

УДК 622.267.5

Круковский А.П., д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,
Круковская В.В., д-р техн. наук, ст. науч. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

ТЕХНОЛОГИЯ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО НАРУШЕНИЯ

Круковський О.П., д-р техн. наук, ст. наук. співр.,
Круковська В.В., д-р техн. наук, ст. наук. співр.
(ІГТМ НАН України)

ТЕХНОЛОГІЯ АНКЕРНОГО КРІПЛЕННЯ ГІРНИЧОЇ ВИРОБКИ ПРИ ПЕРЕХОДІ ГЕОЛОГІЧНОГО ПОРУШЕННЯ

Krukovskyi O.P., D.Sc. (Tech.), Senior Researcher,
Krukovska V.V., D.Sc. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine)

TECHNOLOGY OF ROOF BOLTING OF MINE WORKING AT CROSSING OF GEOLOGICAL FAULT

Аннотация. Участки пересечения горными выработками зон геологических нарушений опасны по обрушению пород кровли и прорывам воды и газа. Для укрепления массива и обеспечения устойчивости выработки предлагается использовать усиленные схемы анкерного крепления.

В статье приведены результаты численного моделирования напряженного состояния горных пород вокруг выработки с рамной и анкерной крепью в зоне влияния геологического нарушения. Показано, что применение анкерной крепи в зоне тектонического нарушения значительно сокращает область повышенной разнокомпонентности и зону неупругих деформаций вокруг выработки. Полученные распределения геомеханических параметров обуславливают снижение проницаемости пород кровли и ограничение фильтрации воды и газа в выработку. Применение усиленных конструкций анкерной крепи позволяет сохранить в устойчивом состоянии даже трещиноватый, разделенный на блоки массив.

Разработан способ двухэтапного усиления анкерной крепи при переходе геологического нарушения, применение которого обеспечивает постепенное повышение монолитности вмещающих пород, значительное уменьшение опасности обрушения пород кровли и прорывов воды и газа, способствует повышению устойчивости горной выработки в зоне тектонического нарушения.

Ключевые слова: анкерное крепление, геологические нарушения, напряженное состояние углепородного массива, численное моделирование.

Введение. Угольные шахты Украины отличаются сложными горно-геологическими условиями, наличием большого количества тектонических нарушений, окруженных зонами, где горные породы имеют нарушенную структуру, пониженную прочность, перемяты и раздроблены. При проведении горных выработок такие участки опасны по обрушению пород кровли и прорывам воды и газа. Поэтому необходимо локально, в зоне тектонического нарушения и в зоне его влияния, укрепить массив, вернуть ему монолитность, уменьшить

фильтрационную проницаемость и таким образом обеспечить устойчивость горной выработки в течение всего срока ее эксплуатации.

Целью работы является усовершенствование способа крепления горной выработки при переходе геологических нарушений путем усиления схем установки анкеров для упрочнения и консолидации пород в нарушенной зоне геологического нарушения и повышения устойчивости выработки.

Численное моделирование напряженного состояния горных пород вокруг выработки с анкерной крепью в зоне влияния геологического нарушения. Постановка задачи. Рассмотрим выработку, проводимую в слоистом массиве горных пород. Горный массив будем считать однородным в пределах каждого породного слоя. Напряженно-деформированное состояние породного массива в окрестности горной выработки описывается системой уравнений:

$$\sigma_{ij,j} + X_i(t) = 0,$$

где $\sigma_{ij,j}$ – производные от компонент тензора напряжений по x, y , МПа/м; $X_i(t)$ – проекции внешних сил, действующих на единицу объема твердого тела, Н/м³.

Граничные условия:

$$u_x|_{\Omega_1} = 0; \quad u_y|_{\Omega_2} = 0,$$

где u_i – перемещения, м; Ω_1 – вертикальные границы внешнего контура; Ω_2 – горизонтальные границы внешнего контура.

Задача решается в упругопластической постановке [1]. Для математического описания процесса перехода горных пород в нарушенное состояние применяется условие прочности Кулона-Мора, которое учитывает возможность возникновения разрушения в результате и сдвига, и отрыва [2, 3].

Для анализа напряженно-деформированного состояния породного массива в работе используются геомеханические параметры, характеризующие разнокомпонентность поля напряжений и разгрузку массива от горного давления:

$$Q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\gamma H}; \quad P = \frac{\sigma_3}{\gamma H},$$

где γ – усредненный вес вышележащих горных пород, Н/м³; H – глубина проведения выработки.

Рассмотрим случай, когда выработка пересекает тектоническое нарушение сдвиг с амплитудой 1 м. В кровле расположены обводненные угольный пропласток $m = 0,4$ м и песчаник $m = 2,0$ м (рис. 1).

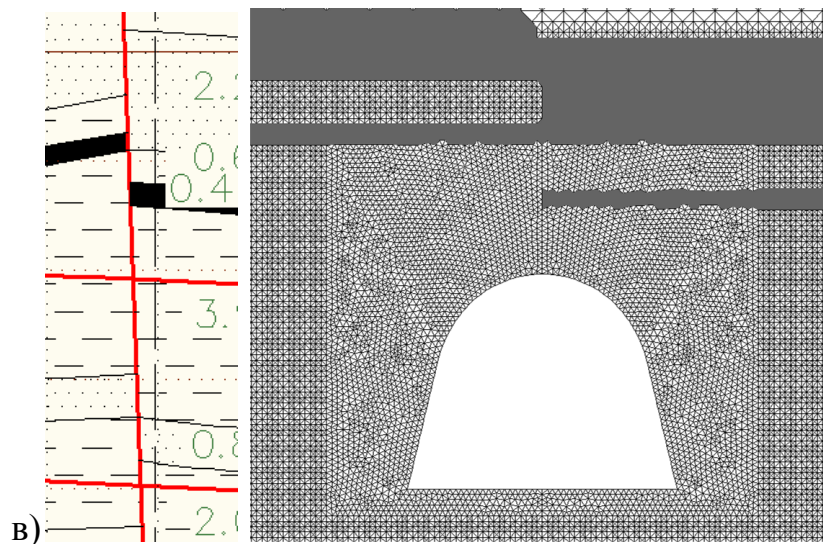


Рисунок 1 – Центральный фрагмент конечно-элементной сетки

Результаты расчета для выработок с рамной и анкерной крепью. Расчеты выполнены с использованием метода конечных элементов [4, 5]. Получены распределения полей напряжений, значений геомеханических параметров Q и P , зоны неупругих деформаций для выработок с рамной и анкерной крепью. На рис. 2 показано распределение значений параметра Q и зоны неупругих деформаций в зоне тектонического нарушения для выработки, закрепленной рамной крепью.

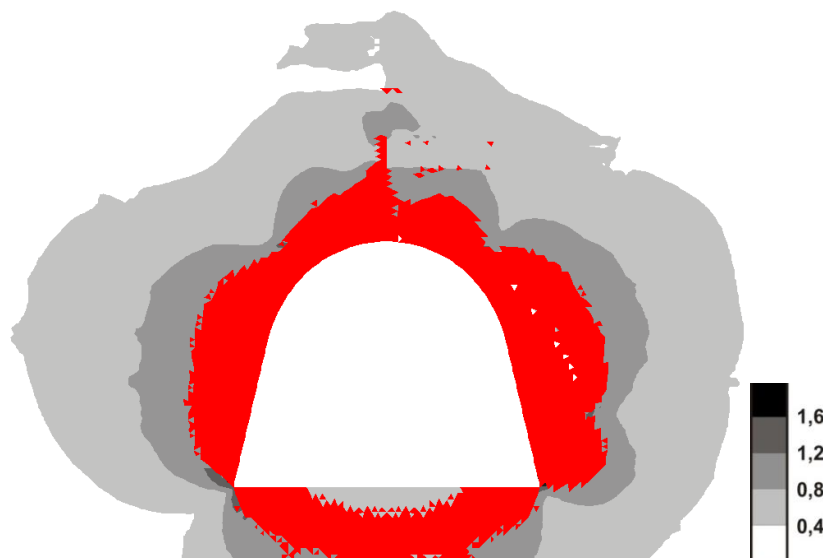


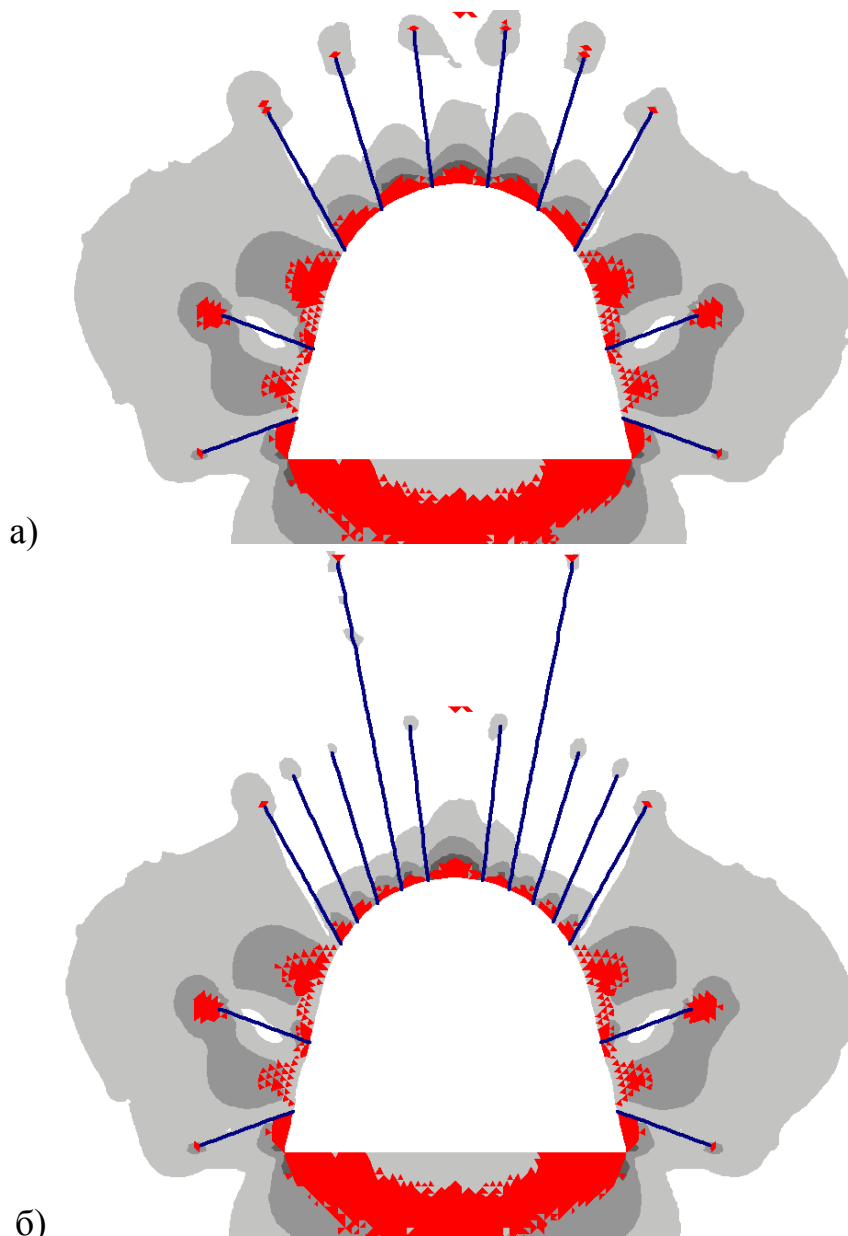
Рисунок 2 – Распределение значений параметра Q и зона неупругих деформаций для выработки, закрепленной рамной крепью

Из рисунка видно, что вокруг выработки сформирована область повышенной разнокомпонентности поля напряжений. Контур выработки окружает зона неупругих деформаций, что обуславливает увеличение трещиноватости вмещающих пород, их расслоение и разрушение. Зона неупругих деформаций вытянута вверх вдоль линии смещения нарушенных пластов. Это приведет к интенсивному поступлению воды из подрабатываемого обводненного угольного

пропластка и песчаника [6].

На рис. 3 показано распределение значений параметра Q и зоны неупругих деформаций в зоне тектонического нарушения для выработки, закрепленной анкерной крепью. Рассмотрены случаи использования двух схем анкерного крепления:

- 1) 6 анкеров 2,4 м и 4 анкера 1,5 м;
- 2) 8 анкеров 2,4 м, 4 анкера 1,5 м и два канатных анкера 6,0 м.



- а) выработка закреплена анкерной крепью; б) выработка закреплена анкерной крепью с канатными анкерами

Рисунок 3 – Распределение значений параметра Q и зона неупругих деформаций

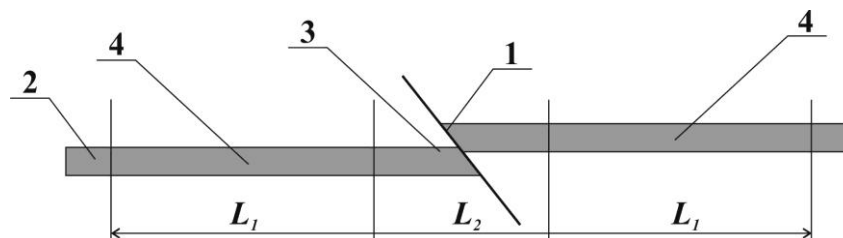
В месте пересечения тектонического нарушения в боках и кровле выработки с анкерной крепью (рис. 3 а) зона неупругих деформаций значительно уменьшается по сравнению с выработкой с рамной крепью (рис. 2), в кровле исчезает

область повышенной разнокомпонентности. В случае усиления анкерной крепи канатными анкерами (рис. 3 б) состояние приконтурных пород кровли еще более устойчиво. При таких значениях геомеханических параметров проницаемость пород в кровле выработки, в зоне тектонического нарушения, будет значительно снижена. Между источниками фильтрации воды или газа и выработкой сформировано породно-анкерное перекрытие с пониженной фильтрационной проницаемостью [7].

Применение усиленных конструкций анкерной крепи позволяет сохранить в устойчивом состоянии даже трещиноватый, разделенный на блоки массив [8].

Разработка способа перехода геологического нарушения с помощью анкерного крепления горной выработки. Способ перехода геологического нарушения с помощью анкерного крепления горной выработки [9] включает:

- сбор и анализ горно-геологических данных;
- определение физико-механических свойств вмещающих пород;
- определение длины переходного участка L_1 (рис. 4) в зависимости от величины амплитуды смещения геологического нарушения;
- расчет усиленной [10, 11] схемы размещения анкеров с установкой части анкеров с наклоном на забой выработки;
- определение длины L_2 (рис. 4) участка влияния геологического нарушения;
- расчет мощной [10, 11] схемы размещения анкеров с установкой части анкеров с наклоном на забой, части – на устье выработки.



1 – тектоническое нарушение; 2 – угольный пласт; 3 – участок влияния тектонического нарушения; 4 – переходные участки

Рисунок 4 – Пример тектонически нарушенного участка угольного пласта

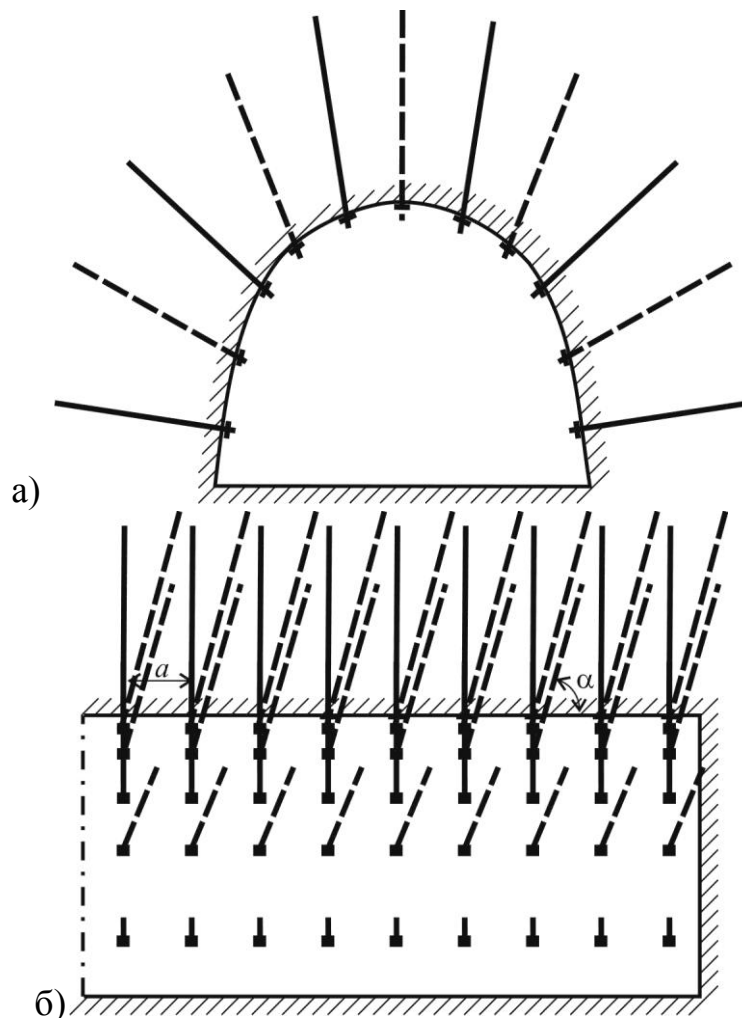
В условиях, когда горные породы в зоне влияния геологического нарушения имеют сильно нарушенную структуру, с развитой трещиноватостью с целью их укрепления на участке воздействия геологического нарушения сталеполимерные анкера с наклоном на забой выработки заменяют на инъекционные анкера.

В выработках большого сечения для обеспечения их устойчивого состояния на весь период эксплуатации также целесообразным является применение двухуровневой схемы анкерного крепления, в которой стандартные анкера первого уровня длиной до 3 м дополняются канатными анкерами глубокого заложения длиной 6-8 м [12]. При этом сформированная анкерами первого уровня из приконтурных породных слоев породно-анкерная конструкция «подвешивается» на канатных анкерах к устойчивым породам кровли за пределами неустойчивого свода.

Способ осуществляется следующим образом. До начала проведения горной выработки определяют горно-геологические и геомеханические условия, в том числе характеристики геологического нарушения и амплитуду его смещения, способ проведения выработки, определяют физико-механические свойства вмещающих пород. Длину участка влияния тектонического нарушения 3 и переходных участков 4 (рис. 4) рассчитывают по значению амплитуды S смещения геологического нарушения по соотношениям:

- при $S \leq 10$ м $L_1=10$ м, $L_2=20$ м;
- при $10 \text{ м} < S \leq 50$ м $L_1=20$ м, $L_2=30$ м;
- при $S > 50$ м $L_1=30$ м, $L_2=50$ м.

Проводят расчет схемы анкерного крепления № 1 для переходного участка 4 с наклоном части анкеров на забой выработки и схемы № 2 для участка влияния геологического нарушения с наклоном части анкеров на забой выработки, части – в противоположном от забоя направлении (рис. 5).

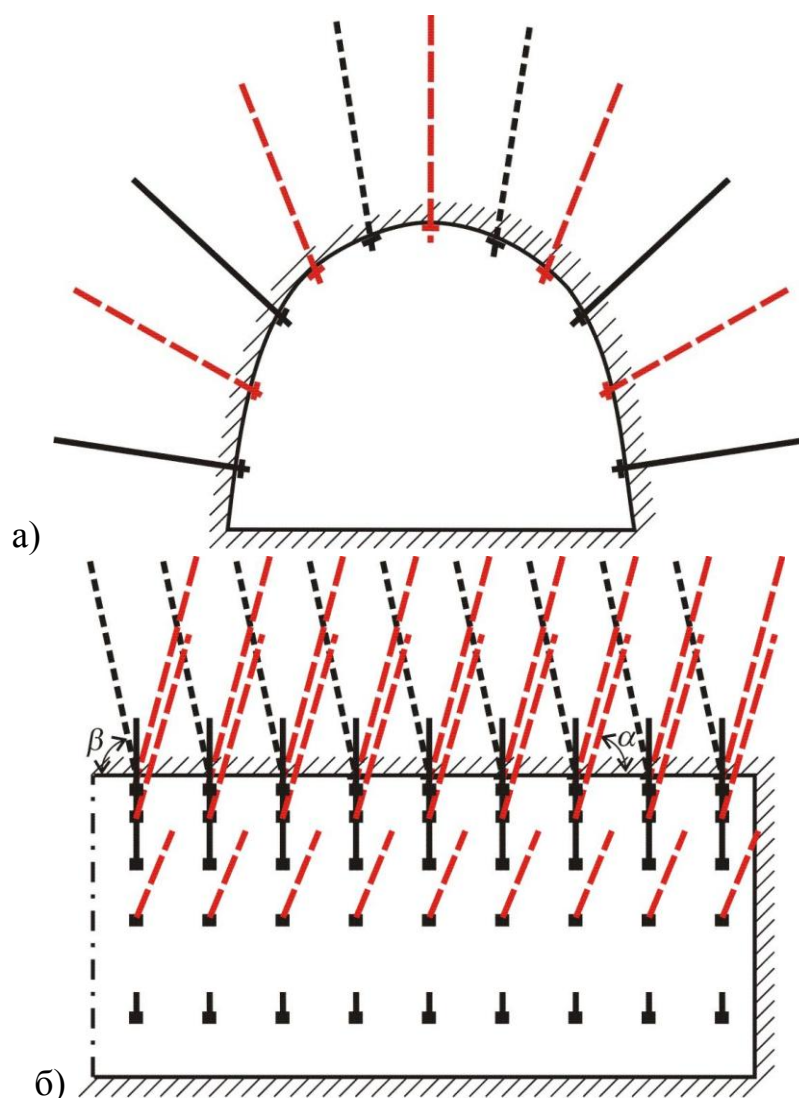


а) поперечное сечение; б) продольное сечение горной выработки

Рисунок 5 – Пример схемы анкерного крепления переходного участка

Получив расчетные данные, на расстоянии $L_1 + L_2/2$ от нарушения 1 начина-

ют возведение анкерного крепления по схеме № 1, согласно которой проводят бурение шпуров и установку стальных анкеров с полимерным закреплением в шпурах на полную их длину. Разметку размещения анкеров и их ориентацию в приконтурном пространстве рекомендуется проводить с помощью шаблонов. При этом работы по возведению анкерного крепления в выработке проводятся безостановочно, так, чтобы технологические перерывы не успевали приводить к разгрузке горных пород в зоне забоя выработки. Схему № 1 применяют на протяжении L_1 м. После чего переходят к схеме № 2, рис. 6, на участке длиной L_2 м. Затем возвращаются к схеме № 1, которую применяют на участке длиной L_1 м.



а) поперечное сечение; б) продольное сечение горной выработки

Рисунок 6 – Пример схемы анкерного крепления участка влияния геологического нарушения

Двухэтапное усиление анкерного крепления горной выработки при переходе геологического нарушения постепенно повышает монолитность вмещающих пород, нейтрализует негативное влияние тектонически нарушенной зоны, вос-

становливає монолітність породних слоїв, зменшує до мінімальних значень фільтраційну проникність пород. Поєднання при наявності в окрестности виробки газоносних і обводнених пород процесу фільтрації газу і води в простір виробки, закріпленої анкерною кріпкою, значно обмежується. Двоетапне анкерне кріплення значно зменшує небезпечність обвалення пород кровлі і проривів води і газу, сприяє підвищенню стійкості гірної виробки.

Описаний спосіб анкерного кріплення гірних виробок успішно застосовується на вугільних шахтах Західного Донбасу.

Висновки. Виконано численне моделювання напруженого стану гірних пород навколо виробки з рамною і анкерною кріпкою в зоні впливу геологічного порушення. Показано, що застосування анкерної кріпки в зоні тектонічного порушення значно зменшує область підвищеної різномірності і зону неупругих деформацій навколо виробки. Отримані розподіли геомеханічних параметрів обумовлюють зниження проникності пород кровлі і обмеження фільтрації води і газу в виробку. Застосування зміцнених конструкцій анкерної кріпки дозволяє зберегти в стійкому стані навіть тріщинуватий, розбитий на блоки масив.

Розроблено спосіб двоетапного зміцнення анкерною кріпкою при переході геологічного порушення, застосування якого забезпечує поступове підвищення монолітності вміщуваних пород, значне зменшення небезпечності обвалення пород кровлі і проривів води і газу, сприяє підвищенню стійкості гірної виробки в зоні тектонічного порушення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Виноградов, В.В. Моделювання роботи анкерної кріпки при неоднорідному строєнні кровлі гірної виробки / В.В. Виноградов, А.П. Круковський // Актуальні проблеми механіки суцільного середовища і міцності конструкцій: Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції пам'яті академіка НАН України В.І. Моссаковського. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2007. – С. 334-336.
2. Баклашов, И.В. Механика подземных сооружений и конструкций крепей / И.В. Баклашов, Б.А. Картозия. – М.: Недра, 1984. – 415 с.
3. Шашенко, А.Н. Геомеханика / А.Н. Шашенко, В.П. Пустовойтенко, Е.А. Сдвижкова. – К.: Новий друк, 2016. – 528 с.
4. Zienkiewicz, O.C. The finite element method / O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor. – Butterworth-Heinemann, 2000. – Т. 1. – 690 p.
5. Hutton, D.V. Fundamentals of Finite Element Analysis / D.V. Hutton. – McGraw-Hill, 2004. – 505 p.
6. Круковський, А.П. Математичне моделювання неустановившоїся фільтрації води в виробку з анкерною кріпкою / А.П. Круковський, В.В. Круковська, Ю.А. Виноградов // Mining of Mineral Deposits. – Дніпро: НГУ, 2017. – № 11(2). – С. 21-27.
7. Круковська, В.В. Моделювання зв'язаних процесів, що відбуваються в угілепородному масиві при веденні гірних робіт / В.В. Круковська // Геотехнічна механіка: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН України. – Дніпропетровськ, 2015. – № 121. – С. 48-99.
8. Круковський, О.П. Наукові основи технології опорно-анкерного кріплення гірничих виробок вугільних шахт: дис. ... докт. техн. наук: 05.15.02; захист 26.06.12; затв. 26.09.2012 / Круковський Олександр Петрович. – Дніпропетровськ, 2012. – 375 с.
9. Пат. № 114570 UA, МПК E21D 20/00. Спосіб анкерного кріплення гірничої виробки при переході геологічних порушень / А.Ф. Булат, О.П. Круковський, М.В. Барабаш [та ін.]; заявник і патентовласник ИГТМ ім. М.С. Полякова НАН України. - у 2016 09 860; заявл. 26.09.2016; опубл. 10.03.2017. – Бюл. №5/2017.

10. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням: Загальні технічні вимоги: СОУ 10.1.05411357. 010:2008. – [Чинний від 2009-02-01]. – К.: Міненерговугілля України, 2014. – 84 с. (Нормативний документ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. Стандарт).

11. Krukovskyi, O. Technology of setting the bearing-bolt supports in the Ukrainian mines // The 2016 China-Ukraine Forum on Science and Technology. – Harbin: HIT, 2016. – P.105-107.

12. Разумов, Е.А. Применение канатных анкеров глубокого заложения при креплении подземных горных выработок / Е.А. Разумов, А.С. Позолотин // Уголь Кузбасса. – 2010. – № 6. – С. 60-61.

REFERENCES

1. Vynogradov, V.V. and Krukovskyi, O.P. (2007), “Modeling of the roof bolting with a heterogeneous structure of the mine roof”, *Tezy dopovidey Mizhnarodnoy naukovo-technichnoy konferentsii pamyati akademika NAN Ukrainy V.I. Mossakobskogo* [Abstracts of the International Scientific and Technical Conference for Memory of Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine V.I. Mossakovsky], *Aktualnye problem sutsilnogo seredovishcha i mitsnosti konstruksiy* [Actual problems of continuum mechanics and durability of structures], Dnipropetrovsk, Ukraine, pp. 334-336,.

2. Baklashov, I.V. and Kartoziya, B.A. (1984), *Mekhanika podzemnykh sooruzheniy i konstruksiy krepey* [Mechanics of underground structures and structures of supports], Nedra, Moscow, USSR.

3. Shashenko, A.N., Pustovoytenko, V.P. and Sdvizhkova, E.A. (2016), *Geomekhanika* [Geomechanics], Novyyi druk, Kiev, Ukraine.

4. Zienkiewicz, O.C. and Taylor, R.L. (2000), “The finite element method”, Butterworth-Heinemann, Boston, USA.

5. Hutton, D.V. (2004), “Fundamentals of Finite Element Analysis”, McGraw-Hill, Canada.

6. Krukovskyi, O.P., Krukovska, V.V. and Vynogradov, U.O. (2017), “Mathematical modelling of unsteady water filtration in anchored mine opening”, *Mining of Mineral Deposits*, no. 11(2), pp. 21-27.

7. Krukovska, V.V. (2015) , “Simulation of coupled processes that occur in coal-rock massif during mining operations”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 121, pp. 48-99.

8. Krukovskyi, O.P. (2012), “The scientific basis of technology support-anchor fastening of mining workings of coal mines”, D.Sc. Thesis, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine.

9. Bulat, A.F., Krukovskiy, O.P., Barabash, M.V. et.al., M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (2017), *Sposib ankernogo kriplennya girnychoy vyrobky pry perekhodi geologichnogo porushennya* [Method of anchoring the mine workings during the transition of geological disturbances], State of Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. № 114570.

10. Ministry of coal industry of Ukraine (2008), *10.1.05411357. 010:2008: Systema zabezpechennya nadiynogo ta bezpechnogo funktsionuvannya girnychych vyrobok iz ankernym kriplennyam* [10.1.05411357. 010:2008: System to provide reliable and safe operation of the mine workings with roof bolting. The general technical requirements], Ministry of coal industry of Ukraine, Kiev, Ukraine.

11. Krukovskyi, O. (2016), “Technology of setting the bearing-bolt supports in the Ukrainian mines”, The 2016 China-Ukraine Forum on Science and Technology, China, HIT, Harbin, pp. 105-107.

12. Razumov, E.A. and Pozolotin, A.S. (2010), “The use of deep anchor rope anchors during the anchoring of underground mine workings”, *Ugol Kuzbassa*, no. 6, pp. 60-61.

Об авторах

Круковский Александр Петрович, доктор технических наук, старший научный сотрудник, заместитель директора института по научной работе, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, igtm@ua.fm.

Круковская Виктория Викторовна, доктор технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела управления динамическими проявлениями горного давления, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, igtm@ukr.net.

About the authors

Krukovskyi Olexandr Petrovych, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Senior Researcher, Deputy Director of the institute, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, igtm@ua.fm.

Krukovska Victoriya Victorivna, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Control of Dynamic Demonstrations of Rock Pressure, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, igtm@ukr.net.

Анотація. Ділянки перетину гірничими виробками зон геологічних порушень небезпечні за обваленням порід покрівлі та проривами води і газу. Для зміцнення масиву і забезпечення стійкості виробки пропонується використовувати посилені схеми анкерного кріплення.

У статті наведені результати чисельного моделювання напруженого стану гірських порід навколо виробки з рамним і анкерним кріпленням в зоні впливу геологічного порушення. Показано, що застосування анкерного кріплення в зоні тектонічного порушення значно скорочує область підвищеної різнокомпонентності і зону непружних деформацій навколо виробки. Отримані розподіли геомеханічних параметрів обумовлюють зниження проникності порід покрівлі і обмеження фільтрації води та газу в виробку. Застосування посилених конструкцій анкерного кріплення дозволяє зберегти в стійкому стані навіть тріщинуватий, розділений на блоки масив.

Розроблено спосіб двохетапного посилення анкерного кріплення при переході геологічного порушення, застосування якого забезпечує поступове підвищення монолітності приконтурних порід, значне зменшення небезпеки обвалення порід покрівлі та проривів води і газу, сприяє підвищенню стійкості гірничої виробки в зоні тектонічного порушення.

Ключові слова: анкерне кріплення, геологічні порушення, напружений стан вуглепородного масиву, чисельне моделювання.

Abstract. Areas of intersection of mine workings and zones of geological fault are dangerous for roof rocks fall, water and gas inrush. To strengthen the rock and ensure the stability of the mine working, it is proposed to use reinforced anchoring schemes.

The results of the numerical simulation of the rocks stress state around the mine with the frame and anchor support in zone of geological fault influence are given in this article. It is shown, that the use of the roof bolting in the zone of tectonic disturbance significantly reduces the region of high variability of components of the principal stress tensor and the zone of inelastic deformations around the mine working. The obtained distributions of geomechanical parameters condition a decrease in the permeability of the roof rocks and a restriction of the water and gas filtration into the mine. The use of reinforced anchoring schemes allows to preserve even a fractured, block-divided rock in a stable state.

A method for two-stage reinforcement of the roof bolting during the transition of a geological fault has been developed. The use of this method ensures a gradual increase in the monolithic nature of the enclosing rocks, a significant reduction in the risk of collapse of the roof rocks and water and gas inrush, contributes to an increase in the stability of mining in the zone of tectonic fault.

Keywords: roof bolting, geological faults, stress state of coal-rock mass, numerical simulation.

Статья поступила в редакцию 25.02.2017

Рекомендовано к публикации д-ром технических наук Скипочкой С.И.