

ЗАБРУДНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД ПРИ ВИБУХОВИХ РОБОТАХ

*А. І. Крючков, канд. техн. наук, Н. С. Нечаєва, студ. (НТУУ «КПІ»),
І. І. Туручко, канд. техн. наук (ЗАТ «Техновибух»)*

Приведены результаты исследований потерь аммиачной селитры в обводненных скважинах. Разработана методика определения скорости движения подземных вод в неоднородной толще пород, позволяющая обоснованно подойти к расчету скорости распространения потока загрязненных подземных вод при подготовке массовых взрывов.

При веденні вибухових робіт на відкритих гірничих роботах застосовують переважно промислові вибухові речовини (ВР), основою яких є аміачна селітра (АС). АС застосовується у суміші з невибуховими компонентами (рідкими нафтопродуктами, металевими і неметалевими порошками), утворюючи ВР типу гранулітів або в суміші з вибуховими компонентами (тротилом, порохами), утворюючи ВР типу грамонітів, амонітів, ампорів тощо. Ці ВР є неводостійкими або обмежено водостійкими і через дефіцит та високу вартість водостійких ВР (гранулотолу, алюмотолу) застосовуються для підривання обводнених масивів гірських порід. У зв'язку з тим, що АС та інші компоненти таких ВР розчиняються у воді, існує висока ймовірність виносу їх із свердловини. Це призводить до забруднення підземних вод нітратами та іншими сполуками, потрапляння яких в організм людини може стати причиною генетичних захворювань.

Згідно з дослідженнями [1] кількість АС, розчиненої і винесеної із зарядів найбільш поширених ВР (грамонітів марок 30/70, 50/50, 79/21) в обводнених свердловинах, може досягати 23...52% маси заряду, що становить приблизно 6...25 т водорозчинних компонентів за один масовий вибух для гранітних кар'єрів. На залізорудних кар'єрах Кривбасу із зарядів ВР виноситься 1500 кг АС за годину [2].

Для розроблення ефективних заходів щодо запобігання забрудненню підземних вод були проведені теоретичні та експериментальні дослідження процесів розчинення АС на різних технологічних етапах формування заряду: під час проходження ВР через товщу води у свердловині, у сформованому заряді та у свердловинах з проточною водою.

Відомо, що розчинення АС у воді являє собою ендотермічний процес, який супроводжується різким зниженням температури розчину. Останнє приводить до зниження розчинності АС. Теоретично зв'язок між кількістю розчиненої селітри (Q) і температурою розчину в свердловині (t) виражається рівнянням теплового балансу системи АС–вода:

$$C_{AC} \cdot t_{AC} + P \cdot t_B - P_0 \cdot t_B - C_{AC} \cdot t + P \cdot t - P_0 \cdot t - Q \cdot \Delta H = 0, \quad (1)$$

де C_{AC} – питома теплоємність АС, ккал/кг·град; t_{AC} і t_B – температура АС і води в свердловині перед заряджанням, °С; P – відношення маси води в свердловині до маси АС, частки од.; P_0 – маса води, що знаходиться в зоні формування заряду і увійшла до складу ВР, відносно маси АС, частки од.; ΔH – зміна ентальпії при розчиненні АС у воді, ккал/кг ($\Delta H = 52$ ккал/кг).

Отримати теоретичний розв’язок задачі про кількість розчиненої селітри в обводненій свердловині тільки з рівняння теплового балансу неможливо, оскільки до нього входять невідомі Q і t . Однак рівняння (1) дозволяє встановити теоретично обґрунтований вигляд напівемпіричної залежності температури розчину над зарядом від умов заряджання, яка згідно з нашими дослідженнями має такий вигляд:

$$t = \frac{0,54t_{AC} + P(t_B - 50)}{0,54 + 2,3P}. \quad (2)$$

Використовуючи формулу (2), можна перейти до розрахунків концентрації водного розчину АС, але рівняння теплового балансу не враховує обмежене в часі розчинення селітри та динаміку процесу. В реальних умовах середня концентрація розчину АС над зарядом, кг/л, становить

$$C = 0,7 + 0,02t,$$

а розрахункова формула для прогнозування втрати АС, кг, матиме такий вигляд:

$$Q = \pi r^2 h_c \cdot 1000 \frac{0,38 + 0,01t_{AC} + 0,02mt_B + 0,54m}{0,54 + 2,3m}, \quad (3)$$

де r – радіус свердловини, м; h_B – висота стовпа води в свердловині, м.

Експериментальні дослідження процесу розчинення АС проводились у промислових умовах при заряджанні свердловин діаметром 220 мм. Суть експериментів полягала в заповненні селітрою свердловин різного ступеня обводнення з одночасними замірами кількості розчиненої селітри і температури розчину. Порівняння експериментальних даних з результатами розрахунків за формулою (3) показало задовільний збіг. Найбільші розбіжності (до 18%) виникають при обводненні свердловин до 25% висоти заряду.

Було також встановлено, що не менше 90% загальної кількості розчиненої селітри розчиняється при проходженні через товщу води у свердловині незалежно від ступеня її обводнення. При цьому температура води знижується на 12...18 °С. Подальше поступове підвищення температури води у свердловині до температури навколишнього середовища обумовлює розчинення, а, отже, й додаткові втрати селітри, що міститься у вже сформованому заряді (7–10% від загальної кількості розчиненої селітри), що підтвердили отримані нами результати на моделях свердловин діаметром 90 і 114 мм [3].

Виявлені закономірності дали змогу встановити якісно новий підхід до розроблення заходів щодо суттєвого зменшення забруднення підземних вод, який полягає в тому, що для запобігання втратам основної маси АС достатньо

забезпечити водостійкість селітри лише на період проходження її через товщу води в свердловині.

АС може також розчинятись і виноситись за межі свердловини фільтраційним потоком підземних вод. Кількісні показники цього процесу наведені у праці [3], де, зокрема, було встановлено, що в проточних свердловинах діаметром 114 мм при швидкості руху підземних вод $V = 0,25$ м/добу протягом двох годин втрата АС становить 5 %, при $V = 0,5$ м/добу – 22 %, $V = 1,0$ м/добу – 36% і при $V = 3,0$ м/добу – 58 %. Тому для розрахунку швидкості забруднення вод за межами свердловин поряд з визначенням втрат ВР у обводненій свердловині необхідно також встановити швидкість фільтраційного потоку підземних вод.

Визначення швидкості руху підземних вод здійснюється теоретичними та експериментальними методами. Перші базуються на схематизації гідрогеологічних умов потоку з метою приведення його до таких схем (лінійна, планова фільтрація), для яких існує аналітичне рішення диференціальних рівнянь, що описують рух води. Гідрогеологічні умови обводнених блоків порід, а також наявність великої кількості свердловин з даними про рівні підземних вод дозволили звести потік до лінійного з використанням схеми, для якої існує теоретичне рішення Дарсі:

$$V = \frac{K}{n} \cdot \frac{dH}{dZ}, \quad (4)$$

де V – дійсна швидкість руху підземних вод, м/добу; K – коефіцієнт фільтрації, м/добу; n – пористість (тріщинуватість) порід, частки од.; dH/dZ – градієнт напору – безрозмірний параметр, що характеризує втрату напору на одиницю довжини фільтраційного потоку.

У зв'язку з трудностю визначення K і n на практиці застосовують експериментальні способи визначення швидкості руху підземних вод – електролітичний та термометричний з використанням АС як електроліту. Селітра є дешевою і доступною сировиною, а її розчинення забезпечує штучне охолодження води в свердловині. Основна відмінність запропонованого методу від тих, що застосовувались раніше, полягає в тому, що в процесі дослідження проточність води визначається двома показниками: зменшенням концентрації електроліту та підвищенням температури води в свердловині. В дослідних роботах застосовувались свердловинні солеміри і термометри, що відрізняються високою точністю визначення концентрації і температури розчину. Розрахунок швидкості підземних вод у свердловинах проводився за формулами [4]

$$V_e = \frac{1,81d}{m(t_2 - t_1)} \lg \frac{C_1 - C_0}{C_2 - C_0}; \quad (5)$$

$$V_T = \frac{1,81d}{m(t_2 - t_1)} \lg \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0}, \quad (6)$$

де d – діаметр свердловини, м; C_0 і T_0 – початкові мінералізація, г/л, і температура, °С, води в свердловині; C_1, C_2, T_1, T_2 – відповідно мінералізація і температура води в свердловині в моменти часу t_1, t_2 , діб; m – показник, який характеризує порушеність водопроникності стінок свердловини, для свердловин з непорушеною водопроникністю стінок $m = 2$.

В табл. 1 наведені деякі дані про швидкість руху підземних вод у свердловинах Рокитнянського кар'єру.

Таблиця 1. Швидкість руху підземних вод у свердловинах, визначена електролітичним та термометричним методами

№ свердловини	Швидкість руху води, м/добу		$V_T - V_e$, %
	електролітичний метод	термометричний метод	
1	0,11	0,15	26,7
2	0,31	0,37	16,2
3	0,65	0,75	13,3
4	1,01	1,12	9,8
5	1,53	1,62	5,6
6	1,76	1,81	2,8

Аналіз експериментальних даних показує, що $V_T > V_e$, причому різниця між цими величинами збільшується із зниженням швидкості руху підземних вод. Це можна пояснити впливом теплообміну розчину з навколишнім середовищем. Таким чином, при використанні термометричного методу слід вводити поправку на теплообмін з оточуючими породами, величина якої для кожного типу порід встановлюється експериментально.

Експериментальні методи визначення швидкості руху підземних вод є найбільш доцільними для однорідних за фільтраційними властивостями гірських порід. В неоднорідних масивах ці методи (як і теоретичні) не набули широкого застосування внаслідок необхідності визначення швидкості руху води в кожній свердловині блоку. Очевидно, що ефективно використання цих методів можливе тільки у випадку розв'язання задачі про фільтраційну неоднорідність порід та закономірності її зміни в просторі, що дозволить обґрунтовано підійти до визначення необхідної кількості дослідних свердловин та їх розміщення в плані.

Аналіз науково-технічної літератури [5, 6, 7] показав, що використовуються такі способи захисту підземних вод від забруднення:

- попереднє осушення масиву порід, що підриваються, за допомогою водознижувальних свердловин або дренажних траншей;
- осушення свердловин перед заряджанням ВР шляхом відкачування води із свердловин або підривання невеликого заряду ВР;
- заряджання свердловин зразу після буріння;

- формування зарядів ВР у полімерні рукави по технології, розробленій ЗАТ “Техновибух”;

- надання водостійкості аміачно-селітряним ВР шляхом гідрофобізації водонестійких компонентів.

Наведена вище класифікація дає лише загальне уявлення про способи захисту підземних вод від забруднення при вибухових роботах. Вибір того чи іншого способу повинен ґрунтуватися на його екологічній та економічній оцінках.

Екологічна оцінка будується на показниках, що характеризують зниження інтенсивності та небезпеки забруднення підземних вод до безпечних показників за умови впровадження заходу.

Економічна оцінка проводиться з метою вибору з екологічно корисних варіантів максимально ефективного з економічної точки зору.

Висновки

Проведеними дослідженнями були встановлені кількісні показники втрат АС на різних технологічних етапах формування зарядів ВР у обводнених свердловинах. Отримані результати можуть бути використані при прогнозах розрахунках швидкості поширення потоку забруднених вод, а також при розробленні заходів щодо запобігання їх забрудненню.

Перспектива подальших досліджень у цьому напрямку полягає у встановленні кількісних показників зміни концентрації забруднюючих речовин у підземних водах у часі та по шляху їх фільтрації.

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

2. *Мец Ю. С.* Взрывные работы в сложных гидрогеологических условиях. – К.: Техніка, 1979. – 109 с.

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

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

5. *Назаров М. Н.* Осушение взрывных скважин взрывным способом // Добыча угля открытым способом. – 1981. – № 3. – С. 1–4.

6. *Прокопенко В. С.* Обґрунтування ефективності вибуху свердловинних зарядів у полімерних оболонках // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія “Гірництво”: Зб. наук. праць. – Київ: НТУУ “КПІ”. – 1999. – Вип. 1. – С. 52–67.

7. *Дубнов Л. В., Бахаревич Н. С., Романов А. И.* Промышленные взрывчатые вещества. – М.: Недра, 1988. – 358 с.