

А.Н. Шашенко (д-р техн. наук, проф.), **А.В. Солодянкин** (д-р техн. наук, проф.)

ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КРИТЕРИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОД ПОЧВЫ ВЫРАБОТКИ

На основании базового решения задачи по критическому радиусу зоны неупругих деформаций, как критерия пучения пород почвы горных выработок, предложен более практичный критерий, основанный на критическом значении сдвижений пород почвы. Приведены зависимости критической величины сдвижений почвы показателя условий разработки и коэффициента бокового распора массива. Показаны направления обеспечения устойчивого состояния пород почвы выработок.

Ключевые слова: пучение почвы.

Введение. Увеличение глубины разработки месторождений полезных ископаемых существенно ухудшило геомеханическую ситуацию при ведении горных работ. Проявления горного давления в выработках становятся все более интенсивными и опасными: увеличиваются области разрушенных пород вокруг выработок, возрастают смещения контура выработок, учащаются случаи газодинамических явлений, горных ударов, проявления и последствия пучения часто носят катастрофический характер.

Изучение состояния протяженных выработок шахт Украины, анализ затрат на поддержание и ремонт, показывают, что наиболее трудоемкими процессами при обеспечении их эксплуатационного состояния являются мероприятия по борьбе с пучением пород почвы.

Поиск эффективных средств и методов борьбы с пучением является одной из важнейших технических задач. Разработка технологических параметров таких мероприятий неразрывно связана с исследованием закономерностей этого явления.

Явление пучения пород почвы выработок является до сегодняшнего дня одним из наименее изученных, несмотря на значи-

тельное количество выполненных экспериментальных и аналитических исследований. В настоящее время известен целый ряд гипотез, по разному объясняющих причину и механизм выдавливания пород почвы в выработку. Связывают это явление с набуханием пород под влиянием влаги, выпиранием пород под действием опорного давления в боках выработки, увеличением объема вследствие разрыхления пород в зоне неупругих деформаций (ЗНД) и т.д.

На основе предложенных гипотез разработаны физические и математические модели поведения породного массива, ослабленного горной выработкой. Аналитические зависимости, полученные в результате решения соответствующих задач, используются для прогноза проявления процесса выдавливания пород почвы, оценки его параметров. В техническом же плане добиться ощутимых положительных результатов до сих пор не удалось. Одной из причин такой ситуации является то, что предложенные математические и физические модели явления не полностью отвечают реальному процессу. Особенно очевидным это стало с переходом горных работ на большие глубины.

Постановка задачи. Анализ исследований в области пучения пород почвы [1] показал, что чрезмерная простота, излишняя идеализация исходных предпосылок, заложенных в расчетные физические модели, не позволяют получить аналитические зависимости, адекватно отражающие процессы, происходящие в приконтурном массиве. Учитывая некоторые специфические особенности процесса вспучивания пород почвы в выработках, в [1, 2] это явление рассмотрено с позиций потери упругопластической устойчивости приконтурного массива, в окрестности одиночной горизонтальной выработки. В результате получен критерий вспучивания в виде:

$$\bar{\varepsilon} r \ln r + 2 = 0, \quad (1)$$

где $\bar{\varepsilon}$ - среднее значение относительного увеличения объема пород в пределах ЗНД, r - относительный критический радиус области пластических деформаций.

Выражение (1) определяет возможность перехода породного массива вокруг выработки из одного устойчивого равновесного

состояния в другое, сопровождающееся вспучиванием пород почвы. Физическая суть отношения (1) состоит в следующем. В процессе неупругого расширения пород в замкнутом объеме с жесткими внешними размерами ($r = r_0$) происходит перемещение внутреннего контура ($r = 1$). 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. Условие отсутствия пучения пород почвы в выработке имеет вид:

$$\bar{\varepsilon} r \ln r + 2 > 0. \quad (2)$$

Функция связи между величинами, входящими в условие (1), в явном виде аппроксимируется степенным выражением:

$$r = 1 + \bar{\varepsilon} \quad . \quad (3)$$

Являясь хорошо обоснованным с точки зрения физики протекания процесса, предложенный критерий не совсем удобен, поскольку определить величину r с достаточной точностью в шахтных условиях практически невозможно.

Наиболее удобным показателем с точки зрения оценки состояния выработки и окружающих ее пород является смещение контура выработки, которое легко можно измерить в натуральных условиях. Таким образом, относительное увеличение объема $\bar{\varepsilon}$ в области породного массива вокруг выработки ограниченной критическим радиусом области пластических деформаций r_c , приводит к критическим смещениям контура выработки u_c , после чего происходит резкое искажение формы внутренней границы, и возникают большие перемещения на контуре выработки – начало неуправляемого процесса пучения.

Задачей настоящих исследований является обоснование критического значения смещений контура выработки u_c и определение зависимости этой величины, являющейся показателем вспучивания пород, от различных горно-геологических условий эксплуатации выработки.

Упругопластическое равновесие породного массива, ослабленного длинной горизонтальной выработкой. Первым этапом достижения поставленной цели является нахождение компонентов перемещений и деформаций, а также конфигурации границы ЗНД вокруг одиночной горизонтальной выработки. Решение этой задачи приведено в [1]. Расчетная схема, исходные предпосылки и граничные условия следующие (рис. 1).

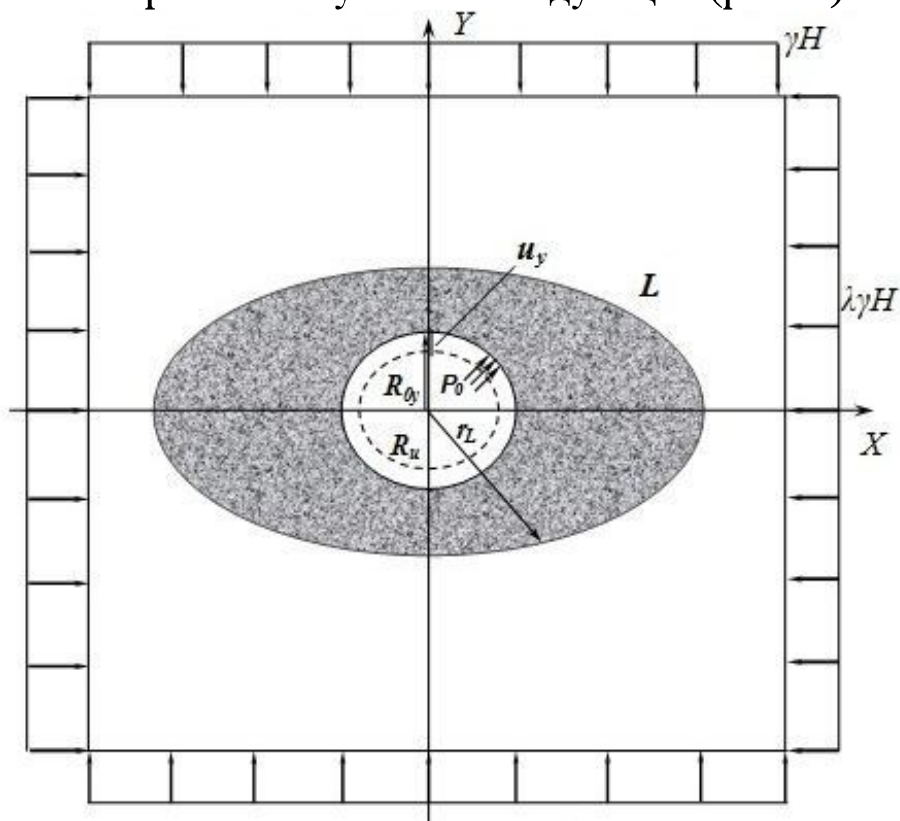


Рис. 1. Расчетная схема к решению задачи об упругопластическом равновесии породного массива

Рассматривается напряженно-деформированное состояние (НДС) однородного изотропного упругого породного массива в окрестности одиночной горизонтальной выработки кругового очертания, расположенной на глубине H от земной поверхности и не испытывающей влияние очистных работ. Радиус выработки – R , к ее контуру приложена равномерно распределенная нагрузка интенсивностью P , равная отпору крепи. Породная среда в пределах зоны влияния выработки полагается невесомой. Ошибка вследствие такой идеализации тем меньше, чем больше глубина расположения выработки и, как показано в работах [3, 4], вели-

чина ее не превышает 1 %. В направлении осей X и Y на бесконечности приложены внешние равномерно распределенные нагрузки, которые могут быть либо не равны друг другу ($\lambda \neq 1$), либо равны ($\lambda = 1$). Величина этих нагрузок такова, что вокруг выработки образуется область пластических деформаций, полностью охватывающая ее контур. Размеры этой области могут достигать 10...12 м и более и определяются, главным образом, структурными и прочностными свойствами вмещающих пород и глубиной расположения выработки. Границами зоны нарушенных пород являются: внутренней – породное обнажение (крепь выработки), внешней – упруго деформированная ненарушенная часть породного массива. Наиболее нарушенными являются породы, находящиеся на контуре выработки.

Деформирование и разрушение породной среды происходит в режиме заданных деформаций со стороны упруго сжатого массива. И для упругой и для пластической области сохраняется гипотеза сплошности среды. Рассматривается случай плоской деформации. В произвольной точке породного массива с координатами x, y компоненты напряжений удовлетворяют уравнениям равновесия

$$\frac{\partial \sigma}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial y} = 0, \frac{\partial \sigma}{\partial y} + \frac{\partial \tau}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

и условию совместности деформаций

$$\left(\frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \right) (\sigma + \sigma) = 0. \quad (5)$$

В области пластических деформаций, кроме того, имеет место физическое уравнение – критерий прочности для пластически неоднородной породной среды:

$$\sigma - \sigma = 2k \left(\frac{A}{r} - B \right), \quad (6)$$

где r - текущий радиус, k - коэффициент критерия прочности, определяемый выражением:

$$k = 0,5 \sqrt{R \psi + (1 - \psi) R (\sigma + \sigma)}, \quad (7)$$

A и B – константы, которые определяются выражениями

$$A = \frac{r}{1-r}(1-k); B = \frac{r-k}{1-r}, \quad (8)$$

$\psi = \frac{R}{R}$, R , R - соответственно пределы прочности образцов горных пород на одноосное растяжение и сжатие (для пластичной среды $0 \leq \psi \leq 1$), k - коэффициент остаточной прочности $k = \frac{R}{R}$, R - остаточная прочность пород на одноосное сжатие на контуре выработки.

При этом полагается, что касательные напряжения в пластической области отсутствуют ($\tau = 0$). Граничные условия, имеют вид:

- на контуре выработки

$$\tau \Big| = 0, \sigma \Big| = P, \quad (9)$$

- на бесконечности

$$\sigma = \lambda \gamma H, \sigma = \gamma H, \tau = 0. \quad (10)$$

На границе L между пластической и упругой областями напряжения непрерывны:

$$\sigma = \sigma; \sigma = \sigma; \tau = \tau, \quad (11)$$

где компоненты напряжений в пластической области обозначены индексом 1, помещенным сверху, а напряжения в упругой области - без индекса.

В результате решения задачи определены компоненты напряжений, деформаций и перемещения в упругой и неупругой областях, а также форма контура L , разделяющего эти области. Координаты этой области представляют собой эллипс (рис. 2), уравнение которого имеет вид:

$$\frac{X}{C(1+\beta)} + \frac{Y}{C(1-\beta)} = 1, \quad (12)$$

где C - постоянная интегрирования, определяемая выражением:

$$C = \exp\left[\frac{A}{2B} - \frac{\gamma H}{4Bk}(1 + \lambda) + \frac{P}{2Bk} - \frac{1}{2}\right], \quad (13)$$

$$\beta = \frac{\gamma H(1 - \lambda)}{2Bk}. \quad (14)$$

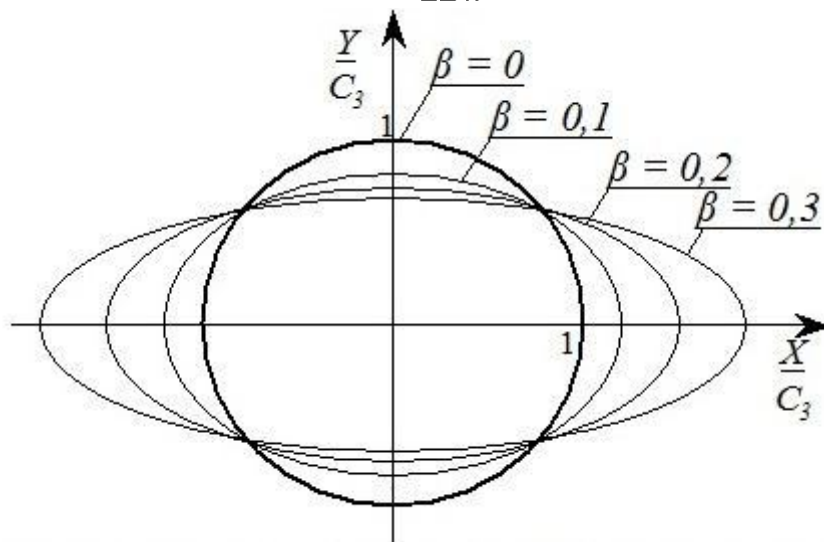


Рис. 2. Конфигурация области неупругих деформаций вокруг выработки в зависимости от параметра β

При $\lambda = 1$, что характерно для больших глубин угольных месторождений Украины, контуром L будет круг с радиусом

$$r = \exp\left[\frac{A}{2B} - \frac{\gamma H + P}{2Bk} - \frac{1}{2}\right]. \quad (15)$$

Покажем, как связаны перемещения на контуре выработки u с относительным увеличением объема $\bar{\varepsilon}$ в зоне пластических деформаций, ограниченной радиусом r при различных горно-геологических условиях разработки.

Определение перемещений контура выработки с учетом объемного расширения пород в зоне неупругих деформаций. Линией L на рис. 1 показан внешний контур ЗНД, разделяющих упругую и пластическую зоны деформирования массива вокруг выработки. Линией R обозначен условный контур выработки на момент ее проведения - до деформаций массива и соответствующих смещений. Линией R (пунктир) обозначен контур выработки после реализации деформаций приконтурного массива. Поскольку в условиях негидростатического сжатия, внешний контур

ЗНД представляет собой эллипс, перемещения на контуре также будут неравномерны. Определим величину u – относительные вертикальные смещения контура выработки (вдоль оси Y), где $u = U/R$, R – вертикальный радиус выработки.

Положительная координата Y внешнего контура ЗНД из (12) при $X = 0$ равна

$$Y = C (1 - \beta) = \pm C (1 - \beta). \quad (16)$$

Смещения контура выработки на величину u происходят в результате разрыхления пород. Величиной упругих деформаций пренебрегаем.

Поскольку разрыхление пород в ЗНД означает их объемное расширение при различных неупругих деформациях, то при описании разрыхления будем использовать значение объемной деформации ε :

$$k = \frac{V}{V} = \frac{V + dV}{V} = (1 + \varepsilon), \quad (17)$$

где V – объем разрыхленной породы, V - объем той же породы в нетронutom массиве.

В случае отсутствия разрыхления $k = 1$ ($\varepsilon = 0$).

Степень разрыхления пород в ЗНД зависят от расстояния до контура выработки. Поскольку разрыхление приконтурного массива происходит в естественных условиях, коэффициент разрыхления оказывается меньше коэффициента свободного разрыхления. Изменение ε для решения поставленной задачи будем рассматривать в пределах $0 \leq \varepsilon \leq 0,2$. Так же допускаем, что породы во всем объеме ЗНД имеют одинаковый коэффициент разрыхления, хотя это и не так.

Принимая $Y = r$, $R = 1$, запишем:

$$u = (r - 1)\varepsilon, \text{ или } u = (C (1 - \beta) - 1)\varepsilon, \quad (18)$$

где C определяется выражением (13), а коэффициенты A и B – выражениями (8).

Величиной k , входящего в (8), в предположении горных пород как материалов хрупких, без существенного ущерба можно

пренебречь. Тогда выражения (8) для определения коэффициентов A и B приобретут более простой вид:

$$A = B = \frac{r}{1-r}. \quad (19)$$

Отпором крепи P в данном случае также пренебрегаем. Как показано в [2, 5] отпор крепи чрезвычайно мало влияет на размеры ЗНД, так как величина его на глубоких горизонтах шахт несоизмеримо меньше гравитационного давления γH .

Тогда выражение для определения постоянной C запишется в виде:

$$C = \exp\left(-\frac{\gamma H(1+\lambda)}{4Bk}\right). \quad (20)$$

В выражении (10) для определения k , при условии, что λ не намного отличается от 1, примем условие $(\sigma + \sigma') = 2\gamma H$, после чего можно записать:

$$k = 0,5\sqrt{R\psi + (1-\psi)R} \cdot 2\gamma H. \quad (21)$$

Введем в выражения для определения величин k , β и C показатель условий разработки $\theta = \frac{R}{\gamma H}$. С учетом этого смещения пород можно определить:

$$u = \left[\exp\left(-\frac{(1+\lambda)}{2B\theta\sqrt{\psi + \frac{2(1-\psi)}{\theta}}}\right) \left(1 - \frac{(1-\lambda)}{B\theta\sqrt{\psi + \frac{2(1-\psi)}{\theta}}}\right) - 1 \right] \varepsilon. \quad (22)$$

Обозначим $N = \theta\sqrt{\psi + \frac{2(1-\psi)}{\theta}}$. Тогда (22) запишем в виде

$$u = \left[\exp\left(-\frac{(1+\lambda)}{2NB}\right) \left(1 - \frac{(1-\lambda)}{NB}\right) - 1 \right] \varepsilon. \quad (23)$$

При гидростатическом давлении пород ($\lambda = 1$) получим более простое выражение для смещения пород при круговом очертании ЗНД вокруг выработки:

$$u = \left[\exp\left(-\frac{1}{NB}\right) - 1 \right] \varepsilon . \quad (24)$$

Таким образом, на данном этапе получена зависимость смещений контура выработки от радиуса ЗНД при соответствующих средних значениях относительного объемного расширения с учетом показателя условий разработки θ и соотношения внешних нагрузок λ .

Конечным решением задачи должна быть зависимость критических смещений – как критерия вспучивания пород почвы от указанных выше параметров, адекватная базовому решению для критического радиуса ЗНД r (выражение 3).

Обоснование критерия вспучивания пород почвы горных выработок. Многими исследователями, занимавшимися проблемами пучения пород почвы выработок принималась допустимая (критическая) величина смещений пород, не приводящая к тяжелым последствиям (или опасная, вызывающая существенные проблемы и затраты на поддержание).

Ю.З. Заславский [6], в качестве такого критерия вводит понятие "порог пучения" $l = 20$ см – величина вспучивания почвы, при которой процесс пучения начинает заметно сказываться на состоянии выработки. Г.П. Шестаков [7] считает критической величиной смещений пучащих пород, поведением которых еще можно управлять $U < 0,3$ м, относя их согласно принятой им классификации к «умеренно пучащимся» породам. В «Прогнозном каталоге шахтопластов Донецкого бассейна...» [8] для пластовых выработок, проведенных по простиранию, площадью сечения от 8 до 12 м, показателем наличия пучения почвы принимается их поднятие на величину $U = 0,2...0,3$ м. Анализ влияния величин смещений, приводящих к существенным деформациям крепи, нарушающих нормальную эксплуатацию выработок для типовых сечений с радиусом $R = 1,5...3$ м показал, что критическими смещениями контура является относительное смещение u

$= U/R = 0,1 \dots 0,12$ [9]. В [10] вероятность пучения $P = 1,0$ для выработок, находящихся вне зоны влияния очистных работ достигается при относительных смещениях почвы $U/a = 0,1 \dots 0,12$ (a – полупролет выработки).

Таким образом, вполне обоснованно для выработок, находящихся вне зоны влияния очистных работ величину критических смещений можно брать равной $u = 0,1$, что для большинства типовых сечений выработок радиусом $1,5 \dots 3$ м составляет абсолютное поднятие $0,2 \dots 0,3$ м.

Подтверждением данной величины является критерий устойчивости [11], в основу которого положены величины смещений породного контура незакрепленных горных выработок. Соответствующие им значения показателя условий разработки

$$\theta = \frac{R}{\gamma H} \text{ [12] или } \theta = \frac{R k}{\gamma H} \text{ приведены в табл. 1.}$$

Таблица 1

Категории пород по устойчивости

Категории пород по устойчивости	Смещения контура выработки, мм	$\theta = \frac{R}{\gamma H}$	$\theta = \frac{R k}{\gamma H}$
Устойчивые	До 50	Более 5,0	Более 1,67
Среднеустойчивые	50-200	3,0-5,0	1,0-1,67
Неустойчивые	200-500	2,0-3,0	0,67-1,0
Сильно неустойчивые	Свыше 500	Менее 2,0	Мене 0,67

Согласно данным табл. 1, к породам, поведением которых можно управлять, применяя различные мероприятия, относятся среднеустойчивые, со смещениями до 200 мм ($\theta = \frac{R k}{\gamma H} = 1,0$).

С учетом этого примем к дальнейшему рассмотрению решение для $u^* = 0,1$.

Уругопластическая устойчивость породного массива.
Зависимость радиуса ЗНД r от величины объемного расширения

поряд ε в зоне неупругих деформаций для базового решения, полученного в [1] (выражение 3) показано на рис. 3 (линия 1).

Зависимость $r = f(\varepsilon)$ для критических смещений, равных $u^* = 0,1$, обоснованная выше в качестве критерия вспучивания, рассчитанная по ф. 23 для гидростатического распределения внешних нагрузок ($\lambda = 1$) и показателе условий разработки $\theta = 1,0$ показана линией 2 (рис. 3).

Аппроксимирующая степенная зависимость, приводящая решение (23) для u к базовому решению для критического радиуса ЗНД r (график 1, рис. 3) имеет вид:

$$f(\varepsilon) = 3.2 - 73\varepsilon + 414.4\varepsilon^2 \quad (25)$$

Тогда искомое решение для u будет:

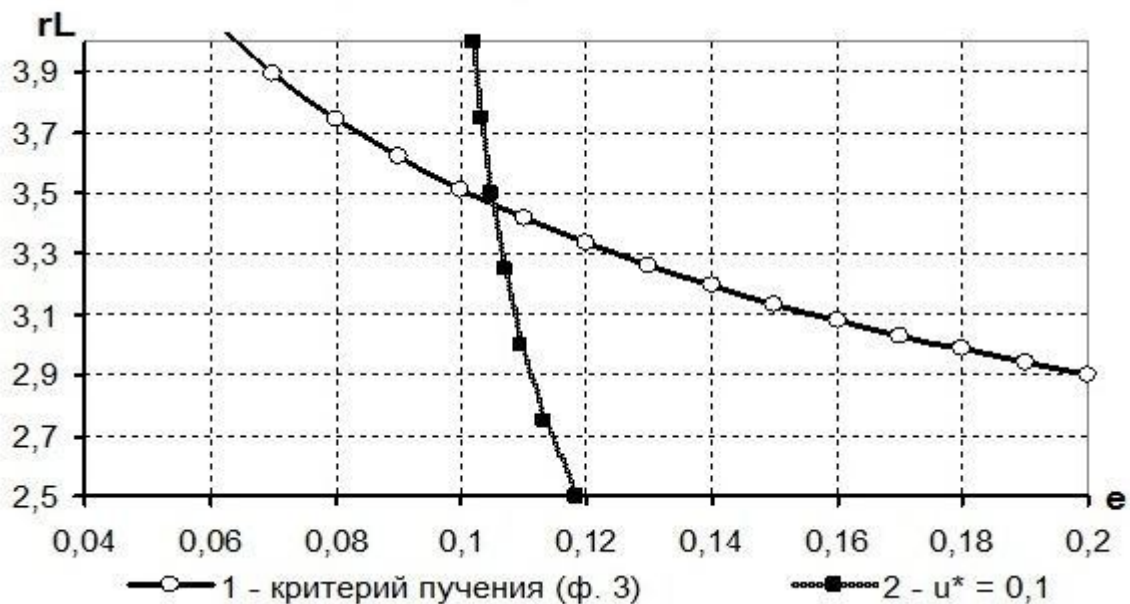


Рис. 3. Зависимость радиуса ЗНД r от величины объемного расширения пород ε в зоне неупругих деформаций

$$u = 0.006 \left(14.7 + \sqrt{1 - 67.2\varepsilon} \right) \left[\exp\left(-\frac{1}{NB}\right) - 1 \right] \quad (26)$$

Выражение (26) для условий негидростатического распределения внешних нагрузок будет иметь вид

$$u = 0.006 \left(14.7 + \sqrt{1 + 67.2\varepsilon} \right) \left[\exp\left(-\frac{(1+\lambda)}{2NB}\right) \left(1 - \frac{(1-\lambda)}{NB} \right) - 1 \right] \varepsilon \quad (27)$$

Анализ результатов аналитических исследований. Для прогноза возможности вспучивания важным является установление величины критических смещений контура выработки для различных горно-геологических условий.

Диапазон величин, входящих в формулу принят следующий.

Согласно [2], предельная глубина, с которой начинается разрушение приконтурного породного массива, определяется так:

$$H = \frac{R k}{2\gamma}, \quad (28)$$

что дает предельное значение показателя условий разработки

$\theta = \frac{R k}{\gamma H} = 2$. Поэтому для анализа рассматриваем диапазон изменения

$\theta = 0 \dots 2,0$.

Величину коэффициента бокового распора принимаем исходя из следующих рассуждений.

Согласно гипотезе о гидростатическом распределении напряжений А. Гейма величина $\lambda = 1$. Инструментальные измерения, выполненные ВНИМИ применительно к условиям пологозалегающих месторождений осадочного происхождения, подтвердили эту гипотезу.

Гипотеза А.Н. Динника о негидростатическом распределении напряжений предполагает значения $\lambda = 0,2 \dots 0,3$ – для упругих горных пород, $\lambda = 0,5 \dots 0,6$ – для пластичных.

Огромный объем экспериментальных исследований по измерению напряженного состояния земной коры, выполненных с 60-х гг. прошлого столетия во многих районах б. СССР (Кольский полуостров, Кривой Рог, Донбасс, Урал, Норильск, Кузбасс, Алтай, Средняя Азия и др.), а также за рубежом (Австрии, Норвегии, Швеции, Финляндии, Канаде, США, ЮАР и в других странах) показали, что каждой из упомянутых выше гипотез соответствует менее 25 % всех измерений. Подавляющий же объем измерений показывает, что принятые напряжения больше вертикальных в 1,5-6 раз.

Кроме того, при оценке напряженного состояния породной толщи нельзя не учитывать горнотехнические факторы в

конкретных условиях. При этом важна оценка двух факторов: вертикальной составляющей напряжений и коэффициента их передачи на горизонтальные, вызывающие поперечное расширение массива пород вблизи выработки (породного обнажения). Величина поперечных компонент зависит как от характеристики «напряжения-деформация» породы, так и от жесткости охранной конструкции выработки, запрещающей поперечное деформирование приконтурного массива, либо наоборот, активизирующая эти деформации (например, очистные работы в пределах горизонта, под- или надработка породной толщи).

С учетом вышеизложенного, уместно рассмотреть зависимость смещений контура выработки в почве от коэффициента бокового распора в более широком диапазоне значений, для чего рассмотрены $\lambda = 0 \dots 1,5$.

В отношении коэффициента $\psi = \frac{R}{R}$ принято условие, что его величина для большинства горных пород редко превышает $0,1 \dots 0,2$. Согласно теории Гриффитса, для хрупких материалов можно принять $\psi = \frac{1}{8}$. В данных расчетах принято $\psi = 0,12$.

Расчетные величины смещений контура выработки, являющиеся критерием вспучивания (устойчивости контура выработки) в зависимости от показателя условий разработки при гидростатическом влиянии внешней нагрузки представлены на рис. 4. Такие условия характерны, как было показано выше, для глубоких горизонтов пологозалегающих месторождений осадочного происхождения и для вертикальных выработок.

Зависимости критических смещений контура выработки от показателя условий разработки при негидростатическом влиянии внешних нагрузок показаны на рис. 5.

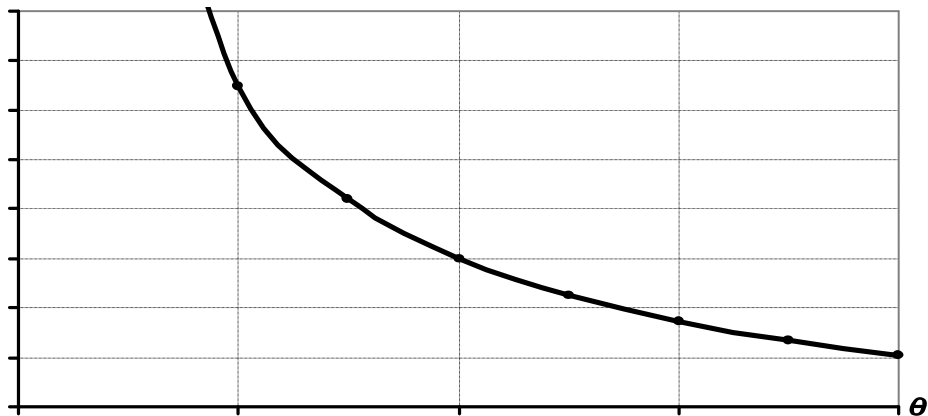


Рис. 4. Зависимость критической величины смещений контура выработки, от показателя условий разработки θ в условиях гидростатического распределения напряжений

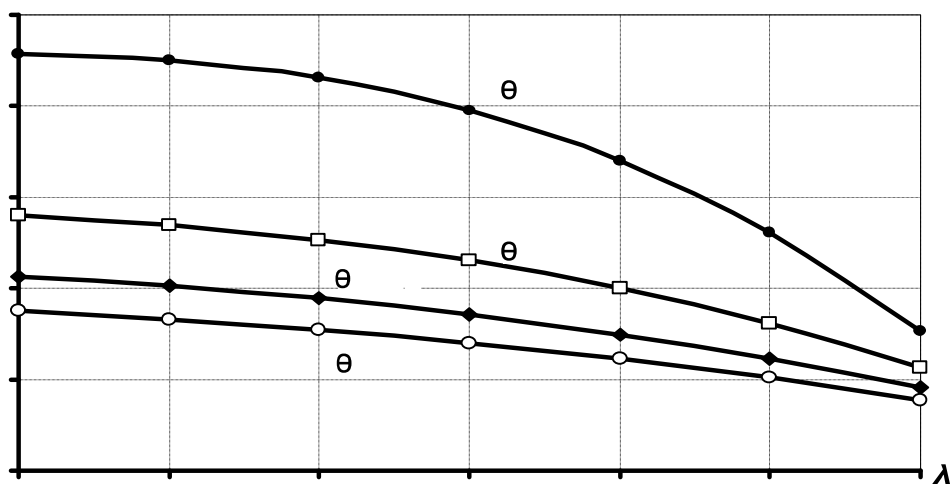


Рис. 5. Зависимость критической величины смещений контура выработки, от показателя условий разработки θ и коэффициента бокового распора λ

Полученные результаты, свидетельствуют о том, что при увеличении коэффициента бокового распора, что может быть результатом влияния очистных работ, близко расположенных выработок, а также влиянием тектонических напряжений, критические смещения, приводящие к потере устойчивости приконтурного массива снижаются, т.е. неуправляемое развитие пучения в выработке может начинаться при меньших значениях смещений контура выработки, что необходимо учитывать при планирова-

нии мероприятий, направленных на обеспечение длительной устойчивости выработки.

Данные расчеты также свидетельствуют, что критическая величина смещений контура при увеличении показателя условий разработки θ снижается, т.е. при более прочных породах, а также с увеличением глубины разработки, потеря упругопластической устойчивости может происходить при меньших значениях u и, предположительно, более интенсивно - подобно хрупкому разрушению.

Обеспечить устойчивое состояние пород почвы, как следует из полученного соотношения (27), можно путем проведения различных мероприятий, направленных на:

- уменьшение величины r ;
- уменьшение величины ε .

Уменьшить величину радиуса области неупругих деформаций можно путем увеличения прочности приконтурного массива. Для этого можно, во-первых, провести его упрочнение минеральными или синтетическими вяжущими веществами. Это мероприятие должно быть проведено в призабойном пространстве до образования области неупругих деформаций, что не всегда возможно по технологическим и горно-геологическим причинам. Упрочнение приконтурного массива в забое выработки может быть осуществлено также путем установки анкеров с закреплением их по всей длине.

Во-вторых, весьма эффективной мерой при существующих глубинах разработки может стать изоляция боковых пород, препятствующая возможности контакта с рудничной атмосферой, предупреждая их размокание и потерю прочности.

Известные исследования поведения пород в условиях «жесткого» деформирования [12, 13 и др.] показали, что максимальная величина объемного разрыхления (приконтурная область массива) очень чувствительна к наличию бокового давления. Причем чем ниже прочность пород, тем сильнее сказывается эффект подпора. В выработках роль бокового давления для приконтурного массива играет отпор крепи P . Поэтому уменьшение величины объемного расширения приконтурного массива возмож-

но путем применения конструкций крепи, имеющих высокую несущую способность, в первую очередь, имеющих замкнутый контур – кольцевые и крепи с обратным сводом. Значительный эффект дает способ предварительного уплотнения приконтурных пород гидростойками перед укреплением их анкерами.

Выводы. На основе решения задачи о критическом радиусе ЗНД - критерия вспучивания при представлении явления пучения пород почвы, как факта потери упругопластической устойчивости породного массива, предложен более удобный с практической точки зрения критерий вспучивания – критические смещения пород почвы, находящиеся в нелинейной зависимости от критического радиуса зоны неупругих деформаций и среднего объемного расширения пород.

Величина критических смещений контура выработки, как критерий упругопластической устойчивости массива, нелинейно зависит от показателя условий разработки и коэффициента бокового давления и обратно пропорционален их величинам, что необходимо учитывать при планировании мероприятий, направленных на обеспечение длительной устойчивости выработки.

Обеспечить устойчивое состояние пород почвы выработки можно путем проведения мероприятий, направленных на уменьшение размеров зоны неупругих деформаций и снижение расслоений пород в ее пределах, главным образом – зоны приконтурного массива.

Список литературы

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. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики. – К.: “Пульсари”, 2002. – 304 с.
3. Руппенейт К.В. Некоторые вопросы механики горных пород. – М.: Углетехиздат, 1954. – 383 с.
4. Михлин С.Г. Распределение напряжений в полуплоскости с эллиптическим вырезом. – Тр. Сейсмического института АН СССР. – 1934. - № 29. – С. 212-220.

-
5. Терещук Р.Н. Обоснование параметров анкерной крепи капитальных наклонных выработок в условиях шахт ГХК “Добропольеуголь”. Дисс... канд. техн. наук: 05.15.04. – Днепропетровск, 2002. – 162 с.
 6. Заславский Ю.З. Исследование проявлений горного давления в капитальных выработках глубоких шахт Донецкого бассейна. - М.: Недра, 1966. -180 с.
 7. Шестаков Г.П. Влияние структурно-геологических особенностей на определение напряжений и устойчивость почвы горных выработок шахт Донбасса Приложение результатов исследований полей напряжений к решению задач горного дела и инженерной геологии: Сб. науч. тр. - Апатиты, 1985. - С. 100 - 104.
 8. Прогнозный каталог шахтопластов Донецкого угольного бассейна с характеристикой горно-геологических факторов и явлений. - М.: ИГД им. Скочинского, 1982. – 267 с.
 9. Солодянкин А.В. Обоснование параметров способа усиления крепи подготовительных выработок при несимметричной нагрузке. Дисс...канд. техн. наук: 05.15.04. – Днепропетровск, 1996. – 243 с.
 10. Фесенко Э.В. Прогноз и закономерности пучения слоистых пород почвы горных выработок. Дисс...канд. техн. наук: 05.15.04. – Днепропетровск, 2005. – 187 с.
 11. СНИП II-94-80. Подземные горные выработки. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1982. – 272 с.
 12. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок. - Киев: Наукова думка, 1989. -192 с.
 13. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Пластичность горных пород. – М.: Недра, 1979. – 301 с.

Стаття надійшла до редакції 18.08.2014.

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук В.С. Маєвським

О.М. Шашенко, О.В. Солодянкин

ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

На підставі базового рішення задачі щодо критичного радіусу зони непружних деформацій, як критерію здимання порід підосви гірничих виробок, запропонований більш практичний критерій, заснований на критичному значенні зміщень порід підосви. Наведені залежності критичної величини зміщень підосви від показника умов розробки та коефіцієнту бічного розпору масиву. Показані напрямки забезпечення стійкого стану порід підосви виробок.

Ключові слова: здимання підосви виробки.

A.N. Shashenko, A.V. Solodyankin
National Mining University, Dnipropetrovsk

On the basis of a basic solution of a problem on critical radius of a zone of inelastic deformations as test of a floor heave in mine workings, test more convenient from the practical point of view is offered, founded on critical magnitude of displacement of soils of ground. Associations of critical magnitude of displacement of ground on a parameter of conditions of mining and coefficient of a side thrust presented. Directions of provision of a stable state of soils of ground of developments are shown.

Keywords: floor heave, underground roadway.