

## Раздел 2. Прогнозирование и управление состоянием горного массива

УДК 622.841:622.833.5:622.281.74

<https://doi.org/10.37101/ftpgp21.01.005>

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА КРЕПИ НА ВОДОПРИТОК В ГОРНУЮ ВЫРАБОТКУ В СЛОЖНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА ТЕКТОНИЧЕСКОГО НАРУШЕНИЯ

Ю.А. Виноградов<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Институт физики горных процессов Национальной академии наук Украины, г. Днепр, Украина

\*Ответственный автор: e-mail: my\_pochta\_1r@ukr.net

### INVESTIGATION OF THE SUPPORT EFFECT ON THE WATER INFLOW TO THE MINE WORKING IN DIFFICULT HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS AT THE CROSSING OF TECTONIC DISPLACEMENT

Y.O. Vynohradov<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Institute for Physics of Mining Processes the National Academy Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

\*Corresponding author: e-mail: my\_pochta\_1r@ukr.net

#### ABSTRACT

**Purpose.** The purpose of the work is research of the support effect on the water inflow to the mine working that driving in difficult hydrogeological conditions at the crossing of tectonic displacement.

**Methods.** A method for studying the state of layered rocks with a mine working in the presence of watered layers in its vicinity, previously developed by the author, as well as the finite element method were used to solve the problem of water filtration in a deformable rocks.

**Findings.** The results of calculating the permeability of near-edge rocks and water pressure at different sites of mining, which crosses a geological disturbance: beyond the influence of a geological disturbance, are presented. at a certain distance and near a geological disturbance. It is shown that the use of anchor supports prevents the development of the process of crack formation in the roof of the mine, and keeps the rocks in a natural state. Creating an anchor-rock structure, which is formed due to the spatial arrangement of steel-polymer anchors, makes it possible to control the level of monolithicity, and hence permeability, of rocks around the mine in various hydrogeological conditions. As a result, the process of filtering water from aquiferous rock strata is restrained, which prevents or significantly reduces water inflows into mining. The effectiveness of the use of anchor support during the passage of a mine near a tectonic disturbance is shown and substantiated.

**Originality.** For the first time, modeling of water inflows into a mine working in the zone of influence of tectonic disturbance was carried out for various types of fastening of the working, the use of anchor fastening in difficult hydrogeological conditions is justified.

**Practical implications.** The use of anchor supports effectively prevents water inflow into a mine working even in disturbed permeable rocks near a tectonic displacement.

**Keywords:** water inflow into mine working, rock permeability, water filtration, numerical simulation

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Сегодня угольными предприятиями вскрываются более глубокие горизонты со сложными геологическими, инженерно-геологическими, геоморфологическими и гидрогеологическими условиями. К сложным гидрогеологическим условиям относится поведение выработки в устойчивых трещиноватых весьма водообильных породах, представленных песчаниками, известняками, мергелями и т.п. [1]. Сложными в эксплуатации оказываются месторождения, вмещающие породы, которые содержат напорные воды, трещинного или карстового типа. При таких условиях водоприитоки в подземные горные выработки могут быть крупномасштабными, вследствие чего водозащитные мероприятия представляют собой крупные дренажные и водоотводящие сооружения. На таких месторождениях часто имеют место прорывы горных пород при проходке в обводненных зонах тектонических нарушений и экзогенной трещиноватости [2].

Угольные шахты Украины отличаются сложными горно-геологическими условиями, наличием большого количества тектонических нарушений. Эти нарушения окружены зонами, где горные породы имеют нарушенную структуру, пониженную прочность, очень перемяты и измельчены. При проведении горных выработок такие участки грозят обрушением пород кровли и прорывами воды. Поэтому необходимо локально, в зоне влияния тектонических нарушений, укрепить массив, вернуть ему монолитность, уменьшить его фильтрационную проницаемость и таким образом обеспечить устойчивость горной выработки в течение срока ее эксплуатации [3].

## 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Когда жидкость в водоносных пластах находится под давлением, фильтрация происходит из областей с более высоким давлением в области более низкого давления [4]. Источником давления, которому подвергается жидкость в трещинно-поровом пространстве, является обжатие горных пород после начального осадкообразования под действием силы тяжести [5]. В этом случае в качестве неизвестной величины будем рассматривать давление воды  $p$ .

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial p}{\partial y} \right) + q(t) = 0,$$

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

Граничные условия:

$$p|_{\Omega_1} = p_1;$$

$$p|_{\Omega_2} = p_2,$$

где  $\Omega_1$  – контур выработки;  $\Omega_2$  – водонасыщенные слои горных пород;  $p_1$  – давление воды на контуре выработки, равно атмосферному,  $p_1=0,1$  МПа;  $p_2$  – давление воды в водонасыщенных породах, МПа.

По обе стороны от нарушения породы нарушены и имеют начальную проницаемость. Технологическая проницаемость  $k$ , которая возникает при проведении выработки и зависит от компонент тензора напряжений, накладывается на поле начальной, тектонической проницаемости  $k_{\text{tect}}$ :

$$K = k + k_{\text{tect}}.$$

Для расчета технологической проницаемости  $k$  в горном массиве вокруг выработки с учетом его напряженного состояния будем считать, что [6]:

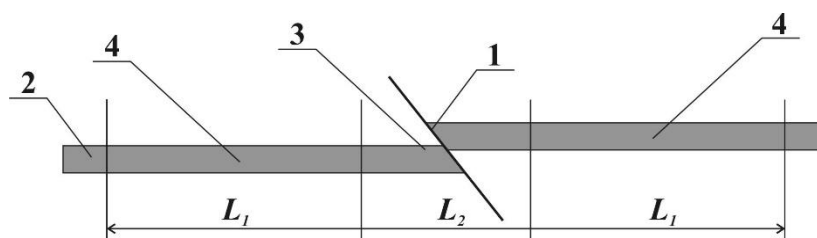
- в нетронутом горном массиве  $k = 0$  при  $Q^* < 0,6$ ;
- в зоне упругих деформаций и равнокомпонентного сжатия (при  $Q^* < 0,7$ ;  $P^* > 0,25$ )  $k = 0$  ;
- в области начального трещинообразования отдельные трещины не связаны друг с другом, при  $0,7 < Q^* < 0,8$   $k = k_{\text{min}}$  ;
- в области интенсивного трещинообразования имеет место неуправляемый рост трещин, на данной стадии быстро увеличиваются деформации за счет распространения трещин и разрыхления. В области интенсивного трещинообразования происходит рост коэффициента проницаемости на 2-3 порядка в различных породах и материалах. В этой зоне при  $Q^* > 0,8$   $k = e^{0,26Q^*-4,65}$  ;
- в области разрушения горных пород происходит резкое увеличение проницаемости  $k = k_{\text{max}}$ , при  $P^* < 0,1$ ;  $Q^* > 0,8$ .

Рассмотрим горную выработку, в кровле которой расположены алевролит водонепроницаемый мощностью  $m = 1,2$  м; обводненный угольный пропласток  $m = 0,4$  м, давление воды в котором  $p = 3,5$  МПа;

Для сравнения возьмем разные участки проведения горной выработки, которая пересекает геологическое нарушение, рисунок 1:

- за пределами влияния геологического нарушения, начальная проницаемость  $k_{\text{tect}} = 0$ ;
- на некотором расстоянии от геологического нарушения, участок 4, где начальная проницаемость составляет  $k_{\text{tect}} = 0,01$  мДа;
- вблизи геологического нарушения, участок 3, где начальная проницаемость будет максимальна  $k_{\text{tect}} = 0,1$  мДа.

Для каждого из перечисленных случаев рассмотрим сначала выработку, закрепленную рамной, затем анкерной крепью.



1 - тектоническое нарушение; 2 - породный слой; 3 - участок тектонического нарушения; 4 – участок влияния тектонического нарушения;  $L_1$  - длина участка влияния тектонического нарушения,  $L_2$  - длина участка тектонического нарушения

Рисунок 1. Пример участка тектонического нарушения

### 3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ранее автором была разработан способ исследования состояния слоистого породного массива с горной выработкой при наличии в ее окрестности обводненных слоев [7]. Преимуществами предлагаемого способа является учет влияния напряженно-деформированного состояния породного массива на его фильтрационную проницаемость, учета изменения физико-механических свойств пород при размокании, одновременное исследование двух связанных процессов – деформирования пород и фильтрации воды. С помощью этого способа можно рассчитать параметры напряженно-деформированного состояния и фильтрации воды вокруг горной выработки.

Расчеты проводились с использованием метода конечных элементов [5, 8], конечно-элементная сетка показана на рис. 2.

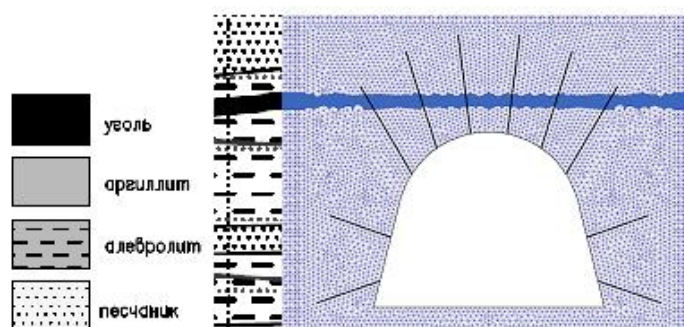
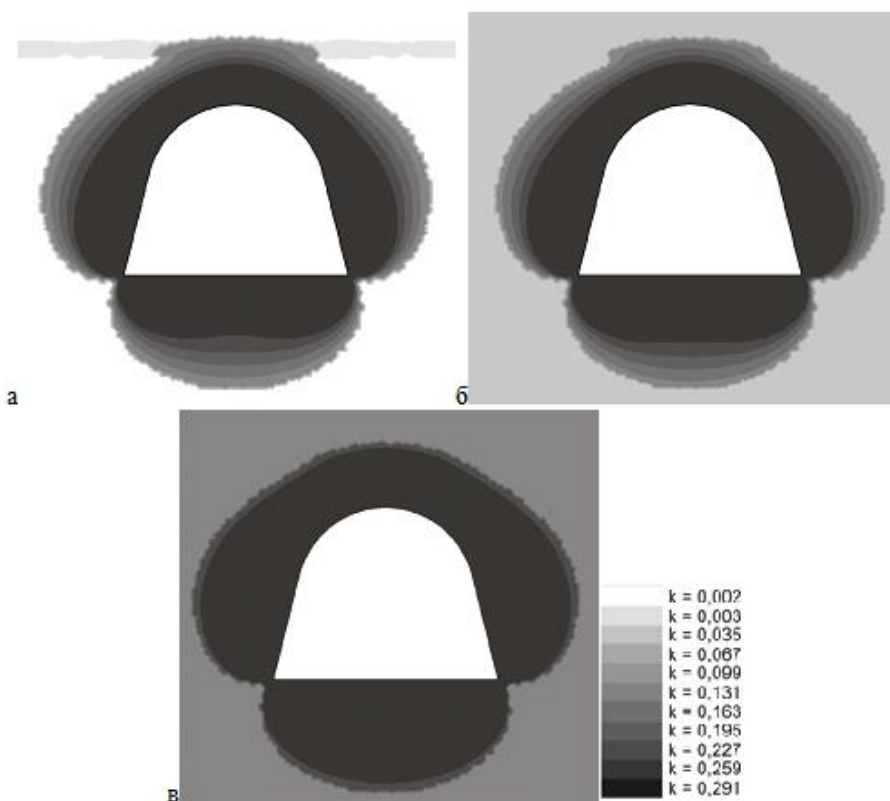


Рисунок 2. Центральный фрагмент конечно-элементной сетки

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С использованием приведенных выше соотношений были получены распределения значений коэффициентов проницаемости породного массива вокруг выработок с рамной (рис. 3) и анкерной крепью (рис. 4) на различные участки вблизи тектонического нарушения и за его пределами, при различных значениях начальной проницаемости.



а)  $k_{\text{tect}} = 0$ ; б)  $k_{\text{tect}} = 0,01$ ; в)  $k_{\text{tect}} = 0,1$

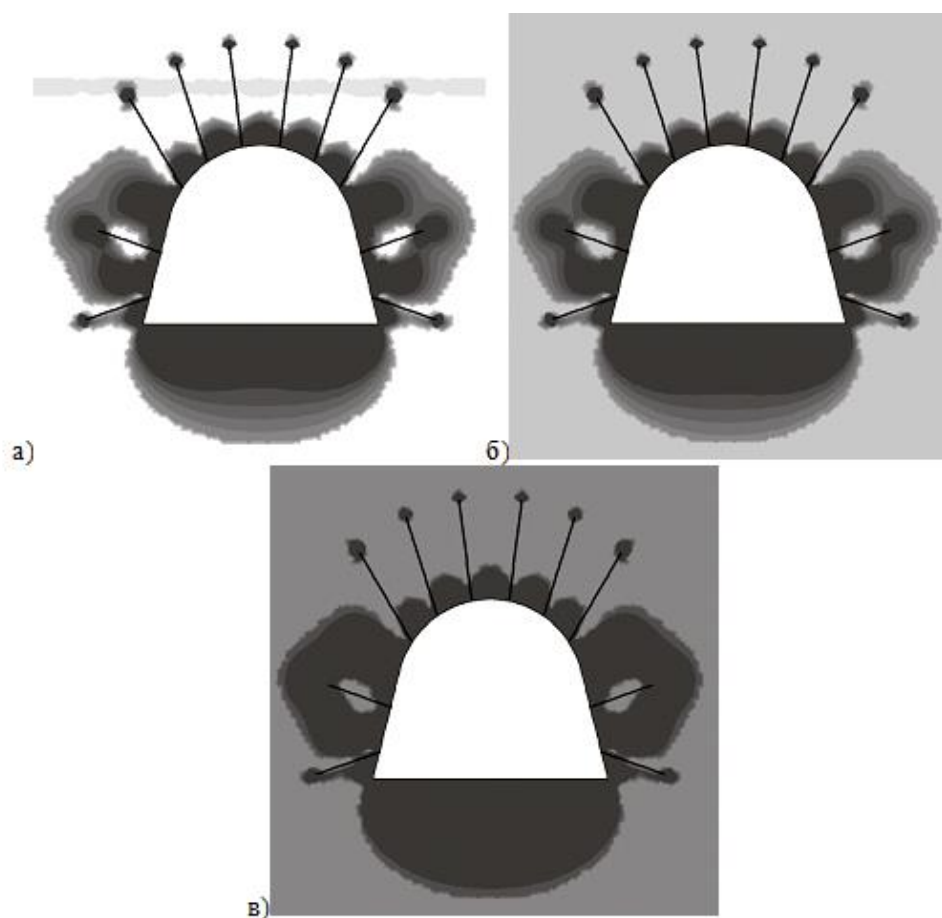
**Рисунок 3. Распределение значений коэффициентов проницаемости породного массива, выработка с рамной крепью**

Видно, что после проведения выработки вокруг нее образуется водопроницаемая область, она захватывает водоносный угольный пропласток (рис. 3), вода из которого начинает перемещаться внутрь выработки. Так как водоносный слой расположен близко к выработке, это происходит довольно быстро. На участке за пределами влияния тектонического нарушения (рис. 3а) видим, что начальная проницаемость равна нулю (показано белым цветом). По мере приближения исследуемых участков к геологическому нарушению начальная проницаемость возрастает на участке  $L_1$ , и является максимальной на участке  $L_2$ .

На рисунке 4 видно, как изменяются контуры области фильтрации, если в кровле и боках выработки установлены анкера. Область пересечения обводненного пропластка и повышенной проницаемости (темно-серый цвет) очень

мала даже при  $k_{\text{TECT}} = 0,1$  мДа. Проницаемая зона в кровле выработки не превышает 0,3-0,6 м вглубь массива.

Анкерная крепь существенно изменяет напряженно-деформированное состояние вмещающих пород. Применение анкерного крепления сдерживает развитие процесса трещинообразования в зоне влияния выработки. В этом случае в кровле образуется породно-анкерное перекрытие, в котором максимально сохранена монолитность нетронутого массива (рис. 4). Размеры области фильтрации значительно сокращаются, проницаемость внутри нее снижается, что приводит к уменьшению интенсивности фильтрационного движения жидкости в нарушенных породах и предупреждению или снижению водопритока в горные выработки с анкерной крепью.



а)  $k_{\text{TECT}} = 0$ ; б)  $k_{\text{TECT}} = 0,01$ ; в)  $k_{\text{TECT}} = 0,1$

**Рисунок 4. Распределение значений коэффициентов проницаемости породного массива, выработка с анкерной крепью**

Далее были получены распределения значений давления воды,  $p$ , МПа, в исследуемой области, вокруг выработки с рамной крепью, на различные участки вблизи тектонического нарушения и за его пределами, при различных значениях начальной проницаемости (рис. 5). При возрастании значений

начальной проницаемости возрастает интенсивность процесса фильтрации воды, давление воды в подрабатываемом обводненном пропластке начинает падать, вода перемещается из областей с более высоким давлением в область, где давление минимально – в выработку.

На участке, который находится вне зоны влияния тектонического нарушения, начальная проницаемость равна нулю. Однако выработка проводится в непосредственной близости к водонасыщенному пропластку, из-за чего монолитность естественного породного перекрытия нарушается, через трещины происходит небольшая фильтрация воды в выработку (рис. 5а).

На участке  $L_1$  изменений практически нет, начальная проницаемость практически не влияет на водоприток в выработку, начальная проницаемость  $k_{\text{tect}} = 0,01$  мДа является несущественной (рис. 5б).

На участке  $L_2$  в кровле выработки с рамной крепью активно происходит процесс фильтрации воды при начальной проницаемости  $k_{\text{tect}} = 0,1$  мДа (рис. 5в). Можно увидеть, что давление в водонасыщенном пропластке падает, то есть вода перемещается в выработку, так как там давление минимально.

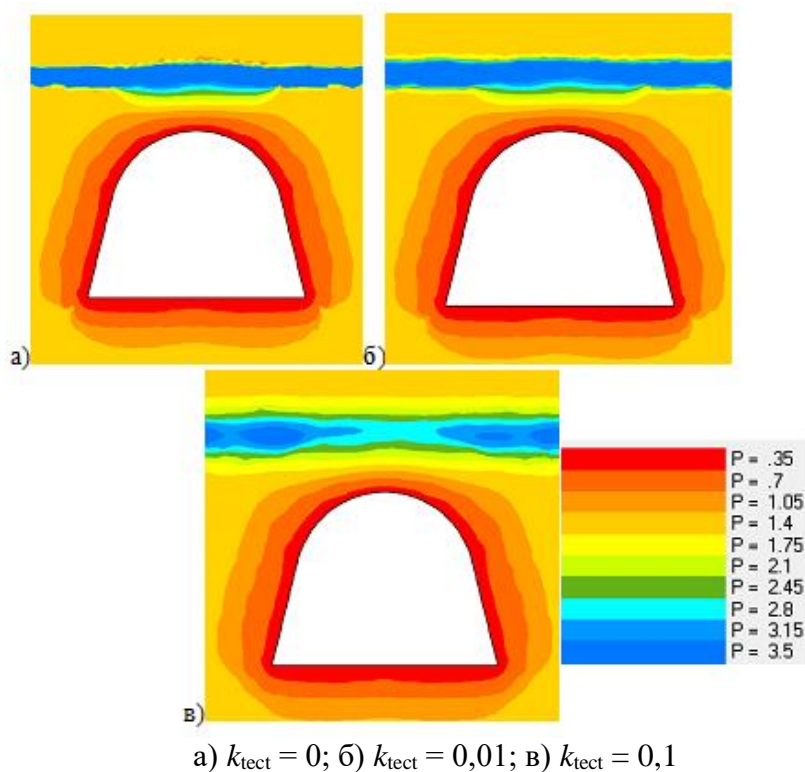
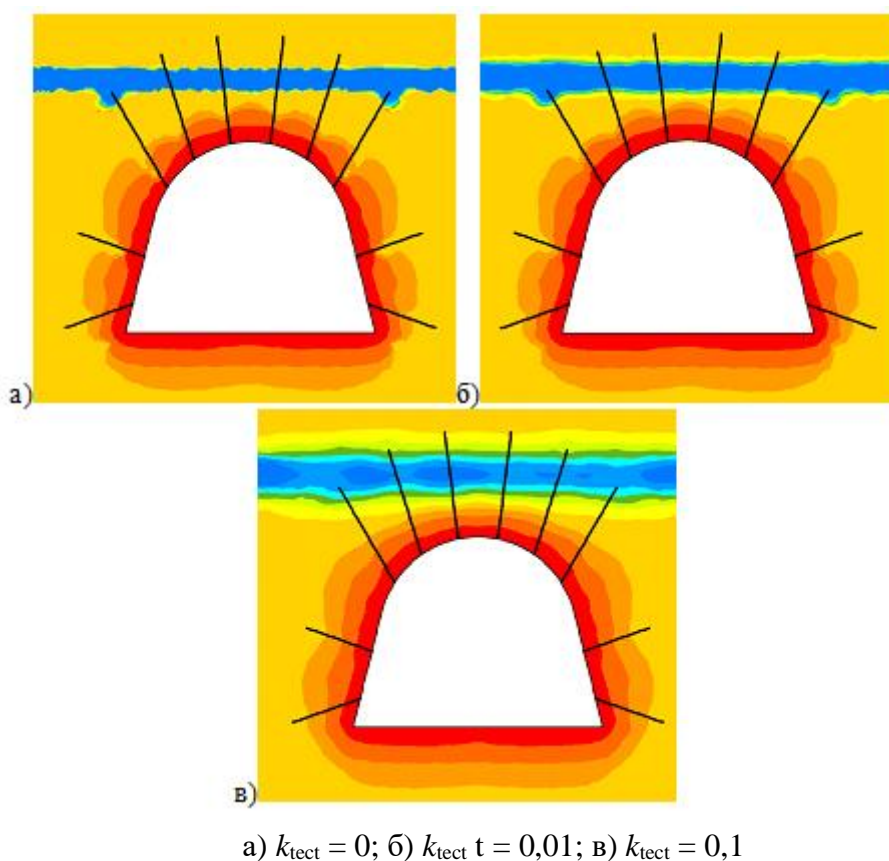


Рисунок 5. Распределение значений давления воды, выработка с рамной крепью

Рассмотрим выработку, закрепленную с помощью анкерной крепи.

Создание анкерно-породной конструкции, которую формируют за счет пространственного расположения сталевополимерных анкеров, предоставляет возможность управлять уровнем монолитности, а значит и проницаемости горных пород вокруг выработки в различных гидрогеологических условиях.

В результате сокращения области фильтрации и существенного снижения значений коэффициентов проницаемости приконтурных пород при использовании анкерной крепи давление воды в подрабатываемом пропластке практически не изменяется при начальной проницаемости  $k_{\text{тест}} = 0$  и  $k_{\text{тест}} = 0,01$  мДа (рис. 6а-б). В сравнении с рамной крепью (рис. 5а-б) практически отсутствует переток воды из водонасыщенного пропластка в выработку. При начальной проницаемости  $k_{\text{тест}} = 0,1$  мДа вода начинает перетекать в выработку, но заметно слабее в сравнении с выработкой, закрепленной рамной крепью (рис. 6в). В целом процесс фильтрации носит слабо выраженный характер, водоприток в выработку будет незначительным.



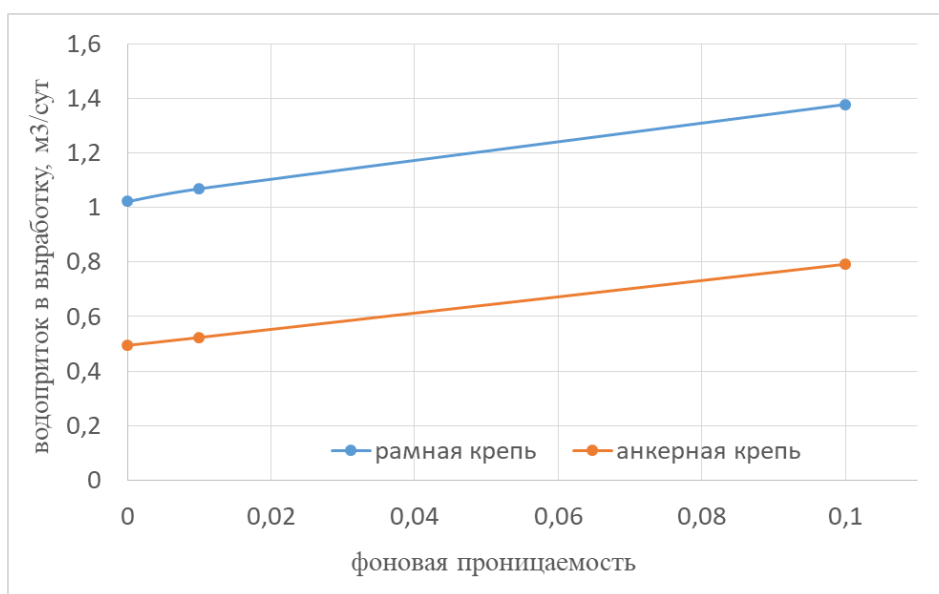
**Рисунок 6. Распределение значений давления воды, выработка с анкерной крепью**

Сравним значения водопритока в выработку на различных участках влияния геологического нарушения, в зависимости от значений начальной проницаемости (рис. 7). На рисунке видно, что анкерная крепь снижает водоприток практически в два раза по сравнению с выработкой, закрепленной анкерной крепью.



## 5. ВЫВОДЫ

Исследовано и изучено влияние различных значений начальной проницаемости на водоприток в горные выработки в зоне влияния тектонического нарушения и за ее пределами. Показано, что возрастание значений начальной проницаемости значительно усложняет гидрогеологические условия, водоприток в выработку из водонасыщенного угольного пропластка над кровлей выработки возрастает, однако анкерная крепь снижает пагубный эффект исследуемого негативного фактора. Водоприток в выработку на различных участках вблизи тектонического нарушения и за его пределами с анкерной крепью в два раза меньше в сравнении с рамной крепью.



**Рисунок 7.** Сравнение водопритока в выработку в зависимости от значений начальной проницаемости

Применение анкерной крепи позволяет максимально сохранить монолитность нетронутого массива, предотвращает развитие процесса трещинообразования в зоне влияния выработки. Значительное сокращение размеров области фильтрации и снижение проницаемости внутри нее приводит к снижению интенсивности фильтрационного движения жидкости и предупреждению или снижению водопритока в горные выработки с анкерной крепью из расположенных выше обводненных пород в горную выработку даже вблизи тектонического нарушения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Картозия, Б. А., & Корчак, А. В. (1996). Классификация и критерии оценки сложных горно-геологических условий при строительстве подземных сооружений. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, (1), 15-23.

2. Пургина Д. В. (2018). Изменение гидродинамических условий при освоении угольных месторождений на примере Никитинского месторождения (Кузбасс). Дисс. к-та геолого-минералогических наук. Томск: ТулГТУ.
3. Круковский А. П., & Круковская, В.В. (2017). Технология анкерного крепления горной выработки при переходе геологического нарушения. *Геотехническая механика*, (132), 17-26.
4. Маскет М. (2004). *Течение однородных жидкостей в пористой среде*. М.-Ижевск: ИКИ.
5. Аликин, В.Н., Литвин, И.Е., Щербаков, С.М., & Бородавкин, В.П. (1992). *Метод конечных элементов в задачах газонефтепромысловой механики*. М.: Недра.
6. Круковская, В.В. (2015). Моделирование связанных процессов, происходящих в угленосном массиве при ведении горных работ. *Геотехническая механика*, (121), 48-99.
7. Круковська, В.П., Круковський, О.П., & Виноградов, Ю.О. (2017). *Спосіб дослідження стану обводненого гірського масиву навколо гірничої виробки*. Патент №114572, Україна.
8. Zienkiewicz, O.C. (2000). *The finite element method*. Butterworth-Heinemann, T. 1, 690 p.

#### REFERENCES

1. Kartoziya, B. A., & Korchak, A. V. (1996). Klassifikatsiya i kriterii otsenki slozhnykh gorno-geologicheskikh usloviy pri stroitel'stve podzemnykh sooruzheniy. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)*, (1), 15-23.
2. Purgina, D. V. (2018). *Izmenenie gidrodinamicheskikh usloviy pri osvoenii ugol'nykh mestorozhdeniy na primere Nikitinskogo mestorozhdeniya (Kuzbass)*. PhD. Sc. Tomsk: TulGTU.
3. Krukovskiy, A.P., & Krukovskaya, V.V. (2017). Tekhnologiya ankernogo krepneniya gornoy vyrabotki pri perekhode geologicheskogo narusheniya. *Geotekhnicheskaya mekhanika*, (132), 17-26.
4. Alikin, V.N., Litvin, I.E., Scherbakov, S.M., & Borodavkin, V.P. (1992). *The finite element method in the problems of gas-petroleum field mechanics*. Moskva: Nedra.
5. Masket, M. (2004). *Flow of homogeneous fluids in a porous medium*. Moskva-Izhevsk: IKI.
6. Krukovska, V.V. (2015) Simulation of coupled processes that occur in coal-rock massif during mining operations, *Geotekhnicheskaya mekhanika*, (121), 48-99.
7. Krukovskaja, V.V., Krukovskij, A.P., & Vynogradov, Yu.A. (2017). *Sposib doslidzhennja stanu obvodnenogo girs'kogo masyvu navkolo girnychoi' vyrobky*. Patent No. 114572, Ukraine.
8. Zienkiewicz, O.C. (2000). *The finite element method*. Butterworth-Heinemann, T. 1, 690 p.

**ABSTRACT (IN UKRAINIAN)**

**Мета.** Метою роботи є вивчення впливу виду застосованого кріплення на водоприплив в гірничу виробку, що проводиться в складних гідрогеологічних умовах переходу тектонічного порушення.

**Методика.** При вирішенні задачі про фільтрацію води в деформованому масиві використовувався розроблений раніше автором метод вивчення стану шаруватого породного масиву з гірничою виробкою при наявності в її околі обводнених шарів, а також метод скінченних елементів.

**Результати.** Наведено результати розрахунків проникності приконтурних порід і тиску води на різних ділянках проведення гірничої виробки, яка перетинає геологічне порушення: за межами впливу геологічного порушення на деякій відстані і поблизу геологічного порушення. Показано, що застосування анкерного кріплення перешкоджає розвитку процесу утворення тріщин в покрівлі виробки, зберігає породи в природному стані. Створення анкерно-породної конструкції, яку формують за рахунок просторового розташування сталевополімерних анкерів, надає можливість керувати рівнем монолітності, а значить і проникності, гірських порід навколо виробки в різних гідрогеологічних умовах. Як наслідок, стримується процес фільтрації води з водоносних породних шарах, що запобігає або значно знижує водоприпливи в гірничу виробку. Показано і обґрунтовано ефективність застосування анкерного кріплення при проведенні виробки поблизу тектонічного порушення.

**Наукова новизна.** Вперше виконано моделювання водоприпливів в гірничу виробку в зоні впливу тектонічного порушення, при різних видах кріплення виробки, обґрунтовано застосування анкерного кріплення в складних гідрогеологічних умовах.

**Практична значимість.** Використання анкерного кріплення ефективно перешкоджає водоприпливам в виробку, розташовану навіть в порушених водопроникних породах поблизу тектонічного порушення.

**Ключові слова:** водоприплив в виробку, проникність порід, фільтрація води, чисельне моделювання

**ABSTRACT (IN RUSSIAN)**

**Цель.** Целью работы является изучение влияния вида применяемой крепи на водоприток в горную выработку, проводимую в сложных гидрогеологических условиях перехода тектонического нарушения.

**Методика.** При решении задачи о фильтрации воды в деформируемом массиве использовался разработанный ранее автором способ исследования состояния слоистого породного массива с горной выработкой при наличии в ее окрестности обводненных слоев, а также метод конечных элементов.

**Результаты.** Приведены результаты расчетов проницаемости приконтурных пород и давления воды на разных участках проведения горной выработки, которая пересекает геологическое нарушение: за пределами влияния геологического нарушения на некотором расстоянии и вблизи геологического нарушения. Показано, что применение анкерной крепи препятствует развитию про-

цесса трещинообразования в кровле выработки, сохраняет породы в природном состоянии. Создание анкерно-породной конструкции, которую формируют за счет пространственного расположения сталеполимерных анкеров, предоставляет возможность управлять уровнем монолитности, а значит и проницаемости, горных пород вокруг выработки в различных гидрогеологических условиях. Как следствие, сдерживается процесс фильтрации воды из водоносных породных слоев, что предотвращает или значительно снижает водоприток в горную выработку. Показана и обоснована эффективность применения анкерной крепи при прохождении выработки вблизи тектонического нарушения.

**Научная новизна.** Впервые выполнено моделирование водопритоков в горную выработку в зоне влияния тектонического нарушения, при различных видах крепления выработки, обосновано применение анкерного крепления в сложных гидрогеологических условиях.

**Практическая значимость.** Использование анкерной крепи эффективно препятствует водопритоку в выработку, расположенную даже в нарушенных водопроницаемых породах вблизи тектонического нарушения.

**Ключевые слова:** водоприток в выработку, проницаемость пород, фильтрация воды, численное моделирование

#### **ABOUT AUTHORS**

Vynohradov Yurii, Candidate of Technical Science, Junior Researcher, Institute for Physics of the Mining Processes of National Academy of Sciences of Ukraine, 2A Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49600. E-mail: my\_pochta\_1r@ukr.net