

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРОДНОГО МАССИВА, СОДЕРЖАЩЕГО ОДИНОЧНУЮ ВЫРАБОТКУ

*А.Н. Шашенко, Н.В. Хозяйкина, А.О. Логунова, Государственное высшее учебное заведение
«Национальный горный университет», Украина*

Разработана и верифицирована численная геомеханическая модель для одиночной выработки, расположенной в гетерогенном (слоистом) породном массиве. В качестве инструмента исследований принят программный продукт Phase 2 канадской компании Rockscience. Разрушение горных пород оценивалось на основе критерия Хоека-Брауна. Получена картина распределения напряжений и деформаций в окрестности одиночной выработки для горно-геологических условий шахты ПСП «Шахта Степная» ЧАО «Павлоградуголь». Рассмотрены случаи отсутствия и наличия пучения в выработке.

Особенности геомеханических процессов, происходящих в окрестности сложной технической системы «выработка-целик-массив», поэтапно создаваемой в гетерогенном (слоистом) породном массиве, отчетливо проявляются только на контуре породных обнажений в виде перемещений. Каков же характер деформаций в глубине массива можно лишь предполагать, контролируя отчасти эти предположения результатами смещений глубинных реперов. При этом выбор в качестве отсчета неподвижной (нулевой точки) в породном массиве остается весьма спорным. В этой связи разработка и обоснование численных моделей, позволяющих оценить напряженно-деформированное состояние неоднородного породного массива в окрестности развивающейся во времени и пространстве системы выработок является актуальной научно-технической задачей и целью настоящих исследований.

В слоистом породном массиве с плотностью слоев γ_i на глубине H от поверхности пройдена длинная горизонтальная выработка арочной формы шириной $2R_0$ и высотой h . Выработка (штрек) пройдена по пласту угля с нижней подрывкой.

Расположение слоев горизонтальное, их мощность и физико-механические свойства соответствуют горно-геологическим условиям шахты ПСП «Шахта Степная» ЧАО «Павлоградуголь». В выработке установлена арочная податливая металлическая крепь.

Принимая во внимание наличие влажных слабометаморфизованных пород с большим количеством глинистых частиц, распределение напряжений в нетронутом породном массиве принято гидростатическим, то есть коэффициент бокового распора $\lambda = 1$. Глубина расположения выработки такова, что вокруг нее образуется зона неупругих деформаций (ЗНД). Необходимо определить параметры напряженно-деформированного состояния (НДС) в окрестности выработки: компоненты напряжений, перемещений и размеры ЗНД.

Принимая во внимание сложность поставленной задачи (форма выработки, структура вмещающего породного массива), ее решение возможно только численным методом. В качестве инструмента исследований принят программный продукт Phase 2 канадской компании Rockscience. Точечным критерием разрушения пород служит соотношение Хоека-Брауна [1].

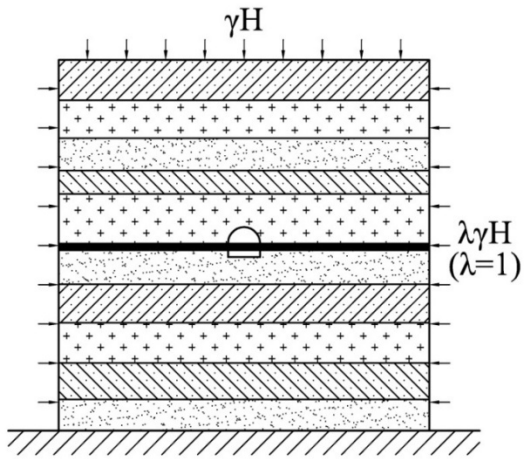
Расчетная схема к решению задачи плоской деформации приведена на рис. 1.

На рис. 2 приведено распределение радикальных (σ_r) и тангенциальных (σ_θ) напряжений в окрестности выработки, расположенной в однородном породном массиве с усредненными (средневзвешенными) физико-механическими свойствами:

$$\overline{E}, \overline{\mu}, \overline{R_c} = \frac{\sum_i^n (E_i, \mu_i, R_{c_i}) h_i}{\sum h_i} \quad (1)$$

Здесь \overline{E} , $\overline{\mu}$, $\overline{R_c}$ – соответственно средневзвешенные значения модуля упругости, коэффициента Пуассона и предела прочности на одноосное сжатие однородного породного массива, h_i – мощность i -го породного слоя, n – количество слоев.

a)



б)

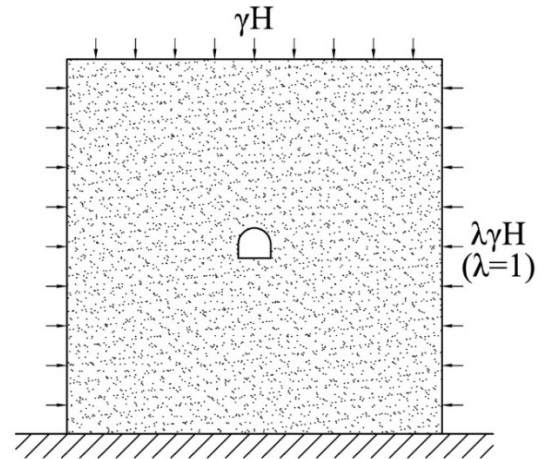
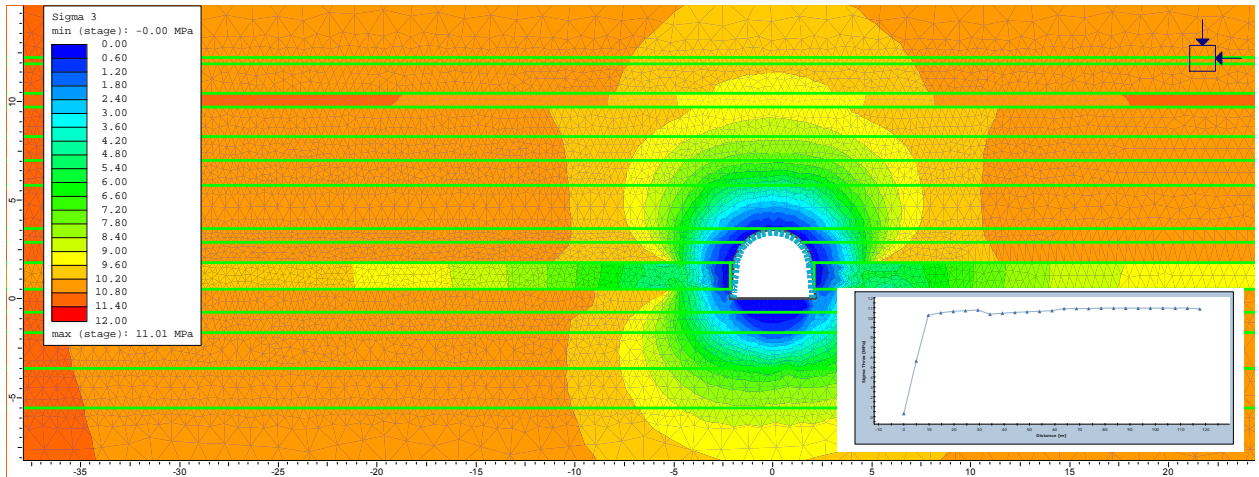
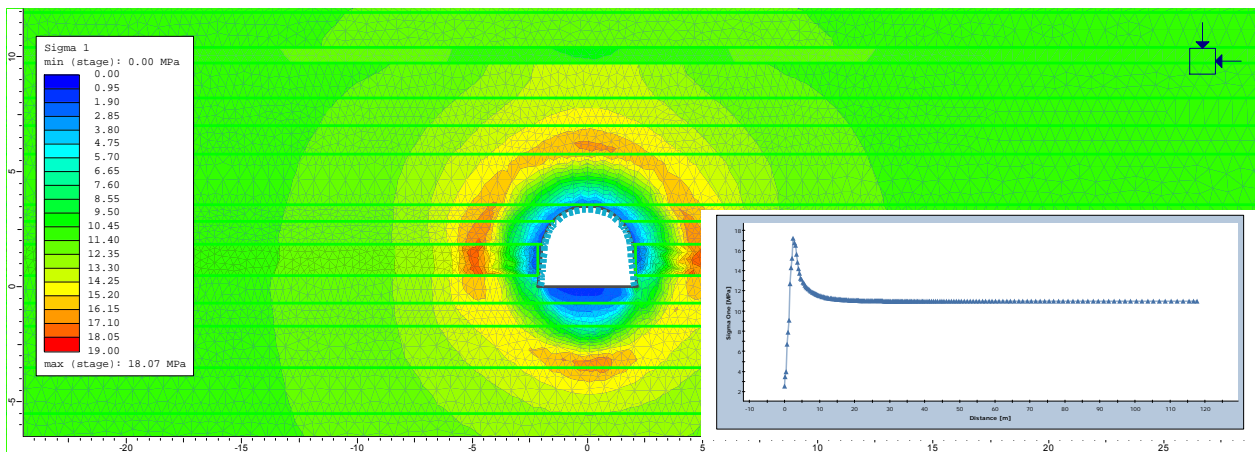


Рис. 1. Расчетная схема к решению упругопластической задачи о напряженно-деформированном состоянии породного массива в окрестности длинной горизонтальной выработки: а) однородная и б) неоднородная модели

a)



б)



в)

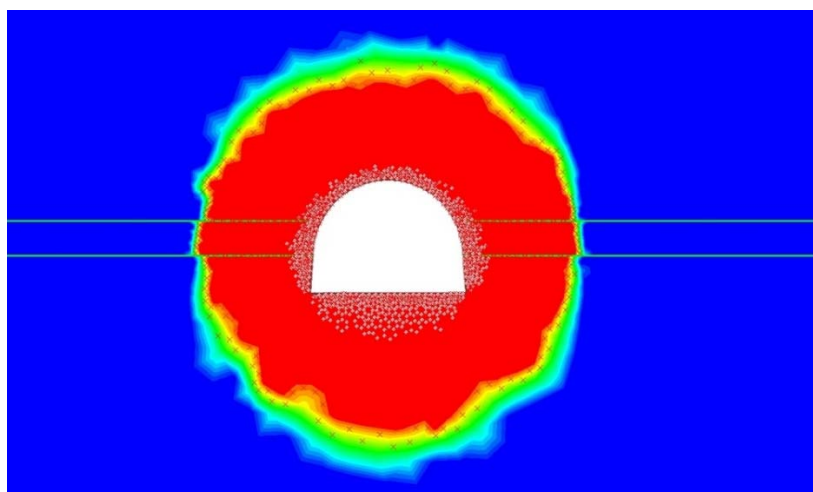


Рис. 2. Распределение радиальных (а), тангенциальных (б) напряжений и форма зоны неупругих деформаций (в)

Из рис. 2 следует, что распределение напряжений в окрестности выработки практически точно соответствует решению упругопластической задачи [2]. Расхождение с точным решением составляет 3-5 %, что вызвано отличающейся формой выработки от круглой. Вокруг выработки сформирована зона неупругих деформаций примерно кругового очертания с радиусом, $\approx 4R_0$. Перемещения на контуре выработки составляют 0,3-0,5 м. Такая величина перемещений ($U > 0,3$ м) свидетельствуют о возможности пучения пород почвы выработки. Проверка на возможность пучения пород почвы по критерию А.Н. Шашенко [3]

$$\varepsilon_v r_L^2 \ln^2 r_L - 2 = 0 \quad (2)$$

показала, что он не выполняется, то есть в выработке будет иметь место вспучивания основания и это необходимо учесть впоследствии при численном моделировании.

Таким образом, начальная стадия верификации геомеханической модели выполнена.

Из рис. 3 следует, что картина перемещений симметрична относительно вертикальной оси. Перемещения на контуре выработки также симметричны и составляют, примерно, 0,3-0,5 м. При этом форма ЗНД для гетерогенной однородной модели существенно отличается от однородной.

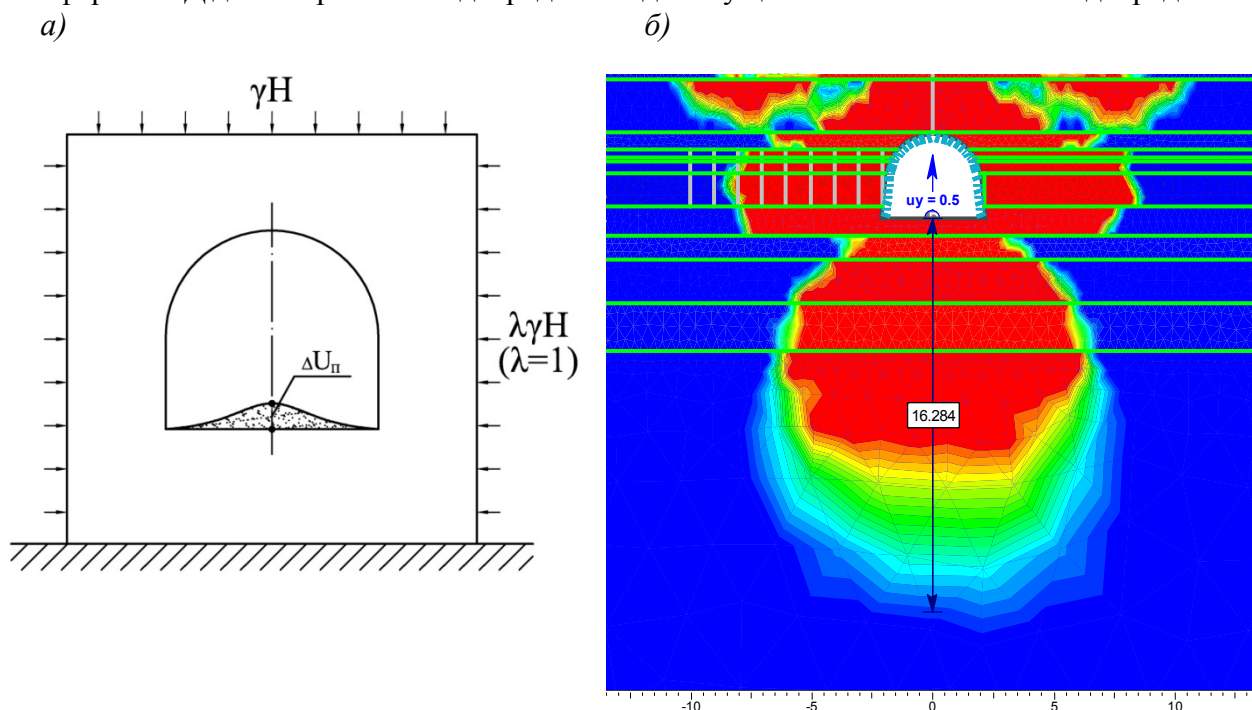
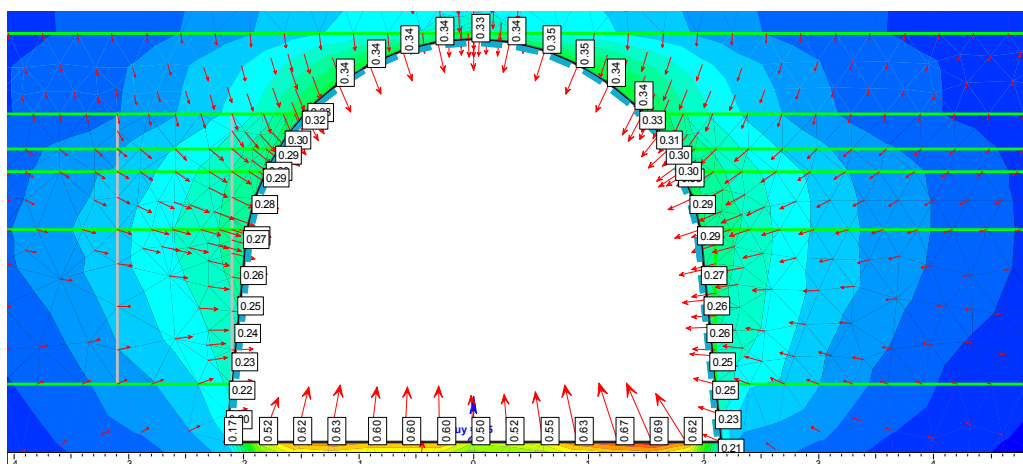


Рис. 4. Методика имитации процесса вспучивания пород почвы в выработке (а) и результат численного моделирования (б)

На рис. 4 показаны векторы перемещений в окрестности выработки для гетерогенной модели и форма зоны неупругих деформаций.

а)



б)

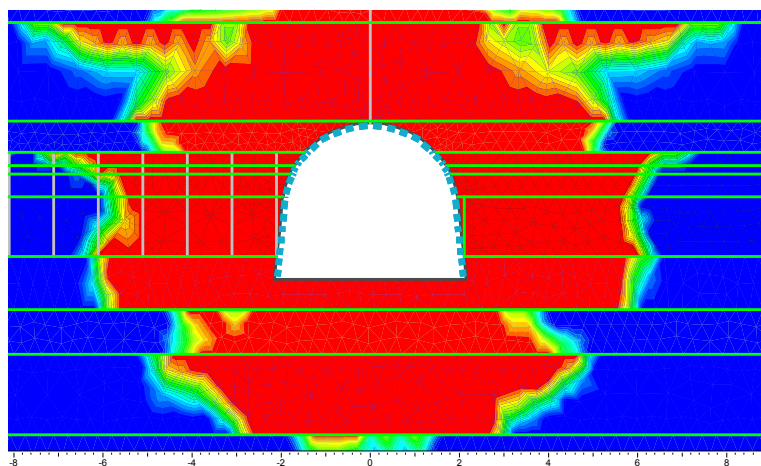


Рис. 3. Векторы перемещений (а) и форма ЗНД в окрестности выработки на гетерогенной модели

По методике, разработанной в работах [3, 4, 5] А.Н. Шашенко, С.Н. Гапеева и А.Ю. Король, была выполнена имитация процесса вспучивания пород почвы выработки путем одномоментного поднятия центральной точки основания (рис. 4). При этом форма ЗНД со стороны почвы выработки существенно (в 6-8 раз) увеличилась, перемещения почвы составили 0,5-0,7 м, а перемещения контура в боках и кровле сохранились на уровне 0,3 м. Такая особенность эволюции перемещений характерна для процесса вспучивания пород почвы, который рассматривается как потеря упругопластической устойчивости геомеханической системы.

Сравнение полученных параметров геомеханического состояния породного массива в окрестности выработки с точностью 0,9 соответствует тем параметрам, которые были измерены в 161-ом бортовом штреке ПСП «Шахта Степная» ЧАО «Павлоградуголь» [6, 7].

Выводы

1. Верифицирована геомеханическая модель одиночной пластовой выработки, пройденной в слоистом массиве с параметрами, соответствующими горно-геологическим условиям ПСП «Шахта Степная ЧАО «Павлоградуголь».

2. Разработанная модель является основной для последующего геомеханического анализа напряженно-деформированного состояния в окрестности технической системы «выработка-целик-лава».

Список литературы

1. Hoek E. Practical Rock Engineering. London: Institution of Mining and Metallurgy, 2002. pp. 325.
2. Шашенко А.Н. Геомеханика / А.Н. Шашенко, В.П. Пустовойтенко, Е.А. Сдвижкова Учебник для ВУЗов. – К.: Новий друк, 2016. – 528 с.
3. Шашенко, А.Н. Управление устойчивостью протяженных выработок глубоких шахт / А.Н. Шашенко, А.Н. Солодянкин, А.В. Мартовицкий [Монография]. – Днепропетровск: «ЛизуновПрес», 2012. – 384 с.
4. Шашенко А.Н. Деформируемость и прочность массивов горных пород: Монография / А.Н. Шашенко, Е.А. Сдвижкова, С.Н. Гапеев. – Днепропетровск: НГУ, 2008. – 224 с.
5. Шашенко А.Н. Закономерности потери устойчивости пород подошвы в подготовительных выработках / А.Н. Шашенко А.Н., Н.В. Хозяйкина, А.Ю. Король // Ежемесячный научно-технический, производственный и экономический журнал «Уголь Украины». – Издатель: ГП «Институт» УкрНИИПроект». - № 10. – 2014. – С. 3-7.
6. Shashenko O., Kovrov O., Rakishev B., Mashanov A. On the issue of analytical and empirical criteria application for rock failure assessment // Theoretical and Practical Solutions of Mineral resources Mining 2015 (A Balkema book). – D.: Litograf, 2015. – p. 59-65.
7. Пивняк Г.Г. Геомеханика струговой лавы / Г.Г. Пивняк, А.Н. Шашенко, Е.А. Сдвижкова, Смирнов А.В., Мартовицкий А.В., Н.С. Ерёмин [Монография]. – Днепропетровск: ООО «ЛизуновПресс», 2013. – 320 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МЕТОДИКИ ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА ИМПУЛЬСА ВЗРЫВНОЙ ВОЛНЫ НА БАЛЛИСТИЧЕСКОМ МАЯТНИКЕ

А.В. Чернай, В.В. Соболев, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Украина

Н.Н. Налисько, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», Украина

Проведена экспериментальная проверка методики численного расчета импульса взрывной волны передаваемого взрывозащитному сооружению. В лабораторном эксперименте использовалась технология лазерного инициирования взрывчатого вещества и методика измерения импульсов давления продуктов взрыва на баллистическом маятнике. Для определения механического импульса разработана методика проведения эксперимента в которой аналитическим путем получена функциональная взаимосвязь между величиной импульса и углом отклонения, а также характеристиками реального маятника.

Актуальность работы. Один из основных факторов силового воздействия ударной воздушной волны (УВВ) на взрывозащитные сооружения является механический импульс нагружения. Исследование и расчет взрывного импульса, передаваемого взрывозащитному сооружению или строительной конструкции относится к числу наиболее сложных задач газодинамики. Быстрое изменение параметров процесса во времени, наличие множественных волновых фронтов, отсутствие универсальных приборов или датчиков, непосредственно измеряющих взрывные импульсы, значительно затрудняет исследования и вынуждает прибегать в теоретических расчетах к ряду упрощающих предположений и гипотез, подлежащих экспериментальной проверке [1, 2].

Значительные экспериментальные натурные исследования параметров ударных воздушных волн, образованных массовыми взрывами, были проведены в условиях рудных шахт Кривбасса под руководством проф. А.А. Гурина. В исследованиях оценка импульса силового воздействия воздушных ударных волн на устройства их гашения рассчитывалась по