

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

2. Aleksandrov, V.Ye., Kochanov, A.N., Levyn, B.V. (1987), "On the relationship between strength and acoustic properties of rocks in the area of pre-destructive action of explosion", *Physyko-tekhnycheskye problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh*, no.4, pp. 45–48.

3. Kochanov, A.N. (1988), "Regularities of explosive softening of rocks", *Socvershenstvovanie burovzryvnyh rabot v narodnom hozyajstve: Vsesouznyi 10 Yubileynoe nauchno-tekhnycheskoe soveschanie, tezysy dokladov* [Improvement of blasting in the national economy: 10 Anniversary All-Union Scientific and Technical Meeting, reports], Gubkin, September 27-29, 1988.

4. П'нытская, Ye.I., Teder, R.I., Vatulyn, Ye.S., Kuntysch, M.F. (1969), *Svoystva gornyh porod i metody ih opredeleniya* [Rock properties and methods of their determination], Nedra, Moscow, Russia.

5. Kartashov, Yu.M., Matvejev, B.V., Myhejev, G.V., Fadejev, A.B. (1979), *Prochnost i deformyruemost gornyh porod* [Strength and deformability of rocks], Nedra, Moscow, Russia.

Статья надійшла 16.04.2014.

УДК 622.831.3

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕГИДРОСТАТИЧЕСКОГО НАЧАЛЬНОГО ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ НА ПРОТЕКАНИЕ ПОТЕРИ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОД ПОЧВЫ ОДИНОЧНОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

С. Н. Гапеев, Д. М. Логунов

ГВУЗ «Национальный горный университет»

просп. К. Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49005, Украина.

E-mail: sergey.gapeev@hotmail.com

Представлены результаты оценки влияния величины коэффициента бокового распора λ на протекание процесса пучения пород почвы одиночной протяженной выработки, которое рассматривается с позиций гипотезы о потере упруго-пластической устойчивости, предложенной профессором А.Н. Шашенко. На эквивалентных материалах испытана серия моделей с различным наклоном слоев при различной величине λ . Установлено, что величина смещений в почве выработки нелинейно зависит от коэффициента бокового распора λ и угла наклона слоев пород и для пластов с углом падения до 15 градусов при значениях $\lambda = 0,75-1,25$ отличается в пределах 7 %, что позволяет упрощать без потери точности расчетные схемы геомеханических задач для выработок, находящихся в таких условиях, принимая $\lambda = 1$ и получать адекватные решения при разработке способов обеспечения устойчивости выработок.

Ключевые слова: пучение пород почвы, бифуркация, коэффициент бокового распора, начальное поле напряжений, эквивалентные материалы.

**ОЦІНКА ВПЛИВУ НЕГІДРОСТАТИЧНОГО НАЧАЛЬНОГО ПОЛЯ
НАПРУЖЕНЬ НА ПЕРЕБІГ ВТРАТИ ПРУЖНОПЛАСТИЧНОЇ СТІКОСТІ
ПОРІД ПІДОШВИ ОДИНОЧНОЇ ГІРНИЧОЇ ВИРОБКИ**

С. М. Гапєєв, Д. М. Логунов

ДВНЗ «Національний гірничий університет»

просп. К. Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна.

E-mail: sergey.gapeev@hotmail.com

Наведені результати оцінки впливу величини коефіцієнта бічного розпору λ на перебіг процесу здимання порід підшоши одиночної протяжної виробки, яке розглядається з позицій гіпотези про втрату пружнопластичної стійкості, запропонованої професором О.М. Шашенком. На еквівалентних матеріалах випробувана серія моделей з різним кутом нахилу шарів при різній величині λ . Встановлено, що величина переміщень в підшосві виробки нелінійно залежить від коефіцієнта бічного розпору λ та кута нахилу шарів порід та для пластів с кутом нахилу до 15 градусів при значеннях $\lambda = 0,75-1,25$ відрізняються в межах 7 %, що дозволяє спростувати без втрати точності розрахункові схеми геомеханічних задач для виробок, що знаходяться в таких умовах, приймаючи $\lambda = 1$, та отримувати адекватні рішення під час розробки способів забезпечення стійкості виробок.

Ключові слова: здимання порід підшоши, пружно-пластична стійкість, коефіцієнт бічного розпору, початкове поле напружень, еквівалентні матеріали.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Геомеханические процессы, реализующиеся вокруг горных выработок с большими деформациями контура, по скорости протекания могут быть разделены на процессы статические и динамические. С точки зрения влияния таких процессов на устойчивость горной выработки и те, и другие являются признаками неблагоприятных условий эксплуатации подземного объекта, которые проявляются по-разному. Статические, или квазистатические, процессы, в отличие от динамических, развиваются в течение сравнительно длительного периода времени, который измеряется сутками, месяцами и даже годами, с достаточной малой скоростью. Одним из наиболее распространенных проявлений таких квазистатических процессов является явление пучения пород почвы горной выработки.

Феномен пучения известен давно. Имеется достаточно большое количество работ и исследований, посвященных как накоплению и анализу натуральных данных, разработке теоретических моделей и гипотез, так и практических рекомендаций по борьбе с этим негативным проявлением горного давления. Согласно анализу представлений о пучении, выполненному в [1]. Наибольшей универсальностью с точки зрения развития процесса в различных условиях является гипотеза о потере устойчивости пород почвы, разработанная профессором А.Н. Шашенко, который в своих работах [2, 3] предложил критерий оценки устойчивости, основанный на критическом радиусе зоны неупругих деформаций (ЗНД). Предложенное проф. А.Н. Шашенко выражение позволяет определить, произойдет ли пучение, или, иными словами – возникнет ли бифуркация состояния геомеханической системы,

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

начнется ли возмущенный процесс потери устойчивости. Характер же развития этого процесса после потери устойчивости, остается в данном случае невыясненным. Указанный критерий разработан для простого случая: круглая выработка в изотропном однородном породном массиве при действии на нее гидростатических сил горного давления. Кроме того, критерий А.Н. Шашенко основан на оценке размеров зоны неупругих деформаций (ЗНД), получение достоверных значений которых связано со значительными трудностями.

В развитие этого направления А.В. Солодянкиным [4, 5] выполнена попытка модифицировать критерий А.Н. Шашенко в части расширения его области применения на случай действия негидростатического поля начальных напряжений ($\lambda \neq 1$). В результате им получен критерий вспучивания в виде критических смещений контура выработки. Получение величины смещений на контуре выработки в реальных условиях шахты значительно проще оценки размеров ЗНД, поэтому применение А.В. Солодянкиным параметра «критические смещения» вместо параметра «критический радиус ЗНД» существенно расширяет возможности применения данного критерия. Однако и здесь решение получено для круглой выработки, к тому же оно адекватно для однородного породного массива или массива слоистого, но в предположении, что слои пород незначительно отличаются друг от друга по прочности и залегают горизонтально, что приближает условия получения решения к условиям для однородного породного массива. Исследования возмущенного процесса после потери устойчивости автор также не выполняет. Поэтому вопрос о влиянии негидростатического поля начальных напряжений на развитие пучения остается проработанным недостаточно.

Случай горизонтального расположения слоев пород в углесодержащей толще является, вообще говоря, частным, т.к. большинство пластов угля, разрабатываемых в Украине, имеют угол падения, отличный от нуля, причем тем больший, чем ближе расположено шахтное поле к центральной части Донецкого каменноугольного бассейна.

Таким образом, при исследовании таких сложных явлений, как пучение, основанных на использовании бифуркационной модели пучения, представляются важными вопросы о применимости описанных выше критериев вспучивания для условий залегания пластов горных пород с различными углами падения и о влиянии величины коэффициента бокового давления λ на развитие процесса пучения, что и является целью данной работы.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Исследования проводились на моделях из эквивалентных материалов. Практика применения этого метода моделирования показывает [6–8], что для решения задач об изменении деформированного состояния горных пород осадочной толщи в качестве эквивалентного материала хорошо зарекомендовала себя трехкомпонентная песчано-парафино-графитовая смесь с добавлением технического вазелина.

Основные физико-механические параметры горных пород, принятые при моделировании, представляют собой горные породы, характерные для Центрального района Донбасса, в частности, для шахты им. В.М. Бажанова.

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Для выполнения работ по моделированию использован специальный стенд, работающий в лаборатории геомеханики кафедры строительства, геотехники и геомеханики НГУ, представляющий собой плоскую камеру с размерами 600x500x50 мм с передней стенкой из оргстекла толщиной 30 мм и систему рычажных домкратов. Для изучения поведения моделей при различной величине боковой нагрузки λ рабочая камера снабжалась дополнительными выдвижными боковинами, которые при приложении к ним нагрузок винтовым нагружающим устройством смещались внутрь рабочей камеры. Перемещение левой и правой пластины происходило на одинаковую величину, создавая, тем самым, симметричную боковую нагрузку величиной от 0,25 до 1,0 γH . После приложения боковой нагрузки модель выдерживалась в течение пятнадцати минут. Боковая и вертикальная нагрузки прикладывались последовательно, что, учитывая время «отстаивания» модели в течение 15 мин. после каждого приложения нагрузки, является вполне допустимым, поскольку паузы между приложением вертикальной и боковой нагрузки не делалось, что позволяет рассматривать такую нагрузку как приложенную за один прием.

Поскольку целью проведения данных серий испытаний лабораторных моделей являлось исследование влияния величины боковой нагрузки при различных углах падения слоев пород в месте заложения выработки на характер проявления пучения почвы в ней, то варьируемыми параметрами являются величина коэффициента бокового распора λ и углы α наклона слоев породы в модели. Всего было испытано 28 серий моделей (по три модели в серии, не считая неудачных), в которых $0 \leq \lambda \leq 1$ и $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$. Величина коэффициента бокового распора λ определялась как отношение величины боковой нагрузки к величине вертикальной нагрузки в модели, т.е. при $\lambda = 0$ боковая нагрузка не прикладывалась.

Таким образом, общее количество испытанных моделей, вошедших в выборку, составило 84 штуки. Масштаб моделирования – 1:100, в модели проходила выработка, имитирующая реальную, характерную для подготовительных выработок на шахте им. В.М. Бажанова, размерами 5,2x3,6 м в натуре.

С целью снижения количества влияющих факторов модель изготавливалась из одного эквивалентного материала. При этом она была однородной по свойствам среды и неоднородной по структуре, поскольку состояла из тонких слоев толщиной от 1,5 см до 3 см каждый, причем в области расположения моделируемой выработки слои были выполнены минимальной толщины.

На рис. 1 показаны зависимости изменения величины смещений почвы выработки U_0 от величины вертикальной P_v и боковой $P_{бок}$ нагрузки на стенде соответственно.

Анализ результатов испытания моделей при постоянном соотношении боковой и вертикальной нагрузки ($\lambda = const$), но с изменяющимся углом наклона слоев пород, показывает следующее:

– при нулевых или небольших углах наклона слоев модели пучение протекает как классическая потеря устойчивости формы контура почвы выработки – наблюдается резкий рост скорости смещений после излома слоев пород в почве по мере возрастания величины нагрузки;

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

– при увеличении угла наклона слоев (при постоянном соотношении вертикальной и боковой нагрузки) пучение протекает более плавно, без выраженного визуального эффекта потери устойчивости формы контура, оставаясь, однако, при этом в рамках представлений о потере устойчивости, но уже – состояния, а не формы (как при случае малых углов наклона слоев);

– при увеличении угла наклона слоев характер смещений вспученных пород меняется с симметрично локализованных около оси выработки к ассиметричной форме, когда пик гребня вспученных пород смещался в сторону лежащего бока;

– близкое к вертикальному и вертикальное положение слоев в модели делает ее поведение под нагрузкой близкой к характеру деформирования модели со слабонаклонными и горизонтальными слоями.

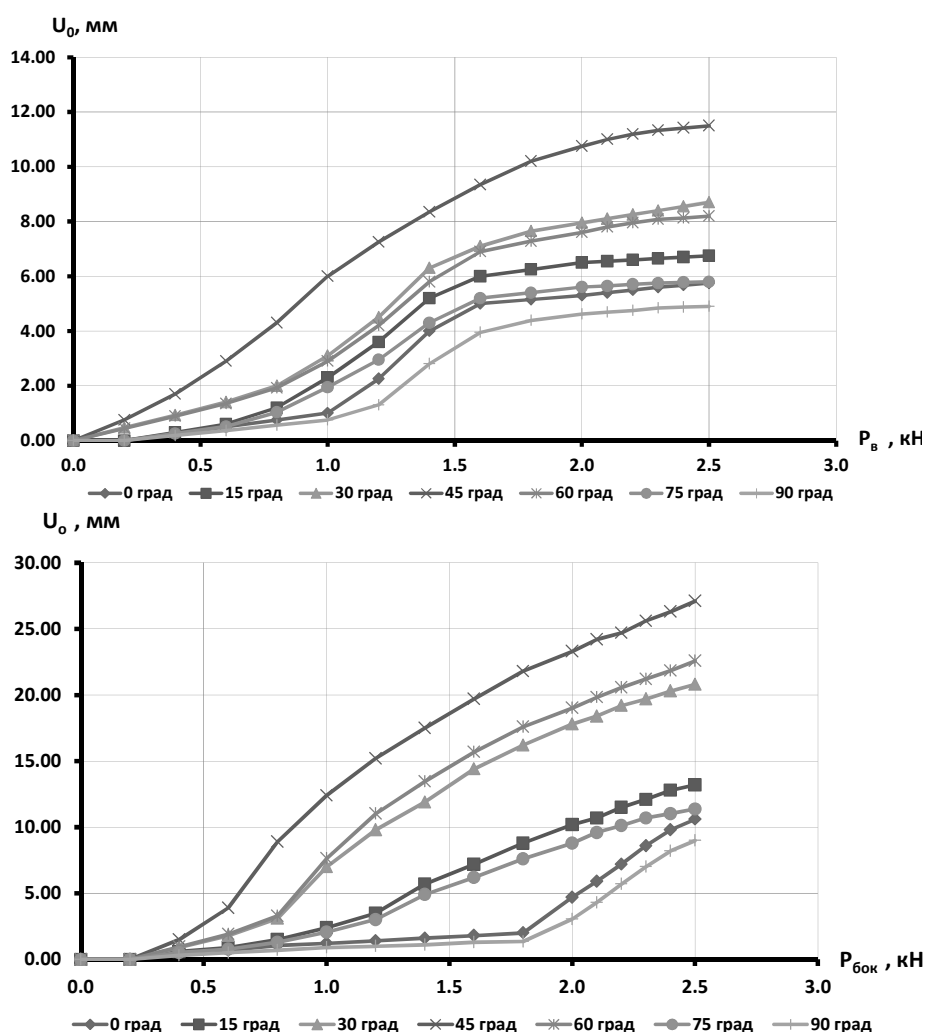


Рисунок 1 – Зависимости величины подъема почвы (U_0) от величины вертикальной P_v (а) и боковой $P_{бок}$ (б) нагрузки на стенде

Описанное выше поведение моделей соответствует приложению либо только вертикальной нагрузки, либо только боковой, тогда как в реальных условиях имеет место совокупное действие обоих видов нагрузок при преобладающем действии одной из них. Исследования показывают [9], что в месторождениях Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Випуск 1/2014(13).

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

пластового типа (угли и горючие сланцы) преобладает вертикальная компонента нагрузок, тогда как в месторождениях типа залежей (например, железная руда) преобладает горизонтальная компонента. Поэтому были выполнены испытания моделей, испытывающих на себе совокупную нагрузку обоих типов.

Характер изменения максимальных смещений почвы выработки в модели при изменении величины соотношения боковой нагрузки к вертикальной (параметра λ) представлен на рис. 2. Из графика следует, что при росте боковой нагрузки смещения в вертикальном направлении также возрастают, причем тем больше, чем больше углы наклона слоев пород.

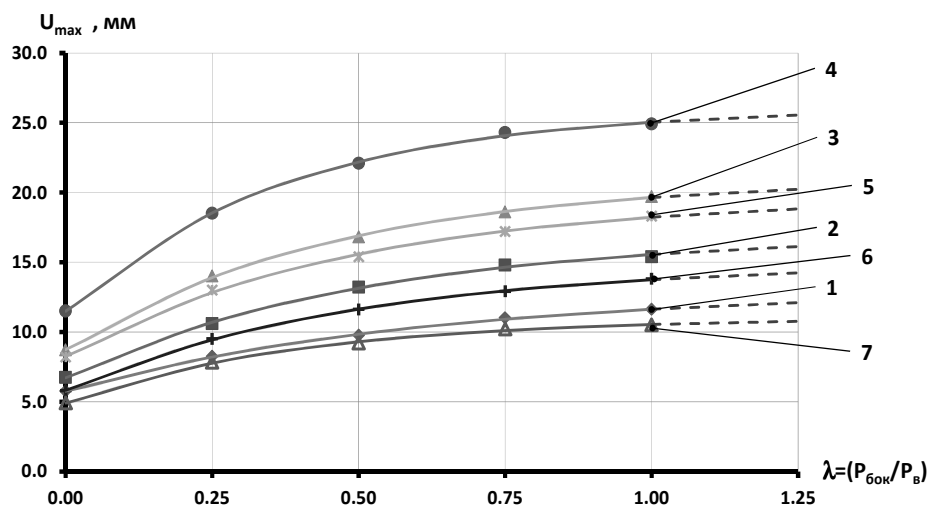


Рисунок 2 – Зависимость величины максимальных смещений почвы выработки от величины λ при различном угле наклона слоев модели: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 – соответственно 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , 90° (пунктир – интерполяция)

С увеличением угла наклона слоев α модель становится более восприимчивой к изменению величины λ , поскольку с ростом величины α максимальные смещения почвы изменяются все более интенсивно, что отражается в большем наклоне графика зависимости $U_{max} = f(\lambda)$ для случая $\alpha = 45^\circ$ в сравнении со случаем при $\alpha = 0^\circ$. Для пологих пластов с углом наклона от 0° до 15° (рис. 3), величины максимальных смещений при $\lambda = 0,75$ и $1,0$ отличаются незначительно (до 7 %), а при $\lambda = 1,0$ и $1,25$ – менее, чем на 5 %.

Здесь также подтверждается высказанный выше вывод о большей чувствительности исследуемой геомеханической системы к изменению характера нагрузки с ростом угла наклона слоев модели. При этом при наклоне слоев в диапазоне $30-60^\circ$ смещения в модели максимальны, а наибольшая величина максимальных смещений почвы соответствует углу наклона слоев, равному 45° , причем эта тенденция сохраняется при любой исследованной на модели величине λ . Из рис. 3 видно также, что кривые для случаев $\lambda = 0,75$, $\lambda = 1,0$ и $\lambda = 1,25$ (последняя получена интерполяцией) расположены довольно близко одна от другой и сходны по величине при всех рассмотренных величинах α .

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

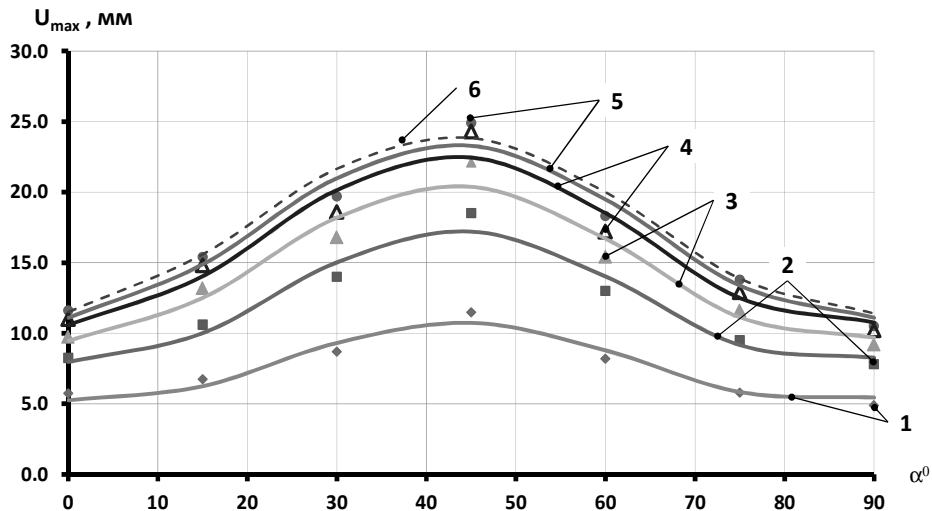


Рисунок 3 – Залежність максимальної величини підняття ґрунту вироботки від кута нахилу шарів моделі α при різній величині параметра λ : 1; 2; 3; 4; 5; 6 – при $\lambda = 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25$ відповідно (пунктир – інтерполяція)

Графіки рис. 2 і 3 апроксимуються експоненціальними кривими виду $U_{\max} = a \cdot (b - e^{-c\lambda})$ (корреляція 0,99) і $U_{\max} = a + b \cdot \cos(c\lambda + d)$ (корреляція 0,97) відповідно, де a, b, c, d – коефіцієнти апроксимації.

ВИВОДИ. Сукупний аналіз представлених вище графіків дозволяє зробити наступні висновки:

– кут α нахилу шарів порід в моделі помітно впливає на величину і характер зміщень порід в ґрунті вироботки при одній і тій же величині λ (відношення бокової навантаження до вертикальної);

– максимальні зміщення і найбільша інтенсивність розвитку зміщень ґрунту має місце при куті нахилу шарів 45° незалежно від величини λ ;

– при наближенні кута нахилу шарів до 90° характер зміщень ґрунту стає близьким до випадку з горизонтальними шарами незалежно від величини λ ;

– при $\lambda = 0,75$ і $1,0$ максимальні зміщення при будь-яких кутах нахилу шарів α мають досить близькі значення (різниця не перевищує 7%), а при $\lambda = 1,0$ і $1,25$ – менше, ніж на 5%;

– величина зміщень в ґрунті вироботки нелінійно залежить від коефіцієнта бокового розпору λ і кута нахилу шарів порід і для пластів з кутом падіння до 15 градусів при значеннях $\lambda = 0,75-1,25$ відрізняється в межах 7%, що дозволяє спрощувати без втрати точності розрахункові схеми геомеханічних завдань для вироботок, що знаходяться в таких умовах, приймаючи $\lambda = 1$ і отримувати адекватні рішення при розробці способів забезпечення стійкості вироботок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Деформувальність і міцність масивів гірських порід: монографія / А.Н. Шашенко, Е.А. Сдвижкова, С.Н. Гапеев. – Дніпропетровськ: НГУ, 2008. – 224 с.

Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Випуск 1/2014(13).

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

2. Шашенко А.Н. Устойчивость подземных выработок в неоднородном породном массиве: дисс....д-ра техн. наук: 05.15.04 / Шашенко Александр Николаевич. – Днепропетровск, 1988. – 507 с.
3. Некоторые задачи статистической геомеханики / А.Н. Шашенко, С.Б. Тулуб, Е.А. Сдвижкова. – К.: Універ. вид-во “Пульсари”, 2002. – 304 с.
4. Солодянкин А.В. Геомеханические модели в системе геомониторинга глубоких угольных шахт и способы обеспечения устойчивости протяженных выработок: дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.04; 05.15.09 / Солодянкин Александр Викторович. – Днепропетровск, 2009. – 426 с.
5. Критерии оценки устойчивости пород почвы горных выработок / Шашенко А.Н., Солодянкин А.В. // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2007. – № 1. – С. 44–49.
6. Моделирование физических процессов в горном деле / И.Д. Насонов, В.И. Ресин. – М.: Изд. Академии горных наук, 1999. – 343 с.
7. Методическое руководство по подбору и испытанию эквивалентных материалов для моделирования / А.М. Козин, Е.П. Рутковская – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1974. – 40 с.
8. Свойства горных пород и методы их определения / Е.И. Ильницкая, Р.И. Тедер, Е.С. Ватолин, М.Ф. Кунтыш. – М.: Недра, 1969. – 392 с.
9. Макаров А.Б. Практическая геомеханика: пособие для горных инженеров. – М.: Изд-во «Горная книга», 2006. – 391 с.

IMPACT ASSESSMENT NON-HYDROSTATIC INITIAL STRESS FIELDS ON PROGRESS OF LOSS OF ELASTO-PLASTIC SUSTAINABILITY OF ROCKS IN THE FLOOR SINGLE EXCAVATION

S. Gapieiev, D. Logunov

State Higher Educational Institution «National Mining University»

prosp. Karl Marx, 19, Dnipropetrovsk, 49005, Ukraine.

E-mail: sergey.gapeev@hotmail.com

Presents the results of the impact assessment the horizontal stress index λ on progress floor heave in the single extended excavation. This phenomenon is considered from the standpoint of the hypothesis about the loss of elastic-plastic sustainability proposed by Professor A.N. Shashenko. On the equivalent materials tested a series of models with different inclination of layers at different index λ value, which is calculated as the ratio of horizontal to vertical load on the model. In result of studies it is established that the magnitude of the displacement in the floor excavation depends nonlinearly on index λ and the angle of inclination of rock layers and for layers with angle a 15 degrees at the values of the index λ to 0,75÷1,25 differ within 7%. This allows to simplify without losing precision numerical schemes geomechanical problems for this type of application excavation, taking $\lambda=1$, and receive adequate solutions in developing ways to ensure stability of mine workings.

Key words: floor heave, bifurcation, horizontal stress index, initial field stress, the equivalent materials

REFERENCES

1. Shashenko, A.N., Sdvyzhkova, E.A. and Gapieiev, S.N. (2008), *Deformiruemost i prochnost massivov gornyih porod: Monografiya* [Deformability and strength of rock masses: monograph], Publishing NMU, Dnipropetrovsk, Ukraine.
2. Shashenko, A.N. (1988), «The stability of underground excavations in heterogeneous rock mass», Thesis abstract for Dr.Sc. (Engineering), 05.15.04, Dnipropetrovsk named Artem Mining Institute, Dnipropetrovsk, Ukraine.
3. Shashenko, A.N., Tulub, S.B. and Sdvyzhkova, E.A. (2002), *Nekotoryie zadachi statisticheskoy geomehaniki: monografiya* [Some problems of statistical geomechanics: monograph], University press «Pulsary», Kyiv, Ukraine.
4. Solodjankin, A.B. (2009), «Geomechanic models in the system of geomonitoring in deep coal mines and methods of providing stability of long workings», Thesis abstract for Dr.Sc. (Engineering), 05.15.04; 05.15.09, National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine.
5. Solodjankin, A.B., Shashenko, A.N. (2007), «Criteria for assessing the rock sustainability in floor excavation», *Scientific Bulletin of National Mining University*, no.1, pp. 44-49.
6. Nasosnov, I.D. and Resin, V.I. (1999), *Modelirovanie fizicheskikh protsessov v gornom dele: monografiya* [Modeling of physical processes in mining: monograph], Izdatelstvo Akademii gornyih nauk, Moscow, Russia.
7. Kozin, A.M. and Rutkovskaya, E.P. (1974), *Metodicheskoe rukovodstvo po podboru i ispytaniyu ekvivalentnyih materialov dlya modelirovaniya* [Methodological guidance on the selection and testing of equivalent materials for modeling], A.A. Skochinsky Institute of Mining, Moscow, Russia.
8. Il'nitskaya, E.I., Teder, R.I., Vatolin E.S. and Kunt'yish, M.F. (1969), *Svoystva gornyih porod i metody ih opredeleniya* [Rock properties and methods of their determination], Nedra, Moscow, Russia.
9. Makarov, A.B. (2006), *Prakticheskaya geomehanika. Posobie dlya gornyih inzhenerov* [Applied Geomechanics. Manual for Mining Engineers], Mining Book, Moscow, Russia.

Статья надійшла 23.04.2014.

УДК 622.235

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОРОТКОУПОВІЛЬНЕНИХ
ВИБУХІВ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ СПЕКТРОМ КОЛИВАНЬ**

В. В. Бойко, Д. А. Ремез

Інститут гідромеханіки Національної академії наук України

вул. Желябова, 8/4, г. Київ, 03680, Україна. E-mail: seismic-control@yandex.ru

Приведені результати чисельного моделювання взаємодії сейсмовибухової хвилі з ґрунтовим масивом при короткоуповільненому підриванні групи циліндричних зарядів. Система квазілінійних диференціальних рівнянь, яка описує рух продуктів детонації та ґрунту розв'язувалась методом скінченних різниць.

Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Випуск 1/2014(13).