

УДК 691.32:620.193.4:539.219.3

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

Виноградов Ю.А., студент
(Государственное ВУЗ «НГУ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОПРИТОКА В ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ С АНКЕРНОЙ КРЕПЬЮ

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

Виноградов Ю.О., студент
(Державний ВНЗ «НГУ»)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДОПРИТОКУ В ГІРНИЧІ ВИРОБКИ З АНКЕРНИМ КРІПЛЕННЯМ

Krukovskaya V.V., D.Sc. (Tech.), Senior Researcher,
Krukovskiy A.P., D.Sc. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine),

Vinogradov Y.A., Student
(State HEI «NMU»)

STUDY OF WATER INFLOW IN MINE WORKINGS WITH ANCHORS

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. Поэтому важно точно выполнить прогноз водопритока в выработку в конкретных гидрогеологических условиях и принять эффективные меры по предупреждению аварийных водопритоков.

Для исследования процесса изменения полей напряжений, проницаемости и влажности вокруг выработки с рамной и анкерной крепью в различных гидрогеологических условиях использовался метод математического моделирования. Расчетные значения водопритока в выработку с рамной и анкерной крепью подтверждены шахтными наблюдениями. Показано, что анкерная крепь сдерживает развитие трещиноватости, вследствие чего размеры области фильтрации вокруг горной выработки уменьшаются, водоприток в выработку снижается. В отдельных случаях, когда обводненные породные слои находятся на достаточном расстоянии от контура выработки, водоприток в выработку предотвращается практически полностью. Поэтому анкерная крепь может быть использована как технологическое средство снижения водопритока в горные выработки.

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

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. Восстановление эксплуатационного состояния выработки, работы по откачке воды трудоемки, опасны и требуют больших финансовых затрат. Поэтому важно точно выполнить прогноз водопритока в выработку в конкретных гидрогеологических условиях и принять эффективные меры по предупреждению аварийных водопритоков.

Цель данной работы – проанализировать изменение водопритока в горную выработку в зависимости от гидрогеологических условий ее проведения и рассмотреть анкерное крепление в качестве технологического способа предупреждения аварийных водопритоков. Для достижения этой цели в работе решены следующие задачи: разработана модель фильтрации жидкости из обводненных слоев горных пород в выработку в зависимости от напряженного состояния вмещающих пород; проведен анализ изменения полей напряжений, фильтрационной проницаемости, влажности пород; выполнен расчет водопритока в выработку с рамной и анкерной крепью в различных гидрогеологических условиях.

Рассмотрим горную выработку, проводимую в слоистом массиве горных пород при условии, что некоторые слои обводненные. Для расчета параметров области фильтрации сначала проведем моделирование напряженно-деформированного состояния твердого тела. При моделировании принимается гипотеза сплошности, горный массив считается 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 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.

Для анализа напряженно-деформированного состояния породного массива в

работе используются геомеханические параметры $Q^* = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\gamma H}$, характеризующий разнокомпонентность поля напряжений, и $P^* = \frac{\sigma_3}{\gamma H}$, характеризующий разгрузку массива от горного давления. Здесь γ – усредненный вес вышележащих горных пород, Н/м³; H – глубина проведения выработки, м.

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 [1]:

- 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 [2]. В области интенсивного трещинообразования происходит рост коэффициента проницаемости на 2-3 порядка в различных породах и материалах при $Q^* > 0,8$ $k = e^{0,26Q^* - 4,65}$;
- в области разрушения горных пород происходит резкое увеличение проницаемости $k = k_{\max}$, при $P^* < 0,1$; $Q^* > 0,8$.

Для расчета параметров фильтрации жидкости принимаются следующие допущения: фильтрационный поток считается изотермическим, непрерывным, безнапорным. В качестве неизвестной величины будем рассматривать влажность w – процентное содержание воды в трещинно-поровом пространстве горных пород.

Уравнения неразрывности фильтрационного потока при наличии источника и без учета сжимаемости можно представить в виде:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial w}{\partial y} \right) + q(t) = 0,$$

где k_x , k_y – коэффициенты проницаемости твердого тела, мДа; $q(t)$ – интенсивность источника (стока) воды.

Граничные условия:

$$w|_{\Omega_1} = w_1; \quad w|_{\Omega_2} = w_2,$$

где Ω_1 – область необводненных вмещающих пород; Ω_2 – водонасыщенные

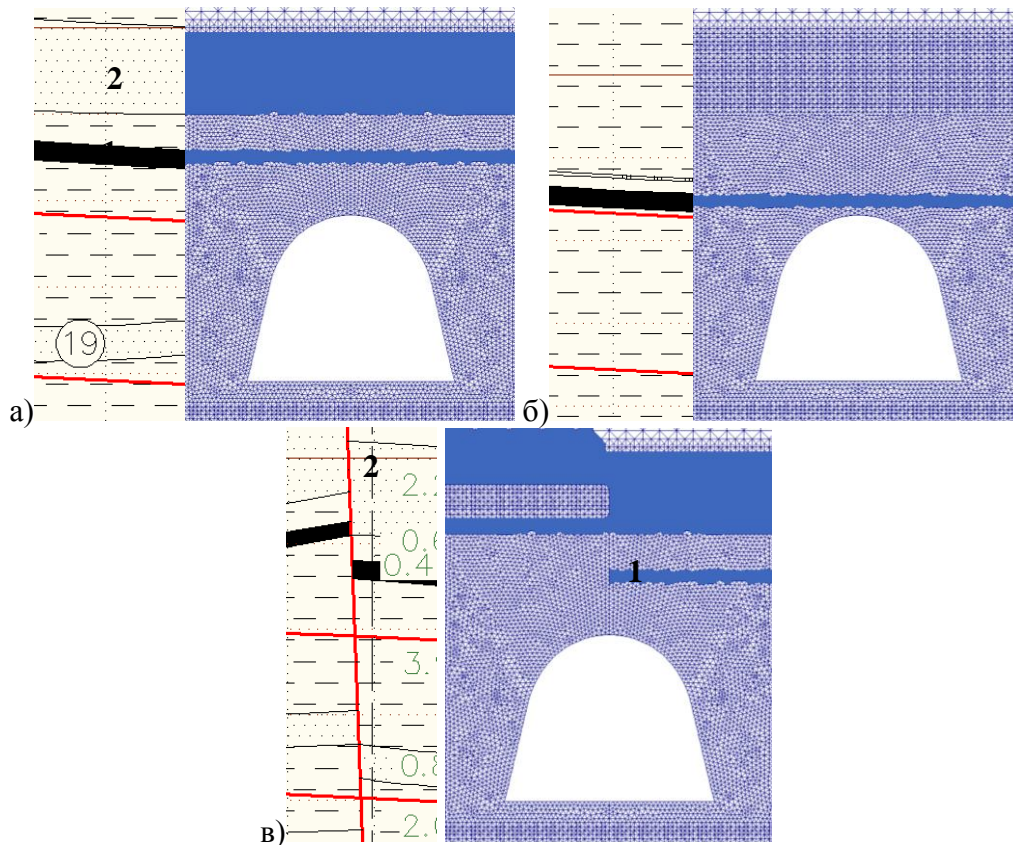
слои горных пород; w_1 – влажность необводненных пород; w_2 – влажность водонасыщенных пород.

В результате решения системы матричных уравнений МКЭ получаем значения влажности пород w , скоростей фильтрации v_1 , v_2 и расходов воды Q в каждой точке исследуемой области.

Расчеты проводились с использованием метода конечных элементов [3, 4] для горно-геологических условий проведения Восточного магистрального откаточного штрека ш. им. Сташкова ШУ «Днепровское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», который вначале крепился рамной крепью КШПУ 14,4. Были выделены три характерных участка с различными гидрогеологическими условиями:

- в кровле выработки расположены алевролит водонепроницаемый мощностью $m=1,2$ м; обводненный угольный пропласток $m=0,4$ м; алевролит $m=0,8$ м и обводненный песчаник $m=2,0$ м (конечно-элементная сетка показана на рис. 1 а);

- в кровле выработки расположены алевролит водонепроницаемый мощностью $m=0,15$ м; обводненный угольный пропласток $m=0,4$ м, рис. 1 б);



1 – угольный пропласток; 2 – песчаник

а) участок с двумя обводненными слоями; б) с близколежащим угольным пропластком;
в) участок с тектоническим нарушением

Рисунок 1 – Центральный фрагмент конечно-элементной сетки

- выработка пересекает тектоническое нарушение сдвиг с амплитудой 1 м, в кровле – обводненные угольный пропласток $m=0,4$ м и песчаник $m=2,0$ м, рис. 1в.

В результате проведенных для перечисленных выше горногеологических условий расчетов были получены распределения полей напряжений, значений геомеханических параметров Q^* и P^* и зоны неупругих деформаций, рис. 2. Из рисунка видно, что вокруг выработки во всех трех случаях сформирована область повышенной разнокомпонентности поля напряжений. Контур выработки окружает зона неупругих деформаций, что говорит об увеличении трещиноватости вмещающих пород, их расслоении и разрушении. На участке с тектоническим нарушением и область неупругих деформаций и область повышенной разнокомпонентности имеют гораздо большие размеры, чем в остальных рассмотренных случаях.

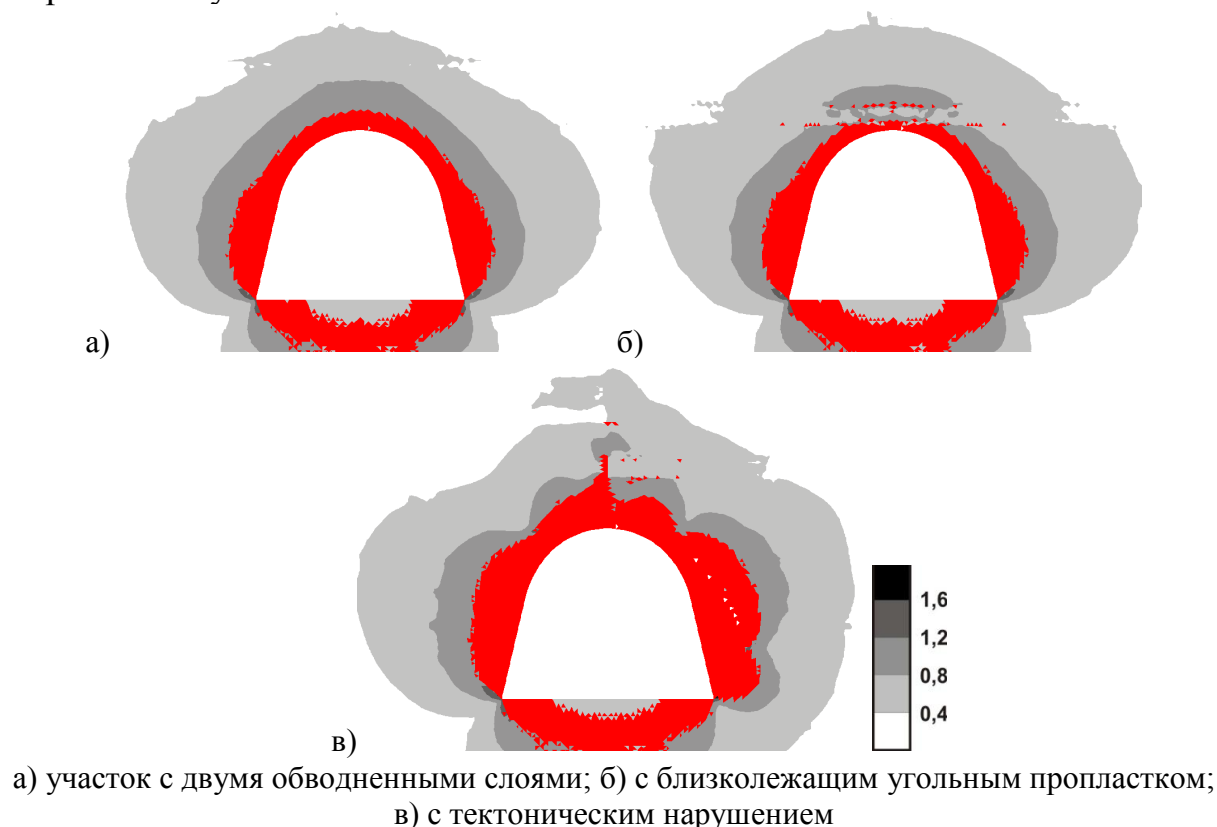


Рисунок 2 – Распределения значений параметра Q^* и зоны неупругих деформаций

Используя изложенные выше принципы взаимосвязи параметров напряженного состояния и проницаемости горного массива, рассчитаем значения коэффициентов проницаемости k в каждой точке исследуемой области, рис. 3.

Вокруг выработки образуется водопроницаемая область, захватывающая водоносные слои, вода из которых будет перемещаться внутрь выработки. В первом случае, рис. 3 а, обводненный угольный пропласток расположен на самом краю области фильтрации в зоне начала трещинообразования. В случае №2 – в зоне интенсивной трещиноватости, рис. 3 б. В горно-геологических условиях с тектоническим нарушением в область фильтрации попадают все обводненные породные слои, рис. 3 в.

На рис. 4 показано распределение значений влажности вмещающих пород

на трех характерных участках.

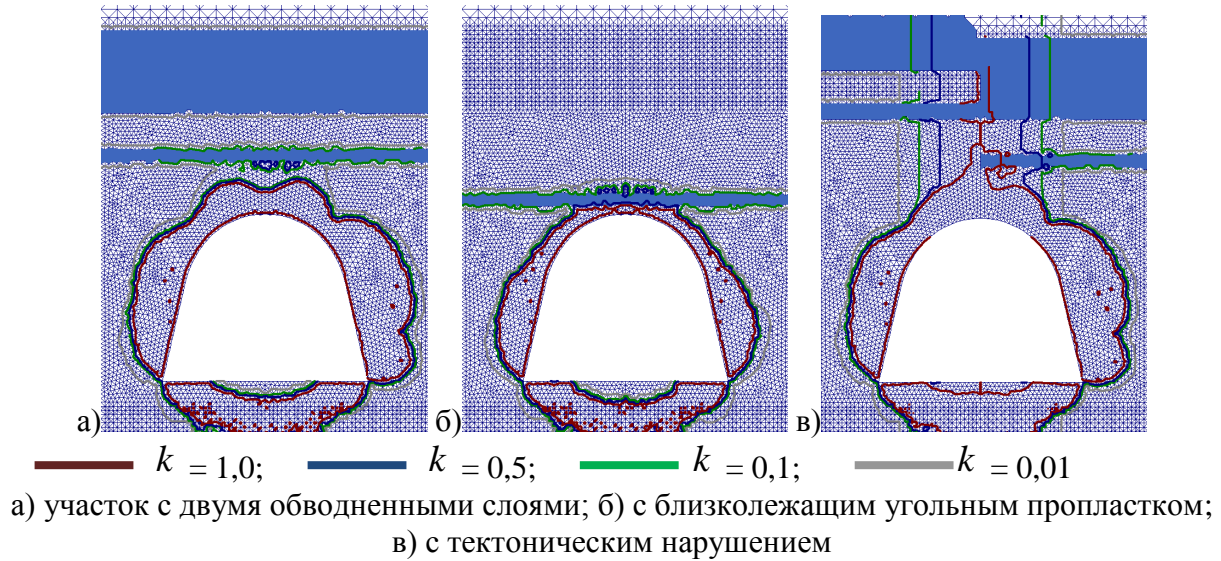


Рисунок 3 – Проницаемость пород вокруг выработки

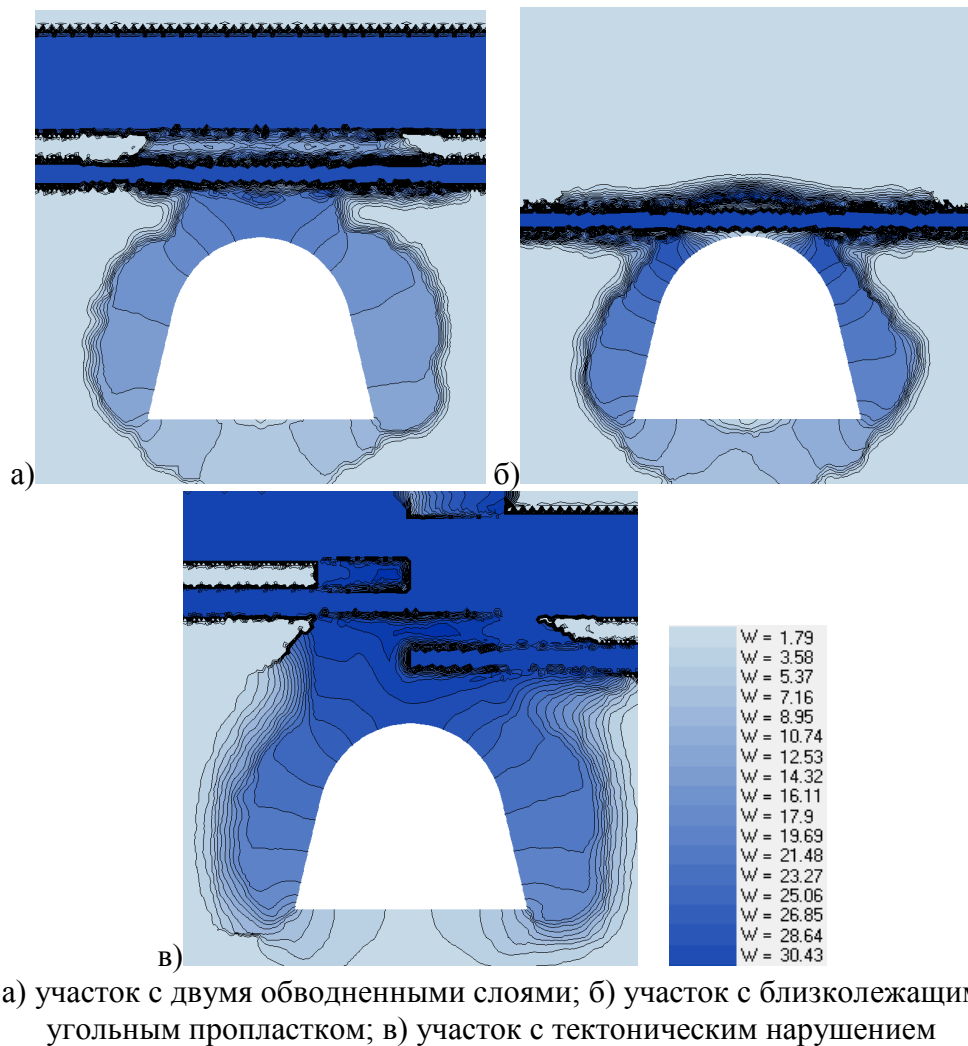


Рисунок 4 – Влажность пород вокруг выработки

Видно, что влажность приконтурных пород увеличивается – вода из обводненного угольного пропластка и песчаника перемещается в выработку. Причем наименьшая влажность вмещающих пород наблюдается на рис. 4 а, максимальная – в случае с тектоническим нарушением, рис. 4 в.

Опыт ведения горных работ в слоистом породном массиве с обводненными слоями показывает, что технология этих работ может влиять на протекание фильтрационных процессов в нарушенной зоне горного массива. Способы проходки выработки, величина заходки, скорость подвигания забоя активно влияют на динамику перераспределения напряжений впереди движущегося забоя непосредственно в процессе ведения горных работ, на конфигурацию области фильтрации, проницаемость внутри нее и, следовательно, на формирование и направление движения фильтрационных потоков в нарушенной области.

Анкерная крепь (АК) как средство снижения водопритока в горные выработки ранее не рассматривалась, но ее применение позволяет свести смещения пород внутрь выработки к минимальным значениям, сохранить вмещающие породы в первоначальном, монолитном состоянии, а, значит, и предотвратить развитие трещинообразования в зоне влияния выработки [5-7]. Это говорит о том, что проницаемость вмещающих пород в этой зоне также будет сохранена на природном уровне, что должно значительно ограничить интенсивность фильтрационного движения жидкости из обводненных пород, предупредить или снизить водоприток в горные выработки с анкерной крепью.

Конструкция анкерного крепления – это система породных блоков, которые при помощи анкеров сохранены в природном, монолитном состоянии. Такая крепь позволяет удерживать смещение пород в выработку в установленных пределах и ограничивать развитие разрушения приконтурного массива на протяжении всего срока службы выработки [8].

За последние годы проделана большая работа по разработке конструкций анкерной крепи [9, 10]. Этот вид крепления позволяет расширить область применения анкерной крепи в различных горно-геологических и горнотехнических условиях угольных шахт. Анкерное крепление по всем технико-экономическим показателям имеет значительные преимущества по сравнению с традиционными видами крепления и при условии соблюдения требований нормативов применения конструкций, технологии их возведения, соблюдения требований мониторинга и эксплуатации позволяет [8]:

- обеспечить надежное и безопасное функционирование горных выработок на протяжении всего срока их эксплуатации;
- поднять нагрузку на очистной забой;
- повысить средние темпы проведения горных выработок;
- упростить схемы организации горных работ;
- значительно улучшить условия и безопасность труда шахтеров, экономические и производственные показатели работы шахт.

Рассмотрим случаи, когда выработка закреплена с использованием 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 5,0 м.

Распределение значений параметра Q^* и зоны неупругих деформаций для первого участка выработки показаны на рис. 5.

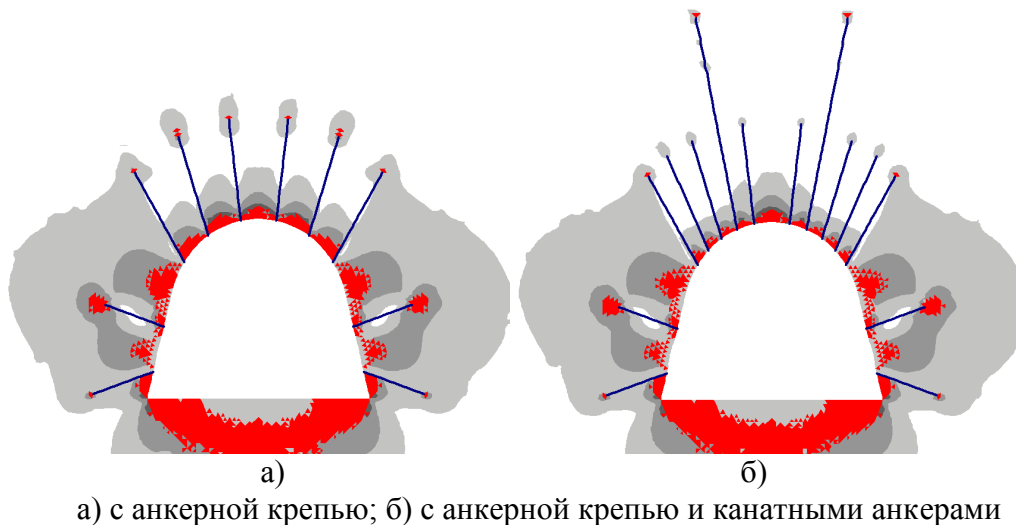


Рисунок 5 – Распределения значений параметра Q^* и зоны неупругих деформаций вокруг выработки с анкерной крепью

В боках и кровле выработки с анкерной крепью (рис. 5 а) зона неупругих деформаций значительно уменьшается по сравнению с незакрепленной выработкой (рис. 2 а), в кровле исчезает область повышенной разнокомпонентности – образуется перекрытие из ненарушенных, непроницаемых пород. В случае усиления анкерной крепи канатными анкерами (рис. 5 б) состояние приконтурных пород еще более устойчиво.

Распределение значений коэффициентов проницаемости вокруг выработки с АК для всех гидрогеологических условий, рис. 6, также существенно изменится по сравнению с выработкой с рамной крепью, рис. 3.

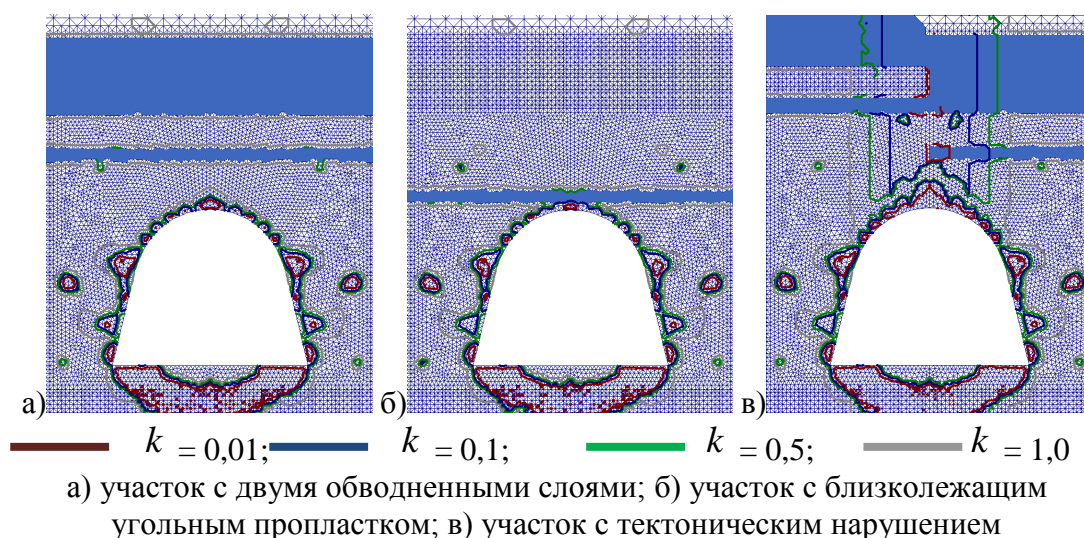
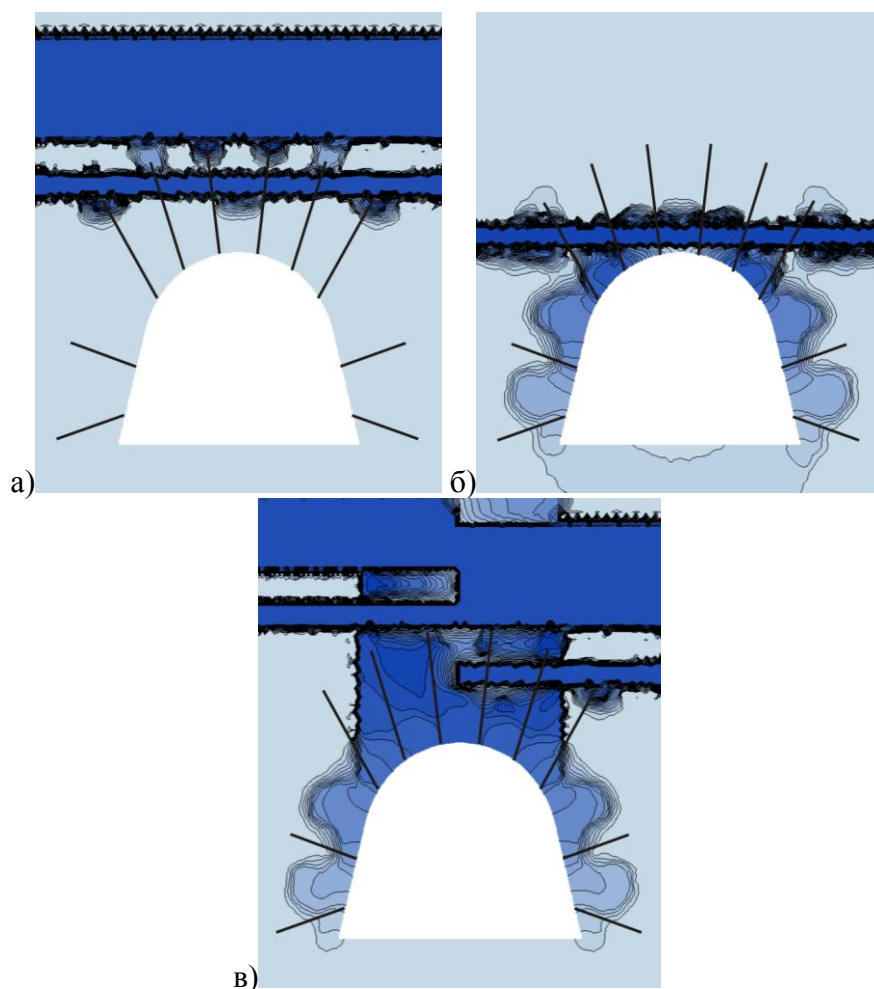


Рисунок 6 – Проницаемость пород вокруг выработки с анкерной крепью №2

Видно, что в первом случае между кровлей выработки и угольным пропластком находятся ненарушенные водонепроницаемые слои горных пород, что будет препятствовать фильтрации воды внутрь выработки, рис. 6 а. Однако обводненный угольный пропласток, расположенный слишком близко к контуру выработки, рис. 6 б, попадает в область фильтрации. Непроницаемой перемычки между источником фильтрации воды и выработкой, как на первом участке, не образуется.

В зоне тектонического нарушения, проницаемость значительно снижена по сравнению с выработкой с рамной крепью (рис. 3 в) за счет упрочняющего действия анкерной крепи. Между источниками фильтрации воды и выработкой расположена область пониженной проницаемости.

На рис. 7 показано распределение значений влажности вмещающих пород в рассматриваемых случаях.



а) участок с двумя обводненными слоями; б) участок с близколежащим угольным пропластком; в) участок с тектоническим нарушением

Рисунок 7 – Влажность пород вокруг выработки с анкерной крепью №1

Породы кровли выработки с анкерной крепью в первом случае, рис. 7 а, водонепроницаемы, а обводненные слои находятся за пределами области фильтрации, водопиток в выработку отсутствует. На участке с близколежащим

угольным пропластком (рис. 7 б) между источником фильтрации воды и выработкой отсутствует непроницаемое перекрытие – водоупор, поэтому вода из обводненного угольного пропластка перемещается внутрь выработки, хотя и в меньшем объеме, чем в выработку с рамной крепью. Так как тектоническое нарушение окружено зоной нарушенных пород, вода из обводненных угольного пропластка и песчаника кровли перемещается внутрь выработки. Но объем водопритока гораздо меньше, чем в выработку с рамной крепью. Анкерная крепь сдерживает дальнейшее развитие трещиноватости и разрушение приконтурных пород.

Проанализируем изменение расчетных значений водопритока на единицу длины выработки на каждом из трех участков, табл. 1.

Таблица 1 – Водоприток в выработку при различных способах ее крепления в рассмотренных гидрогеологических условиях

Гидрогеологические условия	Крепление выработки	Водоприток в выработку Q , м ³ /час
участок с двумя обводненными слоями	КШПУ 14,4	0,36
	АК	$9 \cdot 10^{-5}$
	АК с канатными анкерами	$3,1 \cdot 10^{-5}$
участок с близлежащим угольным пропластком	КШПУ 14,4	4,8
	АК	3,8
	АК с канатными анкерами	2,8
участок с тектоническим нарушением	КШПУ 14,4	2,4
	АК	0,9
	АК с канатными анкерами	0,4

При условии применения анкерной крепи на первом участке фильтрации жидкости из обводненных угольного пропластка и песчаника практически не происходит. На участке с близлежащим угольным пропластком водоприток в выработку с АК снижается в 1,3-1,7 раза по сравнению с выработкой, закрепленной рамной крепью КШПУ 14,4; на участке с тектоническим нарушением водоприток в выработку с АК снижается в 2,7-6 раз.

По данным службы главного геолога ш. им. Сташкова ШУ «Днепровское» ПАО «ДТЭКПавлоградуголь» с началом применения анкерного крепления в Восточном магистральном откаточном штреке пласта С₄ водоприток в выработку уменьшился в среднем в 2 раза (с 4 до 2 м³/час), что соответствует полученным расчетным данным.

До начала применения АК в результате обводнения и размокания пород в этой выработке произошло обрушение кровли на участке длиной 15 м. Высота вывала – 3,3 м.

Выводы.

Анкерная крепь сдерживает развитие трещиноватости вокруг горной выработки, сохраняет вмещающие породы в природном, монолитном состоянии, вследствие чего размеры области фильтрации вокруг выработки уменьшаются, водоприток в выработку снижается. В отдельных случаях, когда обводненные породные слои находятся на достаточном расстоянии от контура выработки, водоприток в выработку предотвращается практически полностью.

В результате анализа результатов вычислительных экспериментов и шахтных данных показано, что применение АК снижает водоприток в выработку в 1,7-6 раз в различных гидрогеологических условиях, и поэтому анкерная крепь может быть использована как технологическое средство снижения водопритока в горные выработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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: ИГТМ НАНУ, 2006. – 20 с.
2. Виноградов, В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок / В.В. Виноградов. – К.: Наукова думка, 1989. – 192 с.
3. Фадеев, А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике / А.Б. Фадеев. – М. Недра, 1987. – 224 с.
4. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 542 с.
5. Круковский, А.П. Напряженно-деформированное состояние пород в окрестности горной выработки, закрепленной простыми конструкциями анкерной крепи / А.П. Круковский // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 89. – С. 99-109.
6. Круковский, А.П. Анализ влияния плотности установки анкерной крепи на состояние приконтурных пород выработки арочного сечения / А.П. Круковский // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 94. – С. 95-104.
7. Круковский, А.П. Деформирование армированных горных пород с анкерами высокой несущей способности / А.П. Круковский // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: Матер. XVIII Межд. науч. школы. – Симферополь: Таврич. нац. ун-т, 2008. – С. 160-163.
8. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням: Загальні технічні вимоги. Стандарт Міністерства вугільної промисловості України. СОУ 10.1.05411357. 010:2008. – К.: Мінвуглепром України, 2008. – 69 с.
9. Виноградов, В.В. Применение сложных конструкций анкерного крепления / В.В. Виноградов, А.П. Круковский, В.А. Хворостян // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2008. – Вып. 77. – С. 146-151.
10. Виноградов, В.В. Породно-анкерные элементы конструкций силового опорно-анкерного крепления / В.В. Виноградов, А.П. Круковский // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 93. – С. 3-18.

REFERENCES

1. Krukovska, V.V. (2006), Development method calculation of parameters process filtration of methane with the taking into account strained-deformation condition of coal-rock massif, which working up, Abstract of Ph.D. dissertation, 05.15.11, IGTM NAS of Ukraine, Dnepropetrovsk, UA.
2. Vinogradov, V.V. (1989), *Geomekhanika upravleniya sostoyaniyem massiva vblizi gornikh vyrabotok* [Geomechanics managements by the state of massuf near the mine workings], Naukova dumka, Kiev, SU.
3. Fadeev, A.B. (1987), *Metod konechnik elementov v geomekhanike* [Method of eventual elements in geomechanics], Nedra, Moscow, SU.
4. Zenkevych, O. (1975), *Metod konechnik elementov v tekhnike* [Method of eventual elements in a technique], Mir, Moscow, SU.
5. Krukovskiy, A.P. (2010), «Tensely-deformed state of breeds in neighbouring of the mine working fas-

tened by simple constructions of anchor fasten», *Geo-Technical Mechanics*, no.89, pp. 99-109.

6. Krukovskiy, A.P. (2011), «Analysis of influencing of closeness of setting anchor on the state of prykonturnykh breeds of making of the arched section», *Geo-Technical Mechanics*, no. 94, pp. 95-104.

7. Krukovsky, A.P. (2008), «Deformation of the reinforced mine breeds with the anchors of high bearing strength», *Proc. of XVIII International scientific school "Deformirovaniye i razrusyeniye materialov s defektami i dinamicheskiye yavleniya v gornikh porodakh i vyrabotkakh"*, Simferopol, UA, pp. 160-163.

8. Ukraine Ministry of Coal Industry (2008), *10.1.05411357.010:2008: Sistema obespecheniya nadyozhnogo i bezopasnogo funkcionirovaniya gornikh vyrabotok s ankernym krepleniyem* [10.1.05411357.010:2008: The system of guaranteeing effective and safe functioning of mine workings with anchor bonding], Ukraine Ministry of Coal Industry, Kiev, UA.

9. Vinogradov, V.V., Krukovskiy, A.P. and Khvorostyan, V.A. (2008), «Application of elaborate designs of the anchor fastening», *Geo-Technical Mechanics*, no. 77, pp. 146-151.

10. Vinogradov, V.V. and Krukovskiy, A.P. (2011), «Breed-anchor elements of constructions of the power supporting-anchor fastening», *Geo-Technical Mechanics*, no. 93, pp. 3 - 18.

Об авторах

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), Днепропетровск, Украина, gtm@ukr.net

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

Виноградов Юрий Алексеевич, студент, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (Государственное ВУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Украина

About the authors

Krukovskaya Victoriya Victorovna, 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), Dnepropetrovsk, Ukraine, igtm@ukr.net

Krukovskiy Alexander Petrovich, 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), Dnepropetrovsk, Ukraine, igtm@ua.fm

Vinogradov Yuriy Alexeevich, Student, State Higher Educational Institution «National mining university» (State HEI «NMU»), Dnepropetrovsk, Ukraine.

Анотація. Район Західного Донбасу відноситься до одного з найскладніших за гірничо-геологічними умовами. В результаті обводнення гірських порід відбувається їх розмокання, втрата стійкості контуру виробки, обвалення приконтурних порід. Тому важливо точно виконати прогноз водопритоку до виробки в конкретних гідрогеологічних умовах і вжити ефективних заходів щодо попередження аварійних водопритоків.

Для дослідження процесу зміни полів напружень, проникності і вологості навколо виробки з рамним і анкерним кріпленням в різних гідрогеологічних умовах використовувався метод математичного моделювання. Розрахункові значення водопритоку у виробку з рамним і анкерним кріпленням підтверджені шахтними спостереженнями. Показано, що анкерне кріплення стримує розвиток тріщинуватості, внаслідок чого розміри області фільтрації навколо гірничої виробки зменшуються, водопріток у виробку знижується. В окремих випадках, коли обводнені породні шари знаходяться на достатній відстані від контуру виробки, водопріток у виробку відвертається практично повністю. Тому анкерне кріплення може бути використане як технологічний засіб зниження водопритоку в гірничі виробки.

Ключові слова: водопріток в гірничу виробку, чисельні методи розрахунку, анкерне кріплення.

Abstract. The Western Donetsk Basin refers to one of the most complicated regions by its geological conditions. Due to the water intrusion the enclosing rocks get soaked, tunnel contour loose its stability, and edge rocks fall. Therefore, it is important to accurately forecast water inflow into the tunnel under the concrete hydrogeological conditions in order to undertake effective measures to prevent emergency water inflows.

Changes in the stress fields, permeability and moisture around the tunnels with the frame and roof bolting under different hydrogeological conditions were studied by method of computer simulation. The calculated values of water inflow into the tunnels with the frame and roof bolting have been confirmed by underground observations. It is stated that the roof bolting suppresses further fracturing, hereupon the dimensions of the filtration domain decreases around the tunnel, and water inflow in the opening reduces. In some cases, when watered rock layers are at a sufficient distance from the tunnel contour, water inflow into the tunnel can be prevented almost completely. Therefore, the roof bolting can be used as a technological means for reducing water inflow into the mine tunnels.

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

Статья поступила в редакцию 25.12.2014

Рекомендовано к печати академіком НАН України А.Ф. Булатом