

риала за счёт снижения значения крутящего момента в крайнем нижнем положении подбойки.

2. Выполнение профилированной рабочей поверхности подбойки и установка отклоняющего ролика над осью её вращения способствует росту крутящего момента подбойки, погружаемой в балластный материал, и достижению максимального значения в крайнем нижнем положении.

3. Верхнее расположение профилированной рабочей поверхности подбойки и отклоняющего ролика относительно её оси вращения позволит повысить производительность шпалоподбивочной вибрационной установки в 2–2,5 раза, достигнув подбивания 30–40 шпал в час.

#### Список литературы / References

1. *Вибродоставочные комплексы в технологиях разработки рудных месторождений* / Потураев В.Н., Дырда В.И., Поддубный И.К. и др.; под ред. В.И. Белоброва. – К.: Наук. думка, 1989. – 167 с.

*Complexes of vibrating delivery in ore deposits development technologies* / Poturayev V.N., Dyrda V.I., Poddubnyy I.K. et al.; edited by V.I. Belobrov. – K.: Nauk. dumka, 1989. – 167 p.

2. *Ляшенко В.И.* Механизация вспомогательных процессов на уранодобывающих рудниках Украины / В.И. Ляшенко, В.З. Дятчин, А.Г. Скотаренко // *Научный вестник НГУ.* – 2008. – №7. – С. 28–31.

*Lyashenko V.I.* Mechanization of auxiliary processes on mines of Ukraine extracting uranium / V.I. Lyashenko, V.Z. Dyatchin, A.G. Skotarenko // *Naukovyi visnyk NGU.* – 2008. – No.7. – P. 28–31.

3. *Ляшенко В.И.* Развитие технических средств для горнорудной и металлургической промышленности / В.И. Ляшенко, В.З. Дятчин, Д.В. Дятчин // *Научный вестник НГУ.* – 2008. – №9. – С. 85–95.

*Lyashenko V.I.* Development of technical means for mining and metallurgical industry / V.I. Lyashenko, V.Z. Dyatchin, D.V. Dyatchin // *Naukovyi visnyk NGU.* – 2008. – No.9. – P. 85–95.

Проведено аналітичні дослідження підбивного механізму існуючих шпалопідбивних вібраційних установок та виявлено його недоліки. Запропоновано нову математичну модель процесу підбивання. Встановлено, що ефективність роботи установки залежить не тільки від форми профільованих направляючих поверхонь шпалопідбивок, але й від місця розташування відхиляючого ролика щодо осі обертання шпалопідбійки. Запропоновано спосіб удосконалення шпалопідбивного механізму, який дозволить підвищити продуктивність шпалопідбивної вібраційної установки.

**Ключові слова:** шпалопідбивна вібраційна установка, балластний матеріал, рейкова колія, шпали

Analytical research of tamping mechanism of the existent tamping vibratory plants was conducted and failings of the mechanism are determined. A new mathematical model of tamping process is proposed. It is established that efficiency of the plant's work depends not only on the form of the profiled guide surfaces of ballast-tampers but also on deflecting roller location relative to the axis of rotation of ballast-tamper. A method of tamping mechanism improvement is proposed that will allow increasing the tamping vibratory plant efficiency.

**Keywords:** tamping vibratory plant, ballast material, railway line, sleepers

*Рекомендовано до публікації гол. спец. ГМО В.А. Гоголем. Дата надходження рукопису 14.07.10*

УДК 622.831.1

Тадеуш Майхерчик, д-р. техн. наук, проф.

Краковская горно-металлургическая академия, г. Краков, Польша, e-mail: tmajcher@agh.edu.pl

## ОБРУШЕНИЕ КАК ПРИЧИНА ГОРНОЙ КАТАСТРОФЫ

Tadeusz Majcherczyk, Dr. Sci. (Tech.), Professor

AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland, e-mail: tmajcher@agh.edu.pl

## FAILURE AS THE CAUSE OF A MINING ACCIDENT

Рассматривается геомеханическое явление случайного происхождения в виде обрушения, которое имело место в одной из польских каменноугольных шахт. Последствия обрушения пород в кровле протяженной выработки привели к горной катастрофе с большими материальными затратами. Статья включает также характеристики различных типов обрушений пород кровли и причин их возникновения.

**Ключевые слова:** геомеханическое явление, обрушение, горные породы, выбросы, случайное событие, кровля выработки, упрочненная зона

**Введение.** Нарушение горными работами начального равновесного состояния горного массива является причиной возникновения особых геомеханических процессов. Ознакомление с проявлениями горного давления и возможность их выявления среди целого

ряда явлений может исключить несчастные случаи, имеющие временами характер катастрофы [1].

Своевременное выведение бригады за пределы опасного участка выработки может уберечь от последствий возможного горного удара или обрушения. Подходящее и быстрое решение – это основа правильной оценки явления и проведения необходимой

профілактики, а також методів боротьби з появившеюся угрозой.

Проявляючись в підземних шахтах динамічні явлення в формі сотрясений і вібрацій породного масива приводять до русвиженію пород в охрестности горних вироботок. Перемещеніе породних одельностей неразрывно сопутствует горной деятельности и связано с естественными нарушениями породных слоев и высвобожденной упругой энергией [2].

Рассматривая напряженное состояние вокруг протяженной выработки, следует отметить, что в ближайшем окружении контура выработки формируется разгруженная зона, нарушения в которой не позволяют воспринять большее давление. Размер этой зоны существенно влияет на устойчивость выработки в длительном периоде времени. Увеличенная зона нарушений может быть причиной обрушения пород кровли и разрушения крепи, что приводит к ограничению функционирования выработки. Если эта выработка является в шахте главной артерией поставки добытого полезного ископаемого, тогда имеем дело со случаем горной катастрофы. Отсутствие возможности транспортирования добытого полезного ископаемого на поверхность – это огромные финансовые потери для горного предприятия. Подобный случай будет рассмотрен в данной статье на примере обрушения участка главной транспортной выработки.

**Постановка задачи.** Типы обрушений пород и причины их возникновения. Обрушение – это быстрое, неожиданное смещение расслоенных пород кровли в выработку, проходящее стремительно, способное приводить к несчастным случаям и нарушению производственных процессов [1].

Обрушения могут охватывать целую выработку, часть выработки или локально могут оборваться только несколько глыб со стороны кровли или боков (тогда это называется обвалами). В результате обрушения выработка может утратить свою функциональность, что приводит к различным финансовым рискам, в зависимости от функциональной ответственности горных выработок [3].

Из анализа произошедших в Польских шахтах обрушений пород следует, что их главная причина связана с природными угрозами отрыва пород кровли или боков, а также случаями обрушения и сдвижения породных масс или отдельных скальных глыб. Изучение на протяжении 11 лет случаев обрушений, где причиной являлось сдвижение породных масс, представлено на рис. 1, а на рис. 2 представлено процентное соотношение причин общих случаев, связанных с активизацией природных угроз, за период 1999–2009 г.г.

Протекание обрушения может быть быстрым или постепенным, когда глыбы пород начинают обрушаться с незакрепленной или плохо закрепленной кровли и медленно заполняют выработку. Причины обрушений следует искать, прежде всего, в горном давлении, которое приводит к поэтапному расслоению кровли выработок, нарушению прочности вмещающих пород вокруг выработки, а также оседанию нарушенных пород на крепь. Происхождение обрушений зависит также от типа горных пород, в которых проведена горная выработка. Огромное влияние оказывает способ проведения выработки, способ ее крепления и поддержания. Плохо поддерживаемая выработка легко подвержена обрушению.

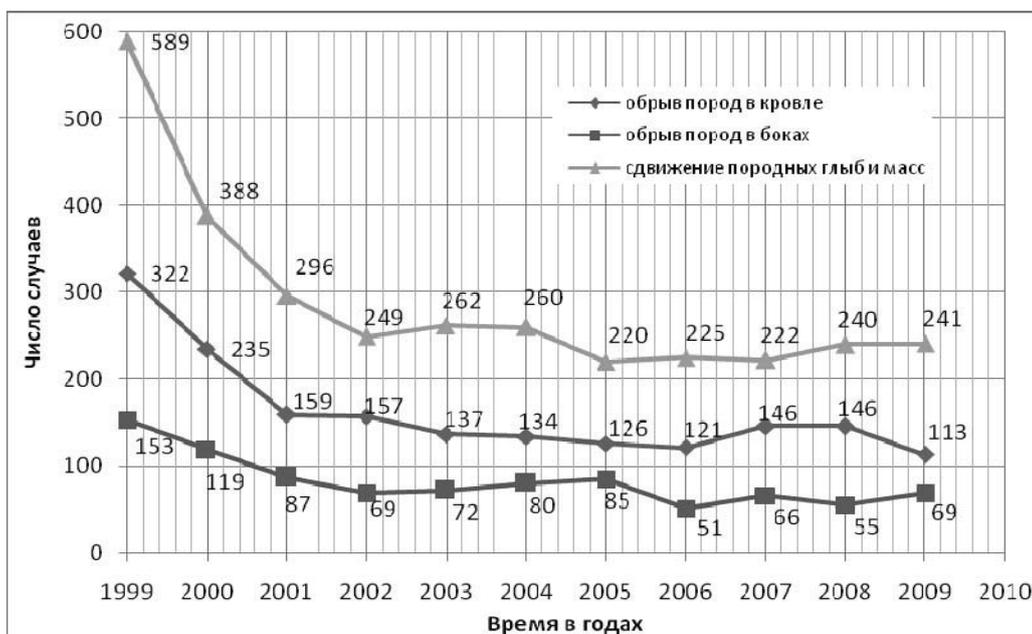


Рис. 1. Число случаев, связанных с обрушениями пород и смещением скальных глыб, в период 1999–2009 гг.

В случае больших давлений в крепких и упругих породах происходят выбросы.

В породах, которые не склонны к горным ударам, нарушения проявляются более спокойным путем.

Породы деформируются с большим или меньшим количеством нарушений, участки кровли оседают прямо на крепь. В таких случаях только эффективная и своевременно возведенная крепь может уберечь выработку от обрушения. Если же какой-то элемент крепи

откажет или породы выпадут между верхняками, то в выработке могут возникнуть локальные обвалы. Они, в свою очередь, могут „лавинообразно“ расширяться на ближайшее окружение и спровоцировать бурное и быстрое обрушение даже на протяжении целой выработки.

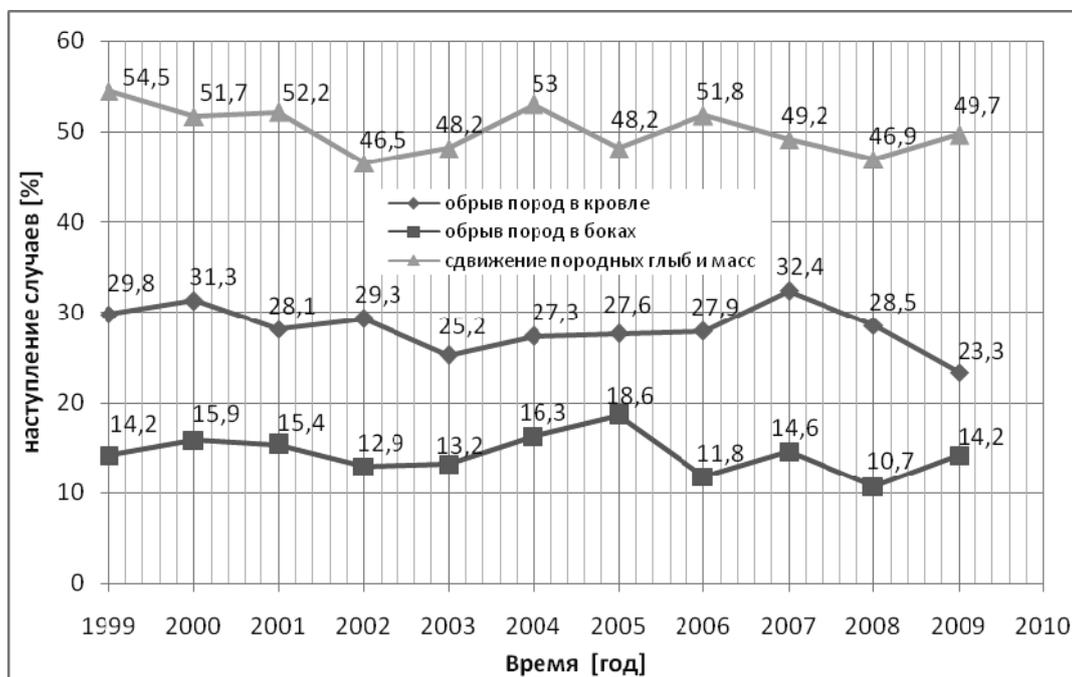


Рис. 2. Процентное участие отдельных причин в общем числе несчастных случаев, связанных с природными угрозами, в период 1999-2009 г.г.

Стремительные обрушения также опасны, как и удары. Перед началом этого процесса проявляются, однако, многочисленные признаки давления и разрушения кровли. Временами горный массив успокаивается сам после частичного обвала.

Обрушения могут возникнуть во всех типах пород: прочных и слабых. Однако, чем более слабые породы, тем легче подвергаются они нарушениям и тем проще могут возникнуть обрушения (завалы). Наибольшее количество обрушений возникает в наиболее опасной зоне геологических нарушений массива, таких как зоны сдвига, надвига, волновой складчатости, выклинивания и других тектонических нарушений.

В осадочном горном массиве легко проявляется расслоение кровли. В таком случае породы оседают на крепь и угрожают целостности выработки. Когда горный массив дополнительно поврежден густой сетью плоскостей трещин (даже с малой величиной раскрытия), то могут возникнуть обрушения уже при незначительном горном давлении. Очень легко, например, подвергаются нарушениям глинистые сланцы, находящиеся непосредственно над пластом и формирующие, так называемую, „ложную кровлю“. В этом случае весьма прочный сланец разрушается путем отслоений и лишь с большим трудом его смещения удастся сдерживать крепью. Часто он обрушается при отслоении кровли в рабочем поле лавы и „загрязняет“ уголь (повышает его зольность). Слабые

и даже незначительные нарушения кровли представляют серьезную угрозу и требуют своевременного возведения эффективной крепи, поскольку под влиянием даже незначительного нагружения формируются обрушения, заполняющие выработки [4].

От крупных обрушений следует отличать мелкие обвалы или смещения пород, вызванные недостаточным отпором крепи кровли или боков, которые являются причиной многих нежелательных случаев. Отдельная слабо удерживаемая в целике глыба угля или другой породы, на которую не обратили внимания и которую не обрушили вовремя, или не обеспечили дополнительной крепью, во время обвала может задеть человека и становится непосредственной причиной несчастного случая.

На возникновение обрушений (завалов) очень большое влияние имеют процессы выветривания породы и изменение температуры, проявляющиеся в горных выработках. Всякая порода выветривается в результате движения воздушной струи. Некоторые ее части окисляются, другие – образуют углеродные связи, а вода в виде пара, присутствующая в воздухе, входит также в другие составляющие. В породе появляются новые черты, которые еще более углубляются со временем. Существовавшее ранее нарушение также развивается в связи с поступлением воздуха (особенно влажного) и воды. При этом породы теряют свою первоначальную прочность. Разрушенная порода может вывалиться с кровли или боков, а в

случае присутствия даже небольших давлений – могут появиться значительные обрушения.

Существенную угрозу, с точки зрения возникновения обрушений, представляют изменения температуры, которые в определенных условиях могут быть достаточно значительные. На больших глубинах породы теплее, чем окружающий их воздух, который их постоянно охлаждает до тех пор, пока температура пород сравняется с атмосферной. Под влиянием охлаждения породы подвергаются нарушениям, углубляется и ускоряется процесс выветривания. К подобным результатам приводят изменения температуры, вызванные шахтными пожарами. В таких случаях под влиянием больших температур уголь в боках растрескивается и, неохранный крепью, образует обрушения, которые так часто наблюдаем после открытия поля пожара.

Как следует из вышесказанного, малые обвалы и обрушения пород плотно связаны с локальными условиями работ. Качество выполненной отбойки в горном забое, обрывание угрожающих кусков во время монтажа крепи, а также поддержание выработок в хорошем состоянии обеспечивает, в достаточной мере, работающих под землей от несчастных случаев.

Представленные типы обрушений и причины их возникновения ограничиваются процессами, которые приводят к случаям аварий и требуют значительных трудовых усилий на проведение спасательных мероприятий и реконструкцию поврежденных обрушением выработок. Это обрушения непредсказуемые и неожиданные для шахт и этот тип катастрофы будет представлен на конкретном примере.

Очевидно, что существуют также обрушения, возникающие в шахтах во время разработки пластов с обрушением кровли. Этот специфический тип обрушения в поле очистной выработки, лежащем за охраняемыми рабочими пространствами, составляет отдельный случай.

**Основная часть.** Обрушение пород кровли – пример случайного события. Трагические события, связанные с горной деятельностью, часто характеризуются общим термином „катастрофа“. Обычно в таких случаях погибают люди, а материальные потери бывают огромные. Анализируемый случай обрушения в вентиляционной выработке одной из угольных шахт Польши, к счастью, не привел к гибели людей, однако повлек за собой огромные материальные убытки в размере нескольких десятков миллионов злотых. Обрушение выработки ограничило шахтную добычу угля на 3000 т в сутки на период 15 дней.

Во время проведения технологических работ, связанных с перекреплением рамной крепи вентиляционной выработки на горизонте 830 м, возникло обрушение пород кровли. Глыбы и массы пород, destabilизированные перекреплением рам крепи типа LP9/V29/9/A, заполнили полностью сечение выработки породной массой (рис. 3).



Рис. 3. Обрушение пород кровли в вентиляционной выработке

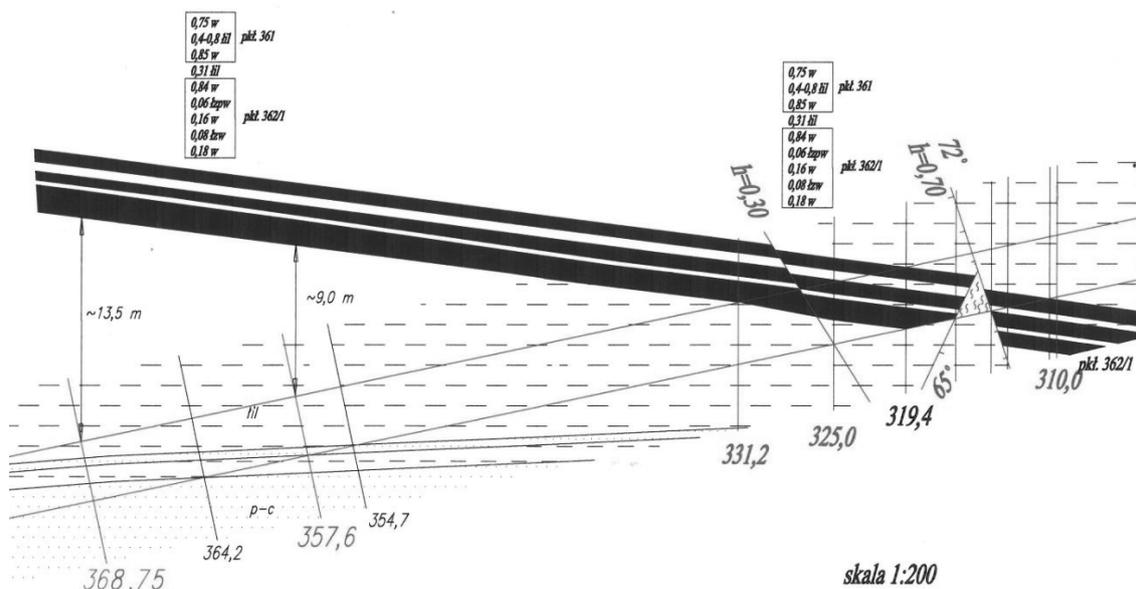


Рис. 4. Геологический профиль вентиляционной выработки до горизонта 830 м

Это привело к простоя ленточного конвейера Gwarek-1200, а также кругового транспортного пути.

Обрушенный участок выработки составлял не более 10 м, однако высота зоны обрушения превышала

13 м. Такой высокий свод разрушенных пород был вызван наличием в кровле выработки двух связанных пластов угля, что представлено на рис. 4. Важным есть также то, что выработка была сооружена более 30 лет тому назад. В кровле выработки залегали аргиллиты, а в почве – песчаники. На расстоянии от 7 до 14,5 м над кровлей выработки залегал уголь пластов 361 и 361/1, а на расстоянии 9-14 м ниже почвы выработки залегал пласт 362/2.

Нарушение и расслоение слоев в кровле выработки значительно увеличились во время проведения работ, связанных с монтажом верхняков очередных рам крепи в период проводившегося перекрепления. Работы, связанные с ликвидацией последствий обрушения, начались сразу с использованием, главным образом, инъекционных самовкручивающихся анкеров. Целью проводимых работ было укрепление свода породных слоев над зоной обрушения и, в частности, над кровлей выработки на расстоянии более 13 м. Только инъекционные самовкручивающиеся анкеры, установленные веерно перед забоем обрушения, могли соответствовать этому заданию (рис. 5).

Идея этих анкеров заключается в том, что анкер является одновременно сверлильным стержнем. По окончании вращательно-ударного сверления через внутренний анкер в шпур производилась инъекция без извлечения бурильного стержня. Это обеспечило полное заполнение шпура скрепляющей смесью, причем, после выбуривания шпура стержень вместе с коронкой оставался в шпуре, как несущий элемент. Соединение стержня при по-

мощи втулки позволяет его наращивание при бурении, что обеспечивает упрочнение породного массива на значительном отдалении от кровли выработки. После выполнения укрепления и упрочнения пород кровли приступили к извлечению массы обвалившихся пород. Оголяемая кровля в своде забоя поддерживалась временной крепью, состоящей из 2-х элементов шин S-24 длиной 6 метров. Технологии ликвидации последствий завалов представлены на рис. 6. В качестве окончательной крепи приняты стальные рамы V-32/10/4 с межрамным расстоянием 0,5 м. Существующие пустоты за крепью были заполнены минерально-цементной смесью.

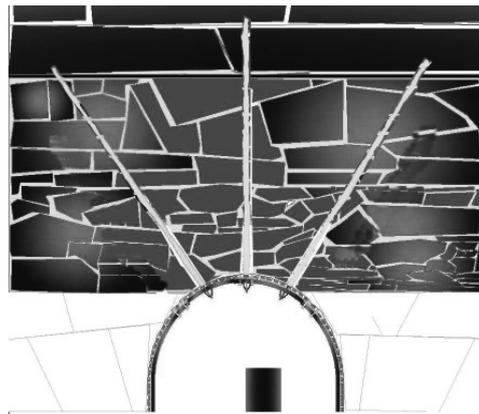


Рис. 5. Схема усиления кровли штрека с помощью инъекционных анкеров

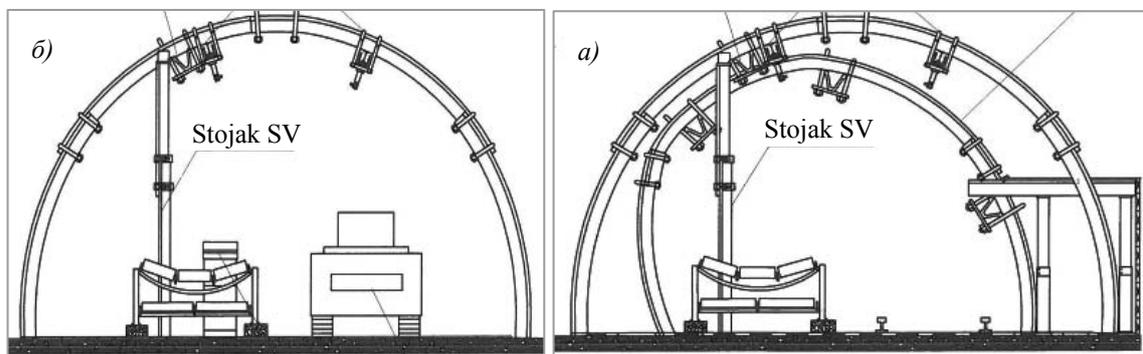


Рис. 6. Технология ликвидации последствий обрушения: а – перед перекреплением; б – после перекрепления

**Выводы.** Случаи обрушений, происходящие в горной отрасли, связаны, в основном, с геомеханическими факторами. Количество таких случаев в подземных выработках достаточно велико, о чем свидетельствуют примеры, вызванные обрывами пород кровли, боков или смещением породных масс и отдельных глыб. Большинство обрушений или обвалов пород приводит к локальным последствиям в одиночной выработке. Временами, однако, обрушение выработки даже на коротком участке может быть причиной горной катастрофы. Примером может быть прерывание главного транспортно-вентиляционного пути.

Во время проведения спасательных мероприятий после обрушения чрезвычайно важным является принятие быстрых и успешных решений для ликви-

дации последствий обвала. Применение соответствующей технологии удержания и стабилизации породных масс влияет на уменьшение финансовых последствий катастрофы.

Применение для усиления породного массива инъекционных самовкручивающихся анкеров позволяет создать за контуром выработки упрочненную зону, которая обеспечивает устойчивость выработки даже в случае реализации обрушения типа купола.

#### Список литературы / References

1. Майхерчик Т. Основы геомеханики / Т. Майхерчик, А. Шашенко, Е. Сдвижкова // Uczelniane wydawnictwa naukowo dydaktyczne. – Kraków: 2006, p. 293.

Maykherchik T. Fundamentals of geomechanics / T. Maykherchik, A. Shashenko, Ye. Sdvizhkova // Uzelniiane wydawnictwa naukowo dydaktyczne. – Kraków: 2006, p. 293.

2. Майхерчик Т. Зоны, угрожающие деформацией крепи штреков при лавах. / Т. Майхерчик, С. Олеховски // Przegląd Górniczy, nr 6/2008, p. 9–17.

Maykherchik T. Zones threatening to deform barring in drifts / T. Maykherchik, S. Olyexkovski // Przegląd Górniczy, nr 6/2008, p. 9–17.

3. Гайко Г.И. Учет функциональной ответственности выработок при проектировании шахтной крепи / Г.И. Гайко, В.Н. Окалелов // Уголь Украины. – 2001. – №6. – С. 39–40.

Gayko G.I. Taking into account functional responsibilities of workings during barring designing / G.I. Gayko, V.N. Okalelov // Ugol Ukrainy. – 2001. – No.6. – P. 39–40.

4. Майхерчик Т. Исследование новых технологических решений с целью усиления подпорной крепи в протяженных выработках. / Т. Майхерчик, П. Малковский, З. Недбальский // Uzelniiane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH. – Kraków: 2008, p. 211.

Maykhrchik T. Study of new technological solutions to strengthen barring in lengthy workings / T. Maykherchik, P. Malkovskiy, Z. Nedbalskiy // Uzelniiane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH. – Kraków: 2008, p. 211.

Розглядається геомеханічне явище випадкового походження у вигляді обвалення, яке мало місце в одній з польських кам'яновугільних шахт. Наслідки обвалення порід у покрівлі протяжної виробки призвели до гірничої катастрофи з великими матеріальними витратами. Стаття включає також характеристики різних типів обвалень порід покрівлі і причин їх виникнення.

**Ключові слова:** геомеханічне явище, обвалення, гірські породи, викиди, випадкова подія, покрівля виробки, зміцнена зона

The article considers geomechanical phenomenon of accidental origin in the form of collapse, which took place in one of coal mines in Poland. Consequences of caving in the roof of an extended working led to a mining accident with large material costs. Article also includes the characteristics of different types of rock failure in the roof and their causes.

**Keywords:** geomechanical phenomenon, failure, rock, ejection of rocks, random event, roof of working, reinforced zone

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук О.М. Шашенком. Дата надходження рукопису 15.03.11

УДК 622.831.1: 519.216

О.М. Шашенко<sup>1</sup>, д-р. техн. наук, проф.,  
В.І. Король<sup>2</sup>

1 – Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м. Дніпропетровськ, Україна, e-mail: shahsenkoa@nmu.org.ua

2 – Територіальне управління Держмістпромнагляду України по Донецькій області, м. Донецьк, Україна, e-mail: donetsktu04@dn.doris.ua

## РЕЗОНАНСНИЙ ЕФЕКТ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ АКУСТИЧНИХ ХВИЛЬ У НЕОДНОРІДНОМУ ВУГЛЕПОРІДНОМУ МАСИВІ

О.М. Shashenko<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Tech.), Professor,  
V.I. Korol<sup>2</sup>

1 – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: shahsenkoa@nmu.org.ua  
2 – Regional Office of the State Mining Industry Inspection of Ukraine in Donetsk region, Donetsk, Ukraine, e-mail: donetsktu04@dn.doris.ua

## RESONANCE EFFECT OF ACOUSTIC WAVE PROPAGATION IN A NON-UNIFORM COAL-ROCK STRATUM

Розглянуто аналітичне дослідження процесів проходження акустичних хвиль через ділянку напруженого структурно неоднорідного вуглепорідного масиву, що послаблений штучно створеною порожниною – виробкою (лавою). Доведено наявність прямого зв'язку інтенсивності акустичного випромінювання з напруженням, що діє в межах виробки за конкретними умовами розробки. Описано вплив напруженого стану вуглепорідного масиву на процеси виникнення і розповсюдження акустичних коливань у його межах.

**Ключові слова:** акустичні хвилі, процес розповсюдження, імпульс, емісія, напружений стан, частота випромінювання, енергія акустичного випромінювання, коливання

**Вступ.** Механізм розповсюдження акустичних коливань у напруженому вуглепорідному масиві, що містить вільний і сорбований метан, ослабленому ви-

робкою, включає декілька процесів, які йдуть послідовно-паралельно:

- розповсюдження акустичних хвиль по твердій фазі гірської породи, що супроводжується їх дифракцією;