

ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ РАЙОНУВАННЯ ОБВОДНЕНИХ МАСИВІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД ЗА ФІЛЬТРАЦІЙНОЮ ОДНОРІДНІСТЮ

І. І. Туручко, канд. техн. наук (ЗАТ «Техновибух»), А. І. Крючков, канд. техн. наук, Т. М. Перельот, С. В. Яворська, інженери (НТУУ «КПІ»)

Приведена схема фильтрационных расчетов скорости движения подземных вод, построенная на сочетании аналитических и экспериментальных методов. Разработана методика районирования подготавливаемых к взрыву блоков горных пород по фильтрационной однородности. Рекомендуемые сферы применения: защита зарядов промышленных взрывчатых веществ от воздействия подземных вод; защита подземных вод от загрязнения; оценка степени трещиноватости блоков горных пород, подготавливаемых к взрыву.

Проблема захисту підземних вод від забруднення є актуальною і важливою складовою проблеми захисту доквілля. У гірничовидобувній промисловості небезпечність забруднення підземних вод виникає у зв'язку з розчиненням та винесенням у водоносні пласти неводостійких компонентів промислових вибухових речовин (ВР). Згідно з дослідженнями [1] та нашими даними кількість розчиненої і винесеної аміачної селітри (АС) із зарядів найбільш поширених ВР грамонітів марок 50/50 та 79/21 в обводнених свердловинах може досягати 25 т за один масовий вибух для гранітних кар'єрів. На залізородних кар'єрах ця цифра збільшується як мінімум втричі.

Кількісні дані про динаміку процесів розчинення АС у свердловинній воді наведені в роботах [1, 2, 3 та ін]. Однак в технічній літературі відсутні дані про поширення забруднених підземних вод за межами свердловин. З точки зору прогнозу поширення забруднених підземних вод актуальним є дослідження кінематичної структури фільтраційних потоків з визначенням швидкості руху підземних вод.

Швидкість руху підземних вод визначається теоретичними та експериментальними методами. Теоретичні методи базуються на математичній моделі фільтрації, що описується законом Дарсі, згідно з яким швидкість фільтрації підземних вод V_{ϕ} пропорційна коефіцієнту фільтрації k і гідравлічному градієнту потоку I , тобто

$$V_{\phi} = kI. \quad (1)$$

Як відомо, швидкість фільтрації V_{ϕ} не дорівнює дійсній швидкості руху підземних вод V , що має місце в порах або тріщинах гірських порід. Остання пов'язана зі швидкістю фільтрації співвідношенням [4]

$$V = V_{\phi} / n, \quad (2)$$

де n – активна пористість (тріщинуватість) гірських порід.

Об'єднавши формули (1) і (2), отримаємо розрахункову залежність для визначення V :

$$V = (k/n) I. \quad (3)$$

Формулу (3) можна використовувати для найбільш простих умов фільтрації, що задовольняють таким припущенням [4]:

форма області фільтрації в плані залишається незмінною в часі;

водоносна товща однорідна за фільтраційними властивостями;

живлення водоносного горизонту по площі може не прийматись до уваги.

Таким чином, V можна визначити аналітично при наявності даних про коефіцієнт фільтрації, пористість (тріщинуватість) водоносних порід і гідравлічний градієнт потоку при виконанні наведених вище умов.

Неоднорідність масиву порід, обумовлена природною і штучною тріщинуватістю, значно ускладнює розв'язання задач руху підземних вод, особливо тоді, коли закономірності поширення її невідомі. Окрім того, визначення k і n вимагає проведення трудомістких і високозатратних дослідних робіт. Тому в практиці вибухових робіт частіше застосовуються експериментальні методи визначення V . Їх суть полягає у штучній зміні фізичних властивостей (наприклад, шляхом засолювання) води в досліджуваній свердловині і спостереженні за зміною її мінералізації. Розрахунки V проводяться за формулою [5]

$$V = \frac{1,81d}{m(t_2 - t_1)} \lg \frac{C_1 - C_0}{C_2 - C_0}, \quad (4)$$

де d – діаметр свердловини; C_0 – початкова мінералізація води в свердловині; C_1, C_2 – мінералізація води в свердловині в моменти часу t_1, t_2 ; m – показник, який характеризує порушення водопроникності стінок свердловини (для свердловин з непорушеною водопроникністю стінок $m = 2$).

Експериментальні методи визначення швидкості руху підземних вод використовуються лише для однорідних за фільтраційними властивостями гірських порід. Для визначення V у неоднорідних масивах ці методи не застосовуються, оскільки в цьому випадку V повинна вимірюватися в кожній свердловині блоку. Очевидно, що ефективне використання експериментальних методів можливе тільки у випадку розв'язання задачі про фільтраційну неоднорідність порід та закономірності її зміни в плані.

Для розв'язання цієї задачі була використана одна із особливостей блоків порід, що готуються до вибуху, а саме: великий обсяг достовірної інформації про рівні підземних вод, які визначаються замірами у виробничих свердловинах при підготовці масових вибухів. Ця особливість раніше не враховувалась при визначенні V . Отримана інформація про результати замірів рівнів води у свердловинах опрацьовується і зображається на плані блоку у вигляді карти однакових напорів підземних вод – гідроізопіс.

Відомо, що в умовах однорідних за фільтраційними властивостями порід рівень підземних вод поступово знижується від області живлення до контуру дренажу, що на гідрогеологічній карті має вигляд плавних, рівномірно

розташованих гідроізогіпс без різких перегинів. Для умов кар'єрів, борти яких порушені тріщинуватістю (природною та штучною), спостерігається ускладнення "візерунку" гідроізогіпс. Це пояснюється реагуванням рівня підземних вод на зміну фільтраційних властивостей порід [5]. Зокрема, збільшення відкритої тріщинуватості порід супроводжується ростом коефіцієнта фільтрації і активної міграції води, причому коефіцієнт фільтрації k (м/добу) пов'язаний з розкриттям тріщин δ (мм) кубічною залежністю [6]

$$k = 55N\delta^3/c,$$

де N – коефіцієнт об'ємної тріщинуватості; c – коефіцієнт неправильності форм тріщин.

Встановлено, що свердловини, пробурені в тріщинуватих породах, менш обводнені, ніж пробурені в слаботріщинуватих. Це спостерігається при багаторядному розміщенні свердловин: найменш обводненими є свердловини першого ряду, розміщені в зоні додаткової тріщинуватості від попередніх вибухів. З віддаленням від верхньої бровки уступу ступінь обводнення свердловин збільшується. Таким чином, за щільністю розміщення гідроізогіпс можна зробити висновок про фільтраційну неоднорідність порід. Неоднорідність масивів гірських порід у межах родовищ диктує необхідність виділення характерних ділянок. Таких ділянок на карті гідроізогіпс виділяється декілька. Межі між такими ділянками у більшості випадків чітко виражені як місця, в яких різко змінюється щільність гідроізогіпс.

Результати аналізу карт гідроізогіпс багатьох кар'єрів свідчать, що в межах блоків порід, що підриваються, виділяється переважно три ділянки фільтраційної однорідності, які відповідають зоні природної тріщинуватості, зоні штучної (від вибухів) тріщинуватості та перехідній зоні, розміщеній між попередніми. Ці ділянки добре виражені і легко виділяються на карті гідроізогіпс та на гідрогеологічних розрізах (рис. 1). Таким чином, V достатньо визначати не у всіх свердловинах блоку, а тільки в кількох, в межах кожної ділянки фільтраційної однорідності.

На підставі встановлених закономірностей була розроблена методика районування блоків порід за фільтраційною однорідністю з визначенням швидкості руху підземних вод, яка поєднує експериментальні та теоретичні методи. Методика ґрунтується на такому припущенні: в межах ділянок фільтраційної однорідності відношення коефіцієнтів фільтрації порід і тріщинуватості є постійним ($k/n = \text{const}$).

Для побудови карти фільтраційної однорідності передбачається проведення таких робіт:

заміри рівня води в кожній свердловині, побудова карти гідроізогіпс і виділення ділянок фільтраційної однорідності;

експериментальне визначення V в 2...3 свердловинах кожної ділянки фільтраційної однорідності з подальшим розрахунком відношення k/n для кожної ділянки;

аналітичні розрахунки V для кожної свердловини за формулою Дарсі;

виділення на плані блоку непроточних ($V \leq 0,25$ м/добу), слабо проточних ($0,25 < V \leq 2$ м/добу) і проточних ($V > 2$ м/добу) ділянок.

Розроблена методика районування блоків порід, що підготовляються до вибуху, була апробована на багатьох гранітних кар'єрах. Нижче наводяться результати районування блоку № 1 Рокитнянського кар'єру, зокрема гідрогеологічна карта блоку з виділеними ділянками фільтраційної однорідності (рис. 1). У межах кожної ділянки були проведені дослідно-експериментальні роботи з визначенням V і подальшим обчисленням середніх значень k/n . Результати цих робіт наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Результати експериментального визначення швидкості руху підземних вод

№ зони фільтраційної однорідності	№ дослідної свердловини	I , частки од.	V , м/добу	k/n , м/добу	$(k/n)_{\text{сєр}}$, м/добу
1	1.1	0,43	2,65	6,16	5,9
	1.2	0,56	3,13	5,59	
2	2.1	0,91	0,62	0,68	0,70
	2.2	0,85	0,52	0,61	
	2.3	0,92	0,71	0,77	
3	3.1	0,33	0,16	0,48	0,44
	3.2	0,61	0,24	0,39	
	3.3	0,27	0,12	0,44	

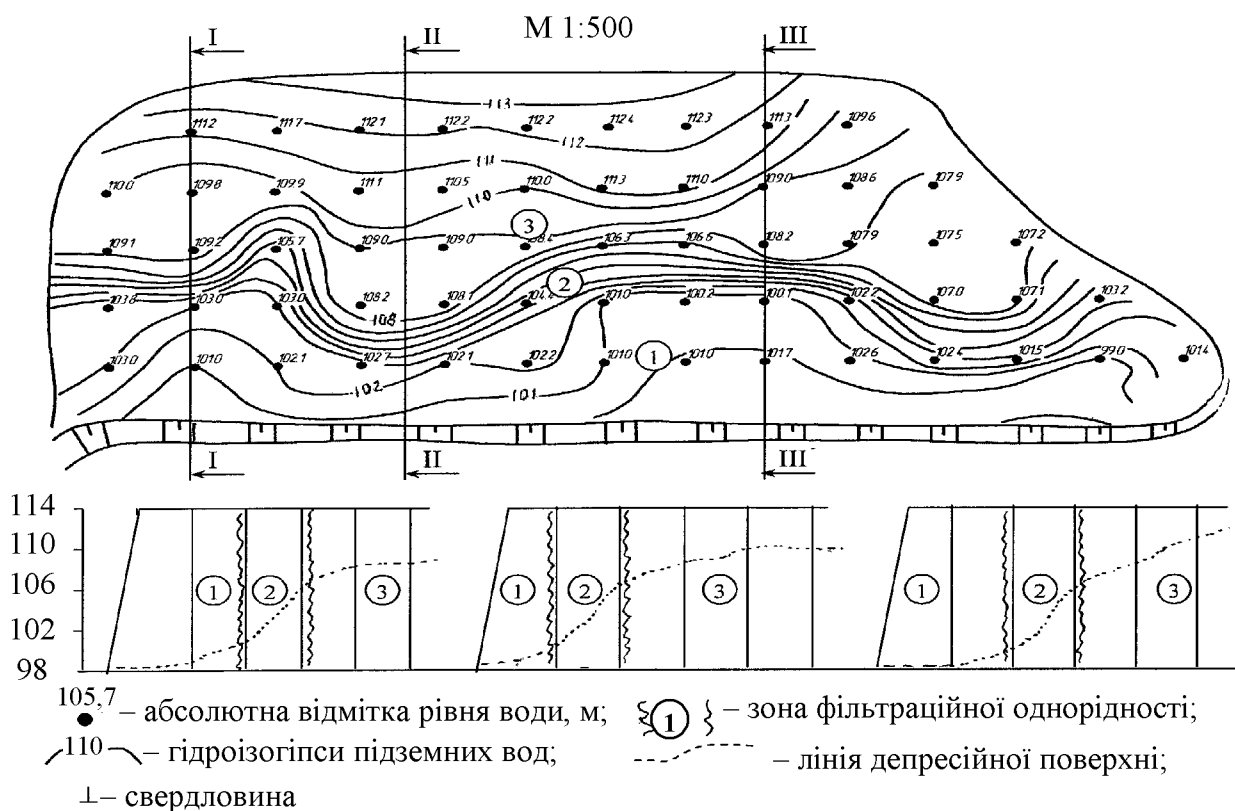
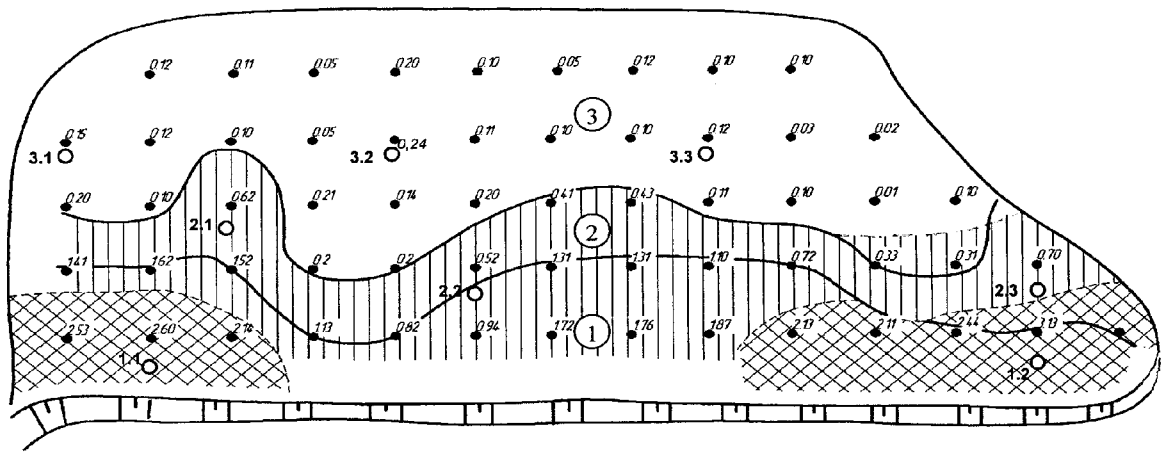


Рис. 1. Гідрогеологічна карта та гідрогеологічні розрізи по лініях I-I, II-II, III-III блоку № 1 Рокитнянського кар'єру



● – швидкість руху води, м/добу; ○ – дослідна свердловина; ① – зона фільтраційної однорідності; □ – малопроточна ділянка; ▨ – проточна ділянка; ▩ – сильно проточна ділянка

Рис. 2. Карта районування за фільтраційною однорідністю блоку №1 Рокитнянського кар'єру

Використовуючи середні значення $(k/n)_{\text{сер}}$ та I , для кожної свердловини блоку були розраховані значення дійсної швидкості потоку і побудована карта з виділенням ділянок різної швидкості руху підземних вод. На рис. 2 наведена карта з виділеними зонами фільтраційної однорідності блоку №1 Рокитнянського кар'єру, з якої випливає, що в виробничих свердловинах V змінюється в діапазоні від 0 до 3,13 м/добу, причому із загальної кількості свердловин 54% становлять свердловини з непроточним режимом, 34% і 12% – з слабопроточним і проточним режимами.

Висновки

1. Велика кількість даних про рівні підземних вод дозволяє представити потік підземних вод у лінійному вигляді і використати схему розрахунку за формулою Дарсі.
2. В блоках порід, що готуються до вибухів, виділяється переважно три зони фільтраційної однорідності.
3. Розроблено методику районування блоків порід за фільтраційною однорідністю, що ґрунтується на застосуванні експериментально-аналітичного підходу у визначенні швидкості руху води.
4. Отримані результати можуть застосовуватись при виборі заходів щодо захисту промислових ВР від дії підземних вод, при прогнозних розрахунках забруднення підземних вод неводостійкими компонентами ВР та при проектуванні масових вибухів з урахуванням тріщинуватості гірських порід.

1. Азаркович А. Е., Тихомиров А. П. Совершенствование взрывных работ в обводненных породах на карьерах. – М., ЦНИИИ, 1972. – 50 с.

2. *Туручко І. І.* Експериментальні дослідження процесу розчинення аміачної селітри в обводнених свердловинах // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія „Гірництво. – 2000. – Вип. 2. – С. 53–57.

3. *Туручко І. І., Єременко О. О.* Забруднення підземних вод при формуванні зарядів вибухових речовин у свердловинах // Вісник ЖІТІ. Технічні науки. – 2003. – № 1(24). – С. 270–272.

4. *Шестаков В. М.* Динамика подземных вод. – М.: Изд-во МГУ, 1973. – 327 с.

5. *Прогноз водопритоков в горные выработки и водозаборы подземных вод в трещиноватых и закарстованных породах / В. Д. Бабушкин, З. П. Лебеяднская, Б. В. Боревский, И. И. Плотников и др.* – М.: Недра, 1972. – 196 с.

6. *Желтов Ю. П.* О движении однородной жидкости в деформируемых трещиноватых породах с чистой трещинной пористостью // Прикладная математика и теоретическая физика. – 1991. – № 6. – С. 187–189.