

УДК 622.277:622.775:622.34:622.268

А.Д. КАЛЬКО канд. техн. наук,
(Україна, Рівне, Національний університет водного господарства та природокористування)

ПРО ПЕРСПЕКТИВИ ПЕРЕТВОРЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО РОДОВИЩА НА БЕЗПЕЧНУ СИСТЕМУ

Понад 20 років минуло з часу трагічної катастрофи на Чорнобильській АЕС. Однак і до сьогодні немає достовірної інформації про причини аварії, невідомою залишається, також ситуація всередині спорудженого довкола четвертого енергоблоку саркофага.

Актуальною проблемою в епоху атомних технологій залишаються локалізація та нейтралізація територій і джерел потенційної радіаційно-екологічної небезпеки, які, незважаючи на суворі заходи безпеки, виникають унаслідок аварій і катастроф. Один з таких трагічних прикладів – аварія на Чорнобильській АЕС.

В об'єкті "Укриття" Чорнобильської АЕС міститься 2 млн м³ радіоактивних відходів (РАВ) із загальною активністю 24 Мки. У зоні відчуження в період дезактивації накопичено 3720 м³ твердих радіоактивних відходів (ТРВ) і 1800 м³ рідких радіоактивних відходів (РРВ). Зазначені РАВ стають джерелами альфа-випромінювання, оскільки містять уламки тепловидільних елементів (ТВЕЛ). Одна з найбільших проблем "Укриття" – частка значної частини "втраченого" ядерного палива, яке знаходилося у вибухломому реакторі. "Втрачене" ядерне паливо викликає найбільші побоювання, оскільки загрожує виникненням ланцюгових реакцій, що самопідтримуються. При сплесках ланцюгових реакцій можуть переопромінитися люди, які працюють в саркофазі. За межі саркофага випромінювання не проникає завдяки бетонним стінам. Восанне подібні сплески фіксувалися у вересні 1996 року. Не виключено, що в глибині "Укриття" в даний час проходять ланцюгові реакції. Паливо може поволі вигоряти, як це було в єдиному природному реакторі, що утворився декілька тисяч років тому на базі геологічних об'єктів урану в Африці. Ланцюгова реакція в природному реакторі тривала до повного вигорання урану. Обов'язковою умовою виникнення природного реактора була наявність води. В "Укритті" саркофаг негерметичний. З 1997 р. через опади з саркофага відкачується щорічно до п'яти тонн води.

Тому проблема перетворення Чорнобильської АЕС на екологічно безпечну систему має планетарне значення. Для її вирішення в 1994 р. був проведений міжнародний конкурс, на який було подано 230 проектів з 18 країн.

Перша група проектів спрямовувалась на будівництво "Укриття-2".

Наприклад, в одному з сучасних проектів пропонується спорудити навколо третього і четвертого енергоблоків конічної стіни в ґрунті на глибину близько 40 м, під якою будуть пройдені штольні для спорудження міцного днища. Усі ризики, пов'язані з наземним захороненням аварійного реактора, можуть стати в майбутньому джерелом катастроф планетарного масштабу або перетворити "Укриття" на об'єкт багаторічних інвестицій.

До використання прийнятий проект "Консоль", розроблений ученими України, який передбачає будівництво "Укриття" поряд із саркофагом з подальшим переміщенням його на саркофаг.

Прихильники другого напряму схиляються до того, щоб розібрати "Укриття-1" і вивести високоактивні речовини з подальшим їх захороненням. Цей напрям пов'язаний з вирішенням не менш складних проблем. За підрахунками фахівців, на розбирання саркофага і вивезення всього вмісту піде як мінімум сорок років. На спорудження другої (запобіжної) оболонки буде витрачено 10...13 млрд доларів США. Безпосереднє розбирання реактора і може бути оцінене зазначеною сумою витрат. Необхідно врахувати витрати, пов'язані з перевезенням, переробкою, зберіганням високоактивних матеріалів та інші витрати. Таким чином, сумарні витрати можна оцінити у 30 млрд доларів США. В процесі переміщення ядерного палива може утворитися критична маса, унаслідок чого виникне мимовільна ланцюгова реакція.

Найбільш радикальне вирішення проблеми дає, на наш погляд, третя група проектів, що припускає захоронення вмісту саркофага в земній корі на різних глибинах. У проекті, автори якого – академік Е.В. Соболевич [1] та фахівці інституту "Кривбаспроект", розглядається варіант захоронення вмісту саркофага на глибину 1000 м у вертикальній виробці, пройденій під саркофагом. Автори рекомендують проходити стовбур в напрямі від низу до верху і у міру виймання породи засипати його гравієм до донної частини реактора. Залежно від того, як знизу вибиратимуть гравій, четвертий блок з "Укриттям-1" занурюватиметься в надра. Реалізація проекту пов'язана з цілим рядом технічних труднощів. Очевидно, щоб почати проходку виробки для захоронення "Укриття-1", необхідно пройти комплекс допоміжних вертикальних і горизонтальних гірничих виробок. У найтехнологічнішій схемі проходки вертикального стовбура діаметром близько 200 м від низу до верху є цілий ряд невирішених на даному етапі технічних і технологічних завдань.

У 1997 р. кафедра будівництва шахт і підземних споруд ДОНДТУ спільно з ВАТ проектно-технічним трестом "Оргтехшахтобуд" і "Трест Донецькшахтопроходка" розробили технологію глибинного захоронення четвертого аварійного енергоблока Чорнобильської АЕС, згідно якою пропонується спорудити зверху вниз вертикальний шахтний ствол, транспортування і занурення об'єкта "Укриття-1" в стовбур з подальшим заповненням його захисним матеріалом [2]. Основний елемент цієї технології –

будівництво шахтного стовбура такої глибини, яка забезпечуватиме протікання підземного атомного вибуху в режимі камуфлету у разі мимовільної ланцюгової реакції.

Виходячи з фактичних розмірів об'єкта "Укриття" (145×98 м) і технологічних зазорів для його опускання, необхідно спорудити ствол діаметром на просвіт близько 185 м.

Орієнтовні техніко-економічні показники спорудження вертикального шахтного ствола представлені табл. 1.

Таблиця 1

Показник	Кількість
Глибина ствола, м	863
Діаметр ствола, м:	
на просвіт	185
на чорному	192
Добова швидкість спорудження ствола, м/доб	0,16
Склад бригади, чол.	110
Списковий склад бригади, чол.	190
Комплексна норма виробки, м/чол.зм.	0,0013
Повна вартість спорудження 1 м ствола, млн грн (млн дол. США)	3,3 (0,9)
Вартість спорудження всього ствола, млн грн (млн дол. США)	2800(810)
Тривалість спорудження ствола, р.	15

Найбільш перспективний напрям переробки бідних і важкозбагачуваних уранових руд на сучасному етапі – мікробіологічне вилуговування [3].

Вилучення урану з низькосортних безкарбонатних руд проводиться з використанням методів підземного вилуговування (ПВ) у режимі жорсткого кислотного вилуговування. Цінність цієї схеми – у високій швидкості процесу. До недоліків технології слід віднести велику питому витрату кислоти, хімічну кольтатацію і забруднення навколишнього середовища [3]. У зв'язку з цим проведені дослідження з використання бактеріальних розчинів, що містять тривалентне залізо, для вилуговування урану з руд родовищ Лявлякан, Бешкак і Букиній. При цьому використовували бактерії *Acidithiobacillus ferrooxidans* (штам КСБ). Методом послідовної адаптації одержані стійкі штами цих бактерій, які могли розвиватися в середовищах, з вмістом до 300 мг/л урану. У лабораторних умовах в режимі фільтраційного слобокислотного вилуговування протягом 370 год. вилучається близько 97% урану. При використанні бактеріальних розчинів 98%-не вилучення урану досягається через 42 год. При розбавленні бактеріальних розчинів удвічі швидкість вилуговування урану знижується в 1,7 раза. Одночасно з цим спостерігається і зменшення питомої витрати кислоти (табл. 2).

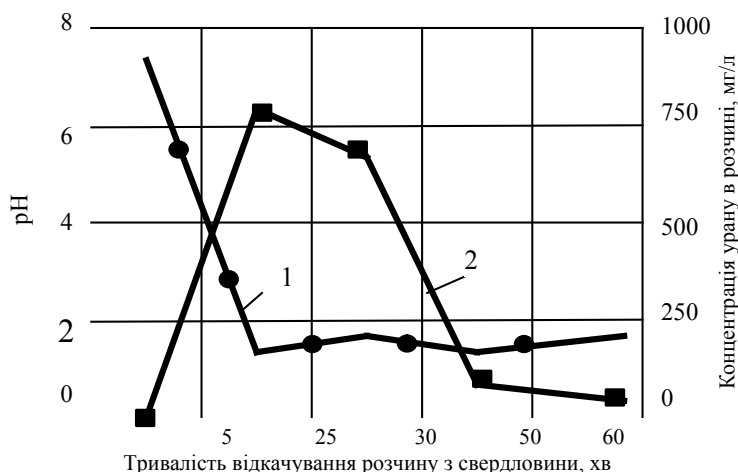
Таблиця 2

Реагент	Час, год.	Вилучення урану, %	Витрата реагенту, кг/кг урану
H ₂ SO ₄	370	96,6	43,6
КСБ (відносна концентрація 100%)	42,5	98,0	36,0
КСБ (відносна концентрація 50%)	72,5	98,0	16,7

Позитивні результати лабораторних досліджень дозволили перейти до великомасштабних експериментів. Бактеріальне вилуговування урану було проведене з використанням відкачувальної свердловини, виведеної з експлуатації. Кислотність пластового розчину за наслідками випробування становила 4,9 г/л, вміст урану – 25 мг/л. У свердловину закачали 0,4 м³ бактеріальних розчинів (на відстань 0,3 м по пласту). Після двотижневого відстоювання провели ерліфтне виведення і подальше випробування розбавленого пластового і бактеріального розчинів. Одержані дані (рисунок) свідчать, що в пласті вдалося створити необхідний режим вилуговування і вилучити з пласта залишки урану.

Наступний етап досліджень полягав у проведенні дослідницько-промислових випробувань на одній з ділянок експлуатаційного блока родовища Бешкак. Була змонтована установка для культивування мікроорганізмів і подачі бактеріального розчину в свердловину. Як контрольна служила свердловина слабокислотного вилуговування. Випробування показали, що на початку дослідних робіт при відмиванні водорозчинного урану в контрольній і дослідницькій свердловинах концентрація металу досягала 43...68 мг/л, що було обумовлено винесенням окисленого урану. Надалі, у міру зменшення вмісту в пласті урану, концентрація у відкачуваних розчинах контрольної свердловини знизилася до 4 мг/л. У свердловині бактеріального вилуговування кількість розчиненого урану відповідала показникам кислотного вилуговування на експлуатаційному блоці.

Отримані результати досліджень з біоокислення сульфідних мінералів і вилучення урану в режимі фільтрації свідчать про доцільність застосування біотехнологічних методів для вилучення металів і залучення у виробництво важкозбагачуваних і низькосортних руд, зокрема "втраченого" урану в четвертому аварійному енергоблоці ЧАЕС.



Показники бактеріального вилуговування урану з свердловини:
1 – рН; 2 – концентрація урану

Техногенне родовище – це скупчення мінеральних речовин на поверхні Землі або в гірничих виробках, що утворилося в результаті їх відокремлення від масиву і складування у вигляді відходів гірничого, збагачувального, металургійного та інших виробництв і придатне за кількістю та якістю для промислового використання (для вилучення металів та інших корисних компонентів, отримання палива і будматеріалів) [4]. Техногенні родовища мають певну структуру розподілу корисних компонентів, зони вторинного гіпергенезу, окислення, сегрегації, але на відміну від природних родовищ (геогенних), характеризуються зниженим вмістом корисного компонента.

Розробка техногенних родовищ, як правило, економічно доцільна, оскільки вони знаходяться на земній поверхні, а гірничі породи в них частково дезінтегровані. За рахунок використання техногенних родовищ існуючий рівень промислового виробництва може бути забезпечений при зменшенні об'єму видобутку гірничої маси на 20...25%, зниження загальної собівартості продукції на 10...15%, оздоровлення екологічної обстановки в районах гірничопереробних підприємств [5]. Таким чином, комплексне промислове освоєння техногенних родовищ дасть можливість державі реалізувати щонайменше дві головні проблеми, що забезпечують мінерально-сировинну незалежність і екологічну безпеку: скоротити дефіцит певних видів мінеральної сировини; понизити техногенне навантаження на регіони, в яких проводиться видобуток корисних копалин, збагачення та гірничо-металургійний переділ.

Таблиця 3

№ п/п	Параметр	Одиниця вимірювання	Значення параметра
-------	----------	---------------------	--------------------

1	Потужність реактора РБМК-1000	МВт	1000
2	Діаметр графітового циліндра	м	11,8
3	Висота графітового циліндра	м	7
4	Кількість вертикальних каналів	шт..	1661
5	Внутрішній діаметр каналу	мм	80
6	Кількість ТВЕЛів в ТВС	шт.	18
7	Кількість контурів	шт.	2
8	Схема	–	Одноконтур на
9	Ядерне паливо	–	Двоокис урану
10	Первинне завантаження U-235	т	190
11	Розміри залізобетонної захисної плити під корпусом реактора:		
	довжина	м	30,8
	ширина	м	30
	товщина	м	2,5
12	Загальна площа щілин і отворів в "Укритті"	м ²	1000
13	Температура паливних мас	°С	+40
14	Термін служби "Укриття"	Рік	30
15	Балансові запаси корисного компонента – двоокиси збагаченого урану (діоксиду урану)	т	50
16	Балансові запаси радіоактивного пилю	т	30...40
17	Балансові запаси руди:		
	маса	т	600000
	об'єм	м ³	250000
18	Вміст корисного компонента:		
	у рудній масі	г/т	83,3
	в об'ємі руди	г/м ³	200
19	Параметри родовища:		
	довжина	м	145
	ширина	м	98
	потужність	м	18
	площа	м ²	14210
20	Об'ємна маса руди	т/м ³	2,4

Аварійний четвертий енергоблок ЧАЕС авторами статті розглядається як рудне техногенне родовище корисних копалин, мінеральна сировина (корисний компонент) в якому представлена ядерним паливом – UO_2 з балансовими запасами 50 т. Чи слід вважати ядерне паливо як дефіцитну мінеральну сировину? Очевидно ні, оскільки воно без глибокої переробки непридатна для використання в реакторах РБМК-1000. Отже, головна проблема – у забезпеченні екологічної безпеки четвертого аварійного енергоблоку ЧАЕС, як техногенного родовища з високим вмістом і значними запасами урану в невеликому об'ємі гірських порід.

Параметри техногенного родовища, утвореного після аварії четвертого енергоблоку ЧАЕС, наведені у табл. 3.

Список літератури

1. **Соботович Е.В.** Де і як ховати радіоактивні відходи? // Вісн. НАН України. – 1998. – №3–4. – С. 24–30.
2. **Шевцов Н.Р., Гудзь А.Г., Бабичев В.А.** Технологія глибинного захоронення аварійного енергоблока Чернобыльской АЭС // Вісн. Нац. гірн. ун-ту. – 1999. – №5. – С. 36–40.
3. Применение биотехнологии при выщелачивании бедных и упорных руд / **Е.А. Толстов, В.Е. Латышев, Л.А. Лильбок, С.И. Куканова, Л.И. Зайнитдинова** // Горный журнал. – 2003. – №8. – С. 28–35.
4. Горная энциклопедия. Советская энциклопедия. Т 1–5. – М.: Недра, 1984.
5. **Трубецкой К.Н., Уманец В.Н., Никитин М.Б.** Классификация техногенных месторождений, основные категории и понятия // Горный журнал. – 1989. – №12. – С. 45–50.
6. **Черней Э.И., Калько А.Д.** Научные основы комплексного освоения недр. – Ровно, 2002. – 2 т.
7. Закономерность снижения радиоактивности техногенных формаций при бактериальном выщелачивании урана: Монографія / **Э.И. Черней, С.Б. Тулуб, А.Ф. Булат, И.А. Садовенко, А.Д. Калько.** – Рівне: Волинські обереги, 2004. – 196 с.

© Калько А.Д., 2006

*Надійшла до редколегії 20.12.2006 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. Садовенком І.О.*