

Раздел 2. Прогнозирование и управление состоянием горного массива

УДК 622.841:622.833.5:622.281.74

Ю.А. Виноградов

ВЛИЯНИЕ ВОДОПРОЧНОСТИ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫРАБОТКИ С РАМНОЙ И АНКЕРНОЙ КРЕПЬЮ

Институт физики горных процессов НАН Украины,
49600, г. Днепр ул. Симферопольская, 2-а.

***Цель.** Целью работы является изучение влияния водопрочности вмещающих пород на устойчивость выработки и процесс фильтрации воды в горную выработку с рамной и анкерной крепью*

***Методика.** При решении задачи фильтрации воды в деформируемом массиве использовался метод конечных элементов.*

***Результаты.** Применение анкерной крепи препятствует развитию процесса трещинообразования в кровле выработки, сохраняет породы в природном, монолитном состоянии. Как следствие, сдерживается процесс фильтрации воды из водоносных породных слоев, что предотвращает или значительно снижает размокание приконтурных пород кровли.*

***Научная новизна.** Впервые обосновано применение анкерного крепления как технологического способа снижения водопритоков в горные выработки.*

***Практическая значимость.** Использование анкерной крепи в несколько раз снижает водопристок в выработку, расположенную даже в водонеустойчивых породах.*

Ключевые слова: водопрочность, фильтрация воды, численное моделирование.

Введение

Простые, приповерхностные и необводненные месторождения уже в прошлом столетии оказались отработанными. Поэтому последние 50-60 лет развитие минерально-сырьевой базы Украины связано с необходимостью разработки глубокозалегающих месторождений, в сложных горно-геологических условиях повышенной обводненности забоев, при размокании вмещающих пород. Это снижает качество установки и эксплуатации крепи и приводит к вывалам породы, обрушениям ее крупными блоками и прорывам воды. В рассматриваемых условиях проблема снижения водопроявлений и обеспечения безопасности горных работ приобретает приоритетное значение.

Водопрочность горной породы – параметр, характеризующий относительное изменение прочности горных пород при насыщении водой [1]. Снижение прочности пород при насыщении водой обусловлено проникновением её в

мельчайшие пустоты (поры и трещины), расклиниванием трещин водой и набуханием отдельных минералов в породах, что приводит к её разупрочнению. Водопрочность определяется также литологическим составом пород (например, содержание глинистых минералов и слабая связь между частицами в песчаниках и др. приводят к уменьшению водопрочности).

Водопрочность оценивается коэффициентом размокаемости, равным отношению предела прочности при сжатии породы, максимально насыщенной водой, к её пределу прочности в сухом состоянии. По величине коэффициента размокаемости nP породы подразделяются:

- на водопрочные, или водоустойчивые ($nP \geq 0,9$), – базальты, граниты;
- пониженной водоустойчивости ($0,7 < nP < 0,8$) – песчаники;
- слабоустойчивые ($nP < 0,7$) – известняки, уголь;
- водонеустойчивые (nP около 0) – слабые глинистые известняки, аргиллиты [1].

Влажность оказывает заметное влияние на прочностные свойства горных пород. Насыщение водой наиболее сильное влияние оказывает на породы, содержащие глинистые минералы. Испытания горных пород показали, рис. 1, что изменение влажности размокаемых горных пород изменяет не только их прочностные и деформационные свойства, но и характер поведения после достижения предела прочности [2].

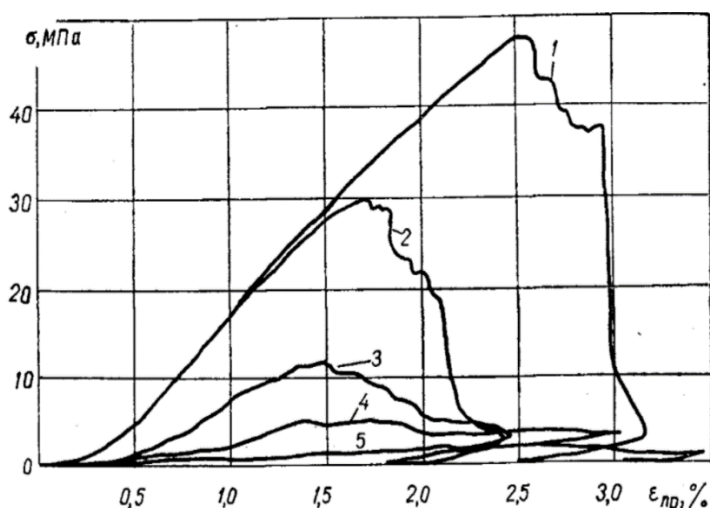


Рис. 1 Диаграммы напряжение – деформация испытания на одноосное сжатие образцов при различной степени увлажнения [2]:
 1 – $W = 0,5 \%$; 2 – $W = 2 \%$; 3 – $W = 6,2 \%$; 4 – $W = 7,9 \%$; 5 – $W = 13,1 \%$

Значительно меньше изучено влияние увлажнения на поведение неразмокаемых пород. Насыщение водой или другими химически не активными жидкостями неразмокаемых пород, хотя и в меньшей мере нарушает связи между частицами и агрегатами, но способствует расширению микротрещин, уменьшению поверхностной энергии тела. Исследования показали, что увлажнение неразмокаемых пород так же заметно сказывается на их свойствах, но только при переходе материала из ненарушенного в связно-нарушенное и нарушенные состояния.

Изучение водопроявлений от водоносных литотипов (уголь и песчаник) показало, что необходимо не менее 2,0-2,5 м мощности междупластья для предотвращения водопроявлений из надрабатываемого водоносного горизонта на глубине 200-300 м [3-6]. Однако при нарушении целостности междупластья происходит резкое падение прочностных характеристик аргиллитов и алевролитов из-за их размокания и интенсификация процесса разупрочнения пород междупластья; как следствие – проявление чрезмерного горного давления при отработке нижнего угольного пласта.

При обводнении пород подошвы их расчетное сопротивление сжатию снижается вдвое [7]. Предел прочности на сжатие служит исходным параметром к определению величины расчетного сопротивления сжатию каждого из литотипов по нормативной методике [7] с учетом действия ослабляющих породу факторов обводненности и трещиноватости.

В связи с этим целью работы является изучение влияния водопрочности вмещающих пород на устойчивость выработки и процесс фильтрации воды в горную выработку с рамной и анкерной крепью.

1. Постановка задачи

Рассмотрим два случая:

- выработка проводится по песчанику;
- выработка проводится по аргиллиту, водопрочность которого в 2 раза ниже.

Водоносный угольный пропласток $m = 0,4$ м расположен над выработкой на высоте 0,5 м, расчетная схема показана на рис. 2.

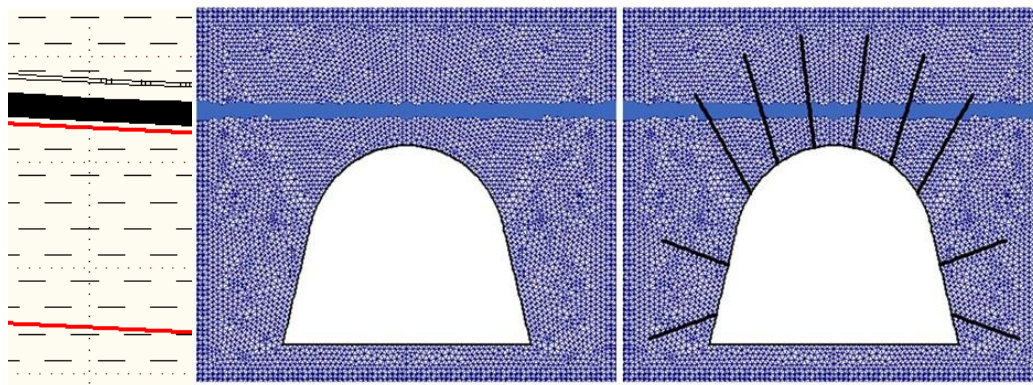


Рис. 2. Водонасыщенный угольный пропласток над выработкой

Для решения связанной задачи изменения напряженно-деформированного состояния горных пород и фильтрации воды [8, 9] применяется метод конечных элементов [10, 11]. Для анализа напряженного состояния пород используется параметр Q , который характеризует разнокомпонентность поля напряжений.

2. Результаты исследования

В результате проведенных для перечисленных выше условий расчетов были получены распределения полей напряжений и зоны неупругих деформаций, которые показаны черным цветом, рис. 3, 4.

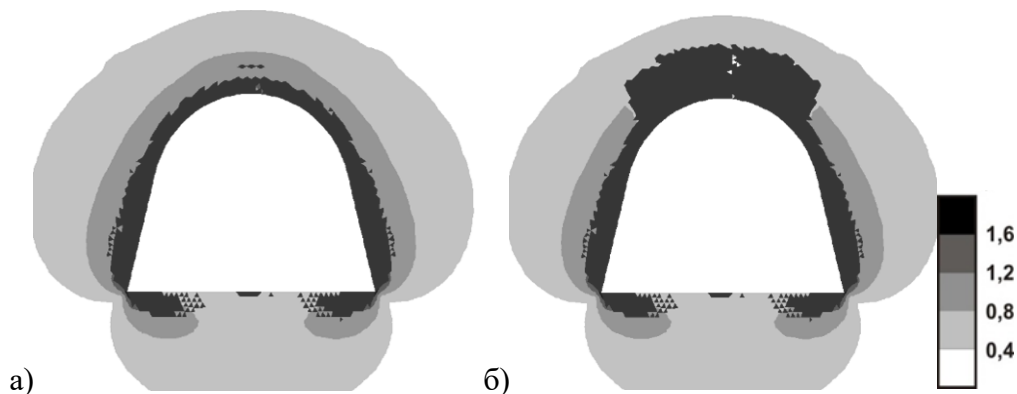


Рис. 3. Распределения значений параметра Q и зоны неупругих деформаций, выработка с рамной крепью: а) вмещающие породы – песчаник; б) вмещающие породы – аргиллит

Из рисунка видно, что вокруг выработки в случаях с рамной крепью (рис. 3 а, б) сформирована область повышенной разнокомпонентности поля напряжений. Контур выработки окружает зона неупругих деформаций, что говорит об увеличении трещиноватости вмещающих пород, их расслоении и разрушении.

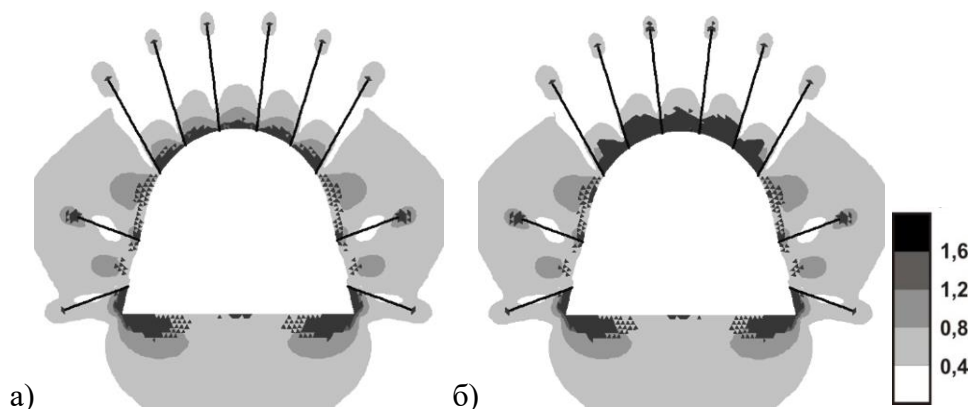


Рис. 4. Распределения значений параметра Q и зоны неупругих деформаций, выработка с анкерной крепью: а) вмещающие породы – песчаник; б) вмещающие породы – аргиллит

В случае, когда выработка проводится по аргиллиту (рис. 3 б, 4 б), область неупругих деформаций и область повышенной разнокомпонентности в кровле имеют значительно большие размеры, что обусловлено пониженной

водопрочностью аргиллита. С применением анкерной крепи зона неупругих деформаций значительно уменьшается (рис. 4 а, б) по сравнению с выработкой с рамной крепью, в кровле исчезает область повышенной разнокомпонентности – образуется перекрытие из ненарушенных, непроницаемых пород, сдерживается процесс размокания даже в водонеустойчивых породах.

На рис. 5 показано распределение значений коэффициентов проницаемости породного массива вокруг выработки в рассматриваемых случаях. Можно видеть, что в водонеустойчивых породах в кровле выработки размеры области фильтрации вокруг выработки увеличиваются (рис. 5 б, 6 б). Это обусловлено тем, что породы размокают и теряют свою несущую способность, вода из пропластка начинает перемещаться внутрь выработки.

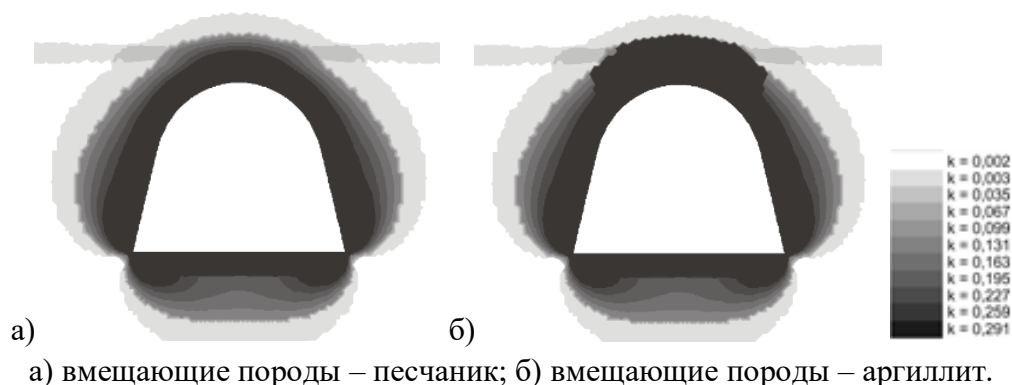


Рис. 5. Распределение значений коэффициентов проницаемости породного массива, выработка с рамной крепью

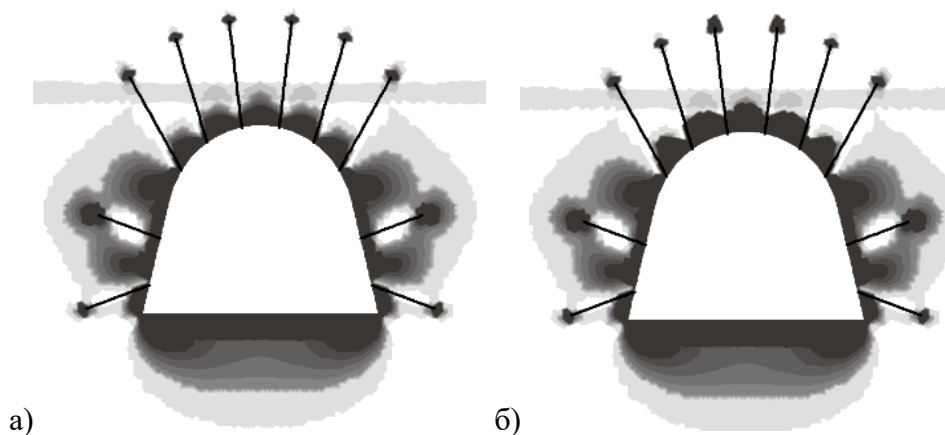


Рис. 6. Распределение значений коэффициентов проницаемости породного массива, выработка с анкерной крепью: а) вмещающие породы – песчаник; б) вмещающие породы – аргиллит.

На рис. 6 а и 6 б видно, как изменяются контуры области фильтрации, если в кровле и боках выработки установлены анкера. Область пересечения обводненного пропластка и повышенной проницаемости очень мала даже при размокании пород. Анкерная крепь препятствует нарушению целостности пород

и сдерживает процесс размокания, следовательно, позволяет практически полностью предотвратить водоприток в выработку.

Распределение значений давления воды и направления ее движения показаны на рис. 7.

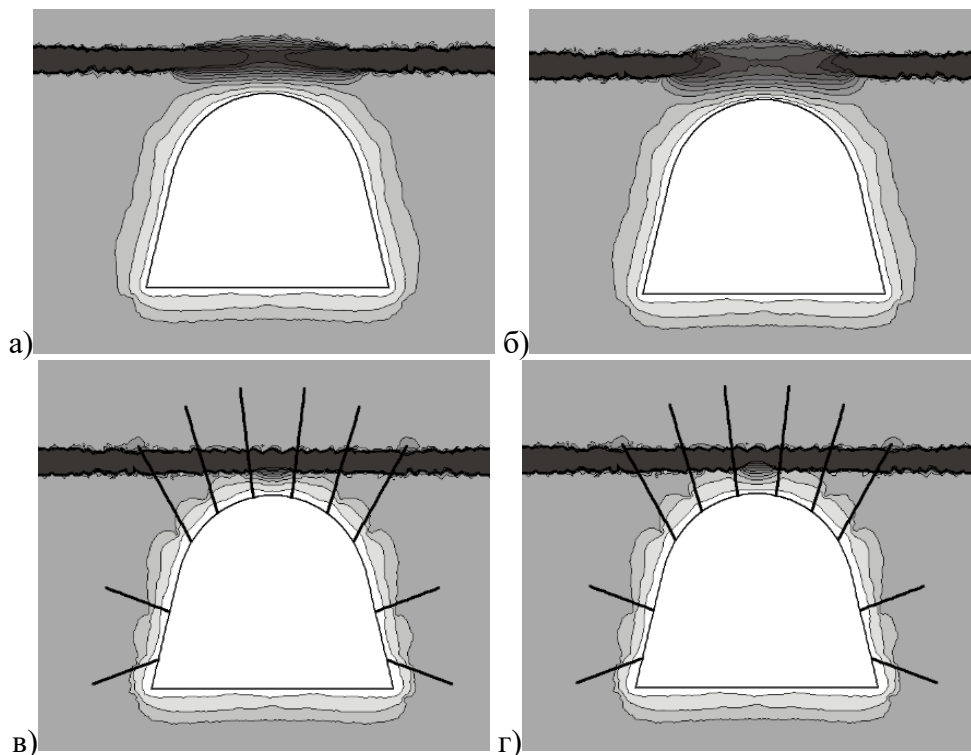


Рис. 7. Распределение значений давления воды и направления движения: а) вмещающие породы – песчаник, рамная крепь; б) вмещающие породы – аргиллит, рамная крепь; в) вмещающие породы – песчаник, анкерная крепь; г) вмещающие породы – аргиллит, анкерная крепь

В кровле выработки с рамной крепью активно происходит процесс фильтрации воды. Давление воды в подрабатываемом обводненном пропластке снижается, (рис. 7 а, б), – вода перемещается из областей с более высоким давлением в область, где давление минимально – в выработку. Область пониженного давления в водонеустойчивых породах имеет значительно большие размеры. Длина зоны обводненного пропластка, из которой происходит фильтрация воды, в водонеустойчивых породах в 4 раза больше.

В результате сокращения области фильтрации и существенного снижения значений коэффициентов проницаемости приконтурных пород при использовании анкерной крепи даже в аргиллитах давление воды в подрабатываемом пропластке практически не изменяется (рис. 7 в, г), что говорит об очень низкой интенсивности процесса фильтрации воды.

На графике (рис. 8) показаны водопритоки в выработку в двух случаях, когда породы вокруг выработки размокающие (водонеустойчивый аргиллит) и не размокающие (водопрочный песчаник). Видно, что в водонеустойчивых

породах водоприток в выработку с рамной крепью больше на 66%, в выработках с анкерной крепью – больше всего на 20%. Использование анкерной крепи снижает водоприток в выработку, расположенную в водоустойчивых породах, 2,5 раза, в водонеустойчивых породах – 3,4 раза.

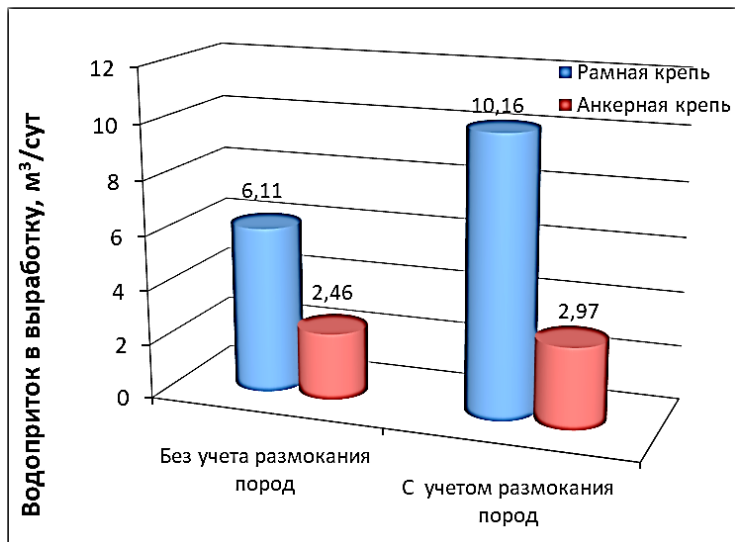


Рис. 8. Водоприток в выработку с учетом разных параметров

На рис. 9 показаны графики изменения скоростей фильтрации воды в рассмотренных случаях.

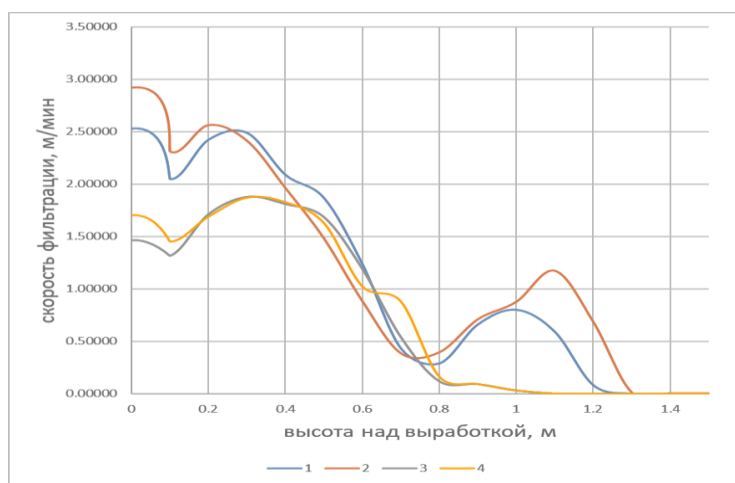


Рис. 9. Изменение скорости фильтрации воды: 1) вмещающие породы – песчаник, рамная крепь; 2) вмещающие породы – аргиллит, рамная крепь; 3) вмещающие породы – песчаник, анкерная крепь; 4) вмещающие породы – аргиллит, анкерная крепь

В более водоустойчивых породах скорость фильтрации на участке между угольным пропластком и выработкой в 1,5-2 раза меньше, чем в водонеустойчивых породах, что говорит о снижении интенсивности процесса фильтрации.

Выводы

Выполнено численное моделирование процесса фильтрации воды в деформируемом углепородном массиве вокруг горной выработки в зависимости от способа ее крепления и коэффициента размокаемости породы. Рассчитаны поля фильтрационной проницаемости массива, давления воды и величины водопритока в выработку для рассмотренных случаев.

Водопрочность и размокаемость пород имеет существенное влияние на устойчивость выработок. Поэтому в расчетах водопритока в горные выработки нужно учитывать эти параметры. В водонеустойчивых приконтурных породах, таких как аргиллиты, следует использовать анкерную крепь. Анкерная крепь сохраняет приконтурные породы в природном монолитном состоянии, позволяя сократить водоприток для рассматриваемых горно-геологических условий в 3,5 раза.

Таким образом, анкерная крепь может применяться как технологический способ снижения водопритоков в горные выработки.

1. Gornaya entsiklopediya (1991). Moskva: Sovetskaya entsiklopediya. <http://www.mining-enc.ru/v/vodoprochnost/>
2. Vynohradov, V.V. (1989). Geomehanika upravleniya sostoyaniem massiva vblizi gorniyh vyirabotok. Kyiv: Naukova dumka.
3. SOU 10.1.001.85790.011:2007. (2008). Pidhotovchi vyrobky na polohykh plastakh. Vybir kriplennia, sposobiv i zasobiv okhorony. Standart Minvuhlepromu Ukrainy. Donetsk: DonVUHI.
4. Sadovenko, I.A. (1984). Mehanizm vodoproyavleniya v ochistnyih vyirabotkah i obosnovanie sposobov snizheniya ego vliyaniya na tehnologiyu vyiemki uglya (na primere shaht Zapadnogo Donbassa. Avtoref. diss. na soiskanie uchen. stepeni kandidata tehn. nauk. Dnepropetrovsk.
5. Bezazyan, A.V., Kostyuk, V.I., Sadovenko, I.A. (1980). Prognoz proryvov vody v ochistsnyie vyirabotki shaht Zapadnogo Donbassa. Ugol, (5), 25-26.
6. Kolokolov, O.V., Sadovenko, I.A. (1983). Opredelenie zonyi vodoprovodyaschih treschin nad ochistnyimi vyirabotkami. Gorniy zhurnal, (1), 11-14.
7. Bezazyan, A.V., Sadovenko, I.A., Dudlya, N.A. (1983). Interaction between water-bearing rocks and excavation workings. Metallurhicheskaia y hornorudnaia promyshlennost, 4, 35-36.
8. Krukovska, V.V., Krukovskyi, O.P., Vynohradov, Y.O. (2016). Sposib znyzhennia vodopryplyvu u hirnychu vyrobku iz zastosuvanniam ankernoho kriplennia. Patent No 111059, Ukraine.

9. Krukovskiy, O., Krukovska, V., Vynohradov, Y. (2017). Mathematical modeling of unsteady water filtration in anchored mine workings. *Mining of Mineral Deposits*, 11 (2), 21-27.
10. Fadeev, A.B. (1987). *Metod konechnyih elementov v geomehanike*: Moskva, Nedra.
11. Zienkiewicz, O.C (1975). *The finite element method*: Moskva, Mir.

Ю.О. Виноградов

ВПЛИВ ВОДОСТІЙКОСТІ ВМІЩУЮЧИХ ПОРІД НА СТІЙКІСТЬ ВИРОБКИ З РАМНИМ ТА АНКЕРНИМ КРІПЛЕННЯМ

Мета. Метою роботи є вивчення впливу водостійкості вміщуючих порід на стійкість виробки і процес фільтрації води в гірничу виробку з рамної і анкерним кріпленням
Методика. При вирішенні задачі фільтрації води в деформуємому масиві використовувався метод скінченних елементів.

Результати. Застосування анкерного кріплення перешкоджає розвитку процесу утворення тріщин в покрівлі виробки, зберігає породи в природному, монолітному стані. Як наслідок, стримується процес фільтрації води з водоносних породних шарів, що запобігає або значно знижує розмокання приконтурних порід покрівлі.

Наукова новизна. Вперше обґрунтовано застосування анкерного кріплення як технологічного способу зниження водоприпливів в гірничі виробки.

Практична значимість. Використання анкерного кріплення в кілька разів знижує водоприплив в виробку, розташовану навіть в водонестійких породах.

Ключові слова: водостійкість, фільтрація води, чисельне моделювання.

Y.O. Vynohradov

WATER STABILITY INFLUENCE OF HOST ROCKS ON THE STABILITY OF MINE WORKING WITH FRAME AND ROOF-BOLTING SUPPORT

Purpose. The objective of this work is to study the water stability influence of the host rocks on the mine working stability and process of water filtration into mine working at different ways of its fastening.

Methods. When solving the problem of water filtration in a deformable massif, the finite element method was used.

Findings. Use of roof-bolting support prevents the development of the fractures formation process in the mine working roof, preserving the rocks in a natural, monolithic state. As a result, the process of water filtration from water bearing rock layers is constrained, which prevents or significantly reduces the soaking of border roof rocks.

Originality. The application of the roof-bolting support as a technological method for reducing the water inflow into mine workings has been substantiated.

Practical implications. The use of roof-bolting fastening several times reduces the water inflow into mine working, located even in water-permeable rocks.

Keywords: water-stability, water filtration, numerical simulation.