

УДК 622.831.332:551.24

**Молчанов А.Н.**, д-р техн. наук,  
**Виноградов Ю.А.**, магистр  
(ИФГП НАН Украины)

## **ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБВОДНЕННОГО ПЛАСТА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ**

**Молчанов О.М.**, д-р техн. наук,  
**Виноградов Ю.О.**, магистр  
(ИФГП НАН України)

## **ВПЛИВ ВИСОТИ РОЗТАШУВАННЯ ОБВОДНЕНОГО ПЛАСТА НА СТІЙКІСТЬ ГІРНИЧОЇ ВИРОБКИ**

**Molchanov A.N.**, D. Sc. (Tech.),  
**Vinogradov Y.A.**, M.S. (Tech.)  
(IPMP of the NAS of Ukraine)

## **HOW HEIGHT OF THE WATERED COAL BEDDING IMPACTS ON THE MINE TUNNEL STABILITY**

**Аннотация.** Район Западного Донбасса относится к одним из самых сложных по горно-геологическим условиям. В результате обводненности вмещающих пород происходит их размокание, потеря устойчивости контура выработки, обрушение приконтурных пород.

Для исследования процесса изменения полей напряжений и проницаемости вокруг выработки с рамной и анкерной крепью в условиях расположения в кровле обводненного угольного пропластка использовался метод математического моделирования. Проведена серия вычислительных экспериментов для различных значений расстояния между кровлей выработки и обводненным угольным пропластком. Приведены распределения расчетных значений геомеханических параметров и зон неупругих деформаций вокруг горной выработки в рассматриваемых случаях. Выполнено сравнение значений фильтрационной проницаемости пород кровли выработки, закрепленной рамной и анкерной крепью. Показано, что применение анкерной крепи на 25-30 % снижает разнокомпонентность поля напряжений и на 25-35 % – значение проницаемости в кровле горной выработки. Анкерная крепь сдерживает развитие трещиноватости вокруг выработки, сохраняет вмещающие породы в природном, монолитном состоянии, повышает устойчивость горной выработки, даже если в ее кровле расположен обводненный угольный пропласток.

**Ключевые слова:** водоприток в горную выработку, численные методы расчета, анкерное крепление.

Западный Донбасс принадлежит к числу весьма своеобразных и сложных по горно-геологическим условиям районов. Угольные месторождения относятся к отложениям нижнего и среднего карбона. В строении продуктивной толщи района имеются кристаллические породы докембрия и осадочные породы девонской, каменно-угольной, триасовой и горской систем, перекрытых третичными и четвертичными отложениями.

В условиях шахт Западного Донбасса процессы трещинообразования значительно повышают фильтрационную способность вмещающих пород и способ-

© А.Н. Молчанов, Ю.А. Виноградов, 2015

ствуют активизации гидравлической связи между каменноугольными и посткарбонными водоносными горизонтами. Величина проницаемости нарушенных вмещающих пород возрастает в зоне подработки на два-три порядка.

В результате обводненности вмещающих пород происходит их размокание, потеря устойчивости контура выработки, обрушение приконтурных пород. Подавляющее число осложнений и аварий в горных выработках связано с водопроявлениями при подработке водоносных пород.

На шахтах ПО "Павлоградуголь" 70 % завалов лав связаны с водопроявлениями в очистных выработках. Потери добычи угля по этим причинам достигают больших объемов. Работы по ликвидации последствий обводнения трудоемки и опасны. Они требуют разработки специальных мероприятий для обеспечения охраны труда рабочих, занятых на восстановительных работах. Поэтому для Западного Донбасса актуальна задача прогноза водопроявлений и уменьшения их пагубного влияния на состояние горных выработок.

В связи с этим цель работы состоит в изучении влияния высоты расположения обводненного пласта в кровле выработки на ее устойчивость и на проницаемость вмещающих пород при разных способах крепления.

Рассмотрим изменение поля напряжений вокруг горной выработки при различных высотах залегания водоносного слоя в двух случаях: когда выработка закреплена рамной и анкерной крепью. Напряженно-деформированное состояние породного массива в окрестности горной выработки описывается системой уравнений [1]

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

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/м<sup>3</sup>.

Граничные условия:

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

где  $u_i$  – перемещения, м;  $\Omega_1$  – вертикальные границы внешнего контура;  $\Omega_2$  – горизонтальные границы внешнего контура.

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

Для анализа напряженно-деформированного состояния породного массива в работе используются геомеханические параметры [3, 4]  $Q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\gamma H}$ , характеризующий разнокомпонентность поля напряжений, и  $P = \frac{\sigma_3}{\gamma H}$ , характеризующий разгрузку массива от горного давления. Здесь  $\gamma$  – усредненный вес вышележа-

щих горных пород,  $H/m^3$ ;  $H$  – глубина проведения выработки, м.

Расчеты проводились с использованием метода конечных элементов [5, 6] для горно-геологических условий шахты им. Сташкова "ДТЭК Павлоградуголь" [7].

Рассмотрим различные случаи расположения водоносного слоя над выработкой: от 0,15 м до 2,85 м и соответствующие им поля напряжений вокруг выработки с рамной крепью, расчетная схема показана на рис. 1. В кровле выработки расположены алевролит водонепроницаемый; обводненный угольный пропласток  $m = 0,4$  м.

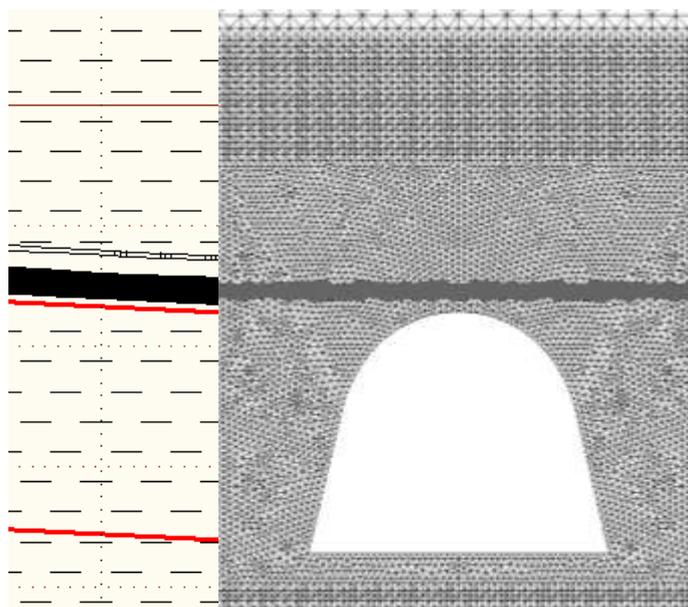


Рисунок 1 – Водонасыщенный угольный пропласток над выработкой

Свойства пород, использованные при расчетах, представлены в табл. 1. В результате расчетов были получены поля напряжений для перечисленных выше случаев (рис. 2), и зоны неупругих деформаций (рис. 3).

Таблица 1 – Свойства пород

Порода	Модуль упругости, $E$ , МПа	Коэффициент Пуассона, $\nu$	Сцепление, $C$ , МПа	Угол внутреннего трения, $\varphi$ , °	Прочность на растяж., $\sigma_p$ , МПа
Аргиллит	$10^4$	0,26	6	30	2
Уголь	$0,33 \cdot 10^4$	0,26	2,9	40	1

Из рисунка видно, что вокруг выработки во всех трех случаях сформирована область повышенной разнокомпонентности поля напряжений. На рис. 2, а можно видеть водонасыщенный слой, который изменяет распределение параметра  $Q$  вблизи кровли выработки, так как он имеет другие физико-механические свойства. На рис. 2, б изменения так же присутствуют, но менее значительны из-за большей удаленности обводненного пропластка от выработки. На рис. 2, в пропласток расположен почти за пределами нарушенной зоны, практически не

оказывая влияния на выработку.

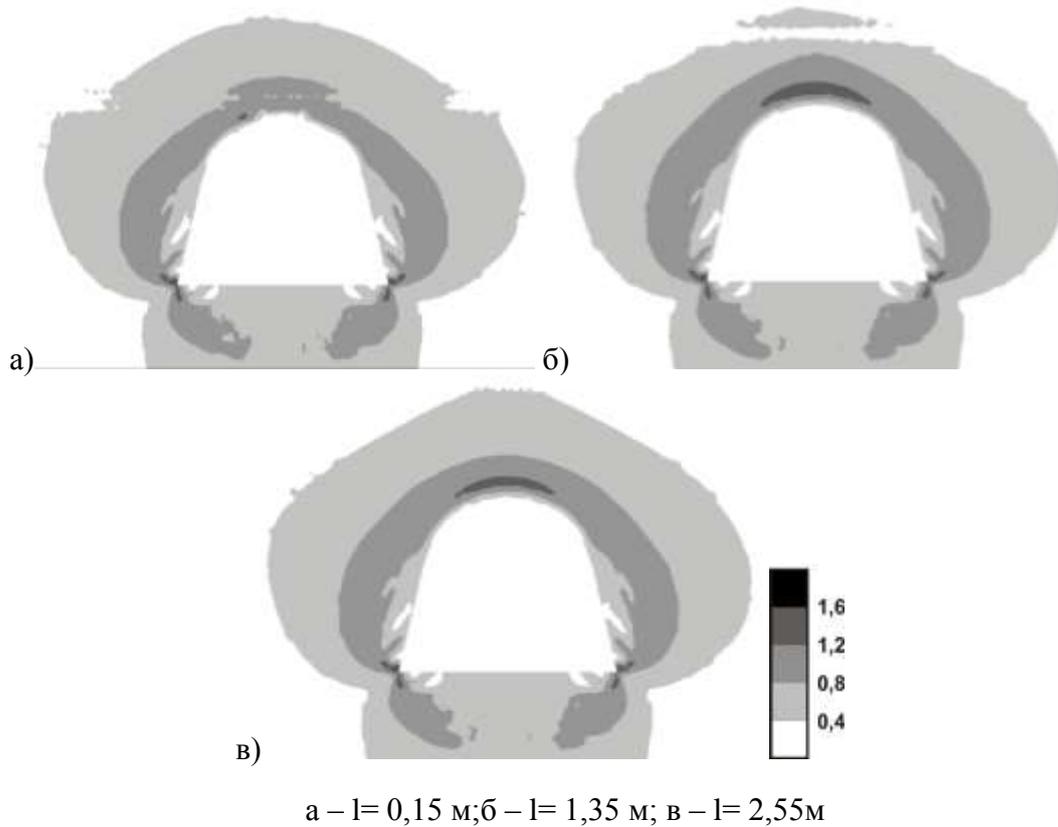


Рисунок 2 – Разнокомпонентность поля напряжений

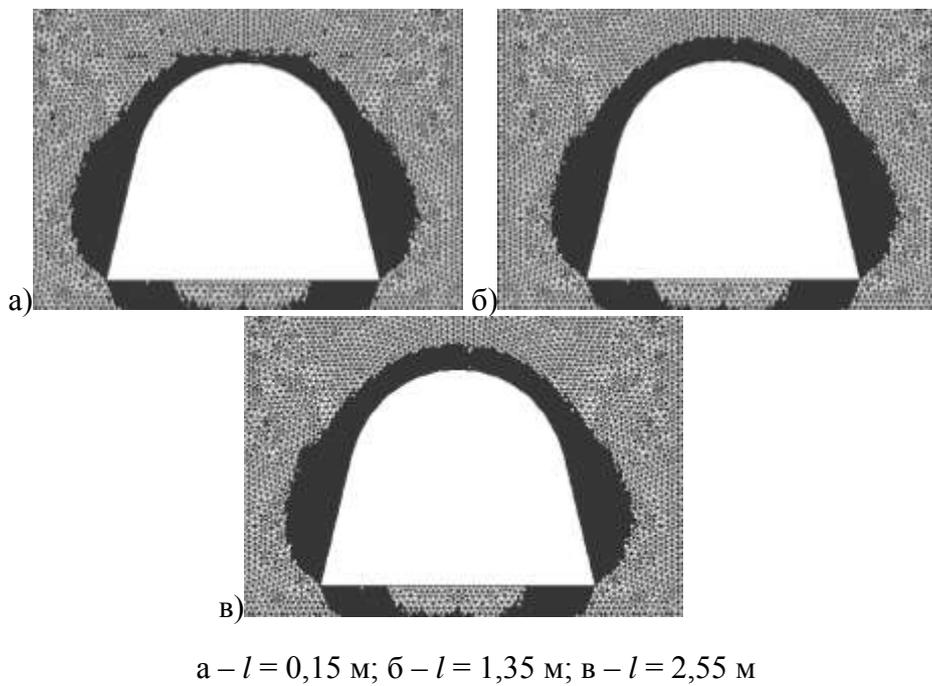


Рисунок 3 – Области пластических деформаций

Контур выработки окружает зона неупругих деформаций (рис. 3), что приводит к увеличению трещиноватости вмещающих пород, их расслоению и раз-

рушению.

Построим графики параметра  $Q$ , характеризующего разнокомпонентность поля напряжений, в зависимости от высоты расположения обводненного пропластка над выработкой (рис 4).

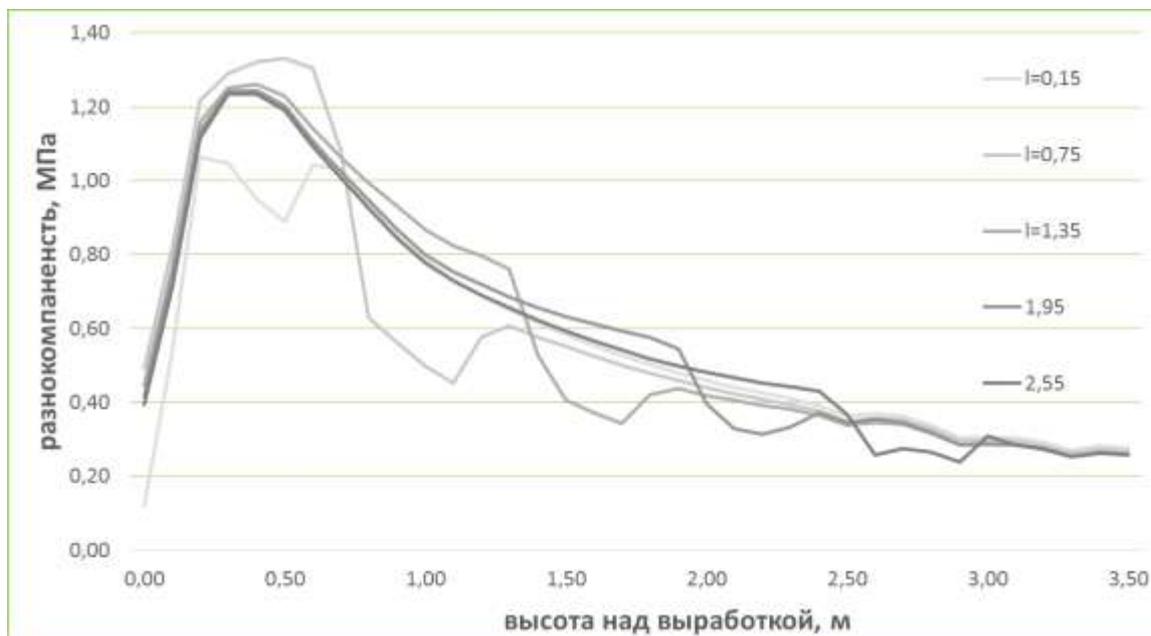


Рисунок 4 – Графики значений параметра  $Q$  в кровле выработки с рамной крепью для различных высот расположения обводненного пропластка

Отсюда можно четко видеть характерное снижение значений параметра  $Q$  на участке обводненного пропластка, которое растет при приближении его к выработке и соответственно при удалении от выработки снижается.

Теперь рассмотрим различные случаи расположения водоносного слоя над выработкой и соответствующие им поля напряжений вокруг выработки с анкерной крепью. В результате расчетов были получены поля напряжений для перечисленных выше случаев (рис. 5), и зоны неупругих деформаций (рис. 6).

В боках и кровле выработки с анкерной крепью зона неупругих деформаций значительно уменьшается по сравнению с выработкой, закрепленной рамной крепью, в кровле исчезает область повышенной разнокомпланентности — образуется перекрытие из ненарушенных, непроницаемых пород (рис. 5).

Положение водоносного слоя в этом случае влияет на распределение параметра  $Q$  только вблизи кровли выработки, при  $l = 0,15$  м. На рис. 5, а можно четко видеть водонасыщенный слой, который изменяет разнокомпланентность поля напряжений. На рис. 5, б изменения практически отсутствуют из-за большей удаленности пропластка от выработки. На рис. 5, в пропласток расположен почти за пределами нарушенной зоны, не оказывая влияния на выработку. В результате расчета установлено, что при использовании анкерного крепления положение водоносного пропластка влияет на разнокомпланентность поля напряжений только вблизи поверхности выработки и не влияет на размеры зоны пластических деформаций из-за ее малого размера, меньшего, чем начальная высо-

та розположення пропластка (0,15 м).

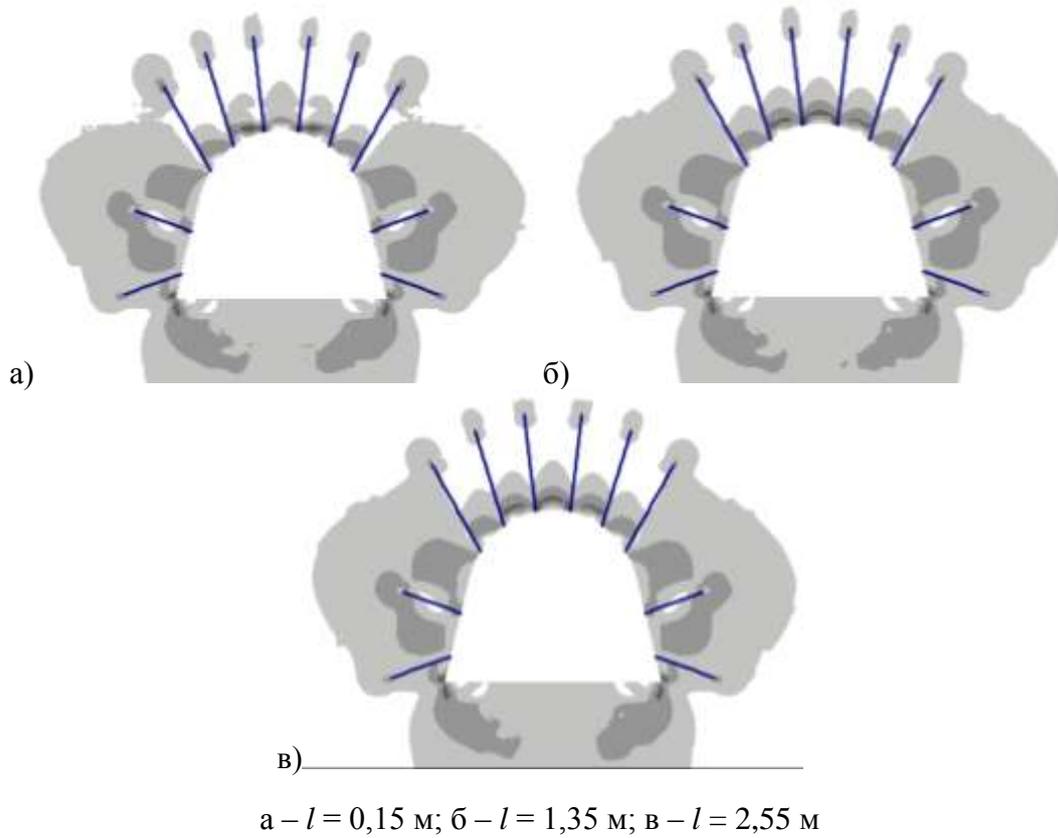


Рисунок 5 – Разнокомпонентность поля напряжений, значения параметра  $Q$

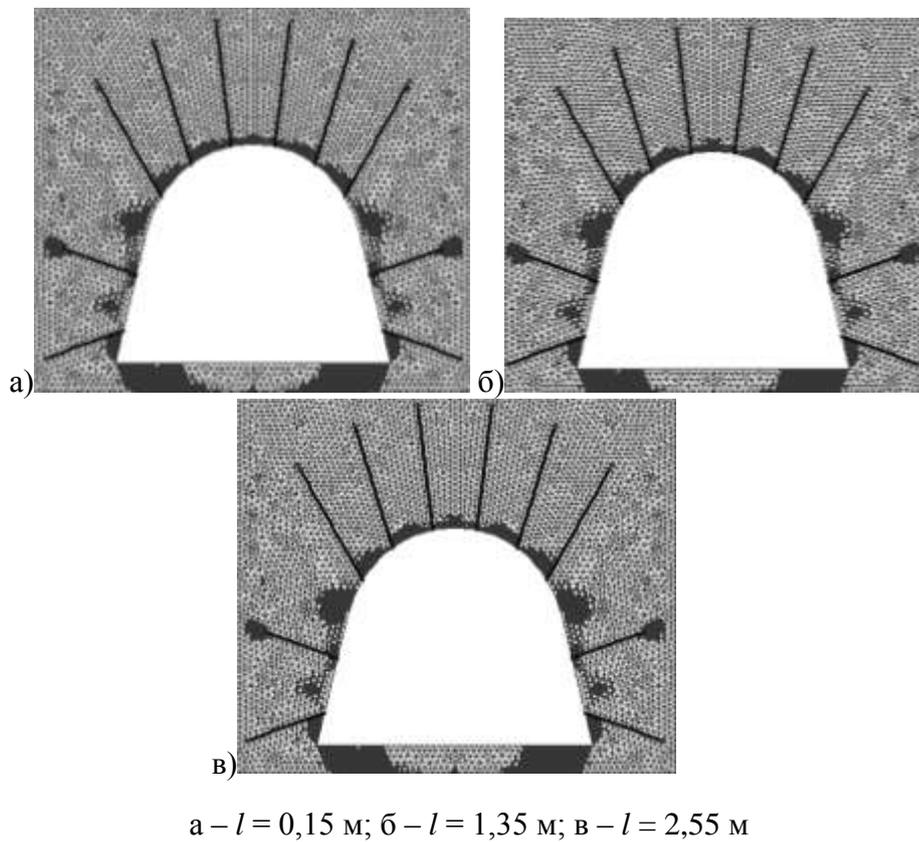


Рисунок 6 – Области пластических деформаций

Построим графики параметра  $Q$  в кровле выработки для случая, когда она закреплена анкерами, в зависимости от высоты пропластка над выработкой (рис.7).

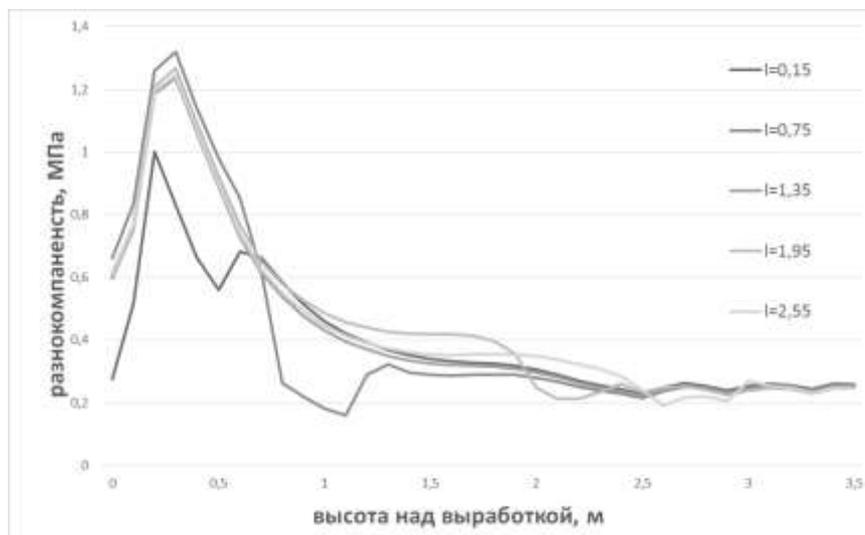
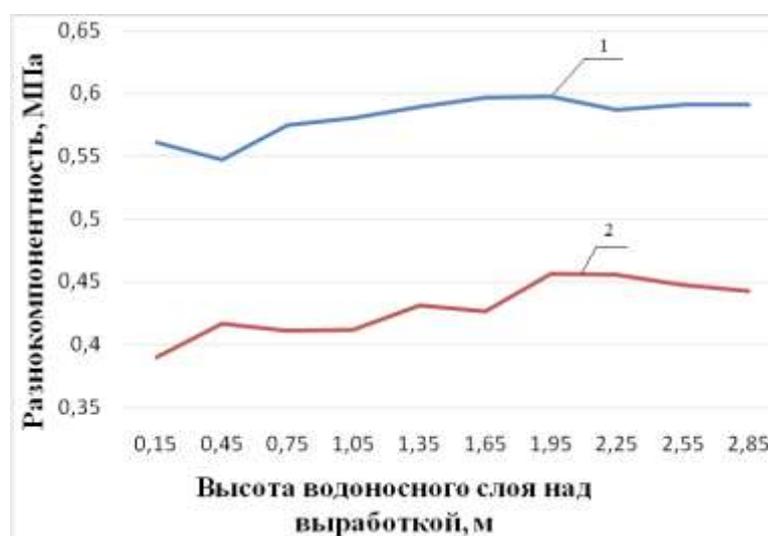


Рисунок 7 – Графики значений параметра  $Q$  в кровле выработки с анкерной крепью для различных высот расположения обводненного пропластка

На рис. 7 видим влияние анкерной крепи и устранение резких перепадов поля напряжений на участке водоносного пропластка, и в целом снижение значений разнокомпонентности. Максимальные значения параметр  $Q$  принимает при близком расположении водоносного слоя к кровле выработки и постепенно снижается при его отдалении.

Сравним средние значения параметра  $Q$  в кровле, на участке 0-3,5 м от поверхности выработки, для случаев крепления рамной и анкерной крепью (рис. 8). Видим, что разнокомпонентность поля напряжений в случае использования анкерной крепи снижается на 25-30 %.



1 – без анкера; 2 – с анкером

Рисунок 8 – Среднее значение параметра  $Q$  в кровле выработки

Фильтрационная проницаемость среды является важнейшей характеристикой, определяющей значение параметров процесса фильтрации. Известно, что проницаемость твердых тел зависит от напряжено-деформированного состояния, в котором они находятся. Для расчета проницаемости в горном массиве вокруг выработки с учетом его напряженного состояния будем считать, что [8]:

- в нетронутом горном массиве  $k = 0$  при  $Q < 0,6$ ;

- в зоне упругих деформаций и равнокомпонентного сжатия (при  $Q < 0,7$ ;  $P > 0,25$ )  $k = 0$  ;

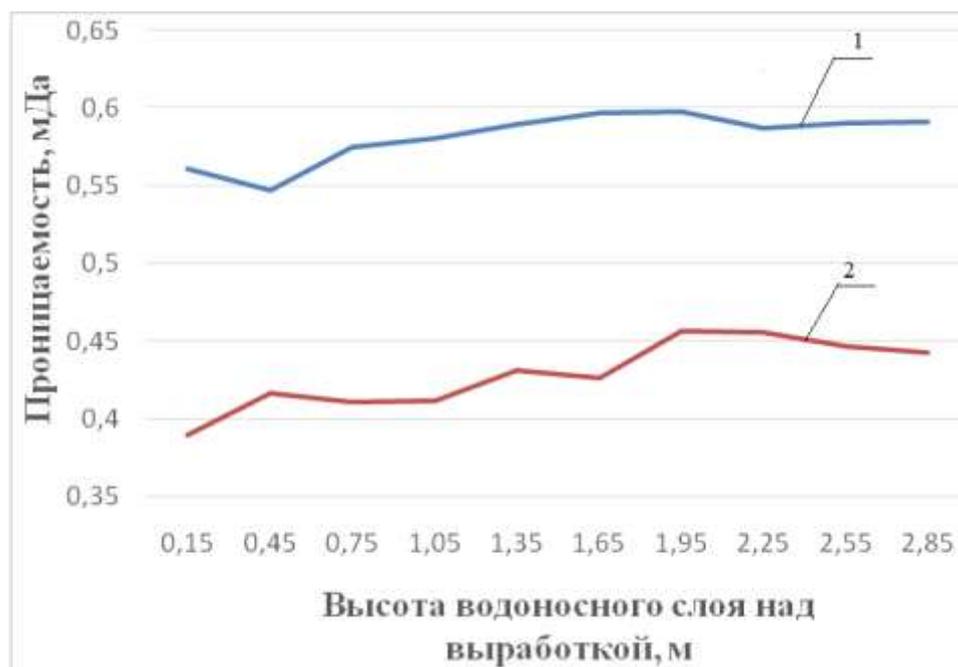
- в области начального трещинообразования отдельные трещины не связаны друг с другом, при  $0,7 < Q < 0,8$   $k = k_{\min}$  ;

- в области интенсивного трещинообразования имеет место неуправляемый рост трещин, на данной стадии быстро увеличиваются деформации за счет распространения трещин и разрыхления [9]. В области интенсивного трещинообразования происходит рост коэффициента проницаемости на 2-3 порядка в различных породах. В этой зоне при  $Q > 0,8$   $k = e^{0,26Q-4,65}$  ;

- в области разрушения горных пород происходит резкое увеличение проницаемости  $k = k_{\max}$ , при  $P < 0,1$ ;  $Q > 0,8$ .

Используя эти соотношения, были рассчитаны значения проницаемости для всех рассмотренных случаев. На рис. 9 приведены результаты сравнения средней проницаемости в кровле выработки, на участке 0-3,5 м от поверхности выработки, при рамном и анкерном креплении.

Судя по результатам на графике, можно сделать вывод, что проницаемость существенно, на 25-35 %, снизилась после применения анкерной крепи.



1 – без анкера; 2 – с анкером

Рисунок 9 – Среднее значение параметра проницаемости в кровле выработки

**Выводы.** В результате анализа результатов вычислительных экспериментов показано следующее.

Вокруг выработки с рамной крепью формируется область повышенной разнокомпонентности поля напряжений. Контур выработки окружает зона неупругих деформаций, что приводит к увеличению трещиноватости вмещающих пород, их расслоению и разрушению. Обводненный пропласток влияет на распределение поля напряжений и размеры зоны неупругих деформаций, а, значит, и устойчивость выработки, на расстоянии 0-1,5 м от поверхности, когда находится в зоне интенсивной трещиноватости.

В боках и кровле выработки с анкерной крепью зона неупругих деформаций значительно уменьшается, в кровле исчезает область повышенной разнокомпонентности – образуется перекрытие из ненарушенных, непроницаемых пород. При использовании анкерного крепления положение водоносного пропластка влияет на разнокомпонентность поля напряжений только вблизи поверхности выработки (0-0,5 м) и не влияет на размеры зоны пластических деформаций из-за ее малого размера, меньшего, чем начальная высота расположения пропластка.

Применение анкерной крепи на 25-30 % снижает значение разнокомпонентности и на 25-35 % – проницаемости в кровле горной выработки. Анкерная крепь сдерживает развитие трещиноватости, сохраняет вмещающие породы в природном, монолитном состоянии, повышает устойчивость горной выработки, даже если в ее кровле расположен обводненный угольный пропласток.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Круковская, В.В. Исследование водопритока в горные выработки с анкерной крепью / В.В. Круковская, А.П. Круковский, Ю.А. Виноградов // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2015. – № 120. – С. 182-193.
2. Баклашов, И.В. Механика подземных сооружений и конструкций крепей / И.В. Баклашов, Б.А. Картозия. – М.: Недра, 1984. – 415 с.
3. Круковский, А.П. Напряженно-деформированное состояние пород в окрестности горной выработки, закрепленной простыми конструкциями анкерной крепи / А.П. Круковский // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2010. – № 89. – С. 99-109.
4. Круковский, А.П. Моделирование изменения напряженно-деформированного состояния приконтурного массива при отходе забоя горной выработки / А.П. Круковский // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій: Зб. наук. праць. – Дніпропетровськ: Ліра, 2011. – Вип. 17. – С. 175-181.
5. Фадеев, А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике / А.Б. Фадеев. – М. Недра, 1987. – 224с.
6. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 542 с.
7. Виноградов, Ю.А. Исследование водопритока в горную выработку в зависимости от способа ее крепления / Ю.А. Виноградов // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Науково-виробничий збірник: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 1(15). – С. 89-95.
8. Круковська, В.В. Розробка методу розрахунку параметрів процесу фільтрації метану з урахуванням напружено-деформованого стану вуглепородного масиву, що підробляється: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.11 / В.В. Круковська. – Дніпропетровськ, 2006. – 20 с.
9. Виноградов, В.В. Геомеханіка управління станом масиву вблизи горних виробок / В.В. Виноградов. – К.: Наукова думка, 1989. – 192 с.

## REFERENCES

1. Krukovskaya, V.V., Krukovskiy, A.P. and Vinogradov, Yu.A. (2015), "Study water inflow in mines with anchors", *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 120, pp. 182-193.
2. Baklashov, I. V. and Kartoziya, B. A. (1984), *Mekhanika podzemnykh sooruzheniy i konstruksiy krepely* [Mechanics of underground structures and structures of supports], Nedra, Moscow, USSR.
3. Krukovskiy, A.P. (2010), "The stress-deformed state of rock in the neighborhood of the mine working fixed by simple constructions of the roof bolting", *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 89, pp. 99-109.
4. Krukovskiy, A.P. (2011), "Modelling changes of stress-strain state of solid edge during the distance of working face of mine workings", *Problemy obchyslyvalnoyi mekhaniki i mitsnosti konstruksiy*, vol.17, pp. 175-181.
5. Fadeev, A. B. (1987), *Metod konechnykh elementov v geomekhanike* [The finite element method in geomechanics], Nedra, Moscow, USSR.
6. Zenkevich, O. (1975), *Metod konechnykh elementov v tekhnike* [A finite element method in the engineering], Mir, Moscow, USSR.
7. Vinogradov, Yu.A. (2015), "The change of the rock massif stress state in the working face during drilling and blasting operations", *Suchasni resursoenergozberigayuchi tekhnologii girnychogo vyrobnytstva*, no. 1(15), pp. 89-95.
8. Krukovska, V.V. (2006), "Preparation method of calculation of methane filtration parameters with the account a mode of stressedly-deformed state of coal-rock mass", Abstract of Ph.D. dissertation, Geotechnical and mining mechanical, IGTM, Dnepropetrovsk, Ukraine.
9. Vinogradov, V.V. (1989), *Geomekhanika upravleniya sostoyaniem massiva vblizi gornykh vyrabotok* [Geomechanics of the massif state control near the mine workings], Naukova dumka, Kiev, USSR.

## Об авторах

**Молчанов Александр Николаевич**, доктор технических наук, заместитель директора института по научной работе, Институт физики горных процессов Национальной академии наук Украины (ИФГП НАН Украины), Днепропетровск, Украина, molchanov@nas.gov.ua.

**Виноградов Юрий Алексеевич**, магистр, инженер, Институт физики горных процессов Национальной академии наук Украины, (ИФГП НАН Украины), Днепропетровск, Украина, my\_pochta\_1@mail.ua.

## About the authors

**Molchanov Aleksandr Nikolaevich**, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Deputy Director of the institute, Institute for Physics of mining processes (IPMP NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, molchanov@nas.gov.ua.

**Vinogradov Yuriy Alekseevich**, Master of Sciences, engineer, Institute for Physics of mining processes (IPMP NAS of Ukraine), Dnepropetrovsk, Ukraine, my\_pochta\_1@mail.ua.

**Анотація.** Район Західного Донбасу відноситься до одних з найскладніших за гірничо-геологічними умовами. В результаті обводнення порід, що вміщують виробку, відбувається їх розмокання, втрата стійкості контуру виробки, обвалення приконтурних порід.

Для дослідження процесу зміни полів напружень і проникності навколо виробки з рамним і анкерним кріпленням в умовах розташування в покрівлі обводненого вугільного пропластку використовувався метод математичного моделювання. Проведено серію обчислювальних експериментів для різних значень відстані між покрівлею виробки і обводненим вугільним пропластком. Наведено розподіли розрахункових значень геомеханічних параметрів і зон непружних деформацій навколо гірничої виробки в розглянутих випадках. Виконано порівняння значень фільтраційної проникності порід покрівлі виробки, закріпленої рамним і анкерним кріпленням. Показано, що застосування анкерного кріплення на 25-30% знижує різнокомпонентність поля напружень і на 25-35% – значення проникності в покрівлі гірничої виробки. Анкерне кріплення стримує розвиток тріщинуватості навколо виробки, зберігає гірські породи в природному, монолітному стані, підвищує стійкість гірничої виробки, навіть якщо в її покрівлі розташований обводнений вугільний пропласток.

**Ключові слова:** приплив води в гірничу виробку, чисельні методи розрахунку, анкерне

кріплення.

**Abstract.** The Western Donbass area refers to one of the most complicated geological conditions. Due to the watering, the enclosing rocks are got soaked, mine tunnel contour losses its stability, and marginal rocks fall.

A computer simulation was used for studying changes in the stress field and permeability around the mine tunnels with the frame supports and roof bolting when a flooded coal brat was located in the roof. A series of numerical experiments were carried out with different distances between the mine roof and watered coal brat. Distributions of the estimated values of geomechanical parameters and zones with inelastic deformations around the mine tunnel are shown for the cases under the consideration. The values of the rocks filtration permeability in the mine roofs are compared for the cases with frame supports and roof bolting. It is shown that when the roof bolting is used, difference between the maximum and minimum stress field components decreases by 25-30% and permeability in the mine roof decreases by 25-35%. The roof bolting prevents fractures around the mine tunnel from further development, retains enclosing rocks in their natural, solid state, and increases the tunnel stability even when a watered coal brat is located in its roof.

**Keywords:** water inflow into the mine tunnel, numerical methods, roof bolting.

*Статья поступила в редакцию 07.09.2015*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук С.П. Минеевым*

УДК 622.242.-555.4 (043.3)

**Минеев А.С.**, канд. техн. наук, доцент  
(Государственное ВУЗ «НГУ»)

### **ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЕОМАТЕРИАЛЫ**

**Мінєєв А.С.**, канд. техн. наук, доцент  
(Державний ВНЗ «НГУ»)

### **ПИТАННЯ ОЦІНКИ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИБРАЦІЙНОЇ ДІЇ НА ГЕОМАТЕРІАЛИ**

**Minieiev O.S.**, PhD. (Tech.), Associate Professor,  
(State H E I «NMU»)

### **ON THE ISSUES OF OPTIMAL PARAMETR ESTIMATION FOR VIBRATION IMPACT ON THE GEOMATERIALS**

**Аннотация.** В работе выполнена оценка оптимальных параметров вибрационного воздействия на упругие и неупругие геоматериалы, при которых в среде достигается максимум амплитуды напряжений. В случае неупругих материалов для оптимизации предложен информативный параметр, характеризующий степень передачи виброэнергии по среде.

Установлено, что средняя за период мощность потока энергии с удалением от источника вибрации убывает по экспоненциальному закону для больших расстояний, а для малых вносятся существенные поправки свойствами среды. Поэтому аналитически ее определить сложно и в работе ее определяли на основе численного расчета.

Анализ исследований позволил рекомендовать для эффективного рыхления смерзшегося