А.И.* Самонапряженное состояние горных пород. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2004. – 288 с. ГИАБ

Коротко об авторе

Мороз А.И. – кандидат технических наук, зав. сектором НИИОСП им. Н.М. Герсеванова.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 18 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. *Б.А. Картозия.*

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА (ВНИМИ)			
ЖИЛКИНА Нина Федоровна	Разработка методики региональной оценки сейсмической активности горного массива при отработке удароопасных руд Талнаха	25.00.16	к.т.н.