

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Донецький національний технічний університет»

ВІСТІ
ДОНЕЦЬКОГО ГІРНИЧОГО ІНСТИТУТУ

Всеукраїнський науково-технічний
Журнал гірничого профілю
Виходить 2 рази на рік
Засновано у 1995 році

1'2008

Донецьк - 2008

УДК 622.281.74

ШАШЕНКО А.Н., ГАПЕЕВ С.Н., СОЛОДЯНКИН А.В., ПУСТОВОЙТЕНКО В.Н.
(НГУ, г. Днепропетровск)

ИССЛЕДОВАНИЕ БОЛЬШИХ ДЕФОРМАЦИЙ В ПОЧВЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Приведены результаты лабораторного и численного моделирования геомеханических процессов в условиях приводящих к вспучиванию пород почвы выработок. Качественные и количественные результаты моделирования сопоставлены с данными шахтных исследований.

Введение

Многочисленные шахтные исследования показывают, что геомеханические процессы в окрестности выработки по мере удаления забоя развиваются одинаково. При этом имеются три отличающиеся уровня напряженно-деформированного состояния.

Первый уровень – это уровень упругих деформаций. Ему соответствует наибольшая потенциальная энергия системы «массив-выработка-крепь» и наименьшие перемещения контура выработки. На втором уровне значительная часть потенциальной энергии системы расходуется на разрыв структурных связей, разупрочнение и разрыхление приконтурного массива. При этом вокруг выработки образуется область пластических (неупругих) деформаций (ЗНД) таких размеров, которые обеспечивают статическое равновесие системы «массив-выработка-крепь».

В силу влияния ряда факторов (недостаточная несущая способность крепи, снижение прочности приконтурных пород из-за процессов выветривания и др.) может возникнуть незатухающий процесс развития деформаций в ЗНД. Если крепь или принятые меры охраны выработки не позволяют стабилизировать развитие деформаций, то при достижении некоторых критических размеров ЗНД происходит относительно быстрый переход системы со второго энергетического состояния на третий, характеризующийся наличием аномально больших перемещений на контуре выработки - вспучиванием пород почвы (уровень 3). Этот процесс называется потерей упругопластической устойчивости массива.

Аналитические исследования

В [1] поставлена и решена задача о потере упругопластической устойчивости приконтурного массива, приводящей к вспучиванию пород почвы (рис. 1). В результате получен критерий вспучивания в виде:

$$\bar{\varepsilon}_v r_L^{*2} \ln^2 r_L^* + 2 = 0 \quad (1)$$

где $\bar{\varepsilon}_v$ – среднее значение относительного увеличения объема пород в пределах ЗНД, r_L^* – относительный критический радиус ЗНД.

Выражение (1) определяет возможность перехода породного массива вокруг выработки из одного устойчивого равновесного состояния в другое, сопровождающееся вспучиванием пород почвы. Физическая суть его состоит в следующем. В процессе неупругого расширения пород в замкнутом объеме с жесткими внеш-

ними размерами ($r = r_L$) происходит перемещение внутреннего контура ($r = l$). До тех пор, пока эти перемещения не достигнут некоторой критической величины, внутренний контур сохраняет первоначальную форму. При достижении же критических значений перемещений происходит резкое искажение формы внутренней границы, сопровождающееся уменьшением уровня потенциальной энергии в приконтурной зоне и большими перемещениями на контуре выработки. В случае если выражение (1) меньше нуля, то в выработке произойдет вспучивание почвы. Связь между величинами, входящими в (1), аппроксимируется выражением:

$$r_L^* = 1 + \bar{\varepsilon}_v^{-0.4} \quad (2).$$

Лабораторные исследования закономерностей деформирования породного массива в окрестности выработки



Рис. 2. Стенд для плоского моделирования зоны сдвижения пород в основании выработки. Исходя из этого, целый ряд способов борьбы с пучением оказался неэффективным. Между тем, ряд результатов исследований свидетельствует об иных параметрах.

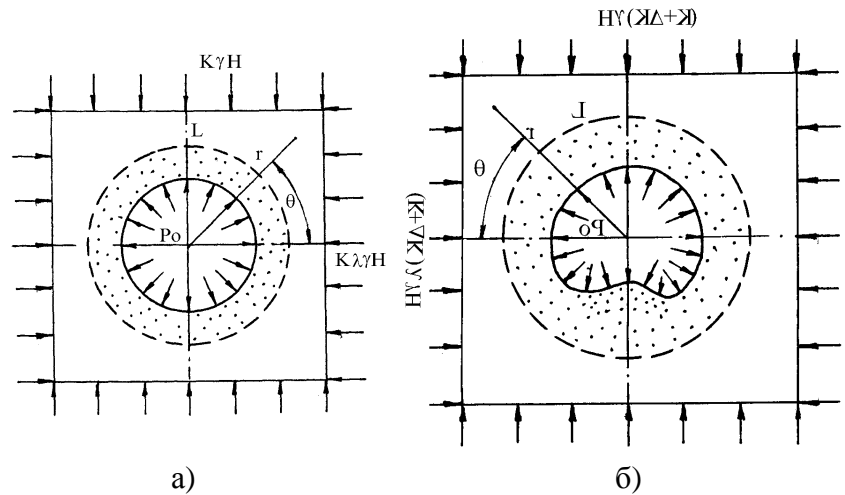


Рис. 1. Расчетная схема к решению задачи о потере упруго-пластического равновесия приконтурного массива: а – исходное состояние системы; б – возмущенное состояние.

Эффективность тех или иных мер борьбы с пучением пород во многом зависит от того, насколько принятые модели соответствуют реальной природе процесса. Важные результаты можно получить с помощью различных методов моделирования.

В основе большинства представлений о механизме пучения лежит предпосылка о незначительной глубине

Так, радиометрическое зондирование толщи пород в почве выработок [2, 3], показало, что при пучении в конечной стадии захватываются слои на глубину более 4 м. Лабораторные исследования [3] свидетельствуют, что в процесс пучения включаются слои пород, глубина расположения которых в 2-3 раза превышает радиус зоны нарушенных пород в кровле выработок.

Отмеченные особенности деформирования моделей хорошо согласуются с физической моделью пучения, предложенной А.Н. Шашенко [1].

Изучение характера деформирования породного массива вокруг выработки выполнялись на специальном плоском стенде кафедры строительства и геомеханики НГУ (рис. 2).

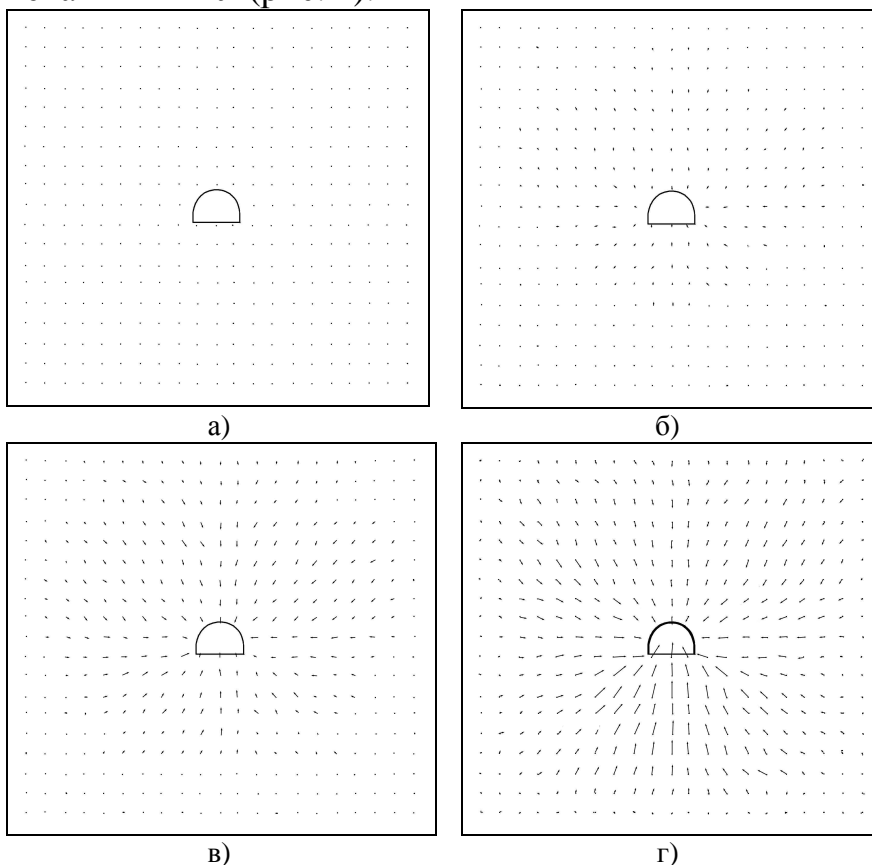


Рис. 4. Векторы перемещений угловых точек мерной сетки однородной модели при нагрузках: а) 0,00 кН, б) 2,61 кН (зона А), в) 4,56 кН г) 7,04 кН (зона Б)

нагрузки dP/du соответствуют очень большие перемещения почвы выработки u .

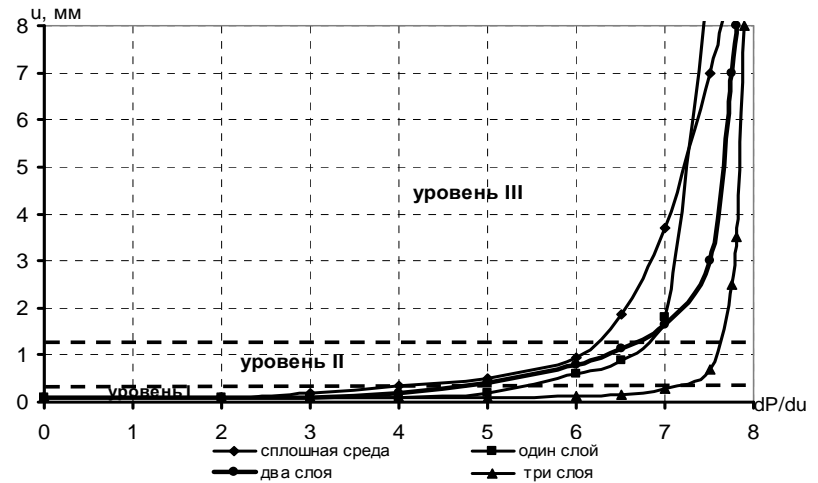


Рис. 3. Зависимость величины поднятия почвы от интенсивности внешней нагрузки

Исследование физических моделей подтвердило наличие указанных выше энергетических переходных процессов. На рис. 3 показаны результаты физического моделирования. На графиках имеется три главных уровня: уровень I – упругое деформирование; уровень II – начало процесса разрушения породного массива вокруг выработки; уровень III – потеря упругопластической устойчивости массива. Третий уровень характеризуется тем, что не-большой величине приращения внешней

Такой характер изменения интенсивности поднятия почвы качественно согласуется с полученной при проведении этих же исследований векторной картиной смещений угловых точек мерной сетки моделей (рис. 4), показывающей, что в процессе пучения основные изменения и деформации происходят именно в почве выработки и затрагивают более глубокие слои, в сравнении с кровлей.

Численное моделирование закономерностей деформирования породного массива в окрестности выработки

Численное моделирование выполнено с использованием метода конечных элементов (МКЭ), обладающего рядом достоинств при решении нелинейных задач, хорошей разработанностью его математического аппарата, широким распространением при решении задач геомеханики. Результаты, полученные при использовании МКЭ, обладают представительностью и в большинстве случаев достаточной точностью.

В основу решения задачи о потере устойчивости пород почвы в протяженных выработках положен упрощенный подход Ишлинского - Лейбензон [4, 5] к исследованию состояния механической системы при потере устойчивости равновесия. Суть его заключается в том, что параметр нагружения вводится только в граничные условия, которые учитывают изменение формы границы при вспучивании. Это существенно упрощает решение.

Для исследования развития невозмущенного процесса в МКЭ использован феноменологический подход. Его основой является рассмотрение падающего участка полной диаграммы деформирования как геометрического места точек предельных упругих состояний горной породы при соответствующем уровне достигнутых деформаций (рис. 5). В ходе решения дополнительные (неупругие)

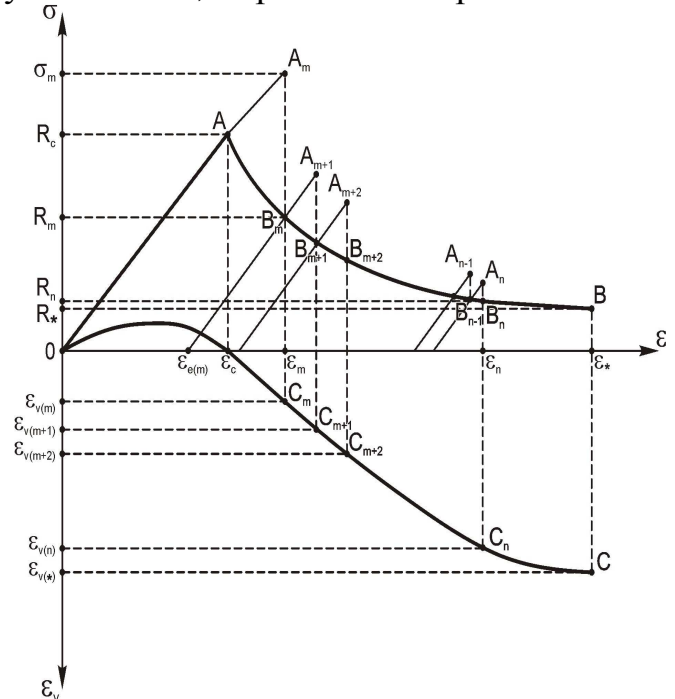


Рис. 5. Модель пошагового решения, учитывающего объемные деформации горной породы за пределом прочности

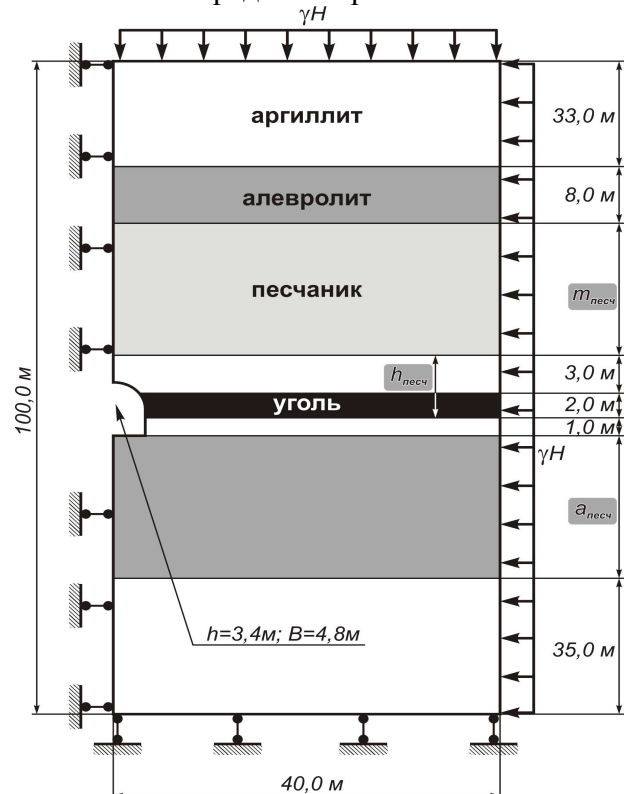


Рис. 6. Обобщенная расчетная схема

деформации суммируются и на последнем шаге решения получаются перемещения на контуре моделируемой выработки, хорошо отражающие картину перемещений на контуре реальной выработки.

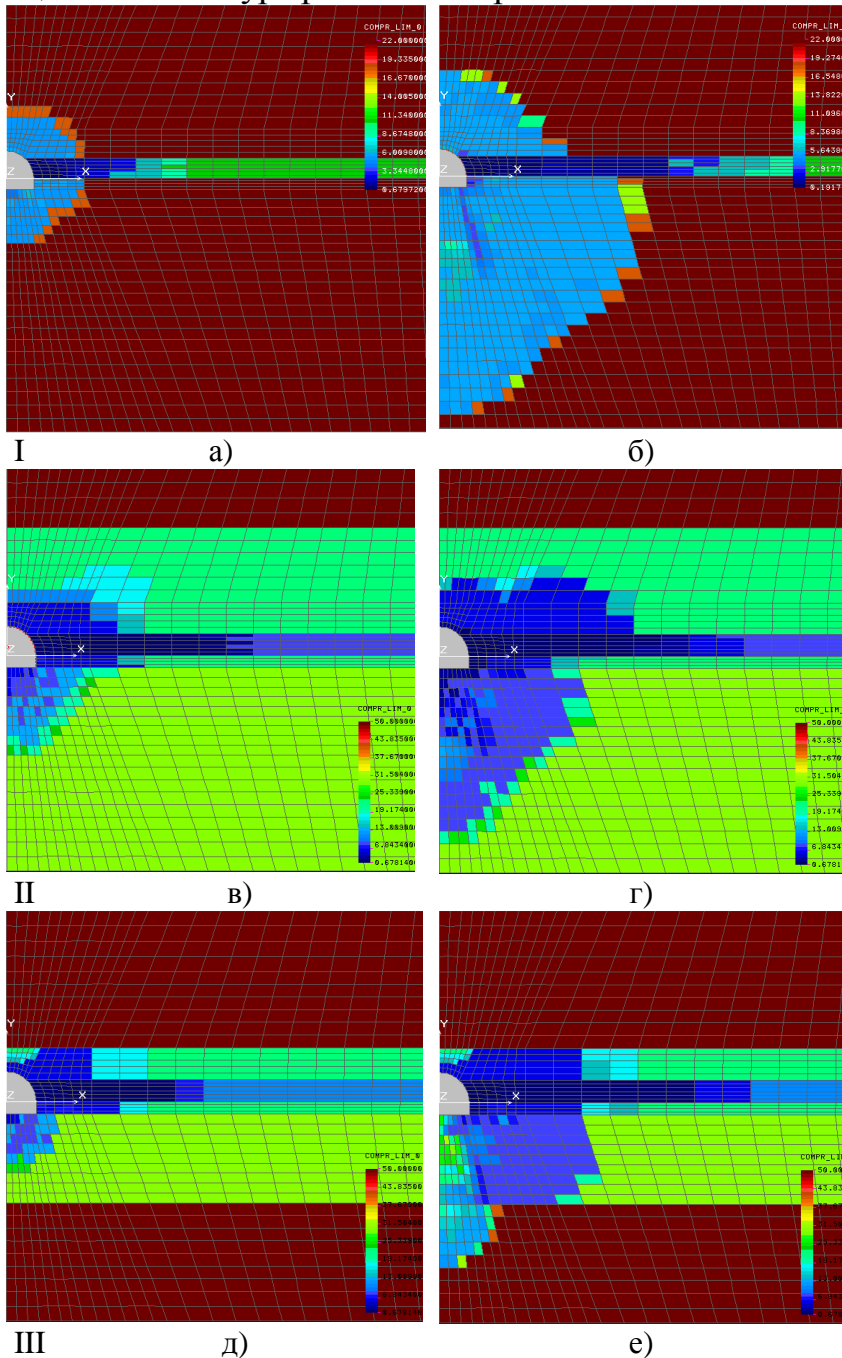


Рис. 7. Конфигурация ЗНД до (а, в, д) и после (б, г, е) вспучивания: I – однородный массив с угольным пластом; II – слоистый массив при расстоянии до песчаника в кровле $h_{несч} = 10,0$ м; III – слоистый массив при расстоянии до песчаника в почве $a_{несч} = 7,0$ м

нуля, что означает начало пучения – в узлах на контуре выработки в почве задавались новые граничные условия. Конфигурация нового контура почвы задавалась в виде косинусоиды с максимумом по центру выработки. Максимум перемещений составил 0,3 м.

Для исследования процесса потери устойчивости почвы выработки впервые разработана математическая модель, позволяющая исследовать закритическое состояние приконтурного породного массива в окрестности одиночной выработки в процессе поднятия пород почвы. При этом модель позволяет имитировать развитие процесса во времени и рассматривает пучение, имеющее непрерывный временной характер, как дискретный квазистатический процесс.

При этом перемещения на деформируемом контуре почвы выработки задавались функцией

$$u = A(1 - \exp(-\alpha T)), \quad (3)$$

где T – время, A , α – коэффициенты, учитывающие структуру и текстуру пород, геологические особенности.

В ходе решения упругопластической задачи оценивалась возможность возникновения вспучивания почвы по критерию (1). В случае если критерий (1) меньше

Расчеты начинались с решения задачи для однородного массива и проводились таким образом, чтобы неоднородность структуры массива от задачи к задаче увеличивалась. Обобщенная расчетная схема представлена на рис. 6.

В результате исследований было установлено, что размеры ЗНД в почве выработки при величине вспучивания 0,3 м в 2-3 раза превышают начальные (рис. 7).

Сравнение моделируемых геомеханических ситуаций на первом этапе решения (момент вспучивания) и на втором этапе (при достигнутой величине заданного закритического поднятия) показывает, что с ростом величины закритических перемещений основной прирост размеров ЗНД наблюдается в почве и, в некоторой степени, боках со стороны почвы. При этом разупрочнение материала в пределах зоны разрыхления становится более равномерным.

Анализ изменения размеров ЗНД от величины смещений контура выработки в почве показал, что при достижении закритическим поднятием значения 0,3 м, размеры зоны разрыхления стабилизируются при некотором значении r_L и не меняются при дальнейшем возрастании закритических перемещений.

Это указывает на то, что при развитии процесса деформирования приконтурного массива дальнейшее возрастание смещений контура почвы происходит не за счет увеличения размеров ЗНД, а за счет перестройки структуры массива, расположенного внутри зоны разрыхления, сформировавшейся на момент достижения граничной величины Δu_{pcd} .

Сравнения величин реальных перемещений почвы в бремсберге № 2 ш. «Белозерская» с величиной перемещений почвы, которая была получена при численных исследованиях, показали хорошее их соответствие. Разброс численных и натуральных результатов составил 10-15%.

Выводы

1. Результаты лабораторного и численного моделирования показывают, что пучение пород почвы – это процесс потери упругопластической устойчивости породного массива вокруг горных выработок.

2. Численные модели, которые учитывают деформирование и разрыхление пород при контролируемом нагружении, адекватны реальным процессам и могут служить основой для разработки эффективных способов борьбы с пучением.

Библиографический список

1. **Шашенко А.Н.** Устойчивость подземных выработок в неоднородном породном массиве. – Дисс. ... д-ра техн. наук: 05.15.04, 05.15.11. – Днепропетровск, 1988. – 507 с.
2. **Максимов А.П.** О штанговом креплении как способе борьбы с выдавливанием пород в горные выработки // Шахтное строительство. – 1961. - № 10. – С. 14-16.
3. **Максимов А.П.** Выдавливание горных пород и устойчивость подземных выработок. - М.: Госгортехиздат, 1963. - 144 с.
4. **Ишлинский А.Ю.** Рассмотрение вопросов об устойчивости равновесия упругих тел с точки зрения математической теории упругости // Украинский математический журнал. – 1954. – т.6. – №2. – С.140-146.
5. **Лейбензон Л.С.** О применении гармонических функций к вопросу об устойчивости сферической и цилиндрической оболочек // Собр. тр. – М., 1951, т.1. – С.50-85.

Наведені результати лабораторного та чисельного моделювання геомеханічних процесів в умовах, що призводять до здимання порід підлоги виробок. Якісні та кількісні результати моделювання співставленні з даними шахтних досліджень.

Results of laboratory and numerical modelling of geomechanical processes are resulted at rock floor heaving in excavations. Qualitative and quantitative results of modelling are compared to the data of mine researches.