

УДК 622.261.2

Л.Н. Ширин, д-р техн. наук, проф.,  
Н.А. Лубенец, канд. техн. наук, доц.  
В.А. Расцветаев

Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“ г. Днепропетровск, Украина,  
rascvetaev@mail.ru

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ УЧАСТКОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ШАХТ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

L.N. Shirin, Dr. Sc. (Tech.), Professor,  
N.A. Lubenets, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor,  
V.A. Rastsvetaev

State Higher Educational Institution “National Mining  
University”, Dnipropetrovsk, Ukraine,  
rascvetaev@mail.ru

## PREDICTION OF DISTRICT TRANSPORT WORKING STABILITY IN THE ENVIRONMENT OF WESTERN DONBAS MINES

Обоснована актуальность прогнозирования устойчивости подготовительных горных выработок в условиях шахт Западного Донбасса. С учетом способов транспортирования, характеристик транспортных средств и параметров дилатансии массива горных пород вокруг подготовительной выработки проведен анализ ее устойчивости. Приведены рекомендации по прогнозированию устойчивости транспортных выработок, проводимых в породах с низкой степенью метаморфизации.

**Ключевые слова:** дилатансия, массив горных пород, арочная крепь

Состояние транспортных горных выработок и их развитие в пределах шахтного поля являются важнейшими факторами, обеспечивающими условия ведения горных работ. В особой степени это относится к участковым выработкам, эксплуатируемым в условиях активного пучения почв и подверженным влиянию очистных работ. Из-за потери устойчивости и площади сечения участков подземных выработок нарушается работа всех подсистем внутришахтного транспорта и шахты в целом.

Экспериментальные исследования изменчивости профилей рельсового пути на шахтах Западного Донбасса показали, что состояние трасс участковых подготовительных выработок определяется не только физико-механическими свойствами вмещающих пород почвы и условиями залегания разрабатываемых пластов, но и функциональным назначением эксплуатируемых выработок. Установлено, что в аналогичных горно-геологических условиях гипсометрические планы почвы и профили рельсового пути вентиляционных и транспортных выработок существенно отличаются. Оценка условий их эксплуатации показала, что проектные сечения участковых подготовительных выработок обеспечиваются путем многократной (пяти-шестикратной) подрывки вспученных пород почвы. При этом, в одних и тех же горнотехнических условиях эксплуатации транспортных выработок, при одном и том же характере пучения (рис. 1), объемы подрываемых пород неодинаковы.

Детальный анализ горно-геологических, горнотехнических и организационных причин активного проявления негативных эффектов, связанных с пучением почв в подготовительных пластовых выработках, показал, что одним из немаловажных факторов является вид эксплуатируемого транспортного оборудования.

Отмечено, что на участках со сложным профилем пути, где по горнотехническим и организационным причинам применялась откатка горной массы спаренными локомотивами, пучение почв проявлялось более активно. В тоже время, когда из-за невозможности применения тяжеловесных электровозов переходили на концевую откатку грузов, наблюдалось снижение воздействия негативных эффектов на рельсовый путь и крепь выработки.

Установленное явление в подготовительных выработках, проведенных в слабометаморфизированных породах, послужило основанием для выдвижения гипотезы о том, что динамические воздействия подвижного состава на рельсовый путь передаются на почву выработки и, в результате многократного наложения волн в массиве, провоцируют текучесть пород и переход их в стадию активного пучения. То есть, при определенных геомеханических условиях слабометаморфизированные горные породы могут переходить в состояние сверхпластичности, что может спровоцировать такие динамические явления как выдавливание угольного пласта и вмещающих пород в горные выработки вследствие их дилатансии (разрыхления) [1, 2]

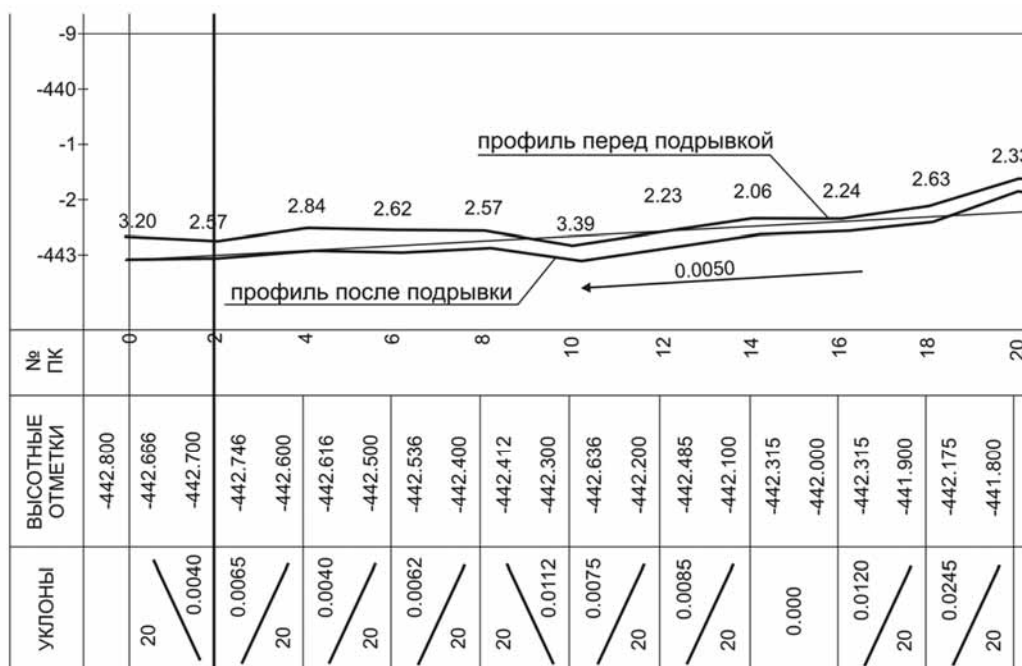


Рис. 1. Характер пучения пород почвы после очередной подрывки

Практика подтверждает, что следствием дилатансии вмещающих пород являются завалы, поднятие почвы выработок (рис. 2), деформации рам арочной крепи (рис. 3), которые в совокупности снижают устойчивость подготовительных выработок, усложняют работу транспортно-технологических систем и шахты в целом. Согласно [4] общая величина подрывок в некоторых магистральных штреках шахт Западного Донбасса в несколько раз превышает исходную высоту выработок, что объясняется значительным увеличением объема разрушенных пород (дилатансией) при переходе в запределное и пластическое состояние, т.е. удельный объем подрывных пород в несколько раз превышает удельный объем проектного сечения выработки. Частота и интенсивность проявления этих явлений, а также степень влияния их на устойчивость и пропускную способность подземных транспортных выработок малоизученны.



Рис. 2. Проявление дилатансии массива горных пород в почве выработок



Рис. 3. Деформации рам арочной крепи

Последнее обусловлено тем, что результаты шахтных экспериментов до настоящего времени не подтверждены теоретическими расчетами, отчасти потому, что отсутствуют данные о параметрах дилатансии горных пород.

Актуальность исследований в этом направлении существенно повысилась с внедрением в сложных горно-геологических условиях шахт Западного Донбасса высокопроизводительных механизированных комплексов, требующих повышения темпов подготовки новых выемочных столбов и обеспечения проектных сечений подготовительных выработок. Ключевым моментом в решении этой проблемы является прогнозирование устойчивости подготовительных выработок на разных стадиях их функционирования с учетом физико-механических свойств горных пород.

Результаты шахтных исследований характера изменения параметров подготовительных выработок, пройденных в слабометаморфизированных по-

родах, и физического моделирования их устойчивости, послужили предпосылками для описания особенностей проявления горного давления в транспортных магистралях с учетом дилатансии вмещающих пород.

Предварительными исследованиями установлено, что технологические процессы, подчиненные определенным законам геомеханики, хорошо описываются аналитическими экспресс-методами. Достоверность этих методов в значительной степени определяется правильностью выбора модели среды и адекватностью закономерностей, описывающих геомеханические процессы в массиве.

Анализ условий комбайнового проведения более сорока подготовительных выработок показал, что пластические деформации горных пород в неоднородном напряженном состоянии порой принимают огромные масштабы за небольшой промежуток времени и не соответствуют общепринятому представлению об их устойчивости.

Возрастающие требования к пропускной способности участковых транспортных выработок обусловили необходимость формирования новых подходов к оценке пластических свойств горных пород при проведении подготовительных выработок в специфических условиях шахт Западного Донбасса.

В настоящее время для расчетов напряженно-деформированного состояния горного массива используют упругую, вязко-упругую, упруго-пластичную, раздельно-блочную и др. модели среды [3]. Следует отметить, что доля того или иного фактора при деформации пород горного массива в рамках рассматриваемых моделей среды различна. Упругие и пластические деформации в общем процессе деформирования незначительны. Они несопоставимы с действительными деформациями выработок, поскольку проявляются сразу же после их проведения, и не учитывают реологические свойства пород, процессы долговременной прочности и дилатансии пород. Значительно большая часть приходится на деформации ползучести, обусловленные реологическими свойствами и дилатансией (разрыхлением) пород, процессами долговременной прочности пород, проявляющимися в непрекращающихся во времени смещениях боковых пород в горные выработки. По предположениям исследователей деформации подготовительных выработок от разрыхления пород и увеличения их объема составляют основную долю и достигают 70–90% и более.

Вместе с тем была дана расчетная оценка устойчивости подготовительной выработки (уменьшение площади сечения подготовительной выработки) за счет дилатансии горных пород и получены физические соотношения между напряжениями и деформациями в породах, которые необходимы для учета дилатансии пород при проведении моделирования устойчивости горных выработок [1,2]. Оценка устойчивости горной выработки рассчитывается по приведенной схеме (рис. 4).

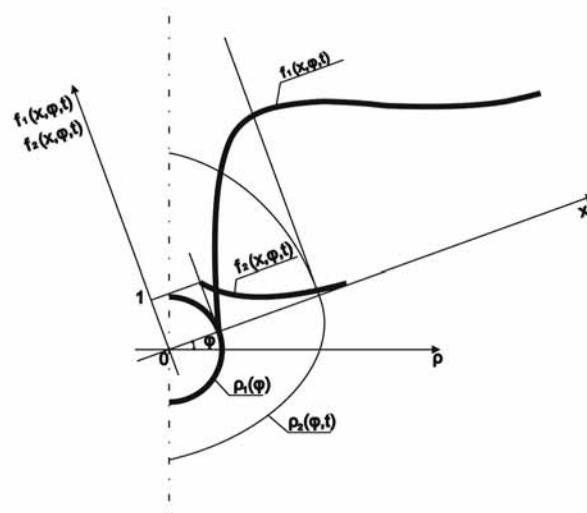


Рис. 4. Состояние массива пород в окрестности горизонтальной подготовительной выработки:  $\rho_1(\varphi)$  – функция, описывающая сечение подготовительной выработки в момент ее проведения;  $\rho_2(\varphi, t)$  – функция, описывающая границу области предельного состояния пород;  $f_1(x, \varphi, t)$  – функция, описывающая зависимость нормальных напряжений в зоне опорного давления;  $f_2(x, \varphi, t)$  – функция, описывающая изменение дилатансии пород в области опорного давления.

Суммарная дилатансия пород массива в окрестности выработки описывается выражением

$$\Delta S = \int_0^{2\pi} \varphi \int_{\rho_1(\varphi)}^{\rho_2(\varphi, T)} (k-1) e^{\lambda[x-\rho_1(\varphi)]} x dx, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент дилатансии пород в ненапряженном состоянии;  $\lambda'$  – функция заданного направления, характеризующая скорость затухания дилатансии пород в заданном направлении во времени,  $\lambda = \lambda(\varphi, t)$ .

Согласно проведенным оценочным расчетам уменьшение площади сечения вертикальной подготовительной выработки от фактора дилатансии, проведенной в массиве пород с коэффициентом дилатансии, например, равном 1,2 и глубиной области предельного состояния массива в ее окрестности 3 и 10 м, составляет 17% и 82% соответственно. Упругие и упруго-пластические деформации подготовительной выработки, проявляющиеся сразу после ее проведения, как известно из практики, незначительны. Поэтому расчетные деформации горной выработки составляют основную часть в структуре общей ее деформации. Это согласуется с данными практики и экспертными оценками исследователей [4].

Таким образом, подтверждено, что учет процесса дилатансии горных пород при моделировании напряженно-деформированного состояния массива является важным элементом, способствующим обеспечению адекватности модели, а, следовательно, и достоверности оценки прогнозируемой пропускной способности подготовительных выработок и транспортно-

технологических систем шахт, разрабатывающих тонкие пласты в условиях активного пучения почв.

На практике моделирование напряженно-деформированного состояния горного массива в окрестности очистных и подготовительных выработок выполняют различными методами механики сплошной среды. Среди них широкое распространение получили численные методы расчета, в частности метод конечных элементов (МКЭ) [3]. МКЭ дает возможность учесть конкретные структурные особенности и физико-механические свойства неоднородного породного массива, позволяет определить напряжения и деформации вокруг выработки любой конфигурации.

В МКЭ исследуемая область массива разбивается на конечное число элементов, их стыковка осуществляется только в узловых точках. Условия равновесия и совместности деформаций соблюдаются только для общих узлов элементов. Основная концепция МКЭ состоит в том, что искомое перемещение точек деформированного тела аппроксимируют набором простейших функций, заданных над ограниченным конечным элементом.

С помощью такой процедуры совместное решение дифференциальных уравнений равновесия, совместности деформаций и физические соотношения между напряжениями и деформациями пород, которые приведены ниже, сводится к решению системы уравнений.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + x = 0; \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + y = 0; \\ \varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}; \\ \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}; \\ \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y}; \\ \varepsilon_x = \frac{1}{E} (\sigma_x + \nu \sigma_y); \\ \varepsilon_y = \frac{1}{E} (\sigma_y + \nu \sigma_x); \\ \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}, \end{array} \right. \quad (2)$$

где  $\sigma_x, \sigma_y$  – составляющие нормального напряжения в породах;  $\tau_{xy}$  – тангенциальное напряжение в породах;  $\varepsilon_x, \varepsilon_y$  – составляющие линейной деформации пород;  $u, v$  – перемещение по оси  $x$  и  $y$ ;  $E$  – модуль Юнга;  $\nu$  – коэффициент Пуассона пород;  $\gamma_{xy}$  – угловая деформация пород;  $G$  – модуль сдвига.

Количественные значения искомой величины описываются в ограниченном числе точек (узлов) области, а в пределах элемента определяется по аппроксимирующим функциям. Получение различных нелинейных решений, учитывающих пластические и реологические

свойства пород, достигается многократным повторением линейных решений. Благодаря применению ЭВМ, метод конечных элементов позволяет решать задачи с весьма большим количеством элементов. До недавнего времени было принято, что для описания модели, как правило, достаточно обычного набора физико-механических характеристик, полученных при геологических исследованиях: Модуль Юнга  $E$ , коэффициент Пуассона  $\nu$ , объемная масса  $\gamma$ , коэффициент сцепления  $C$  и угол внутреннего трения  $\varphi$ .

Однако решение задачи с учетом области разрыхления пород предполагает установление физических соотношений между деформациями и напряжениями в породах, которые перешли в запрдельное состояние [5].

Физические соотношения между деформациями и напряжениями в породах, которые перешли в запрдельное состояние, имеют следующий вид

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} (\sigma_x + \nu \sigma_y) + \frac{2}{1 + \nu} (\sqrt{k} - 1); \quad (3)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} (\sigma_y + \nu \sigma_x) + \frac{2}{1 + \nu} (\sqrt{k} - 1), \quad (4)$$

где,  $k$  – коэффициент дилатансии горных пород.

Тогда для пород, которые не перешли в пластическое и запрдельное состояние, уравнения (3) и (4) превращаются в известные физические соотношения между напряжениями и деформациями [3]. Следовательно, полученные выражения (3) и (4) являются обобщающими. Они справедливы для описания взаимосвязи между напряжениями и деформациями как неразрушенных, так и пород, которые перешли в пластическое состояние, в области влияния горных работ. Совместное решение этих уравнений физического состояния с уравнениями равновесия, условием равновесия и соотношения Коши дает искомое решение задачи учета дилатансии пород в напряженно-деформированном состоянии массива пород, которые перешли в запрдельное состояние.

Обоснованные физические соотношения между напряжениями и деформациями пород в области влияния горных работ будут способствовать правильному выбору модели среды при моделировании напряженно-деформированного состояния массива пород численными методами в конкретных горно-геологических и горно-технических условиях с конкретными структурными особенностями залегания. Они позволят давать оценку и прогноз устойчивости участковых транспортных выработок.

Таким образом, установлено, что важнейшим элементом в получении достоверной оценки для прогнозирования устойчивости подземных транспортных выработок и транспортно-технологических схем шахт в целом является учет фактора дилатансии горных пород. Однако учет этого фактора сдерживается отчасти отсутствием рабочих программ расчета с использованием полученных уравнений физических соотношений между напряжениями и деформациями пород, характеристик дилатансии пород в справочной литературе и методик её определения.

**Список литературы**

1. Лубенец Н.А. Моделирование пластических свойств горных пород: в 2 т./Лубенец Н.А.// Днепропетровск: Сборник научных трудов НГУ. – 2003. – №17. – С. 574–576.
2. Лубенец Н.А. Явление сверхпластичности горного массива – ключ к пониманию причин и механизма возникновения некоторых динамических явлений /Лубенец Н.А.// Науковий вісник НГУ. – 2004. – №10. – С. 29–32.
3. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике / Фадеев А.Б. – Москва: Недра, 1987. – 222 с.
4. Кравченко А.В. Обоснование рациональных параметров крепей для магистральных выработок на угольных шахтах со слабометаморфизованными вмещающими породами (на примере шахт Западного Донбасса): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.15.02 „Підземна розробка родовищ корисних копалин“ / Анатолий Васильевич Кравченко/ – Дніпропетровськ, 1994. – 20 с.
5. Потапенко В.А. Проведение и поддержание выработок в неустойчивых породах / Потапенко В.А., Казанский Ю.В., Цыплаков Б.В. – Москва: Недра, 1990 – 336 с.

Обґрунтовано актуальність прогнозування стійкості підготовчих гірничих виробок в умовах шахт Західного Донбасу. З урахуванням способів транспортування, характеристик транспортних засобів і параметрів дилатансії масиву гірських порід навколо підготовчої виробки проведено аналіз її стійкості. Наведено рекомендації з прогнозування стійкості транспортних виробок, що вводяться в породах з низьким ступенем метаморфізації.

**Ключові слова:** дилатансія, масив гірських порід, арокне кріплення

An urgency of development mine workings stability prediction in the conditions of Western Donbas mines is proved. Taking into account ways of transportation, vehicles characteristics and dilatation parameters of rock massif around development mine working, the analysis of its stability is carried out. Recommendations about stability prediction of the transport mine workings driven in the rocks with low degree of metamorphism are given.

**Keywords:** dilatancy, rock massif, arched support

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук О.С. Пригуновим. Дата надходження рукопису 09.11.10*

УДК 622.272:624.191.5

**С.А. Харин<sup>1</sup>, канд. техн. наук,  
В.В. Коваленко<sup>2</sup>, канд. техн. наук**

1 – Криворожский технический университет, г. Кривой Рог, Украина  
2 – Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“, г. Днепропетровск, Украина

**АНАЛИЗ СХЕМ ВСКРЫТИЯ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ  
ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ШАХТ**

**S.A. Kharin<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Tech.),  
V.V. Kovalenko<sup>2</sup>, Cand. Sc. (Tech.)**

1 – Krivoy Rog Technical University, Krivoy Rog, Ukraine  
2 – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine

**ANALYSIS OF SCHEMES OF MINING FOR DEEP LAYERS  
OF IRON-ORE MINES**

Рассмотрены запасы природно-богатых железных руд на больших глубинах в Криворожском бассейне. Выполнен анализ способов вскрытия месторождения вертикальными скипо-клетевыми и наклонными конвейерными стволами. Для различных условий исследованы схемы строительства горизонтов второй ступени вскрытия с учетом возможной интенсивности ведения работ. Выполнен анализ использования различных схем строительства горизонтов второй ступени вскрытия в зависимости от количества точек приложения работ.

**Ключевые слова:** месторождение, железная руда, глубина, раскрытие, способ, выработка, ствол, квершлаг, штрек, точка встречи

В настоящее время разработка многих месторождений руд железа, никеля, меди, серебра, золота и других цветных металлов уходит на глубину. На золотых и медно-никелевых рудниках Канады в провинциях Онтарио и Квебек она колеблется в пределах 1500–3000 м, на золотых рудниках ЮАР и Индии горные работы ведутся на глубине свыше 3,5 км от поверхности. Очень глубоким является золотой руд-

ник „Вестерн Дип Левелз“ в ЮАР, где очистные работы превысили отметку 3,8 км.

В 80-е годы группой исследователей, которую, в частности, составляли академики Н.П. Семеновко и Я.Н. Белевцев, проф. Г.В. Тохтуев и др., было проведено изучение структуры рудных полей и залежей богатых железных руд Кривого Рога на глубоких горизонтах разработки. Сопоставим полученные, по данным [1], размеры прогнозных запасов природно-богатой железной руды и содержания в ней железа по различным рудникам (рис. 1).

<sup>5</sup> © Харин С.А., Коваленко В.В., 2011