

## ВИЗНАЧЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ СТВОРЕННЯ БАРАЖНИХ ЗАВІС ПРИ РОЗРОБЦІ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

*М.І. Просандєєв, Інститут проблем природокористування та екології НАН України*

В залежності від гірничо-геологічних умов залягання родовищ та водопритоку у гірничі виробки визначена доцільність створення баражних завіс при розробці родовищ корисних копалин, що дозволить зберегти від забруднення 0,87 - 4,1 млн м<sup>3</sup>/рік підземних та поверхневих вод для одного гірничого підприємства.

Вода є одним з найцінніших природних ресурсів забезпечуючих життєдіяльність людини. Однак, при задовільненні потреб людства у мінеральній сировині, її видобуток веде до забруднення значної кількості поверхневих і підземних вод. Так, при розробці рудних покладів Кривбасу щоденно відкачується до 20 млн м<sup>3</sup> високомінералізованих шахтних і 16-18 млн м<sup>3</sup> кар'єрних вод. Одночасно ці води використовуються для поповнення зворотних систем водопостачання гірничо-збагачувальних комбінатів, а їх надлишки збираються у ставках-накопичувачах та хвостосховищах. До хвостосховищ надходять технологічні води після збагачення залізних руд. Загалом хвостосховища та ставки-накопичувачі акумулюють 40-60 млн м<sup>3</sup> високомінералізованих вод з мінералізацією від 5-8 до 40 г/дм<sup>3</sup>. На кінцевій стадії інфільтрації і переміщення вони попадають у підземні і поверхневі води, забруднюючи їх, що робить забруднені води непридатними для прямого використання у народному господарстві. Тому вирішення проблем раціонального використання водних ресурсів при видобутку корисних копалин є важливою і актуальною науково практичною задачею, вирішенню якої і присвячена дана робота.

При відкритій або підземній розробці корисних копалин порушується гідрологічний режим поверхневих та підземних вод. Зона впливу гірничих робіт на підземні та поверхневі води, зазвичай, обмежується радіусом депресійної воронки, який залежить від глибини розробки родовища, а також гідрогеологічних умов залягання гірських порід – кількості водоносних горизонтів, їх взаємозв'язку, а також водопритоку у гірничі виробки. Системи захисту гірничих робіт від підземних та поверхневих вод можливо поділити на дві основні групи.

До першої групи відносяться дренажні системи, які створюють загороджуючий контур навкруги захищеного гірничого об'єкту і мають взаємозв'язок з водоносними горизонтами прилеглих територій. Поступаючи до гірничого об'єкту води уловлюються дренажною системою, яка знижує їх рівень до необхідної позначки, а потім скидаються, зазвичай, у поверхневі водні об'єкти. При цьому способом водозахисту знижуються статичні запаси підземних вод і динамічні ресурси водоносних горизонтів. Вказаний спосіб характеризується незначними витратами на створення і експлуатацію дренажної системи, тому він отримав широке застосування. Але з екологічної точки зору даний спосіб є найшкідливішим оскільки веде до втрати такої цінної корисної копалини, як вода, через її забруднення та необхідність очистки до заданої якості, обезводнення прилеглих територій та втрати на них врожайності сільськогосподарських культур, забруднення поверхневих вод через змішання з високо мінералізованими підземними водами, викликає великі витрати на підтримку функціонування системи впродовж всього часу експлуатації гірничого підприємства (до 30-50 років і більше).

До другої групи відносяться системи, які створюють навколо гірничого об'єкту штучну перепону – протифільтраційну (баражну) завісу (ПФЗ). Після спорудження ПФЗ видаляються тільки підземні та поверхневі води, які знаходяться усередині її контуру, а динамічні ресурси підземних вод повністю зберігаються. Системи даної групи являються найбільш екологічними, але не отримали широкого застосування через дорожнечу їх спорудження та недостатніх еколого-економічних вимог до гірничих підприємств по збереженню від забруднення поверхневих та підземних вод.

Найбільше застосування в гірничій практиці знайшли інфузійні (заливні) фільтраційні завіси. Так, для захисту неробочого бору Лебединського кар'єру КМА з боку р. Осколець від підземних вод сеноман-альбського горизонту пройдено протифільтраційну завісу довжиною 1800 м, середньою глибиною до 50 м та шириною щілини - 0,5 м. Для Бейського вугільного розрізу УкрНДІПроектом рекомендовано будівництво щілинної баражної завіси з бетонним наповнювачем довжиною 21,4 км, глибиною – 15 м з заглибленням у корені породи 0,5-1,0 м та шириною 0,5 м. Завіса будується навколо розрізу до початку його експлуатації на відстані 100-150 м від контуру кар'єру. Витрати на спорудження баражної завіси становлять біля 8,0 млн руб., що на 7,0 млн руб. менше, ніж витрати на дренажну систему. Створення баражної завіси дозволить зберегти від забруднення біля 167,0 млн м<sup>3</sup> підземних вод.

Для кімберлітових трубок Якутії малого розміру пропонується утворення протифільтраційних завіс виконувати за допомогою гідророзкриву водоносних горизонтів на необхідній глибині з заповненням створених порожнин тампонуєчими речовинами. На кімберлітових трубках великого розміру субвертикальна протифільтраційна завіса заданої довжини доповнюється субгоризонтальними завісами зони суцільної високої щільності, котрі можуть бути створені вибухами або гідророзривами на необхідній глибині та заповнені тампонуєчими речовинами [1].

Еколого-економічна доцільність створення протифільтраційних завіс визначається за виразом:

$$V_{\sigma} (C_{\sigma} + C_n) = Q_{\sigma} T (C_o + C_{\sigma}) + V_{\sigma} + V_{\sigma} + V_{\sigma c} - D, \quad (1)$$

де  $V_{\sigma} = H_{\sigma} \cdot L_{\sigma} \cdot \sigma_{\sigma}$  – обсяг баражної виробки для створення завіси, м<sup>3</sup>;

$H_{\sigma}, L_{\sigma}, \sigma_{\sigma}$  – відповідно глибина, довжина та ширина баражної виробки, яка будується за зоною впливу підземних робіт, м;

$C_{\sigma}$  – собівартість укладки баражного матеріалу сумісно з його вартістю, грн /м<sup>3</sup>;

$C_n$  – собівартість проходки баражної виробки, грн/м<sup>3</sup>;

$Q_{\sigma}$  – річний приток підземних вод у кар'єр, шахту або зону обвалення – тобто до захищеного об'єкту, м<sup>3</sup>/рік;

$T$  – термін служби гірничого підприємства (захищеного об'єкту), роки;

$C_o$  – витрати на відкачку 1 м<sup>3</sup> підземних вод, грн;

$C_{\sigma}$  – ціна підземних вод, як природного ресурсу, грн/м<sup>3</sup>;

$V_{\sigma} = 2\pi (R + 0,5\Delta)\Delta \cdot 10^{-4} \cdot B \cdot K_{\sigma} \cdot C_{cx}$  – збиток від втрати врожайності сільськогосподарських культур, на площах розташованих у зоні впливу депресійної воронки через обезводнення ґрунтів. Аналіз осушення шахтних полів показав, що у більшості випадків форма контуру депресійної воронки відповідає формі контуру відпрацьовуємого шахтного поля. Причому, в залежності від взаємозв'язків між водоносними горизонтами, параметри депресійної воронки перевищують розміри шахтного поля на  $\Delta = 200-3000$  м. Наведена вище формула справедлива для круглої форми контуру шахтного поля з радіусом родовища  $R$ . Для прямокутної форми контуру шахтного поля довжиною «а» та шириною «в», яка є переважною для підземного видобутку корисних копалин і обумовлена технологіями їх розробки:

$$V_{\sigma} = [2\Delta(a + \sigma) + 4\Delta^2] \cdot 10^{-4} \cdot B \cdot K_{\sigma} \cdot C_{cx}, \quad (2)$$

де  $\Delta = 200 - 3000$  м – прирощення параметрів депресійної воронки відносно розмірів шахтного поля, м;

$B$  – середня врожайність сільськогосподарських культур в районі розробки корисних копалин, ц/га;

$K_g = 0,1-0,3$  – коефіцієнт втрати врожайності сільськогосподарських культур внаслідок обезводнення ґрунтів [2];

$C_{cx}$  – закупівельна ціна сільськогосподарських культур, грн /ц;

$V_d = K_d \cdot Q_g \cdot C_d \cdot T$  – збиток від доповнених витрат на водопостачання до обезводнених територій, грн;

$K_o = 0,1-1,0$  – коефіцієнт доповненого об'єму води для водозабезпечення обезводнених територій. Він визначається відношенням доповненого об'єму щорічно завезеної води до щорічного об'єму відкачки;

$C_d$  – питомі витрати на доставку 1 м<sup>3</sup> води для водопостачання обезводнених територій, грн / м<sup>3</sup>;

$V_{oc} = Q_g \cdot T \cdot Z_o$  – збиток від очистки мінералізованих підземних вод до необхідного стану, грн;

$Z_o$  – питомі витрати на очистку мінералізованих підземних вод, грн/м<sup>3</sup>;

$D = K_{oc} \cdot Q_g \cdot T \cdot C_{oc}$  – прибуток від використання очищених (неочищених) підземних вод у народному господарстві, грн;

$K_{oc}$  – коефіцієнт використання очищених (неочищених) підземних вод у народному господарстві,  $K_{oc} = 0,1-1,0$ ;

$C_{oc}$  – цінність очищених підземних вод або питомий прибуток який дають очищені (неочищені) води при їх використанні у народному господарстві, грн /м<sup>3</sup>.

Перетворюючи формулу (1) визначимо водоприток, при якому доцільне будівництво протифільтраційних завіс:

$$Q_g = \frac{V_b(C_b + C_n) - (Y_y + V_d + V_{oc}) + D}{(C_o + C_g)T}, \text{ м}^3/\text{рік}. \quad (3)$$

З урахуванням чинників, які входять до формули (3), маємо:

$$H_{uz} \epsilon_{uz} L_{uz} (C_b + C_n) = Q_g T (C_o + C_g) + [2\Delta(a + \epsilon) + 4\Delta^2] \cdot 10^{-4} \cdot B \cdot K_g \cdot C_{cx} + \\ + K_d Q_g C_d T + Q_g T Z_o - Q_g T K_{oc} C_{oc} \quad (4)$$

$$H_{uz} \epsilon_{uz} L_{uz} (C_b + C_n) = Q_g T (C_o + C_g + K_d C_d + Z_o) + [2\Delta(a + \epsilon) + 4\Delta^2] \cdot 10^{-4} \cdot B \cdot K_g \cdot C_{cx} ,$$

$$Q_g = \frac{H_{uz} \epsilon_{uz} L_{uz} (C_b + C_n) - [2\Delta(a + \epsilon) + 4\Delta^2] \cdot 10^{-4} \cdot B \cdot K_g \cdot C_{cx}}{T (C_o + C_g + K_d C_d + Z_o - K_{oc} C_{oc})}, \text{ м}^3/\text{рік}. \quad (5)$$

Задаючись параметрами  $H_{uz} = 60$  м,  $\epsilon_{uz} = 50$  м,  $L_{uz} = 11000$  м,  $a = 3000$  м;  $\epsilon = 1500$  м;  $C_b + C_n = 100-13000$  грн/м<sup>3</sup>;  $\Delta = 200-1000$  м;  $B = 25$  ц/га;  $C_{cx} = 800$  грн/ц;  $K_g = 0,3$ ;  $K_d = 0,1$ ;  $K_{oc} = 0,1$ ;  $C_d = 5-10$  грн/м<sup>3</sup>;  $Z_o = 5$  грн/м<sup>3</sup>;  $C_{oc} = 1,0$  грн/м<sup>3</sup>;  $T = 40$  років;  $C_o = 0,5$  грн/м<sup>3</sup>;  $C_g = 6,0$  грн/м<sup>3</sup>, які входять до формули (5), розрахуємо зміни водопритоку, виходячи з доцільності будівництва протифільтраційних завіс (таблиця 1).

Таблиця 1 – Значення водопритоків у гірничі виробки м<sup>3</sup>/годину, при перевищенні яких доцільне будівництво протифільтраційних завіс для наведених даних

Параметри показників	Витрати на будівництво протифільтраційної завіси, грн/м <sup>3</sup>			
	100	500	900	1300
Витрати на відкачку підземних вод	Шахтне поле розміром 3,0×1,5 км			
$C_o = 0,5$ грн/м <sup>3</sup>	7,6	39,3	70,9	102,9
$C_o = 1,0$ грн/м <sup>3</sup>	7,3	37,7	68,1	98,5
Підвищення цінності води або витрат на очищення підземних вод вдвічі $C_{г} = 12$ грн/м <sup>3</sup> або $Z_{оч} = 10$ грн/м <sup>3</sup>	5,1	26,1	47,2	68,2
Зростання коефіцієнту доповненого об'єму води для водо забезпечення до $K_o = 0,5$	6,5	33,6	60,7	87,8
Зростання коефіцієнту використання очищених вод $K_{оч} = 0,5$	7,9	40,5	73,0	106,2
Зростання розмірів депресійної воронки $\Delta = 1000$ м	6,0	37,7	69,3	101,0
Зменшення вдвічі глибини протифільтраційної завіси $H_{щ} = 30$ м	3,7	19,5	35,3	51,2
Зменшення терміну експлуатації підприємства $T = 30$ років	10,1	52,3	94,3	136,8
Збільшення розмірів шахтного поля у два рази 6000 × 3000 м	14,2	71,7	129,2	186,8

Аналіз даних таблиці 1 показує, що для наведених параметрів шахтного поля 3000×1500 м і вказаних економічних показників та впливу на оточуюче середовище, будівництво протифільтраційних завіс доцільно при водопритоках у шахту 7,6-102,9 м<sup>3</sup>/годину, відповідно для витрат на їх спорудження – 100-1300 грн/м<sup>3</sup>. При збільшенні витрат на будівництво ПФЗ до 2000 грн/м<sup>3</sup> (зростають у 1,54 рази) їх спорудження доцільне при водопритоку у шахту більше 158 м<sup>3</sup>/годину. Зростання вдвічі витрат на відкачку води  $C_o = 1,0$  грн/м<sup>3</sup> викликає зниження водопритоку на 3-4% і він становить 7,3-98,5 м<sup>3</sup>/годину, а для  $C_o = 3,65$  грн/м<sup>3</sup> – 6,03-81,1 м<sup>3</sup>/годину.

Підвищення вдвічі цінності підземних вод, як мінерального ресурсу,  $C_{г} = 12$  грн/м<sup>3</sup> або витрат на очищення підземних вод до  $Z_{оч} = 10$  грн/м<sup>3</sup> веде до зменшення величини водопритоку на 30-33% і він коливається в межах 5,1-68,2 м<sup>3</sup>/годину. Зростання коефіцієнту доповненого об'єму води, для водо-забезпечення обезводнених територій у п'ять разів  $K_o = 0,5$ , викликає скорочення водопритоку на 12-15%, а аналогічне підвищення коефіцієнту використання очищених (неочищених) підземних вод незначно підвищує значення водопритоку на 3-4%. Збільшення прирощення розмірів депресійної воронки у 5 разів ( $\Delta = 1000$  м) викликає зменшення водопритоку на 2-21%. Причому, більше значення відповідає мінімальним витратам на будівництво ПФЗ (100 грн/м<sup>3</sup>), а менше – максимальним (1300 грн/м<sup>3</sup>). Значні коливання водопритоку в даному випадку обумовлені зіставленням величини витрат на будівництво ПФЗ зі збитком від втрат врожайності сільськогосподарських культур в межах депре-

сійної воронки. Коли перші переважають другі на два порядки, то останні незначно впливають на зменшення водопритоку в межах 2-4%.

Зменшення вдвічі глибини протифільтраційної завіси ( $H_{\text{щ}} = 30$  м) викликає відповідне скорочення витрат на її будівництво та скорочення водопритоку до 3,7-51,2 м<sup>3</sup>/годину. Зменшення терміну експлуатації гірничого підприємства на 25% ( $T = 30$  років) веде до збільшення значень водопритоку на 25%, який коливається від 10,1 до 136,8 м<sup>3</sup>/годину. Збільшення розмірів шахтного поля вдвічі до 6000×3000 м дає зростання обсягів будівництва ПФЗ у 1,81 рази з відповідним ростом витрат, що підвищує водоприток до 14,1-186,8 м<sup>3</sup>/годину, тобто у 1,81 рази.

Аналіз фактичних водопритоків у шахти Кривбасу показав, що він змінюється від 100 до 470 м<sup>3</sup>/т, що свідчить про доцільність будівництва на деяких з них протифільтраційних завіс, яке повинно уточнюватись в залежності від конкретних гірничо-геологічних умов роботи гірничого підприємства. Створення протифільтраційних завіс для одного гірничого підприємства дозволить зберегти від забруднення 0,87-4,1 млн м<sup>3</sup>/рік підземних та поверхневих вод.

#### Список літератури

1. Якупов В.С. Устройство противофильтрационных завес для защиты карьеров при разработке кимберлитовых трубок от притока подземных вод // В.С. Якупов, А.А. Ахметшин // Материалы 3-й Конференции гидрокриологов России. – М.: изд-во МГУ, 2005. – Т. 4. – С. 238-242.

2. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробка наукових основ технологій видобування корисних копалин на принципах гармонізації з природним середовищем відповідно до вимог сталого розвитку суспільства. Дослідження існуючих технологій та процесів видобутку корисних копалин і виявлення факторів, які суперечать принципам сталого розвитку». - ІППЕ НАН України, м. Дніпропетровськ. – 2007. – 135 с.