

УДК 622.833.52.001.57

**ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫРАБОТКИ В ЗОНЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО НАРУШЕНИЯ****В. В. Янко**

Государственный ВУЗ «Национальный горный университет»

просп. К. Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49027, Украина. E-mail: valentin\_yanko@i.ua

Рассмотрен переход от объемной к плоской физической модели выработки в зоне геологического нарушения с применением искусственного решения. В соответствии с этим принимались во внимание решения плоской упруго-пластической задачи в двух постановках в поперечном и продольном сечении. Поставленные модели в зоне геологического нарушения включают сложно-структурный слоистый массив с характеристиками приближенными к натурным. Проведенные исследования позволяют по последовательности движения проследить изменение напряженно-деформированного состояния массива в окрестности выработки, форму и размер зоны неупругих деформаций, а также величину остаточной прочности материала в пределах зоны по мере неоднородности массива.

**Ключевые слова:** дизъюнктивное нарушение, устойчивость выработки, протяженная горная выработка, искусственное решение, неоднородность массива.

**ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ВИРОБКИ В ЗОНІ ГЕОЛОГІЧНОГО ПОРУШЕННЯ****В. В. Янко**

Державний ВУНЗ «Національний гірничий університет»

просп. К. Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49027, Україна. E-mail: valentin\_yanko@i.ua

Розглянуто перехід від об'ємної до плоскої фізичної моделі виробки в зоні геологічного порушення з застосуванням штучного рішення. Відповідно до цього приймалися до уваги рішення плоскої пружно-пластичної задачі у двох постановках у поперечному та поздовжньому перетині. Поставлені моделі в зоні геологічного порушення включають складно-структурний шаруватий масив із характеристиками наближеними до натурних. Проведені дослідження дозволяють за послідовністю руху від слідкувати зміни напружено-деформованого стану масиву в околицях виробки, форму та розмір зони непружних деформацій, а також величину залишкової міцності матеріалу в межах зони в міру неоднорідності масиву.

**Ключові слова:** диз'юнктивне порушення, стійкість виробки, протяжна гірнична виробка, штучне рішення, неоднорідність масиву.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Подземная горная выработка представляет собой искусственную полость определенного функционального назначения, пройденную тем или иным способом в гетерогенном породном массиве. Ее устойчивость в течении заданного срока службы обеспечивается, прежде всего, возведением крепи соответствующей несущей способности и податливости, которая сложным образом воспринимает нагрузку со стороны массива, в том числе и в зоне дизъюнктивного геологического нарушения, контактируя с породным обнажением. Таким образом, рассматриваемая механическая система состоит из трех основных взаимодействующих в силовых полях подсистем: породного массива, локально ослабленного полостью (выработкой), породного обнажения и крепи, каждая из которых обладает более высоким, по отношению к исходному объекту, уровнем организации.

Достоверность численного алгоритма оценивается степенью соответствия полученного численного решения известным строгим аналитическим решениям аналогичной задачи.

При моделировании геомеханических процессов, протекающих в породном массиве в окрестности выработок глубокого заложения важным является выбор исходных зависимостей, вид которых определяется принятой физической моделью. В зависимости от глубины расположения выработки, прочности вмещающих пород и их структуры, к рассмотрению привлекают четыре типа моделей: упругие, упруго-вязкие, упругопластические и упруго-пластически-вязкие [1]. Область применения упру-

гих и упруго-вязких моделей обычно ограничивается следующим соотношением:

$$H \geq \frac{R_c k_c}{2\gamma}, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – объемный вес пород.

Этот класс моделей изучен достаточно хорошо как в случае однородной изотропной среды, так и для неоднородных анизотропных сред. С точки зрения устойчивости выработок, упругие модели не представляют особого интереса, поскольку в них изначально закладывается условие неразрушения среды, окружающей отверстие (выработку), т.е. устойчивость выработки при таком подходе гарантирована изначально.

Близко к упругим примыкают упруго-вязкие модели, учитывающие релаксационные явления, в частности ползучесть деформаций. При этом подразумевается, что уровень напряжений в приконтурном массиве не превышает 70–80 % от разрушающих.

С увеличением глубины расположения выработки и достижения его определенного критического порога, в окружающих породах возникают трещины как следствие превышения действующих напряжений некоторой критерияльной величины, обычно предела прочности на одноосное сжатие (растяжение). Вокруг выработок образуется зона неупругих деформаций, имеющая, как правило, замкнутую форму. Поведение таких геомеханических систем чаще всего изучают на основе упругопластических и, значительно реже, упруго-пластически-вязких моделей. В последних учитываются изменения во времени напряжений и деформаций. Первые извест-

ные задачи в этом направлении были решены Р. Феннером [2] и А. Лабассом [3]. В них рассматривалась длинная горизонтальная или вертикальная выработка, находящаяся в условиях плоского деформированного состояния. В качестве условия прочности принята прямолинейная огибающая предельных кругов О. Мора. Породный однородный массив обладал сцеплением и углом внутреннего трения. А. Лабассу не удалось в ходе решения задачи учесть массовые силы и в итоге он пришел к симметричной расчетной схеме с коэффициентом бокового распора, равным единице.

Использование линейных критериев существенно упрощает математические процедуры в процессе решения, но неизбежно приводит к линейной зависимости радиуса области неупругих деформаций от глубины расположения выработки, что не подтверждается натурными измерениями. Это обстоятельство послужило причиной для постановки таких упругопластических задач, в которых условие разрушения принималось в виде реальной криволинейной огибающей предельных кругов главных напряжений.

Фактически задача определения НДС в окрестности длинных горизонтальных выработок сводится к установлению компонентов деформации в невесомой пластинке, ослабленной отверстиями заданной формы при известных граничных условиях. Такая постановка позволяет обоснованно использовать подходы, хорошо разработанные в механике деформируемого твердого тела. Существенные успехи в решении упругопластических задач были достигнуты благодаря применению теории функций комплексного переменного.

В последние годы физическая модель породной среды была обобщена на случай структурно неоднородного твердого тела. Одна из первых упругопластических задач для случая специальной неоднородности была решена А.И. Кузнецовым [4].

Исследование процесса перемещения породного

массива в окрестности одиночно-протяженной горизонтальной выработки в породном массиве во время пересечения и после пересечения нарушения в численном виде достаточно корректно можно выполнить только на основе объемной модели. Принимая во внимание то обстоятельство, что рассматриваемая задача должна быть упругопластической, численная модель представляется очень сложной, громоздкой. Интерпретация результатов вычислений при этом чрезвычайно затрудняется. В этой связи предлагается упрощенный подход к решению поставленной задачи, состоящий в следующем. За основу принимаются известные решения плоской упруго-пластической задачи о пересечении разрывного нарушения очистной выработкой (лавой) [5, 6] и об упруго-пластической устойчивости протяженной одиночной горизонтальной выработки [7]. Ищется искусственное решение основной задачи, опирающееся на решения известных задач.

В соответствии с этим, для исследований закономерностей распределения вышеперечисленных факторов приняты наиболее удобные для аналитических исследований модели протяженной горной выработки, пересекающей дизъюнктивное нарушение, приведенные на рис. 1, 2.

Вначале решалась плоская задача напряженно-деформированного состояния для неоднородного массива, ослабленного одиночной выработкой и подверженного гидростатическому сжатию. Расчетная схема представлена на рис. 1, т.е., с учетом слоистости, приближенную к реальной структуре углевещающей толщи.

В данной модели условия на контактах слоев не учитываются.

Размеры области массива в модели принимались равными 100x100 м.

Выработка, размещенная в модели, имеет арочную форму с шириной 4,5 м и высотой 3,2 м (рис. 1). По контуру выработки задавался отпор крепи.

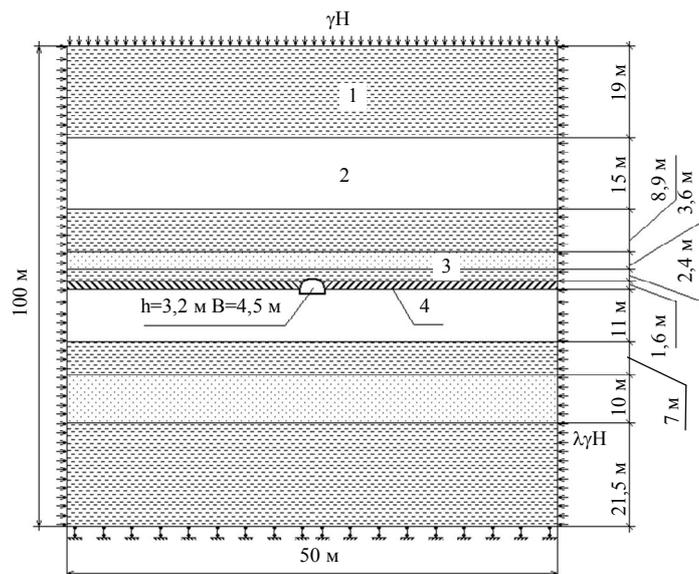


Рисунок 1 – Модель в поперечном сечении протяженной горной выработки, пересекающей дизъюнктивное нарушение: 1 – алевролит; 2 – аргилит; 3 – песчаник; 4 – уголь

Граничные условия имеют вид: вышележащий массив заменен вертикальной распределенной нагрузкой  $\gamma H$ , где  $\gamma$  – средневзвешенный объемный вес вышележающих пород;  $H$  – глубина заложения выработки. По бокам модели задана нагрузка, равная  $\lambda\gamma H$ , где  $\lambda$  – коэффициент бокового распора (в расчетах принималось –  $\lambda = 1$ ).

Для того, чтобы обеспечить геометрическую неизменяемость, по нижней кромке модели задаются граничные условия в виде запрета перемещений в

двух направлениях по горизонтальной и вертикальной оси.

В другой модели выработка моделируется прямоугольным вырезом, расположенным примерно, посередине по отношению к вертикали исследуемого массива, который приближаясь, постепенно пересекает дизъюнктивное геологическое нарушение, как показано на рис. 2 (пунктирные линии). Все остальные параметры предусматриваются без изменений.

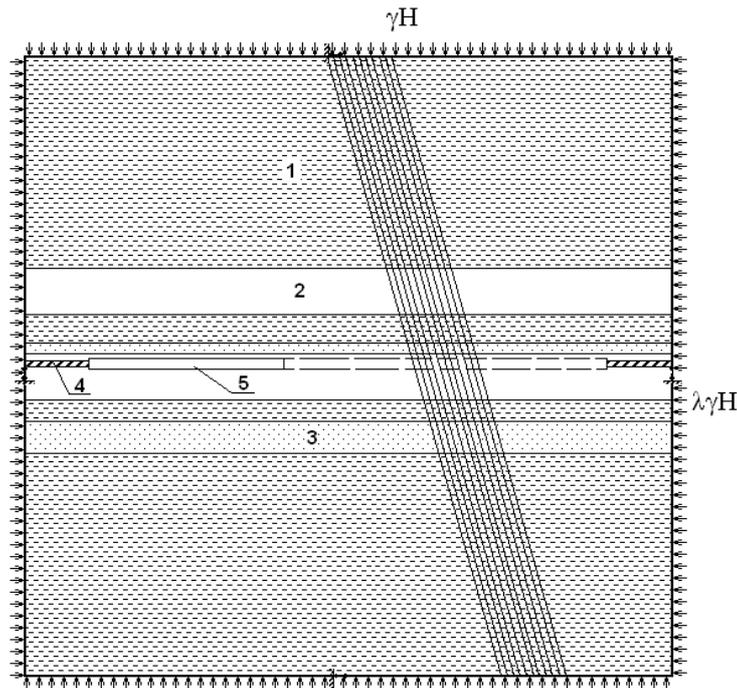


Рисунок 2 – Модель в продольном сечении протяженной горной выработки, пересекающей дизъюнктивное нарушение: 1 – алевролит; 2 – аргиллит; 3 – песчаник; 4 – уголь; 5 – выработка

Параметры, которые варьируются в ходе вычислительного эксперимента, следующие:

- моделируемое структурное нарушение – зона влияния дизъюнктива представляет собой сброс (рис. 2);

- угол наклона дизъюнктива варьируется от  $35^\circ$  до  $90^\circ$ ;

- зона влияния вокруг дизъюнктива разбита на 10 одинаковых по ширине частей, каждая из которой имеет собственные физико-механические характеристики пород;

- предел прочности на одноосное сжатие  $R_c$ , который изменяется в большую сторону по мере отдаления от дизъюнктива.

Как в первой и второй модели вся область разбивалась на области. Разбиение на относительно большое количество областей с разными физико-механическими свойствами обусловлено стремлением свести к минимуму влияние дискретности.

**ВЫВОДЫ.** Такая постановка задачи позволяет по последовательности движения, т. е. по мере приближения и пересечения выработкой геологического нарушения, проследить изменение напряженно-деформированного состояния массива в окрестности выработки, форму и размер зоны неупругих деформаций, а также величину остаточной прочности материала в пределах зоны по мере неоднородности массива.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Механика горных пород: учебник для вузов / А.Н. Шашенко, В.П. Пустовойтенко. – К.: Новый друк, 2004. – 400 с.
2. Феннер Р. Исследование горного давления // Горное давление. – М.: Госгортехиздат, 1961. – С. 5–58.
3. Лабасс А. Давление горных пород в угольных шахтах // Горное давление. – М.: Госгортехиздат, 1961. – С. 59–199.
4. Кузнецов А.И. Плоская деформация неоднородных пластических тел // Вестник Ленингр. уни-

верситета. Серія: математика, механіка, астрономія. – 1958. – № 13. – Вып. 3. – С. 112–131.

5. Шашенко О.М., Тулуб С.Б., Сдвижкова О.О. Деякі задачі статистичної геомеханіки. – К.: Пульсари, 2002. – 304 с.

6. Сдвижкова Е.А., Татаринов А.А., Рубец Г.Т. Анализ статистических моделей распределения нагрузки на крепь горизонтальных протяженных вы-

работок // Науковий вісник НГАУ. – Дніпропетровськ: НГАУ, 1998. – № 1. – С. 40–41.

7. Шашенко А.Н., Гапеев С.Н. Численное решение упругопластической задачи применительно к устойчивости подземных выработок // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ: НГУ, 2007. – № 12. – С. 40–41.

#### PHYSICAL MODEL OF THE MINE WORKING IN A ZONE OF GEOLOGICAL BREACH

**V. Yanko**

State Higher Educational Institution «National Mining University»

prosp. Karl Marx, 19, Dnepropetrovsk, 49027, Ukraine, E-mail: valentin\_yanko@i.ua

The author has considered the transition from the bulk physical model of mine workings to the plane one, using of artificial solutions for the geological fault area. In accordance with this procedure, solutions of the flat elastic-plastic problem were considered in two formulations in the transverse and longitudinal cross-section. The models located in the geological fault area include a hard-layered structure with an array of features close to real. The research performed, via the motion flow, allows observing variations of the stress-deformed state of rocks around the mine working, size and shape of plastic range of stress, and residual strength of material within this area according to the rock heterogeneity.

**Key words:** disjunctive fault, working strength, extended mine working, artificial solution, rock heterogeneity.

#### REFERENCES

1. Shashenko, A.N., Pustovoytenko, V.P. (2004), *Mekhanika gornykh porod* [Rock mechanics], Novyi druk, Kyiv, Ukraine.

2. Fenner, R. (1961), «Investigation of rock pressure», *Gornoe davlenie* [Rock pressure], Gosgortexizdat, Moscow, Russia, pp. 5–58.

3. Labass, A. (1961), «Rock pressure in coal mines», *Gornoe davlenie* [Rock pressure], Gosgortexizdat, pp. 59–199, Moscow, Russia.

4. Kuznetsov, A.I. (1958), «Flat deformation of heterogeneous plastic bodies», *Vestnik Leningradskogo universiteta. Seriya: matematika, mexanika, astronomiya*, no.13, iss. 3, pp. 112–131, Russia.

5. Shashenko, A.N., Tulub, S.B., Sdvigkova, E.E. (2002), *Deyaki zadachi statistichnoji geomexaniki*

[Some problems of statistic geomekhanics] Pulsari, Kyiv, Ukraine.

6. Sdvigkova, E.E., Tatarinov, A.A., Rubec, G.T. (1998), «Analyses of statistic models of load distribution along the support of horizontal extended mine workings», *Naukovyi visnyk NGAU*, no.1, pp. 40–41, Dnipropetrovsk, Ukraine.

7. Shashenko, A.N., Gapeev, S.N. (2007), «Numerical solution of the residual-plastic problem applicable to the strength of underground workings», *Naukovyi visnyk NGAU*, no.12, pp. 40–41, Dnipropetrovsk, Ukraine.

Стаття надійшла 04.07.2013.