Шестопалов В. М., Гошовський С. В., Луцько В. С. та ін. // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2003. – № 4. – С. 30–35.
2. Изоляция радиоактивных отходов в недрах Украины (проблемы и возможные решения) / Шестопалов В. М., Руденко Ю. Ф., Соботович Э. В. и др.. – К. : НИЦ РПИ НАН Украины, 2006. – 398 с.
3. Разработка национальной стратегии и концепции по обращению с радиоактивными отходами в Украине, включая стратегию по обращению с радиоактивными отходами НАЭК «Энергоатом»: Проект TACIS U4.03/04. / Голубев В., Демчук В., Жебровская Е. и др.; под общей ред. В. М. Шестопалова. – К. : Изд-во «ПРОМІНЬ», 2008. – Т. 1. – 500 с.
4. Шестопалов В. М. Деякі результати рекогносцирувальних робіт у Чорнобильській зоні відчуження з оцінки можливості ізоляції радіоактивних відходів у сховищах геологічного типу / В. М. Шестопалов // Бюл. екол. стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. – 2004. – № 1 (23). – С. 33–35.
5. Застосування матеріалів дистанційних зйомок при виявленні ділянок, сприятливих для захоронення РАВ у Зоні відчуження / Азімов О. Т., Руденко Ю. Ф., Ходоровський А. Я. та ін. // Геохімія та екологія: зб. наук. пр. ІГНС НАН та МНС України. – К., 2001. – Вип. 3/4. – С. 292–301.

ГРАНУЛЬОВАНІ МАТЕРІАЛИ В ТЕХНОЛОГІЯХ УТИЛІЗАЦІЇ РАДІАЦІЙНО ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН

Герасимов О. І., *доктор фізико-математичних наук, професор, академік Академії наук вищої школи України, завідувач кафедри загальної та теоретичної фізики*
Худинцев М. М., *кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри загальної та теоретичної фізики*
Андріанова І. С., *кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри загальної та теоретичної фізики*
Співак А. Я., *старший викладач кафедри загальної та теоретичної фізики*
Одеський державний екологічний університет

ДЕЯКІ сучасні системи для упаковки та утилізації радіоактивних відходів використовують інженерно облаштовані модулі зберігання, які, в свою чергу, містять контейнери з радіоактивними відходами. Як відомо, коли контейнери, що містять відходи вміщують у модулі, де вони в подальшому й зберігаються, навколо контейнерів у модулі може створюватися порожній простір. Це явище, внаслідок потенційної можливості потрапляння речовин у порожній простір (наприклад ззовні чи з відходів), які ослаблюють захисні функції контейнера, є небажаним, тому що може призвести до міграції радіонуклідів за межи модуля. В практиці конструкції таких модулів зберігання зазначений порожній простір заповнюється цементуючим матеріалом, який перетворюється на суцільну тверду речовину. Як правило, для цієї мети використовують рідкий розчин, сформований з портландцементу. Після того, як цемент або рідкий розчин затвердне, модулі вилучають з місця, де вони завантажуються, у відвали, де зберігаються протягом тривалого часу (залежно від типу відходів і, відповідно, періодів їх напіврозпаду це може бути період тривалістю до 200 років). Тому модулі мають бути стабільними та повинні мати міцну конструкцію.

Звичайним способом утилізації модулів є захоронення їх у спеціально підготовлених підземних місцях. Таке місце може мати траншеї, має плоску підлогу з системою моніторингу, щоб періодично контролювати потрапляння води в траншеї, та визначити, чи дійсно радіоактивні речовини якимось чином просочилися з модулів. Шар гравію укладають на підлогу для дренажу, а модулі, складені в колонах над шаром гравію, прилягають один до одного. Укладені один на одного колони модулів потім засипають шарами ґрунту й піску. Приклад такого місця захоронення розкрито в патенті США No. 4681706. Після того, як укладені один на одного модулі будуть повністю засипаніі, вони можуть зберігатися невизначений термін, поки радіоактивний матеріал, що міститься в них, не розпадається.

Хоч модулі зберігання створюються з монолітного, досить товстого бетону, щоб зробити їх механічно міцними і несприйнятливими до води, може виникнути проблема появи тріщин, окрихчування тощо.

Таке утворення дефектів може бути зумовлене сейсмічним збуренням, просіданням або радіаційним опроміненням. Цементне затирання використовують як додатковий бар'єр для іммобілізації радіоактивних відходів всередині модуля, де можуть утворитися тріщини, які, в свою чергу, можуть призвести до міграції води й, можливо, матеріалів відходів через стінки модулів. Таким чином, незважаючи на те, що модуль після цементного затирання потенційно здатен забезпечити зберігання контейнерів радіоактивних відходів протягом тривалого періоду часу, існують умови, які можуть призвести до виникнення тріщин і подальшого витоку небезпечних речовин. Якщо уявити, що такий витік трапляється, має спрацювати адекватно сконструйована система моніторингу, яка повідомляє оператора на місці захоронення про неприйнятну ситуацію. Аварійний модуль зберігання має бути виявлений і вилучений для ремонту або заміни. Проте, видалення затверділого цементного розчину в аварійному модулі може бути ускладнено через затвердіння цементного розчину. Ще один недолік, пов'язаний з використанням цементного розчину, – спливання (видавлювання) легких контейнерів під час завантаження в модуль цементного розчину. Коли це відбувається, потрібно підштовхнути контейнер назад у внутрішній простір модуля до того, як цементний розчин затвердіє (зазвичай, ця функція потребує участі оператора), так, щоб кришка модуля прилягала належним чином. Це останнє уповільнює процедуру створення модуля, а також збільшує тривалість радіаційного опромінення операторів.

Існують інші методи постійного зберігання радіаційних відходів у підземному депозитарії, який фіксує матеріали відходів всередині твердого масиву, утвореного шляхом додавання до композиції затверділваючих рідких розчинів. Однак такі методи не дають можливості для вилучення матеріалу заповнювача, якщо виникає проблема його заміни.

Очевидно, що є потреба у розробленні більш оптимізованої системи (технології) упаковки, зберігання та конструкції модуля, які б усували порожній простір, але в той же час дозволяли б у разі потреби легко вилучати контейнери з модулів зберігання. В ідеалі такий модуль мав би включати стійкий бар'єр проти формування тріщин, здатний шляхом спрацювання відповідних фізичних механізмів перешкоджати формуванню потоку рідких відходів, щоб запобігти міграції радіонуклідів у навколишнє середовище. І, нарешті, було б бажано, щоб формування такого бар'єру не спричинювало будь-яких шкідливих перетворень у контейнері з відходами (розміщеного у модулі) під час конструкції.

На цьому шляху можна запропонувати гранульований або порошковий наповнювач, який забезпечує легку можливість вилучення відходів з модуля зберігання, і майже повністю (з точністю, яка визначається параметром впакування $\eta = V_0/V$, де V – вміщуючий об'єм, V_0 – об'єм матеріалу частинок) заповнює порожній простір, який виникає між контейнером чи фракцією відходів і модулем, та діяти як бар'єр (пористе середовище, мембрана), здатний частково блокувати дифузійні (міграційні) процеси переносу (наприклад, рідини). Гранульований наповнювач не тільки утримує конгломерацію відходів в модулі, а й забезпечує умови для іммобілізації самих відходів у разі її пошкодження (активізації). Він здатний утримувати й зберігати радіоактивні або інші небезпечні відходи і не спричинюватиме яких-небудь небажаних деформацій чи змін у вміщеному в модуль контейнері з відходами .

Як гранульований наповнювач може бути використаний пісок з включенням від 20 до 80% бентоніту (глинистого матеріалу, що являє собою твердий абсорбуючий матеріал), який може поглинути кількість води, яка в кілька разів перевищує його власний об'єм, і від 10 до 40% кількості нуклідів у розчині. Наповнювач також може містити додаткові матеріали для адсорбції радіонуклідів і запобігання їхній міграції з відходів.

Потрібно зазначити також здатність самих гранульованих матеріалів шляхом багатократного розсіяння поглинати будь-яке випромінювання та локалізувати його енергію [1], що додає якості до захисних функцій конструкції модуля (див. рисунок).

Саме гранульовані матеріали є стійкими до утворення тріщин, а структуроутворенням у них можна маніпулювати за рахунок впливу слабких низькочастотних

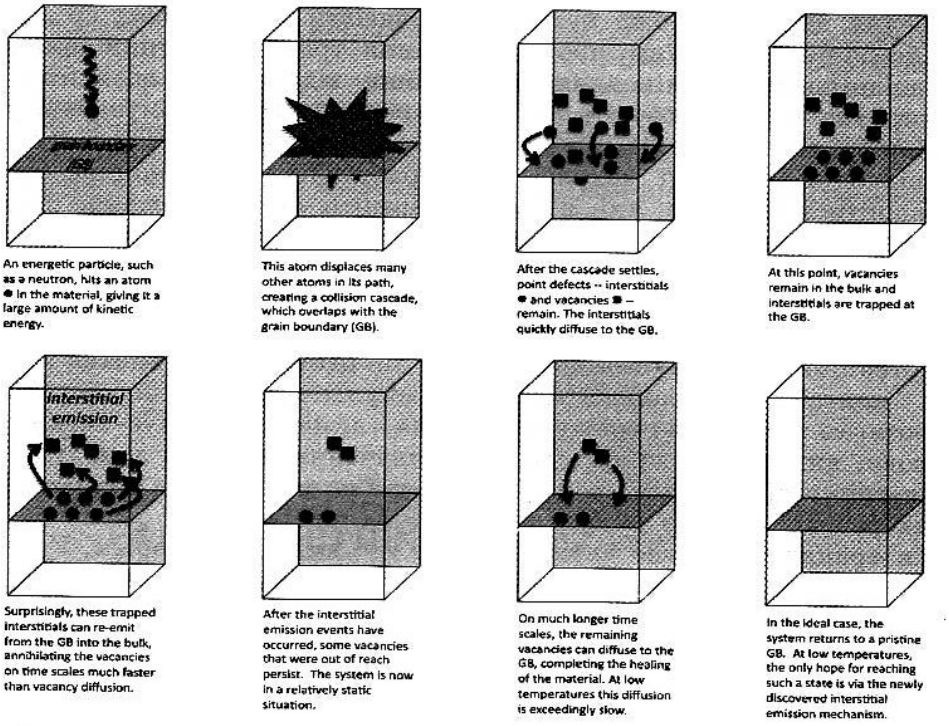

Рис. – Скетч для умовної демонстрації взаємодії опромінення з гранульованим шаром

віброполів [1]. Нарешті, гранульований матеріал легко заповнює порожнину і також легко з неї вилучається.

Безумовно, ефективність використання гранульованого заповнювача в структурі модуля зберігання значною мірою визначається також конкретними матеріальними властивостями речовин та конструктивними особливостями контейнерів.

Література:

1. Герасимов О. І. Фізика гранульованих матеріалів. – Одеса : ТЕС, 2016. – 264 с.

View publication stats