

Если деформации  $\varepsilon_1$  не превышают допустимых значений  $[\varepsilon_1]_{\text{о.с.}}$  при одноосновном сжатии, а суммарные деформации точки  $F''(e_1, e_3)$  выходят за пределы упругости, то среда окажется разорванной в направлении  $e_3$ . Поскольку продольные деформации  $e_1$  в этом случае меньше предельной величины, теоретические напряжения в зоне  $V$  определяются законом Гука в условиях одноосного сжатия

$$\sigma_1^T = B_{11} \varepsilon_1; \sigma_3^T = 0.$$

Когда же среда выходит за предельную границу растяжения в направлении  $e_3$ , а  $e_1 < 0$ , она окажется разорванной в обоих направлениях. При этом теоретические напряжения будут равны

$$\sigma_1^T = 0; \sigma_3^T = 0.$$

Полученные теоретические напряжения позволяют решить задачу упруго-пластичной деформации трансверсально-изотропной среды методом деформационной теории пластичности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике|. – М.: Недра, 1987. – 221 с.
2. Баклашов И.В. Деформирование и разрушение| горных массивов|. – М.: Недра, 1989. – 271 с.
3. Андреев Б.Н., Сахно А.О. Оценка упруго-пластического деформирования анизотропной породной среды с учетом условий его разрушения // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 7 – С. 10 – 12.

УДК 622.831.3

*Пронский Д.В., Кобзарь Ю.И., Должиков Ю.П., АФГТ ВНУ им. В.Даля*

#### **ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗОНЫ НЕУПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ НА УЧАСТКАХ ИНТЕНСИВНОГО ВОДОПРИТОКА**

При проектировании строительства горных выработок, нагрузка на крепь определяется весом свода расслоившихся, разупрочненных и разбитых на блоки пород. Область распространения таких пород вокруг выработки получила

название зоны неупругих деформаций (ЗНД). Многочисленные натурные исследования и существующие теоретические модели отмечают начало развития ЗНД с момента проведения выработки и, затем, постепенную стабилизацию процесса [1]. Однако, как показывают последние исследования в эксплуатируемых выработках, на участках с повышенным водопритоком процесс формирования ЗНД не стабилизируется, а продолжает активно развиваться. При этом незапроектированное увеличение нагрузки на крепь приводит к значительным деформациям элементов крепи, выходу из строя узлов податливости и вывалообразованиям (рис. 1). Таким образом, задача по изучению динамики формирования ЗНД в условиях обводненных выработок является весьма актуальной.



Рис. 1. Фрагменты аварийных участков выработок  
а) деформация крепи и выход из строя узлов податливости;  
б) куполообразование в результате вывала пород

Целью исследования является разработка геомеханической модели развития установившейся ЗНД во времени под влиянием водопритока в выработку, позволяющей наиболее точно спрогнозировать величину свода раздробленных пород над выработкой и запроектировать рациональные параметры крепления или перекрепления.

Известно, что величина установившейся ЗНД и время стабилизации, главным образом, зависит от физико-механических свойств вмещающих выработку пород. Например, при проведении выработки по песчаным сланцам прочностью 40-60 МПа величина ЗНД составляет 4-6 м, а время ее полного формирования около 60-90 суток. Для глинистых сланцев прочностью 30-40 МПа эти параметры составляют соответственно 6-10 м и 15-30 суток [2]. Однако, на участках выработок, подверженных притокам шахтных вод, происходит активация процесса развития ЗНД, что зачастую приводит к вывалообразованиям в эксплуатируемых выработках. Например, такая ситуация произошла в восточном разведочно-дренажном штреке пласта h8 гор. 880 м шахты «Комсомольская» (рис. 2). Выработка закреплена трехзвенной арочной податливой крепью АП-13,8 из спецпрофиля №27. Расчетная величина установившейся ЗНД и плотность установки рам крепи составляет соответственно 3,9 м и 1 рама/м. Интен-

сивное воздействие водопритока, связанное с зоной дизъюнктивного нарушения привело к увеличению ЗНД на 2,6 м, в результате чего крепь оказалась не работоспособной, и произошел вывал горных пород.

Для описания динамики процесса предлагается геомеханическая модель (рис. 3), согласно которой радиус ЗНД с учетом времени воздействия водопритока определяется по формуле:

$$R_{Lt} = R_L + \Delta R_{Lt}, \text{ м} \quad (1)$$

где  $R_L$  – установившийся средний радиус ЗНД вокруг выработки вне зоны влияния водопритока, м;  $\Delta R_{Lt}$  – приращение к установившемуся среднему радиусу ЗНД после влияния водопритока в течение времени  $\Delta t$ , м.

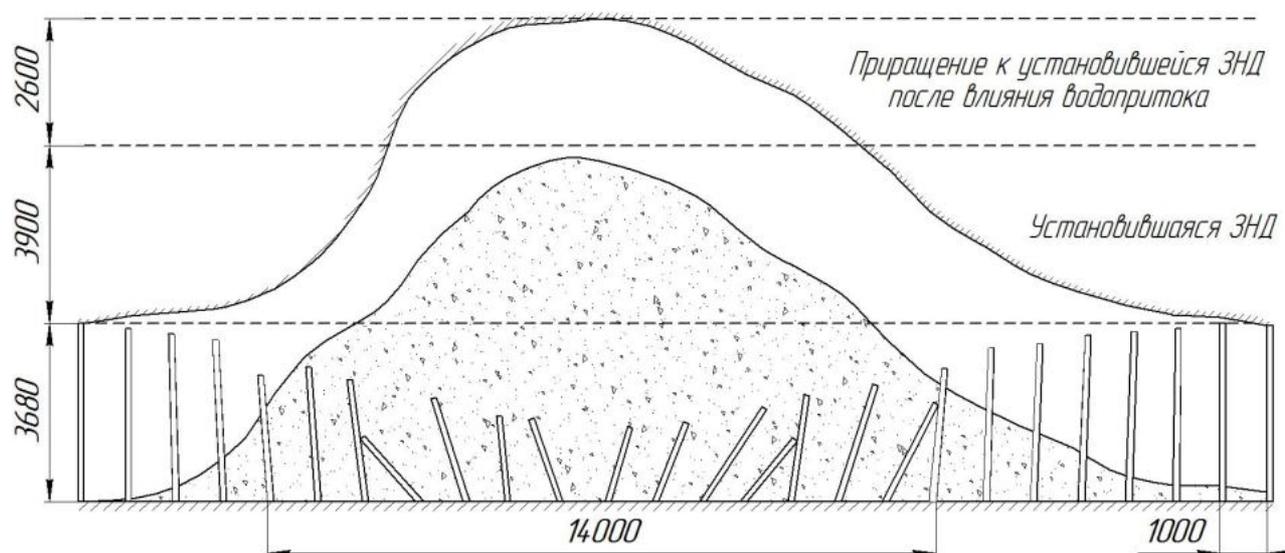


Рис. 2. Схема вывалообразования в восточном разведочно-дренажном штреке

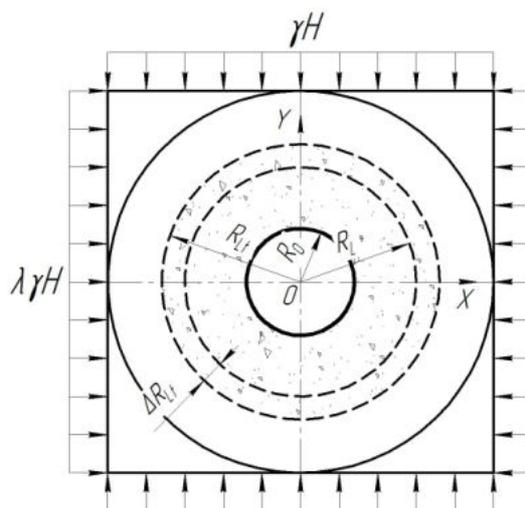


Рис. 3. Динамическая модель ЗНД при обводнении выработки

Многочисленными исследованиями установлена экспоненциальная закономерность изменения величины ЗНД во времени [1]. Также доказано, что динамика дополнительного развития ЗНД под действием водопритоков тоже носит экспоненциальный характер и зависит от интенсивности трещинообразования и горно-геологических условий заложения и эксплуатации выработки. Наиболее адекватно моделирует процесс приращения ЗНД во времени уравнение следующего вида:

$$\Delta R_{L_t} = A \cdot R_L \cdot (1 - e^{-\alpha \cdot \Delta t}), \text{ м} \quad (2)$$

где  $A$  – коэффициент, характеризующий интенсивность развития ЗНД под влиянием водопритока (0,5-1);  $\Delta t$  – приращение ко времени с начала фиксации повышенного водопритока в выработку, мес.;  $\alpha$  – показатель горно-геологических условий заложения и эксплуатации выработки, мес.<sup>-1</sup>.

Параметры, формирующие показатель  $\alpha$ , должны учитывать прочностные свойства и угол падения вмещающих пород, глубину заложения и геометрию выработки, влияние неоднородности массива и других выработок, и, самое главное, величину водопритока и интенсивность деформационных процессов в эксплуатируемой выработке. Расчет комплексного показателя горно-геологических условий заложения и эксплуатации выработки осуществляется по формуле:

$$\alpha = \frac{\gamma \cdot H \cdot k_s \cdot k_g \cdot k_t}{\sigma_c \cdot k_w \cdot k_\alpha \cdot k_c}, \text{ мес.}^{-1} \quad (3)$$

где  $\gamma$  – средневзвешенный удельный вес пород над выработкой, МН/м<sup>3</sup>;

$H$  – глубина заложения выработки, м;

$k_s$  – коэффициент влияния площади поперечного сечения выработки (0,52-0,82 при площади поперечного сечения выработки в черне 9-16 м<sup>2</sup>);

$k_g$  – коэффициент воздействия других выработок (1 – для одиночных выработок; 1,6 – для пересекающихся выработок);

$k_t$  – коэффициент, характеризующий скорость проявлений деформаций крепи в выработке, мес.<sup>-1</sup>;

$$k_t = \frac{N}{t_{\text{набл}}}, \text{ мес.}^{-1} \quad (4)$$

где  $N$  – число отклонений крепи от нормального эксплуатационного состояния (за единицу отклонения принято: поперечный излом межрамных ограждений, выход из строя отдельных частей узлов податливости крепи, деформации верхняка крепи, деформации стоек крепи, полная потеря устойчивости крепи);

$t_{набл}$  – время наблюдения за состоянием крепи после того, как зафиксирован повышенный водоприток в выработку, мес. (принимается равным 1-3 мес.);  
 $\sigma_c$  – предел прочности пород кровли выработки на одноосное сжатие, МПа;  
 $k_w$  – коэффициент, учитывающий характер водопроявления в выработке;

$$k_w = \frac{Q_0 \cdot k_n}{Q_t \cdot k_{mp}}, \quad (5)$$

где  $Q_0$  – средний водоприток в выработку за период от начала проведения выработки до времени формирования установившийся ЗНД вокруг выработки, м<sup>3</sup>/ч (в расчете принимается не менее 1 м<sup>3</sup>/ч);

$Q_t$  – средний водоприток в выработку в течение 1-3 месяцев с начала фиксации повышенного водопритока в выработку, м<sup>3</sup>/ч;

$k_\alpha$  – коэффициент влияния угла падения пород и направления выработки относительно простирания пород (при углах падения пород до 400: 1-0,8 – при проведении выработки по простиранию; 0,7-0,45 – при проведении выработки вкрест простирания; 0,85-0,65 – при проведении выработки под углом к простиранию);

$k_c$  – коэффициент структурного ослабления (0,6-0,7).

Как показывает практический опыт, зоны повышенных водопритоков в выработках обычно приурочены к участкам, осложненным дизъюнктивами. Действующие в угольной промышленности методики расчета параметров крепления выработок [3] принимают во внимание наличие таких зон, однако не учитывают дополнительное разупрочнение пород и развитие ЗНД под влиянием притока подземных вод, как в радиальном направлении, так и вдоль выработки. В этой связи, наиболее целесообразным будет применение предлагаемой геомеханической модели ЗНД, которая позволит более точно рассчитать нагрузку на крепь от вмещающих обводненных пород, предотвратить вывалообразование в выработку, исключить перерасход материалов на крепление и обеспечить длительное и безремонтное поддержание горной выработки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П. Механика горных пород. – К.: Новый друк, 2004. – 400 с.
2. Смородин Г.М., Кобзарь Ю.И., Кипко А.Э., Сергиенко Р.Н. Тектонические нарушения – один из факторов гидроактивизации геомеханических процессов в породных массивах / Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 12. – С. 19-23
3. СОУ 10.1.00185790.011:2007. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони. – К.: Мінвуглепром України, 2007. – 116 с.