УДК 622.275:622.831

Ю.А.Боровков

Московский геолого-разведочный университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ РЕЛЬЕФА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВА ПОРОД И ПАРАМЕТРЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Результаты исследований по установлению степени влияния рельефа земной поверхности на напряженно-деформированное состояние (НДС) массива горных пород и параметры горных выработок позволили выявить коэффициенты влияния рельефа поверхности на НДС массива, представляющие собой сумму относительных напряжений от веса горных пород и дополнительных нагрузок, вызванных различной конфигурацией рельефа земной поверхности, величина которых функционально изменяется в зависимости от расстояния до места наблюдения и формы рельефа по степенному закону и которые следует учитывать при определении параметров подземных горных выработок.

The paper considers the influence of relief on the mode of deformation (MD) of rocks and on the operation of mine workings. As a result of research the coefficient of the influence of the relief on the MD of the rock mass has been calculated. The author suggests that all these factors should be taken into account when the parameters of the mine workings are determined.

Рациональное использование содержащихся в недрах минеральных богатств имеет первостепенное значение для развития горной промышленности. Сложная обстановка с полнотой и качеством извлечения запасов из недр характерна для горных предприятий Рудного Алтая, Горной Шории, Северного Кавказа, Киргизии и Казахстана, расположенных в гористой местности. По мнению многих специалистов, основными факторами, определяющими низкие показатели извлечения на этих месторождениях, являются недостаточная изученность напряженно-деформированного

состояния (НДС) подрабатываемых массивов горных пород и сейсмического действия взрывов, производимых в очистных камерах и на карьере. Как показал опыт разработки месторождений в гористой местности и комбинированным способом, на формирование НДС подрабатываемых массивов горных пород оказывает влияние рельеф (форма) поверхности. Например, при разработке Тишинского месторождения (Рудный Алтай) обнаружено, что дополнительные нагрузки на конструктивные элементы систем разработки, вызванные различной формой рельефа земной поверхности, могут вызвать обрушения камер и целиков.

При разработке месторождений в гористой местности, впадинах и склонах гор возникают условия, при которых происходят большие сдвижения массива горных пород и даже их обрушения в процессе подработки пород очистными работами. Это говорит о том, что в массиве горных пород, расположенном под различным по форме рельефом поверхности, возникают большие сжимающие и растягивающие нагрузки, обусловленные наличием тектонических напряжений и дополнительных нагрузок от веса горных пород, слагающих возвышенности. На таких месторождениях массив горных пород характеризуется сложными напряженным состоянием и структурно-текстурным строением.

До сих пор изучение напряженно-деформированного состояния массива в склонах возвышенностей производилось, в основном, при решении гидростроительных проблем.

Геомеханические особенности месторождений, разрабатываемых под впадинами и водными объектами, связаны, во-первых, с сохранением водного объекта впадины как природного элемента (для этого оставляют предохранительные охранные целики) и, во-вторых, с предохранением горных выработок от внезапных (аварийных) прорывов воды, приводящих к затоплению рудника.

При комбинированным способе разработки рудных залежей горные работы изменяют рельеф поверхности и соответственно НДС массива горных пород, расположенного в прикарьерной зоне, что необходимо учитывать при дальнейшей отработке запасов руды подземным способом. Поэтому были проведены исследования по установлению закономерностей распределения напряжений в массиве горных пород вокруг искусственно образованной выемки в земной поверхности (карьера).

Отработка прибортовых и подкарьерных запасов руд проводится, главным образом, с применением систем разработки с закладкой выработанного пространства твердеющим смесями, что снижает сдвижение массива горных пород при его подработке в результате выемки запасов руд в прикарьерной зоне, повышает устойчивость уступов в карьере, а также потолочин, стенок камер и целиков при ведении очистных подземных горных работ.

Анализ опыта отработки месторождений в различных по профилю рельефа земной поверхности условиях позволил систематизировать эти месторождения по форме рельефа земной поверхности по признаку происхождения рельефа поверхности. В свою очередь, каждая группа подразделяется по видам формы рельефа поверхности. Так, в I группу входят следующие виды формы рельефа поверхности природного происхождения: равнина, одиночная возвышенность, цепь возвышенностей, впадина, склон возвышенности. Во II группе (искусственно созданные формы рельефа) выделяются контуры выемки в земной поверхности, образованные карьером, на равнине и в горах. В III группу входят сочетания форм рельефа: возвышенности с карьером, возвышенности с карьером и подземным рудником (например, Тырнаузское месторождение) и впадины с карьером и подземным рудником (например, месторождение, разрабатываемое комбинированным способом и под рекой или водными объектами).

Перераспределение напряжений в горных склонах и возвышенностях можно оценить коэффициентом влияния рельефа поверхности, который показывает, во сколько раз составляющие напряжений в склонах и возвышенностях превышают соответствующие составляющие нетронутого при-

родного поля напряжений, определяемого по гипотезе Динника.

Под вершинами образуются зоны разгрузки, а в приконтурных частях склонов – зоны повышенных концентраций напряжений. На горизонтальные и вертикальные коэффициенты влияния рельефа поверхности существенно влияют коэффициент бокового распора и углы наклона склонов возвышенности. В одиночной возвышенности на участке горизонтального сечения образуется зона взаимовлияния (разгрузки) обоих склонов горы. Это можно объяснить тем, что в одиночной возвышенности перераспределение напряжений от двух склонов одновременно приводит к их концентрации на склонах в связи с изменением свойств сред на границе воздух – порода.

Влияние одиночной горы различной формы на массив горных пород, расположенный под основанием горы или возвышенности, может быть описано через коэффициенты влияния рельефа поверхности в следующем виде:

$$\sigma_x^j = K_{xi}^j \gamma H;\ \sigma_y^j = K_{ki}^j \gamma H;\ \tau_{xy}^j = K_{xyi}^j \gamma H,$$

где K_{xi}^j, K_{yi}^j, K_{xyi}^j – коэффициенты влияния рельефа поверхности, зависящие от его i-й формы (прямоугольная, треугольная, параболическая и т.д.); j – параметр действия напряжений, в массиве возвышенности $j = 0$, под основанием одиночной возвышенности $j = 1$, под основанием смежных возвышенностей $j = 2$.

Коэффициенты влияния рельефа поверхности для произвольной формы поверхностной нагрузки можно определить следующим образом:

$$K_{xi}^1 = m + \frac{2}{\pi\gamma H}\int_{\theta_1}^{\theta_2} q(\theta)\cos\theta d\theta;$$

$$K_{yi}^1 = 1 + \frac{2}{\pi\gamma H}\int_{\theta_1}^{\theta_2} q(\theta)\cos\theta d\theta;$$

$$K_{xyi}^1 = \frac{2}{\pi\gamma H}\int_{\theta_1}^{\theta_2} q(\theta)\cos\theta\sin\theta d\theta,$$

где $q(\theta)$ – поверхностная нагрузка; θ – переменная, зависящая от соотношения координат x и H в прямоугольной системе; γ – средний удельный вес пород, слагающих массив и расположенных под основанием возвышенности, кН/м^3.

Напряжения в массиве под основанием возвышенности при любой форме рельефа поверхности можно установить по предложенным зависимостям, создавая поэлементно различные сложные формы рельефа, например часть параболы в сочетании с частью треугольника, с помощью переменной x.

Очевидно, что напряжения в массиве горных пород под впадиной уменьшаются на величину нагрузки, которая существовала бы на дневной поверхности, по форме и размерам соответствующей впадине. На основании этого предположения были получены коэффициенты рельефа поверхности под впадинами в случае заполнения их водой (река, озера, водохранилище и др.):

$$K_{вxi} = (2 + K)m - K_{xi};\ K_{вyi} = (2 + K) - K_{yi};$$

$$K_{вxyi} = -K_{xyi};$$

где K_{xi}, K_{yi}, K_{xyi} – коэффициенты влияния рельефа поверхности для поверхностной нагрузки i-й формы; $K = \gamma_в h_в/(\gamma p)$; $\gamma_в$ и $h_в$ – соответственно удельный вес и уровень воды.

В методиках по определению параметров камер и целиков часто не учитывается влияние поля напряжений, бокового давления со стороны массива вмещающих горных пород и рельефа поверхности. С учетом этих факторов и уравнений для определения толщины потолочины нами был получен предельный эквивалентный пролет горизонтального обнажения рудного массива:

$$M_г^0 = [(K_п K_{yi}^j K_р H h_1/2)^2 +$$

$$+ 6h_1(\sigma_р^w/\gamma + m\gamma H\lambda K_{xi}^j)]^{0,5} - [(K_п K_{yi}^j K_р H h_1/2),$$

где h_1 – толщина непосредственной кровли, м; λ – коэффициент структурного ослабления; $K_п$ – коэффициент пригрузки вышележащих пород или закладочного массива.