

**Abstract.** Specificities of the shock-wave propagation in the blast-hole gap at the channel effect are considered. A mechanism of the channel effect which impacts on the blast-hole charge at its detonation is specified. It is stated that when a time period of the excess ( more than critical) pressure action increases a diameter of the blasting agent can essentially decrease. In this case a defining factor is an impact of the external pressure on the charge detonation stability. A critical length of the blasting agent charge in the bottom of the blast-hole, where the breaking of the detonation is possible, is specified. This critical length of the charge depends of charging coefficient and can be in range from 4,5% to 20% of its full length.

**Keywords:** shock wave, channel effect, blast-hole charge, breaking of detonation.

*Статья поступила в редакцию 10.02.2014*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук А.П. Круковским*

УДК 622.023.2:553.063.4

**А.Ю. Король**, инженер  
(ОП «Шахта «Димитрова»  
ГП «Красноармейскуголь»)

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИКОНТУРНОГО  
МАССИВА В ОКРЕСТНОСТИ ОДИНОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ  
ПРИ ВСПУЧИВАНИИ ПОРОД ПОЧВЫ**

**Г.Ю. Король**, инженер  
(ВП «Шахта «Димитрова»  
ДП «Красноармійськвугілля»)

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ ПРИКОНТУРНОГО МАСИВУ  
НАВКОЛО ОДИНОЧНОЇ ВИРОБКИ ПРИ СПУЧУВАННІ  
ПОРІД ПІДОШВИ**

**A.Yu. Korol**, M.Sc. (Tech.),  
(SC “Mine “Dimitrova” of the  
SOC “Krasnoarmeyskugol”)

**REGULAR DEFORMATION OF THE ROCK MASSIF AROUND A  
SINGLE MINE TUNNEL AT ITS FLOOR QUELLING**

**Аннотация.** На основе анализа геомеханических моделей принята бифуркационная теория явления вспучивания пород почвы в горных выработках.

В статье исследована численная геомеханическая модель вспучивания пород почвы в горных выработках с использованием программного продукта Phase 2 канадской компании Rockscience. Моделирование выполнялось в несколько этапов. На первом этапе моделировалась устойчивость одиночной выработки, на втором – учитывалось наличие смежной выработки, и на третьем этапе оценивалось влияние приближающегося забоя лавы.

В результате проведенных исследований установлено, что после момента вспучивания пород почвы (точка бифуркации) геомеханические параметры упругопластического состояния массива в кровле и боках выработки остаются неизменными, а в почве продолжают нарастать по нелинейному закону, что позволяет на этой основе разрабатывать практические мероприятия по управлению этим процессом.

**Ключевые слова:** пучение пород почвы, упругопластическая устойчивость, приконтурный породный массив, численное моделирование, конечноэлементная модель, точка бифуркации.

**Введение.** Пучение пород почвы в горных выработках является распространенным явлением, которому посвящены многочисленные исследования, чья история охватывает промежуток времени длительностью более 100 лет. Наиболее полный обзор их можно найти в монографии [1]. Из него следует, что из всех геомеханических моделей, предлагаемых вниманию ученых, наиболее обоснованной является бифуркационная [2], предполагающая потерю упругопластической устойчивости приконтурного породного массива, ослабленного выработкой. Многочисленные натурные измерения и моделирование процесса вспучивания пород почвы подтвердили правомерность этой теории [3].

Недостатком как натурных, так и лабораторных исследований является то, что явление изучается по его внешним признакам, которыми в данном случае являются перемещения контура выработки – почва, бока, кровля. Закономерности деформирования законтурного массива, особенно с учетом жесткого нагружения пород [4, 5], остаются за рамками рассмотрения. Численное моделирование, как дополнение к натурным исследованиям, позволяет устранить этот недостаток.

**Методы исследований.** При разработке геомеханической модели вспучивания пород почвы в горных выработках был использован программный продукт Phase 2 канадской компании Rockscience, хорошо зарекомендовавший себя в подобного рода исследованиях [5], когда деформации массива вокруг выработки являются пластическими.

В качестве объекта исследований выбран 8-й северный вентиляционный штрек уклонного поля пласта  $m_{1в}^5$  гор. 450 м ПСП «Шахта «Добропольская»., который проводился навстречу движущемуся забою лавы, что является особенностью этой выработки. Взаимодействие сложной геомеханической системы «забой лавы - имеющийся штрек – проводимая выработка» в горно-геологических условиях ПСП «Шахта «Добропольская» приводит к интенсификации проявлений горного давления, к необходимости учитывать это обстоятельство при разработке систем крепи и охранных мероприятий.

Расчетная схема является многоэтапной. На первом этапе моделируется устойчивость одиночной выработки, на втором – наличие второй выработки, и на третьем этапе оценивается влияние приближающегося забоя лавы. Глубина расположения комплекса выработок 740 м.

Рассматриваемая в рамках настоящей статьи конечноэлементная модель, соответствующая первому этапу исследований, приведена на рис. 1.

Моделируется геомеханическая ситуация, при которой уровень напряжений в окрестности выработки непрерывно возрастает с увеличением глубины ее расположения –  $H$ . Начиная с определенной глубины вокруг выработки формируется зона неупругих деформаций, которая при коэффициенте бокового распора  $\lambda=1$  имеет форму, близкую к круговой (рис. 2) с радиусом  $R_L$ , который в рассматриваемом случае равен 4,3 м.

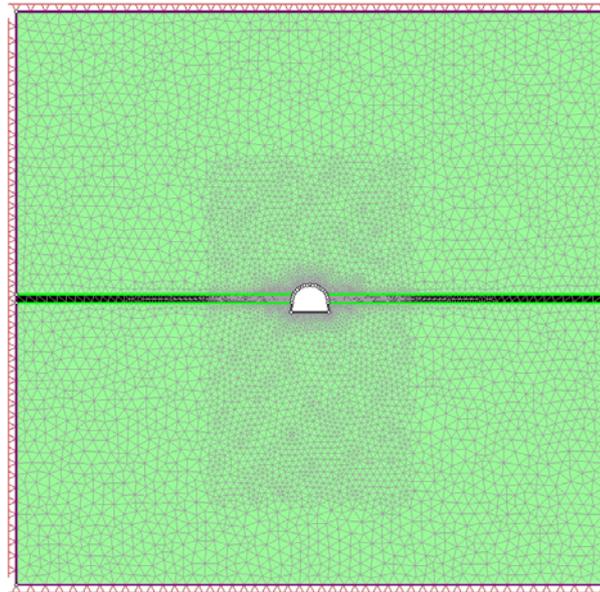


Рисунок 1 – Расчетная схема к численной задаче

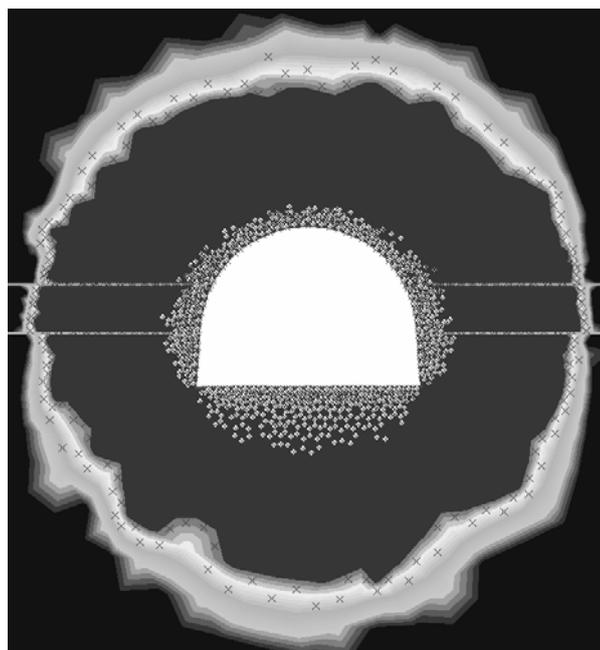


Рисунок 2 – Конфигурация зоны неупругих деформаций при  $H < H_{кр}$

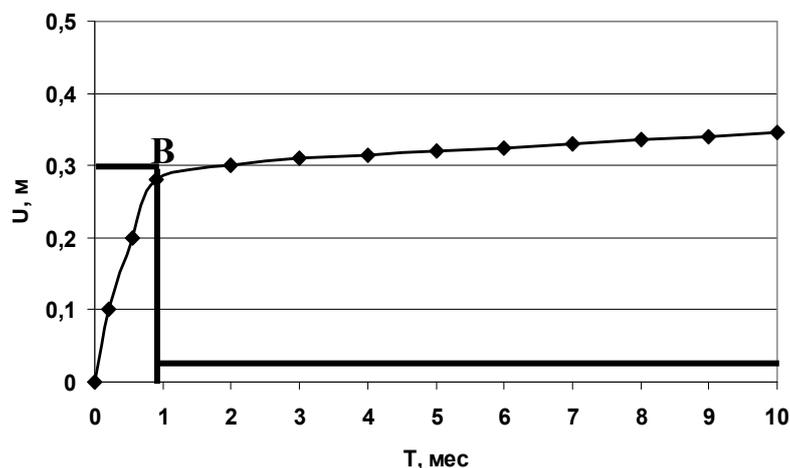
При достижении глубины  $H = H_{кр}$  происходит вспучивание пород почвы выработки. Этой ситуации соответствует равенство правой и левой части критериального соотношения

$$\varepsilon_v r_L^* \ln r_L^{*2} = 2, \quad (1)$$

где  $r_L^*$  - критическое значение радиуса области неупругих деформаций,  $\varepsilon_v$  - среднее значение коэффициента пластического разрыхления пород в приконтурной зоне (принимается по результатам лабораторных испытаний горных по-

род).

При  $r_L = r_L^*$  происходит потеря упругопластической устойчивости приконтурного массива в области  $r_L^* > r_L > 1$  и начинается процесс пучения пород почвы в выработке. На модели это имитируется искусственным поднятием точки, расположенной в центре почвы, на определенную величину, которая снимается из графика реального процесса пучения, построенного по данным натурных измерений в схожих горногеологических условиях (рис. 3).



В - точка бифуркации:  $U$  - перемещения,  $\frac{dU}{dT}$  - скорость перемещений

Рисунок 3 – Процесс деформирования пород почвы в одиночной выработке:

На рис. 4 показана конфигурация зоны неупругих деформаций в момент вспучивание пород почвы, что соответствует точке бифуркации В на графике рис. 3.

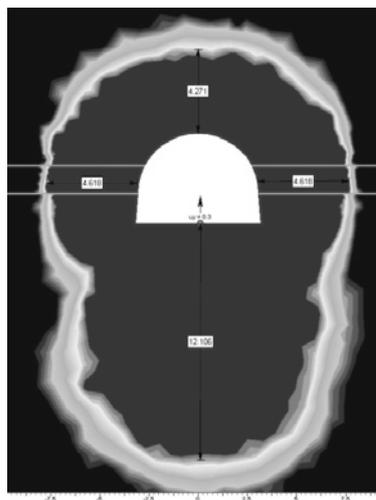


Рисунок 4 – Конфигурация зоны неупругих деформаций после вспучивания пород почвы

Видно, что со стороны почвы зона разрушенных пород простирается на 10,5 м. Это в 2,5 раза больше, чем в кровле и боках выработки. Дальнейший анализ показал, что по мере поднятия пород почвы размер зоны неупругих деформаций в почве выработки растёт, а в кровле остаётся практически неизменным.

Этот вывод можно сделать и в отношении перемещений контура выработки (рис. 5).

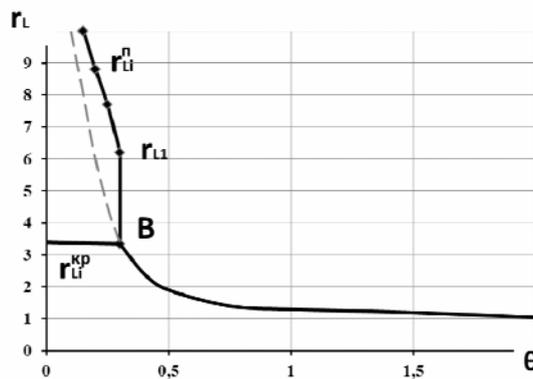


Рисунок 5 – Изменение размеров неупругих деформаций в кровле ( $r_L^{kp}$ ) и почве ( $r_L^n$ ) выработки по мере увеличения поднятия пород почвы

### Выводы:

1. Предложена методика численного моделирования процесса пучения пород почвы в горных выработках.
2. Подтверждена бифуркационная теория явления вспучивания пород почвы в горных выработках.
3. Установлено, что после момента вспучивания пород почвы (точка бифуркации) геомеханические параметры упругопластического состояния массива в кровле и боках выработки остаются практически неизменными, а в почве продолжают нарастать по нелинейному закону.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шашенко, А.Н. Управление устойчивостью протяженных выработок глубоких шахт / А.Н. Шашенко, Солодянкин А.Н., Мартовицкий А.В. – Днепропетровск: «ЛизуновПрес», 2012. – 384 с. – (Монография).
2. Шашенко, А.Н. Некоторые задачи статической геомеханики / А.Н. Шашенко, С.Б. Тулуб, Е.А. Сдвижкова – Киев: Университетское изд-во «Пульсары», 2002. – 304 с.
3. Шашенко, А.Н. Деформируемость и прочность массивов горных пород / А.Н. Шашенко, Е.А. Сдвижкова, С.Н. Гапеев – Днепропетровск, изд-во НГУ, 2008. – 224 с.
4. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок. – К.: Наукова думка, 1983. – 192 с.
5. Кирничанский Г.Т. Элементы теории деформирования и разрушения горных пород. – К.: Наукова думка, 1999. – 179 с.
6. Численное моделирование процесса пучения пород почвы в горных выработках / А.Н. Шашенко, К.В. Кравченко, И.Н. Попович, А.Ю. Король // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2012, 2-5 жовтня, 2013 р. – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2013. – С. – 170-174.

### REFERENCES

1. Shashenko, A.N., Solodyankin, A.N. and Martovitskiy, A.V. (2012), *Upravleniye ustoychivostyu protyazhyennykh vyrobotok glubokikh shakht* [Maintenance of sustainable workings extended in deep mines], Lizunov Pres, Dnepropetrovsk, Ukraine.
2. Shashenko, A.N., Tulub, C.B. and Sdvizhkova, Ye.A. (2002), *Nekotorye zadachi statisticheskoy geomekhaniki* [Some problems of static geomechanics], Universitetskoye izdatelstvo “Pulsary”, Kiev, Ukraine.
3. Shashenko, A.N., Sdvizhkova, Ye.A. and Gapeyev, S.N. (2008), *Defimiruyemost i prochnost massivov gornyykh porod* [Deformability and strength of rock massifs], Izdatelstvo NGU, Dnepropetrovsk,

Ukraine.

4. Vinogradov, V.V. (1983), *Geomechanika upravleniya sostoyaniyem massiva vblizi gornykh vyrabotok* [Geomechanics control the state of the massif near the mine workings], Naukova dumka, Kiev, SU.

5. Kirnichanskiy, G.T. (1999), *Elementy teorii deformatsii i razrusheniya gornykh porod* [Elements of the theory deformation and destruction of rocks], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.

6. Shashenko, A.N., Kravchenko, K.V., Popovich, I.N. and Korol, A.Y. (2013), *Chislennyye modelirovaniye protsessy pucheniya porod pochvy v gornykh vyrabotkakh* [Numerical models of soil swelling in mine workings], *Materialy mizhnarodnoy konferentsiy "Forum girnykiv – 2012"*, 3-6 zhovtnya. – D. Derzhavnyy vyshchyy navchalnyy zaklad "Natsionalniy girnychiy universitet", Ukraine.

---

#### Об авторе

**Король Анна Юрьевна**, заместитель директора по экономическим вопросам ОП «Шахта «Димитрова» ГП «Красноармейскуголь», Димитров, Донецкая область, Украина, [shashenkoa@nmu.org.ua](mailto:shashenkoa@nmu.org.ua)

#### About the author

**Korol Anna Yuryevna**, Deputy Director on economic affairs, SC "Mine "Dimitrova" of the state-owned company "Krasnoarmeyskugol", Dimitrov, Donetsk region, Ukraine, [shashenkoa@nmu.org.ua](mailto:shashenkoa@nmu.org.ua)

---

**Анотація.** Стаття спрямована на розробку методики чисельного моделювання процесу здимання порід ґрунту в гірничих виробках. На основі аналізу геомеханічних моделей прийнята біфуркаційна теорія явища здимання порід ґрунту в гірничих виробках. У статті досліджена чисельна геомеханічна модель здимання порід ґрунту в гірничих виробках з використанням програмного продукту Phase 2 канадської компанії Rockscience. Моделювання виконувалося у декілька етапів. На першому етапі моделювалась стійкість одиночної виробки, на другому - наявність суміжної виробки, і на третьому етапі оцінювався вплив вибою лави, що наближається. В результаті проведених досліджень встановлено, що після моменту здимання порід ґрунту (точка біфуркації) геомеханічні параметри упругопластичного стану масиву в покрівлі і боках виробки залишаються незмінними, а в ґрунті продовжують наростати по нелінійному закону, що дозволяє на цій основі розробляти практичні заходи з управління цим процесом.

**Ключові слова:** здимання порід ґрунту, пружнопластична стійкість приконтурного породного масиву, чисельне моделювання, скінченоелементна модель, точка біфуркації.

**Abstract.** The article presents methods for numerical simulation of the floor quelling in the mine tunnels. Basing on analysis of geomechanical models, a bifurcation theory of the floor quelling in the tunnels was created. A numerical geomechanical model of the tunnel floor quelling was investigated with the help of the software Phase 2 designed by the Canadian company Rockscience. The process of modeling consisted of several stages. Stability of a single tunnel was simulated at the first stage, and adherent tunnels were modeled at the second stage. An impact of the approaching longwall face was assessed at the third stage. As a result of the research, it is stated that just after the moment of the floor quelling (a bifurcation point), geomechanical parameters of the elastic and plastic state of the massif in the tunnel roof and walls are still the same while these parameters in the floor continue to grow by a nonlinear rule.

The findings allow to work out practical measures for controlling a process of the floor quelling.

**Keywords:** floor quelling, elastic and plastic stability of the rock massif around a mine tunnel, numerical simulation, finite element model, bifurcation point.

*Стаття поступила в редакцію 25.01.2014*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук А.П. Круковским*

**И.Г. Сахно**, канд. техн. наук, доцент  
(ГВУЗ «ДонНТУ»)

**ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ОХРАННОГО СООРУЖЕНИЯ НА  
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРОДНОГО  
МАССИВА ВОКРУГ ВЫРАБОТОК, ПОДДЕРЖИВАЕМЫХ ЗА ЛАВОЙ**

**I.G. Sakhno**, канд. техн. наук, доцент  
(ДВНЗ «ДонНТУ»)

**ВПЛИВ ЖОРСТКОСТІ ОХОРОННОЇ СПОРУДИ НА НАПРУЖЕНО-  
ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПОРОДНОГО МАСИВУ НАВКОЛО  
ВИРОБОК, ЯКІ ПІДТРИМУЮТЬСЯ ЗА ЛАВОЮ**

**I.G. Sakhno**, Ph.D. (Tech.), Associate Professor  
(SHEE «DonNTU»)

**IMPACT OF RIGIDITY OF A PROTECTIVE CONSTRUCTION ON THE  
STRESS-STRAIN STATE OF THE ROCK MASS AROUND THE  
ROADWAYS SUPPORTED AFTER THE LONGWALL**

**Аннотация.** Важнейшей задачей, стоящей перед угольной отраслью Украины традиционно является обеспечение эксплуатационного состояния горных выработок и повышение их надежности. Целью исследований, представленных в статье, является изучение изменения геомеханической ситуации вокруг подготовительной выработки при ее переходе в зону поддержания позади очистного забоя и установление влияния жесткости охранного сооружения на устойчивость подготовительной выработки за лавой.

Исследование проводилось методом конечных элементов. В результате моделирования установлено, что при поддержании выработок за лавой локализация максимальных напряжений и вид объемного напряженного состояния в основной кровле, зависящей на границе с выработанным пространством, определяется жесткостью охранной полосы. Область формирования максимальных напряжений в основной кровле определяет место ее разрушения и устойчивость охраняемой выработки. При недостаточной жесткости охранной полосы или ее запоздалом включении в работу возникает необходимость разработки способов охраны направленных на принудительное обрушение основной кровли над охранной полосой с целью обеспечения устойчивости выработок за лавой. В результате проведенных исследований определена область применения способов принудительного обрушения основной кровли.

**Ключевые слова:** горная выработка, напряжения, деформации, разрушение, обрушение, кровля.

**Введение.** Долгие годы одной из основных проблем угольных шахт Украины является недостаточная эксплуатационная надежность горных выработок. Сложившееся положение с проведением и ремонтом горных выработок привело к диспропорции в распределении рабочих по отдельным видам работ.