

– обнаружением алмазов без признаков древности, свидетельствующих о незначительной дальности их переноса.

Список литературы

1. Калашник А.А. Оценка перспектив алмазоносности Кировоградского рудного района / А.А. Калашник // Наук. вісн. НГУ. – 2007. – №4. – С. 42–50.
2. Терешкова О.А. К вопросу о стратиграфии и генезисе райгородской толщи палеоцена Украинского щита в свете ее алмазоносности / О.А. Терешкова // Наук. вісн. НГУ. – 2010. – № 2. – С. 44–47.
3. Новые данные о генезисе и геологическом строении райгородской толщи Грузской площади Кировоградского района / А.Л. Фалькович, В.Л. Стефанский, А.А. Калашник, О.А. Терешкова [и др.] // Наук. вісн. НГУ. – 2008. – № 7. – С. 78–81.
4. Стефанський В.Л. Літолого-петрографічна характеристика туфітів райгородської товщі палеоцену Грузької площі Кіровоградського району / В.Л. Стефанський, О.А. Терешкова, Л.Ф. Однороженко // Наук. вісн. НГУ. – 2009. – № 10. – С. 58-63.
5. Федоришин Ю.І. Петрографічні особливості кимберлітового (лампроїтового) вулканізму мезо-кайнозойського віку в межах центральної частини Інгульського мегаблоку (Український щит) / Ю. Федоришин, Н. Тріска // Мінерал. зб. – 2008. – № 58, Вип. 1–2. – С. 73–79
6. Минералогия платформенного магматизма (траппы, карбонатиты, кимберлиты) / [С.В.Белов, А.В.Лапин, А.В.Толстов и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 537 с.
7. Никсон П. Алмазоносные вулканокластические кимберлиты в морских осадках мелового возраста / П. Никсон, К. Лехи // Геология и геофизика. 1997. – Т. 38. – Вып. 1. – С. 19–24.
8. Зинчук Н.Н. Постмагматические минералы кимберлитов / Н.Н. Зинчук. – М.: Недра, 2000. – 538 с.
9. Критерии прогнозной оценки территории на твердые полезные ископаемые / [К.А.Марков, Б.М.Михайлов, Н.Н. Предтеченский и др.] – М.: Недра, 1986. – 743 с.

*Рекомендовано до публікації д.геол.н. Приходченком В.Ф.
Надійшла до редакції 11.10.10*

УДК 622.002.56

© А.Э. Кипко

К ОБОСНОВАНИЮ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОТЯЖЕННОЙ ВЫРАБОТКИ В ЗОНЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО НАРУШЕНИЯ

Приведены результаты моделирования геомеханических процессов в зонах геологических нарушений с использованием численных методов и предложена физическая модель протяженной выработки в зоне геологического нарушения.

Приведені результати моделювання геомеханічних процесів в зонах геологічних порушень з використанням чисельних методів і запропонована фізична модель протяженої виробки в зоні геологічного порушення.

There are offered results of geomechanical processes design in areas of geological violations with the use of numeral methods and the physical model of the extensive working in the area of geological violation.

Введение. Моделирование геомеханических процессов при оценке устойчивости выработок, пройденных в зонах обводненных тектонических нарушений, является на сегодняшний день весьма актуальным. Это обстоятельство обусловлено тем, что одним из основных факторов, снижающих скорость проходки шахтных стволов и других капитальных горных выработок, является обводненность горных пород. Существенно усугубляется действие шахтных вод наличием тектонических нарушений. Наиболее эффективным способом повышения устойчивости выработок, пройденных в таких условиях является тампонаж обводненных зон, оптимальная реализация которого невозможна без осуществления моделирования геомеханических процессов, идущих в затампонированном породном массиве.

Постановка задачи исследований. Естественный гетерогенный углепородный массив, содержащий геологические нарушения и циркулирующие подземные воды, является неблагоприятной средой в смысле устойчивости подземных выработок. Исследовать столь сложный объект можно, на сегодняшний день, только методами численного моделирования. Из всех известных методов численного моделирования метод граничных элементов (МГЭ), метод конечных элементов (МКЭ), метод дискретных элементов (МДЭ).

В связи с этим, *целью* настоящей работы является исследование возможностей физического моделирования с использованием численных методов анализа.

Основная часть. Как правило, это задачи в упруго-пластической постановке. Они даже в пластической области хорошо отображают распределение поля напряжений, однако все они, в то же время, плохо описывают поля перемещений. Для того чтобы убрать этот дефект физической модели и соответствующего ей программного продукта, разработаны специальные приемы, такие как, например, энтропийный метод исследования состояния породного массива [1, 2], который предполагает анализ его состояния по обобщенной характеристике – энтропии пород приконтурной области. В работах [1, 2] описаны соответствующие энтропийные критерии разрушения, позволяющие оценивать состояние участка породного массива по изменению параметров внешних и внутренних воздействий.

Так, в работе [3] предложена конечноэлементная реализация алгоритма решения упругопластической задачи в которой рассматривается достаточно длинная выработка круговой формы, находящаяся в толще горных пород на заданной глубине. В таких случаях в сечениях, близких к середине выработки, имеет место плоское деформированное состояние ($\varepsilon_z = 0$), поэтому достаточно рассмотреть двумерную краевую задачу. Дальнейшее описание приведено для численного решения задачи с использованием в модели 8-узловых плоских изопараметрических элементов с девятью точками интегрирования по Гауссу. Достаточно большая область, которая охватывает выработку, разбивается на множество таких элементов. Соответствующим образом выбираются закрепления (фиксируются перемещения в характерных точках), а на верхней и боковой границах области (рассматривается половина выработки в силу симметрии расчетной схемы) задается равномерное давление, которое за определенное коли-

чество шагов n возрастает до величины, соответствующей заданной глубине. Кроме того, на первом шаге учитывается гравитационная нагрузка.

На каждом шаге в соответствии с приращением внешнего давления в узлах конечно-элементного разбиения определяются приращения перемещений, а в точках интегрирования Гаусса каждого конечного элемента – соответствующие приращения деформаций и напряжений. В соответствии с найденными приращениями перемещений рассчитываются текущие координаты узлов, что дает картину деформированной области. Найденные приращения складываются с перемещениями, напряжениями и деформациями, определенными на предыдущем шаге. Затем нормальные компоненты напряжений σ_{ij} и деформаций ε_{ij} разделяются на гидростатическую и девиаторную составляющие. Для каждой из них, так же как и для сдвиговых компонент, определяется, не превышено ли предельное значение по напряжениям (R_c , R_p или R_τ). Если это имеет место, то считается, что данная точка интегрирования Гаусса претерпела преобразование (т.е. вошла в стадию неупругого деформирования) и для нее в дальнейшем реализуется алгоритм, описанный выше – соответствующая компонента (гидростатическая, девиаторная или сдвиговая) «усекается» таким образом, чтобы выйти на кривую деформирования, построенную по формулам из [3]:

$$\gamma = 2 \left(\varepsilon - \frac{\sigma}{E} + \frac{R_\tau}{R_c} \frac{\sigma}{G} \right),$$

$$\tau = \frac{R_\tau}{R_c} \sigma.$$

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{3} \left(\varepsilon - \frac{\sigma}{E} + \frac{R_p}{R_c} \frac{\sigma}{K} \right),$$

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{3} \frac{R_p}{R_c} \frac{\sigma}{K}.$$

$$e_{ij} = \varepsilon - \frac{\sigma}{E} + \frac{R_\tau}{R_c} \frac{\sigma}{G},$$

$$s_{ij} = \frac{R_\tau}{R_c} \sigma.$$

После этого находятся «истинные» значения компонент напряжений R_{ij} и значения «начальных напряжений» $\sigma_{0ij} = R_{ij} - \sigma_{ij}$ (только для тех компонент тензора напряжений, для которых предельное значение было превышено). Эти «начальные напряжения» на следующем шаге решения задачи включаются в вектор узловых нагрузок, и тем самым учитывается, что в данной точке интегрирования Гаусса происходит не чисто упругое деформирование, а деформирование вдоль ниспадающего участка диаграммы. На следующем шаге описанная процедура повторяется, с той разницей, что для тех точек, которые уже претерпели преобразование, предельным значением будет соответствующая компо-

нента R_{ij} , найденная на предыдущем шаге. При этом в формуле (3) следует использовать именно компоненты тензора R_{ij} (точнее, его главные значения).

Если все точки интегрирования Гаусса данного конечного элемента перешли в неупругое состояние, то считается, что весь элемент перешел в неупругое состояние. Набор таких элементов представляет собой зону неупругих деформаций, окружающую выработку. По мере роста внешней нагрузки эта зона расширяется.

Несколько иначе реализуется алгоритм в тех точках Гаусса, в которых наблюдается гидростатическое сжатие ($\bar{\sigma} < 0$). Чтобы избежать накопления ошибок при пошаговом решении, на всех шагах, кроме предпоследнего ($n-1$), полагается, что гидростатическая деформация сжатия $\bar{\varepsilon} = 0$ (что верно для всех точек, не входящих в зону неупругих деформаций (ЗНД)). На $(n-1)$ -м шаге напряжения $\bar{\sigma}$ в зоне неупругих деформаций не «усекаются», и, следовательно, начальные нормальные напряжения σ_{0ij} не определяются. Вместо этого принято, что на этом шаге определены начальные деформации ε_{0ij} , в которых гидростатическая составляющая равна значению, определяемому формулой (2). На последнем шаге n эти начальные деформации включаются в вектор нагрузок глобальной системы уравнений относительно приращений узловых перемещений. После их определения, нахождения полных перемещений u_i , напряжений σ_{ij} , деформаций ε_{ij} и «усечения» соответствующих компонент напряжений в ЗНД до величины R_{ij} решение задачи считается законченным.

Адекватность 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 4 типа моделей: упругие, упруго-вязкие, упругопластические и упруго-пластически-вязкие [4]. Область применения упругих и упруго-вязких моделей обычно ограничивается следующим соотношением:

$$H \geq \frac{R_c k_c}{2\gamma}, \quad (4)$$

где γ – 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, окру-

жающей 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 известные задачи в этом направлении были решены Р. Феннером [5] и А. Лабассом [6]. 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 напряженно-деформированного состояния 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 [7].

Один из подходов к моделированию протяженной горной выработки при пересечении геологических нарушений разрывного типа разработан Янко В.В., в котором предложен метод численного моделирования процесса проведения одиночной протяженной горизонтальной выработки, приближающейся к струк-

турному геологическому нарушению, для условий задачи плоской деформации [8, 9]. В основу этого метода положено использование идеи фиктивной нагрузки, что позволило привести задачу о пересечении нарушения плоской выработкой (лавой) к задаче о пересечении нарушения протяженной выработкой.

Рассматриваемая геомеханическая задача, как развитие идей, заложенных в работах [8, 9] формулируется следующим образом: В слоистом породном массиве с углом наклона разнопрочных литологических разностей φ имеется геологическое разрывное нарушение с шириной зоны влияния $2a$, углом наклона β и амплитудой смещения L . Выработка с величиной полупролета R_0 и углом наклона α пересекает слоистый породный массив и зону геологического нарушения. На глубине $H \geq H_{np}$ вокруг выработки формируется ЗНД, размеры которой зависят от физико-механических характеристик пересекаемых горных пород, в том числе, и затампонирующей зоны геологического нарушения. Общий вид расчетной схемы приведен на рис. 1.

Параметры, которые варьируются в ходе вычислительного эксперимента, следующие:

- угол наклона выработки, $\alpha : 0^{\circ}, 30^{\circ}, 60^{\circ}, 90^{\circ}$;
- угол наклона геологического нарушения, $\varphi : 60^{\circ}, 50^{\circ}, 40^{\circ}$;
- половина ширины зоны влияния геологического нарушения, $L : 5, 10, 20$ м.

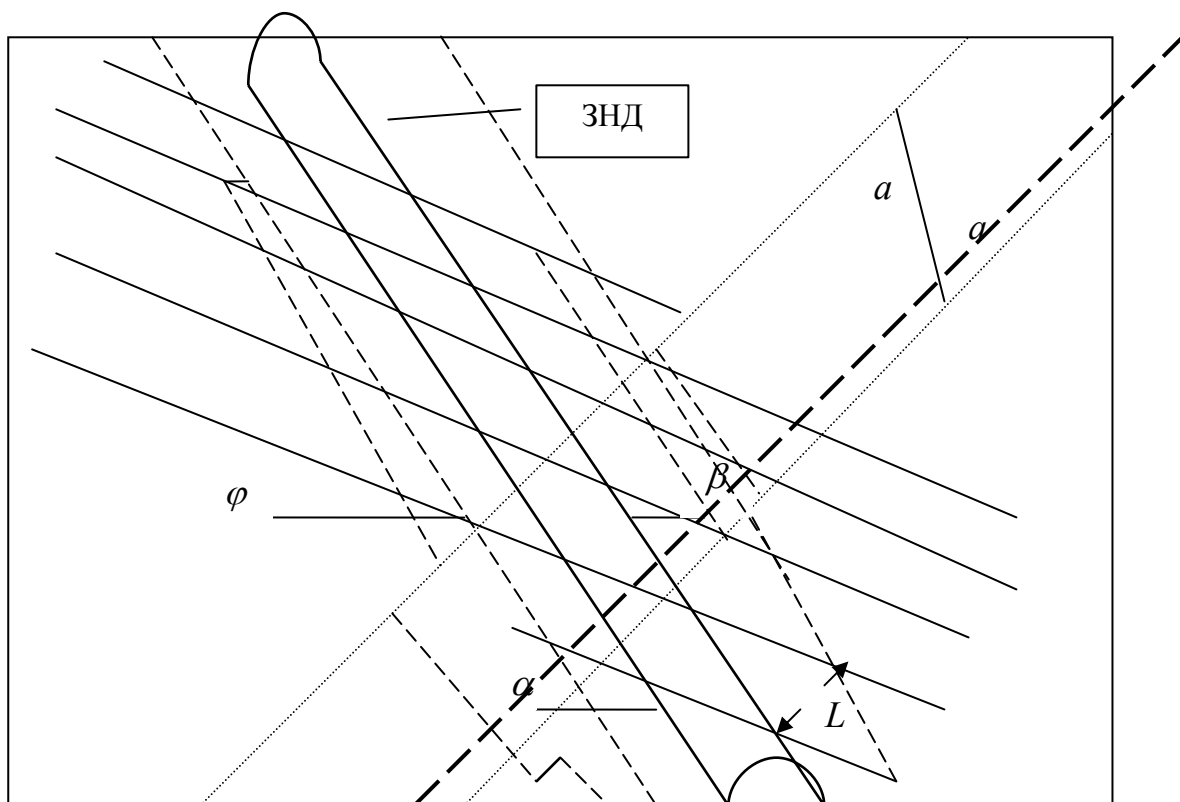


Рис. 1. Схема расчета зоны неупругих деформаций вблизи геологического нарушения: α – угол наклона выработки; φ – угол наклона слоев пород; β – угол наклона оси разрывного нарушения; a – полуширина зоны геологических нарушений; L – амплитуда разрывного смещения пород.

Вывод. На основе использования метода численного моделирования предложена модель произвольно ориентированной в пространстве протяженной горной выработки пересекающей геологическое нарушение разрывного типа. Предложенная модель может быть использована при решении расчетных задач проходки и поддержания выработок пройденных в условиях обводненных тектонически нарушенных горных пород.

Список литературы

1. Шашенко А.Н., Мещанинов С.К. Энтропийный метод контроля, управления и прогнозирования надежности функционирования очистного забоя // Науковий вісник НГУ. – 2008. – №5. – С. 17–21.
2. Мещанинов С.К. К разработке алгоритма расчета устойчивости приконтурной области массива, вмещающего высоконагруженную лаву // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2008. – №1. – С. 13–19.
3. Крауч С. Старфилд А. Методы граничных элементов в механике твердого тела. – М.: Мир, 1987. – 328 с.
4. Шашенко А.Н. Механика горных пород: учебник для вузов / А.Н. Шашенко, В.П. Пустовойтенко. – К.: Новий друк, 2004. – 400 с.
5. Феннер Р. Исследование горного давления // Горное давление.– М.: Госгортехиздат, 1961.– С. 5–58.
6. Лабасс А. Давление горных пород в угольных шахтах // Горное давление.– М.: Госгортехиздат, 1961. – С. 59–199.
7. Кузнецов А.И. Плоская деформация неоднородных пластических тел // Вестник Ленингр. ун-та. Серия: математика, механика, астрономия. – 1958.– №13. – Вып. 3. – 112–131.
8. Шашенко А.Н., А.В. Солодянкин, С.Н. Гапеев [и др.] Компьютерное моделирование геомеханических процессов // Новые технические решения при строительстве выработок, тампонаже и закреплении горных пород: Монография [Под общ. ред. Должикова П.Н., Рябичева В.Д.]. – Донецк: «Норд-Пресс», 2006. – С. 149–160.
9. Гапеев С.Н., Шашенко А.Н., Янко В.И. Численное моделирование процесса потери упругопластической устойчивости породного массива в окрестности одиночной выработки // Сб. науч. тр. НГУ. – Днепропетровск: РИК НГУ. – 2002. – № 15, Т. 1. – С. 29–34.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Роєнком А.М.
Надійшла до редакції 28.10.10*

УДК 550.428:553.93

© В.В. Ишков

ВАНАДИЙ, ХРОМ И НИКЕЛЬ В УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ ДОНЕЦКО-МАКЕЕВСКОГО ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА ДОНБАССА

В статье рассмотрены особенности распределения V, Cr и Ni в угольных пластах Донецко-Макеевского геолого-промышленного района. Установлен характер его распределения, выполнен расчет средневзвешенных концентраций в углях основных пластов и свит, выявлен состав типоморфной геохимической ассоциации Pb с другими токсичными и потенциальными элементами в углях района.