УДК 622.232.063.4:622.33.031.006.16

В.Н.ГУСЕВ, *д-р техн. наук, профессор, kmd@spmi.ru*
Д.А.ИЛЮХИН, *аспирант, kmd@spmi.ru*
А.Г.АЛЕКСЕНКО, *аспирантка, kmd@spmi.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

V.N.GUSEV, *Dr. in eng. sc., professor, kmd@spmi.ru*
D.A.ILUKHIN, *post-graduate student, kmd@spmi.ru*
A.G.ALEKSENKO, *post-graduate student, kmd@spmi.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗОНЫ ВОДОПРОВОДЯЩИХ ТРЕЩИН ЧЕРЕЗ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ПОДРАБАТЫВАЕМОЙ ТОЛЩИ

На основе идентичности качественного распределения кривизны и горизонтальных деформаций установлено значение граничной горизонтальной деформации для оценки развития зоны водопроводящих трещин (ЗВТ) через этот деформационный параметр. С учетом особенностей процесса сдвижения горных пород в горно-геологических условиях Яковлевского месторождения богатых железных руд получены значения граничной горизонтальной деформации и высоты распространения ЗВТ.

Ключевые слова: граничная кривизна, граничная горизонтальная деформация, мощность недозакладки, высота зоны водопроводящих трещин.

DETERMINING OF THE PARAMETERS OF WATER CONDUCTING FRACTURE ZONE THROUGH VALUES OF UNDERMINEN STRATA HORIZONTAL DEFORMATIONS VALUES

On the basis of the identity of qualitative distribution of curvature and horizontal deformations the boundary horizontal deformation value is found to assess the water conducting fracture zones height through the deformation parameter. Due to the characteristics of the process of strata movement in geological conditions of Yakovlevski rich iron ore deposit, the values of the boundary horizontal deformation and fracture zone height were found.

Key words: boundary curvature, boundary horizontal deformation, backfill voids, fracture zone height.

Натурные исследования развития зоны водопроводящих трещин (ЗВТ) связаны с определением вертикальных сдвижений и деформаций кривизны в подрабатываемом массиве по глубинным реперам, заложенным в скважины, которые, в свою очередь, пробурены в зону, где образуются техногенные водопроводящие трещины. В силу специфики метода глубинных реперов получить распределение горизонтальных сдвижений и деформации слоев массива принципиально невозможно. Из совместного определения верхней границы ЗВТ гидрогеологическими методами и распределения кривизны по глубинным реперам установлено, что слою на верхней границе ЗВТ соответствует определенное значение максимальной кривизны, называемой граничной кривизной [1].

Нормальносекущие трещины, образующиеся в местах максимальных изгибов слоев, расположенных выше слоя с граничной кривизной, проникают не на всю мощ-

ность слоев, сохраняя тем самым их водоупорные свойства. Ниже слоя с граничной кривизной нормальносекущие трещины пересекают слой в местах максимальной кривизны на всю мощность слоев, т.е. являются сквозными каналами для проникновения воды. Таким образом, граничная кривизна – это параметр, определяющий местоположение последнего слоя относительно разрабатываемого пласта, в котором еще образуются сквозные нормальносекущие трещины. Граничная кривизна [2]

$$K_{\text{г}} = 0{,}8\,\text{e}^{A}\,10^{-3}, \qquad (1)$$

где A – содержание глинистых пород (алевролитов, аргиллитов, глинистых сланцев и др.) в долях от подрабатываемой толщи.

Для определения высоты ЗВТ, образующейся от выемки одного пласта, достаточно определить расстояние от пласта до слоя с граничной кривизной. Принципиально это расстояние определяется на основе получаемого распределения кривизны в подрабатываемом массиве из натурных наблюдений за сдвижением глубинных реперов или расчетным способом, основаны на общих закономерностях распределения кривизны в слоях подрабатываемой толщи [1, 2].

Для прогноза сдвижений и деформаций массива горных пород широко используется численное моделирование, основанное на методе конечных элементов. Известные программные комплексы такого геомеханического моделирования позволяют с достаточно высокой степенью аналогии с реальными условиями моделировать геомеханические процессы и прогнозировать распределение горизонтальных деформаций. При этом непосредственно распределение кривизны в программных комплексах численного моделирования не получить. В этой ситуации задача использования численных методов моделирования для изучения развития ЗВТ может быть решена путем установления взаимосвязи между кривизной и горизонтальными деформациями, которая основана на качественном сходстве распределения кривизны и горизонтальных деформаций: кривизне выпуклости соответствуют горизонтальные деформации растяжения, кривизне вогнутости – горизонтальные деформации сжатия. Поэтому можно записать, что

$$\varepsilon_{\text{г}} = pK_{\text{г}}, \qquad (2)$$

где p – искомый переходный коэффициент.

Из выражения (2) следует, что

$$p = \frac{\varepsilon_{\text{г}}}{K_{\text{г}}}. \qquad (3)$$

Согласно методике расчета, изложенной в [3], граничную горизонтальную деформацию для слоя, приуроченного к верхней границе зоны водопроводящих трещин, можно получить по формуле

$$\varepsilon_{\text{г}} = \frac{0{,}5a_0\eta_m}{L_3} S''(z_x), \qquad (4)$$

где a_0 – относительное максимальное горизонтальное сдвижение; η_m – максимальное оседание; L_3 – длина полумульды в слое, приуроченном к верхней границе ЗВТ; $S''(z_x)$ – функция типовой кривой кривизны и горизонтальных деформаций.

По аналогии граничная кривизна определится по формуле

$$K_{\text{г}} = \frac{\eta_m}{L_3^2} S''(z_x). \qquad (5)$$

В свою очередь, входящие в формулы (4) и (5) максимальное оседание η_m и длина полумульды L_3 (при $N_2 = 1$) рассчитываются соответственно по формулам:

$$\eta_m = q_0 m N_1 N_2 \cos\alpha; \qquad (6)$$

$$L_3 = H_{\text{т}}\left(\text{ctg}\delta_0 + \text{ctg}\psi_3\right), \qquad (7)$$

где q_0 – относительное максимальное оседание; m – вынимаемая или эффективная мощность пласта; N_1, N_2 – коэффициенты, учитывающие степень подработанности соответственно вкрест и по простиранию пласта; α – угол падения пласта; $H_{\text{т}}$ – высота зоны водопроводящих трещин или расстояние по вертикали от пласта до слоя с граничной кривизной; δ_0, ψ_3 – соответственно граничный угол и угол полных сдвижений в главном сечении мульды сдвижения по простиранию пласта.

После подстановки выражений (4)-(7) в формулу (3) выражение для определения переходного коэффициента примет следующий вид:

$$p = \frac{\varepsilon_г}{K_г} = 0{,}5a_0 L_3 = 0{,}5a_0 H_т \left(\mathrm{ctg}\delta_0 + \mathrm{ctg}\psi_3\right).$$

Среднее значение относительного горизонтального сдвижения по основным угольным бассейнам $a_0 = 0{,}3$, а среднее значение $(\mathrm{ctg}\delta_0 + \mathrm{ctg}\psi_3) = 1{,}24$. Подставив в формулу принятые значения и учитывая, что $H_т = 2\sqrt{m/K_г}$ [1], получим

$$p = 0{,}186H_т = 0{,}372\sqrt{m/K_г}.$$

Теперь выражение (2) можно записать так:

$$\varepsilon_г = pK_г = \frac{0{,}372\sqrt{m}}{\sqrt{K_г}} K_г = 0{,}372\sqrt{mK_г}. \quad (8)$$

Если в формулу (8) вместо граничной кривизны $K_г$ подставить ее выражение (1), то граничная горизонтальная деформация

$$\varepsilon_г = pK_г = \frac{0{,}372\sqrt{m}}{\sqrt{K_г}} K_г = 0{,}01\sqrt{m\,\mathrm{e}^A}. \quad (9)$$

По уравнению (9), отражающему функциональную зависимость граничной горизонтальной деформации от литологического состава подрабатываемой толщи и вынимаемой мощности пласта, получен график, который представлен на рис.1.

На основании формул (4), (6) и (7) можно записать, что

$$\varepsilon_г = \frac{0{,}5a_0 q_0 m N_1 N_2 \cos\alpha}{H_т\left(\mathrm{ctg}\delta_0 + \mathrm{ctg}\psi_3\right)} S''(z_x). \quad (10)$$

Если принять условие полной подработки, другими словами, условие, при котором получают максимальное развитие сдвижения и деформации, то в формуле (10) $N_1 = N_2 = 1$. Среднее значение относительного горизонтального сдвижения в основных угольных бассейнах $a_0 = 0{,}3$, а относительное максимальное оседание $q_0 = 0{,}7$. Для углов падения от 0 до 45° можно принять $\cos\alpha \approx 1$. Среднее максимальное значение функции типовой кривой $S''(z_x) = 8{,}46$,

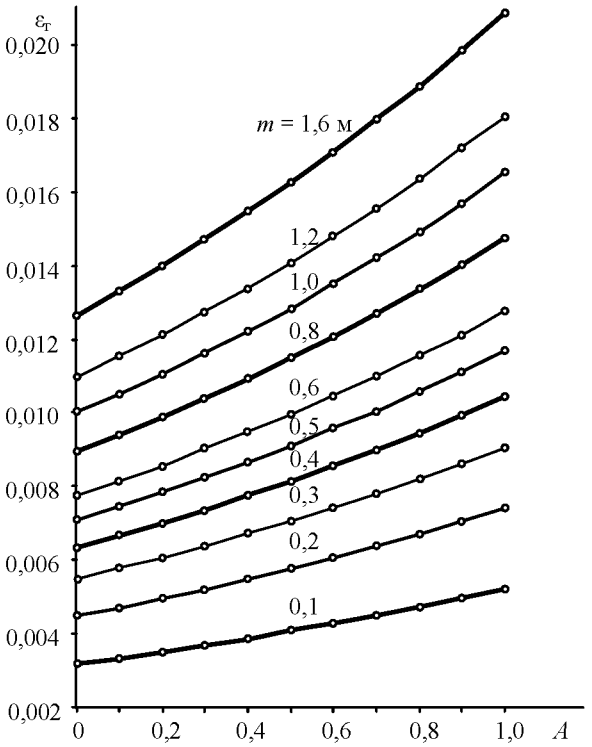


Рис.1. Зависимость граничной горизонтальной деформации кривизны $\varepsilon_г$ от содержания в толще глинистых пород в долях от мощности подрабатываемых пород A

m – вынимаемая мощность пласта или мощность недозакладки

среднее значение $(\mathrm{ctg}\delta_0 + \mathrm{ctg}\psi_3) = 1{,}24$. Подставив в формулу (10) принятые значения, получим

$$\varepsilon_г = \frac{0{,}5 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}7m}{H_т \cdot 1{,}24} 8{,}46 = \frac{0{,}716m}{H_т} \cong \frac{0{,}7m}{H_т},$$

отсюда высота зоны водопроводящих трещин

$$H_т = 0{,}7\frac{m}{\varepsilon_г}. \quad (11)$$

После подстановки в (11) вместо граничной горизонтальной деформации $\varepsilon_г$ ее выражения (9), формула для определения высоты зоны водопроводящих трещин примет следующий вид:

$$H_т = \frac{0{,}7m}{0{,}01\sqrt{m\mathrm{e}^A}} = 70\sqrt{\frac{m}{\mathrm{e}^A}}.$$

Исследованиями процесса сдвижения горных пород Яковлевского месторождения установлено, что в пределах рудно-кристаллической толщи, в которой крепость пород

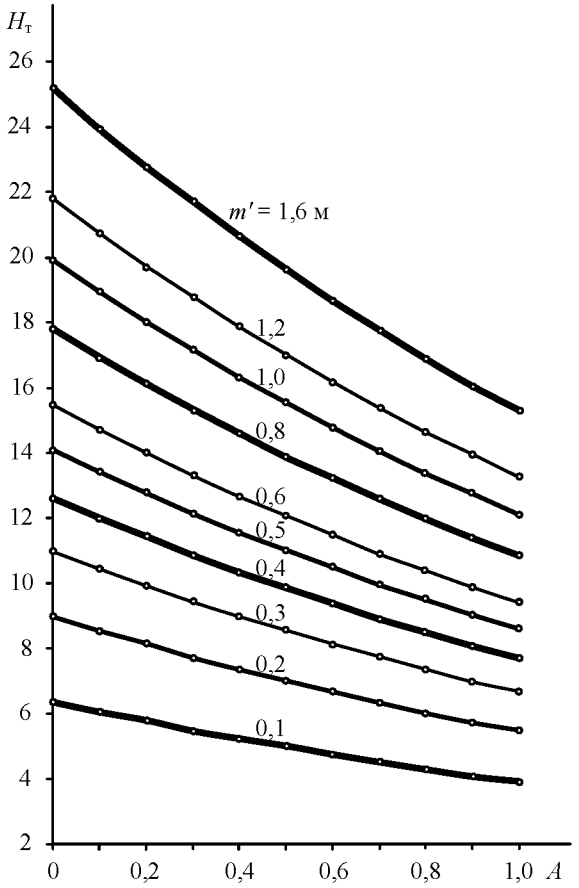


Рис.2. Зависимость высоты зоны водопроводящих трещин $H_т$ от содержания в толще глинистых пород в долях от мощности подрабатываемых пород A

m' – мощность недозакладки

$f = 0,1$ и меньше, сумма котангенсов угловых параметров процесса сдвижения для пород такой крепости $(\mathrm{ctg}\delta_0 + \mathrm{ctg}\psi_3) = 2,052$. Тогда формула (10), определяющая значение граничной горизонтальной деформации, будет иметь следующий вид:

$$\varepsilon_г = \frac{0,433m'}{H_т} = \frac{0,4m'}{H_т}, \qquad (12)$$

где m' – мощность недозакладки выработанного пространства (эффективная мощность).

Значение $\varepsilon_г$, определяемое по формуле (9) для условий угольных месторождений, для Яковлевского рудника определится по формуле

$$\varepsilon_г = 0,02\sqrt{m'e^A}. \qquad (13)$$

Из выражения (12) с учетом (13) для горно-геологических условий Яковлевского месторождения

$$H_т = 0,4\frac{m'}{\varepsilon_г} = \frac{0,4m'}{0,02\sqrt{m'e^A}} = 20\sqrt{\frac{m'}{e^A}}. \qquad (14)$$

График, отражающий зависимость (14) высоты ЗВТ от литологического состава пород толщи и мощности недозакладки, показан на рис.2.

Отработка богатых железных руд Яковлевского месторождения ведется слоями с закладкой выработанного пространства бетонными смесями. Недозакладка в большинстве случаев составляет 0,1-0,4 м. По геологическим данным Яковлевского рудника содержание глинистых пород в долях от подрабатываемой рудно-кристалличеcкой толщи $A \approx 0,3$. Согласно полученной формуле (14), при недозакладке выработанного пространства $m'_1 = 0,1$ м высота ЗВТ $H_{т1} = 5,4$ м, при $m'_2 = 0,2$ м высота $H_{т2} = 7,7$ м, при $m'_3 = 0,3$ м высота $H_{т3} = 9,4$ м, при $m'_4 = 0,4$ м высота $H_{т4} = 10,9$ м. Мощность толщи, оставляемой как защитная между верхней границей очистных работ и каменноугольным водоносным горизонтом, составляет 60-75 м, включая мощность глинистых пород относительного водоупора. Следовательно, при самой большой из рассмотренных мощностей недозакладки $m'_4 = 0,4$ м остаточная мощность ненарушенной техногенными водопроводящими трещинами защитной толщи 49-64 м.

Таким образом, определено значение граничной горизонтальной деформации, что дает возможность изучения развития техногенных водопроводящих трещин на геомеханических моделях, создаваемых методом конечных элементов для конкретных горно-геологических условий.

В алгоритме перехода заложена возможность учета особенностей развития процесса сдвижения горных пород для конкретных условий того или иного месторождения через угловые параметры процесса сдвижения, функционально связанные с крепостью пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасная выемка угля под водными объектами / Б.Я.Гвирцман, Н.Н.Кацнельсон, Е.В.Бошенятов и др. М.: Недра, 1977. 175 с.

2. *Гусев В.Н.* Геомеханика техногенных водопроводящих трещин / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 1999. 156 с.

3. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях / ВНИМИ. СПб, 1998. 291 с.

REFERENCES

1. *Gvirtsman B.J., Kantselson N.N., Boshenatov E.V.* Safe coal excavations underneath water objects. Moscow: Nedra, 1977. 175 p.

2. *Gusev V.N.* Geomechanics of water conducting fractures / Saint Petersburg Mining Institute. Saint Petersburg, 1999. 156 p.

3. Safety regulations for protecting of constructions and water objects from harmful effects of excavations on coal mines / VNIMI. Saint Petersburg, 1998. 291 p.