

## Properties of ceramic cover burial of nuclear wastes

O.D. Mihalchuk

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", str. Polytechnichna, 39, Bldg. 19, Kyiv, 03056, Ukraine  
Tel.: +380444068451  
E-mail: ynk@kpi.ua

Article info: received 11.02.2018, revised 21.02.2018, accepted 12.03.2018

Mihalchuk, O.D. (2018) Properties of ceramic cover burial of nuclear wastes 1(38), doi: 10.26909/csl.1.2018.3

The development of nuclear power makes focus on materials that provide the normal functioning of nuclear waste storage facilities of various types and provide environmental protection, starting with traditional (running on slow neutrons) and ending with thermonuclear.

The burial of waste is carried out in multilayer containers, the materials of which must have specific properties. Among these materials, an important place is the special ceramics. When storing waste it is expedient to use heat-insulating ceramics ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ).

The task of the expediency and advantages of using ceramic glasses as an integral part of a container for storage of radioactive waste is solved.

The use of a multilayer glass containing radiation waste consisting of metal and ceramic masonry located in one another can increase its durability, as well as reduce migration of radioactive substances. The addition of various impurities in ceramics also greatly affects the properties of ceramic products: the degree of radiation protection, service life, and more. In the study of the cooling process of the container, the temperature regimes in the repository are investigated.

Studies have confirmed that the use of ceramic glasses in the system of engineering barriers can significantly reduce the temperature around the container.

Key words: multilayer ceramic glass, special ceramics, nuclear waste storage.

## Властивості керамічних стаканів при захороненні ядерних відходів

О.Д. Михальчук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна

Розвиток атомної енергетики змушує зосередити увагу на матеріалах, що забезпечують нормальне функціонування сховищ ядерних відходів різних типів та забезпечення захисту довкілля, починаючи з традиційних (що працюють на повільних нейтронах) та закінчуючи термоядерними.

Захоронення відходів проводять в багатощарових контейнерах, матеріали яких повинен мати специфічні властивості. Серед цих матеріалів важливе місце займає спеціальна кераміка. При збереженні відходів доцільно використовувати теплоізоляційну кераміку ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ).

В роботі вирішуються задачі доцільності та переваги використання керамічних стаканів як складової частини контейнера для зберігання радіоактивних відходів.

Застосування багатощарового стакану, у якому розміщено радіаційні відходи, що складаються з розташованих одна в одній металевій та керамічній оболонках, дозволяє підвищити його довговічність, а також зменшити міграції радіоактивних речовин. Додавання різноманітних домішок у кераміку значною мірою впливає і на властивості керамічного виробу: ступінь його радіаційного захисту, термін служби та інше. У вивченні процесу охолодження контейнера досліджуються температурні режими у сховищі.

Дослідження підтвердили, що використання керамічних стаканів в системі інженерних бар'єрів дозволяє суттєво знизити температуру навколо контейнера.

## Вступ

Одним з негативних наслідків в сфері використання ядерної енергетики є накопичення радіоактивних відходів. Відпрацьоване паливо складають та зберігають в спеціально обладнаних сховищах з метою їх подальшого захоронення в надрах. Для цього ретельно обирають місце майбутнього сховища, його тип та проводять оцінку безпеки. Одним з пунктів оцінки безпеки є розробка системи інженерних бар'єрів, в яку входить дослідження розподілення температурного поля внаслідок виділення теплоти радіоактивними відходами.

Захоронення відходів проводять в багатошарових контейнерах, матеріал яких повинен мати специфічні властивості. У світовому досвіді зустрічається використання контейнерів з міді, цинку та інших металів. Вони знаходяться під впливом руйнівних факторів, таких як: волога, тиск, температура, радіація та бактерії. Враховуючи те, що контейнер повинен знаходитись під впливом цих факторів протягом великого проміжку часу, до нього висуваються жорсткі вимоги. Одними з найважливіших критеріїв вибору матеріалу є висока корозійна стійкість та стійкість до радіації [1].

Розвиток атомної енергетики змушує зосередити увагу на матеріалах, що забезпечують нормальне функціонування сховищ ядерних відходів різних типів та забезпечення захисту довкілля, починаючи з традиційних (що працюють на повільних нейтронах) та закінчуючи термоядерними. Серед цих матеріалів важливе місце займає спеціальна кераміка. При збереженні відходів доцільно використовувати теплоізоляційну кераміку ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ) [1].

## Матеріали та методи дослідження

В роботі вирішуються задачі доцільності та переваги використання керамічних стаканів як складової частини контейнера для зберігання радіоактивних відходів.

Дослідження можливості використання багатошарових стаканів, що складаються з металевих та керамічних оболонок, при захороненні радіоактивних відходів.

Застосування багатошарового стакану, у якому розміщено радіаційні відходи, що складаються з розташованих одна в одній металевій та керамічній оболонках, дозволяє підвищити його довговічність, а також зменшити міграції радіоактивних речовин. Додавання різноманітних домішок у кераміку значною мірою впливає і на властивості керамічного виробу: ступінь його радіаційного захисту, термін служби та інше. У дослідженні процесу охолодження контейнера нас, в першу чергу, цікавлять температурні режими у сховищі.

Модель складається з чотирьох шарів (рис. 1): залізний - внутрішній шар оболонки контейнера; керамічний стакан – зовнішній шар; шар бентоніту та шар породи. Керамічна оболонка дозволяє зменшити надходження вологи до стінки контейнера, тим самим сповільнивши його корозію, а також забезпечує кращий розподіл тепла. Це пояснюється тим, що основним термічним опором в системі є бентонітовий шар, а отже збільшення площі контакту з ним сприятиме кращому відводу тепла, а також теплофізичним характеристикам кераміки, що має досить велику теплоємність і значну теплопровідність (в порівнянні з іншими компонентами системи).

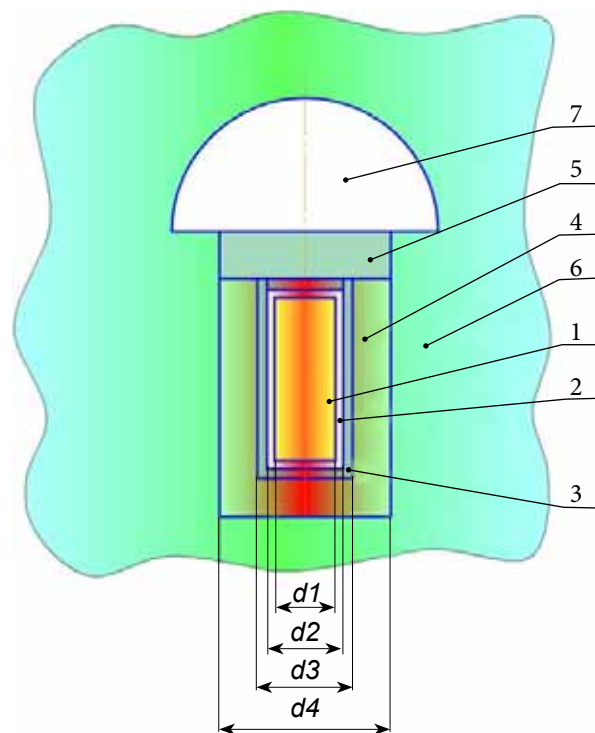


Рис. 1. Фізична модель захоронення радіоактивних відходів: 1 – радіоактивні відходи; 2 – металева оболонка; 3 – керамічний стакан з кришкою; 4 – бентонітовий шар; 5 – бетон; 6 – тверда порода; 7 – шахта

Для отримання теоретичних даних складено двовимірну математичну модель процесу охолодження контейнера [2]. Було зроблено наступні припущення:

- властивості відповідного середовища однорідні у всьому його об'ємі;
- зміною теплофізичних властивостей середовища при зміні температури ми нехтуємо;
- немає повітряних проміжків на межі переходу шарів.

Математична модель описується диференціальним рівнянням в часткових похідних

$$\frac{\partial U}{\partial t} = a \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}, \quad (1)$$

де  $a = \frac{\lambda}{\rho C_p}$  – коефіцієнт теплопровідності;

$\frac{\partial U}{\partial t}$  – похідна за часом, характеризує швидкість зміни температури у вузлі;

$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}$  – друга похідна за координатою, характеризує просторове розповсюдження змін;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності,  $t$  – час,  $\rho$  – густина,  $d_e$  – еквівалентний діаметр,  $x$  – відстань,  $U$  – температура,  $C_p$  – теплоємність.

Для розв'язку цього рівняння було застосовано метод сіток. Суть цього методу полягає в наступному:

- область неперервної зміни аргументів, в якій здійснюється пошук рішень рівняння, доповненого, якщо необхідно, крайовими та початковими умовами, замінюється дискретною множиною точок (вузлів), яка називається сіткою;
- замість функцій неперервного аргументу розглядаються функції дискретного аргументу, що визначаються у вузла сітки та мають назву сіткових функцій;

- похідні, що ввійшли в рівняння, краєві та початкові умови, апроксимуються тотожними відношеннями;

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{U_{i-1} + U_{i+1}}{2h}, \quad \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \frac{U_{i-1} - 2U_i + U_{i+1}}{h^2};$$

- інтеграли апроксимуються квадратурними формулами;

- при цьому вихідне рівняння замінюється системою (лінійних, якщо вихідна задача була лінійною) алгебраїчних рівнянь (системою сіткових рівнянь, а стосовно диференціальних рівнянь – різничною схемою).

Для обчислень приймемо наступні початкові дані: температура навколишнього середовища  $t_0 = 12^\circ\text{C}$ ; початкова температура всіх шарів  $t_0 = 15^\circ\text{C}$ ; тепловий потік  $Q = 1100$  Вт; геометричні розміри оболонок на рис. 1:  $d_1 = 1300$  мм,  $d_2 = 2000$  мм,  $d_3 = 2500$  мм,  $d_4 = 4500$  мм.

### Результати та їх обговорення

За результатами розрахунку отримано розподіл температур на графіках кожного елемента багатощарового контейнера.

На рис. 2 зображено результати обчислень для металевого контейнера, а на рис. 3 контейнера, який складається з послідовно розташованих одна в одній металевій та керамічній оболонці. Зовні ці контейнери оточує шар бентоніту та гірські породи.

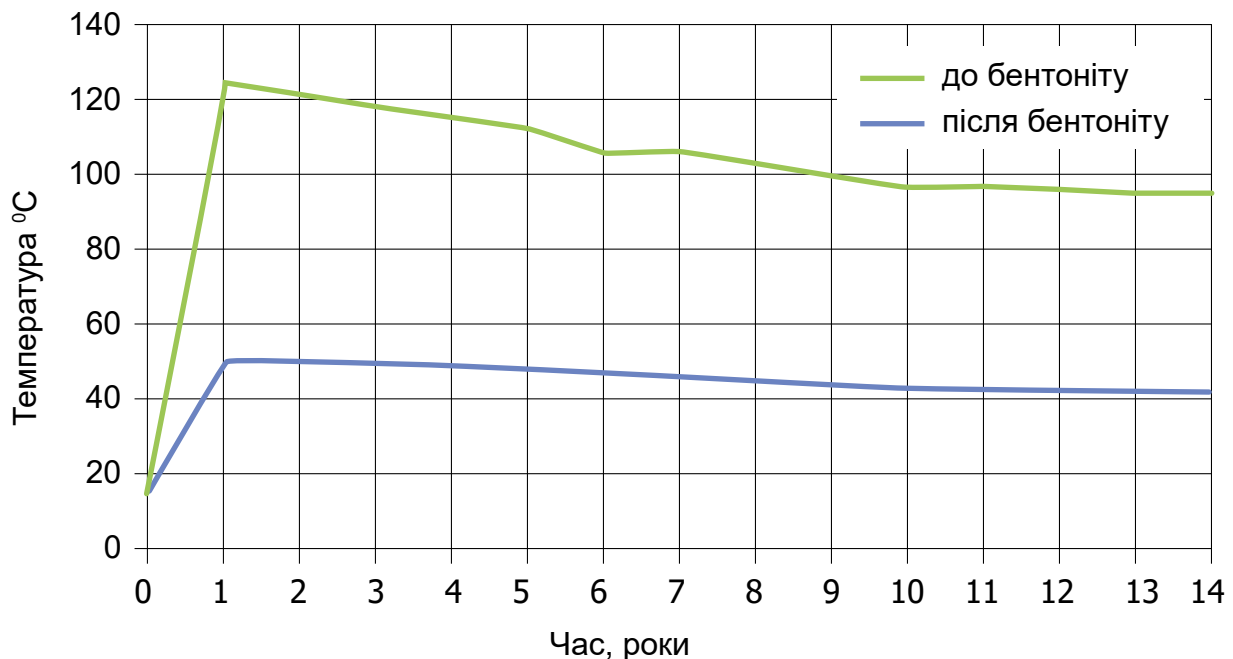


Рис. 2. Графік залежності розподілу температур з часом в одношаровому металевому контейнері

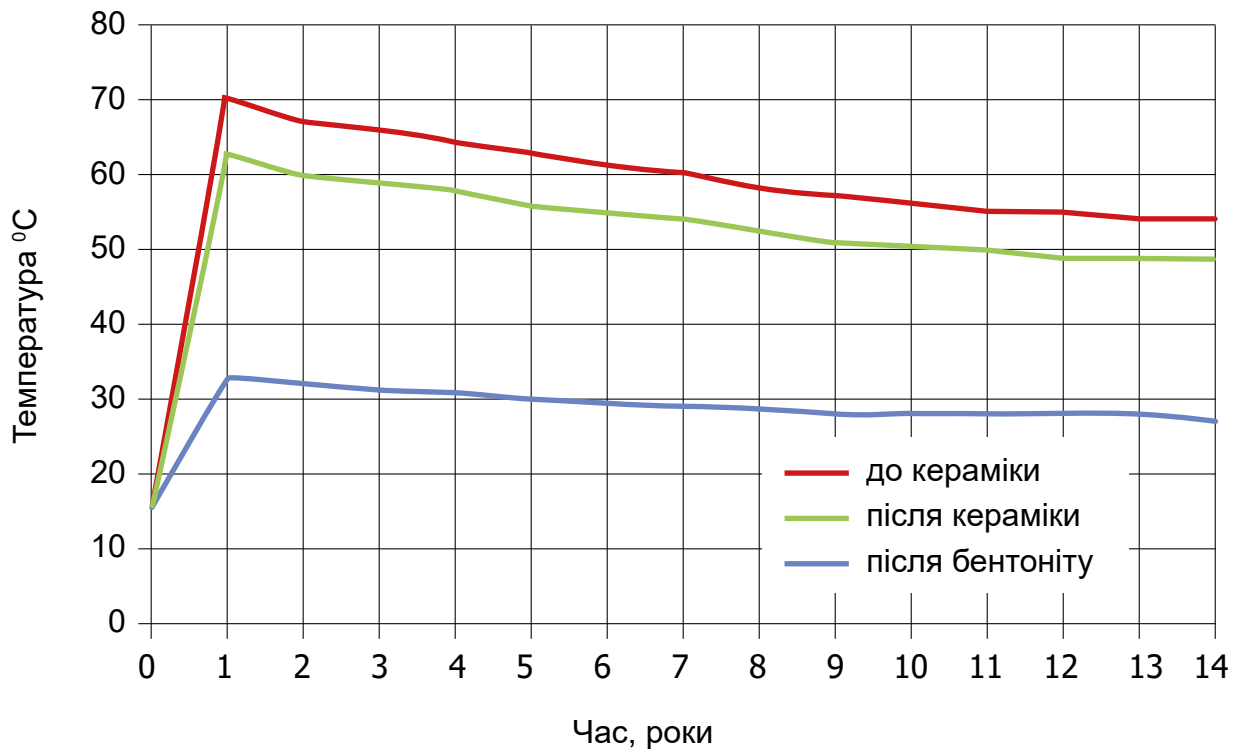


Рис. 3. Графік залежності розподілу температур з часом в багатошаровому контейнері, який має металевий та керамічний шар

Розрахункові дані наведено у вигляді графіків залежності температури від часу перебування контейнера в сховищі (рис. 2 та рис. 3).

### Висновки

З результатів можна зробити висновок, що, встановивши керамічну оболонку, ми досягнемо після неї значно менших температур. З нашого погляду це пояснюється тим, що зовнішня поверхня керамічної оболонки має більшу площу, ніж у звичайного одношарового металевого контейнера, тому і значення теплового потоку через неї буде меншим.

Дослідження підтвердили, що використання керамічних стаканів в системі інженерних бар'єрів дозволяє суттєво знизити температуру навколо контейнера. Це дозволить підвищити надійність на екологічну безпеку сховища радіоактивних відходів.

### References

1. Брєвиту, В., Шибєцкїй, Ю.А., Руденко, Ю.Ф., Кастельцева, Н.Б. «Изоляция радиоактивных отходов в недрах Украины (проблемы и возможные решения)». – К.: – 2006. – 398 с.
2. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, – 1973. – 752