

УДК: 004.94:621.039.7-026.5

*Андрєєв К.В., магістрант
Хом'як Е.А., PhD, ст. викладач
Національний авіакосмічний університет ім. М.С. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
Гусєв О.В., здобувач
Таразанов Ю.А., здобувач
Григор'єва Є.С., к.т.н., ст.викладач
Український державний університет залізничного транспорту*

МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ЗАХОРОНЕНИХ ВІТРИФІКОВАНИХ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ

Захоронення радіоактивних відходів (РАВ) є складним і міждисциплінарним процесом, що охоплює геологію, геохімію, геомеханіку, матеріалознавство та інші особливості. Необхідно охарактеризувати коротко- та довгострокові реакції пов'язаних із означеним процесом труднощів [1].

Критичним питанням є характеристика спричинених пошкоджень або зон з тріщинами на різних етапах захоронення. Моделювання зародження та поширення тріщини за допомогою мультифізичних процесів все ще є актуальною проблемою. Було розроблено різні типи чисельних методів для опису розриву зміщення, пов'язаного з виникненням тріщини [2]. Одним із основних механізмів руйнування є пошкодження, викликане виникненням і поширенням мікротріщин. Макроскопічне руйнування структур найчастіше викликано появою локальних тріщин чи розломів.

Для опису стану захоронених вітрифікованих РАВ було проведено фізико-математичне моделювання процесів, що прогнозуються чи передбачаються у вітрифікованих РАВ. За основу було взято модель, що ґрунтується на законі радіоактивного розпаду [3] і дозволяє прогнозувати зміни в активності радіонуклідів, тому є основою для модуля довгострокового прогнозування:

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t},$$

де: $A(t)$ – активність у момент часу t , Бк; A_0 – початкова активність, Бк; λ – стала розпаду, с^{-1} .

Означена модель дозволяє розрахувати зміни радіаційного навантаження протягом усього періоду зберігання відходів. Для оцінки радіаційної обстановки використовується формула потужності дози:

$$\dot{H} = A \cdot \Gamma / r^2,$$

де: $\dot{H}$ – потужність еквівалентної дози, Зв/год; A – активність джерела, Бк; Γ – гамма-стала радіонукліда, Звм²/(Бкгод); r – відстань від джерела до точки вимірювання, м.

Наведена формула застосовується в алгоритмах автоматичного радіаційного контролю для визначення безпечних відстаней і часу роботи для обслуговуючого персоналу в зоні зберігання вітрифікованих радіоактивних відходів [4]. Тепловиділення було розраховано через загальну потужність:

$$P = \sum A_i \cdot E_{\text{ср } i},$$

де: P – теплова потужність, Вт; A_i – активність i -го радіонукліда, Бк; $E_{\text{ср } i}$ – середня енергія розпаду, що перетворюється у теплову, для i -го радіонукліда, Дж/розпад. Для бета й гамма-випромінювачів практично вся енергія перетворюється у теплову. Таким чином забезпечується робота з термомоніторингу, що дозволить прогнозувати різні температурні режими і запобігати термічному пошкодженню скляної матриці. Було розроблено програмне забезпечення для автоматизованого моніторингу стану захоронених вітрифікованих радіоактивних відходів. Статистична обробка даних вимірювань здійснювалась з використанням стандартного відхилення і визначенням похибки середнього значення:

$$\sigma = \sqrt{\sum (x_i - \mu)^2 / N - 1}, \Delta\mu = \sigma / \sqrt{N}$$

де: μ – вибіркове середнє значення; x_i – i -те вимірювання; N – кількість вимірювань; σ – стандартне відхилення; $\Delta\mu$ – стандартна похибка середнього значення.

Дані статистичні формули складають основу модуля обробки експериментальних даних, оскільки дозволяють забезпечити достовірність результатів вимірювань і подальше автоматичне виявлення аномалій.

Список використаних джерел:

1. Shao J., Yu Zh., Vu M.-N. Multiscale modeling of thermo-hydromechanical behavior of clayey rocks and application to geological disposal of radioactive waste. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2025. Vol. 17, Iss 1. Pp. 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2024.11.008>
2. Morita N. Chapter 2 – Finite element methods. Finite Element Programming in Nonlinear Geomechanics and Transient Flow, 2021. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91112-2.00004-5>
3. «Слідами CHORNOBYL»: навч. посіб. до циклу уроків освітнього проєкту «Слідами Chornobyl» / Мінакова К.О., Петров С.О., Радогуз С.А., Сокол Є.І., Томашевський Р.С., Лазуренко О.П., Сінческул О.Л., Лаврова І.О., Шестопапов О.В., Ільїнська О.І., Зайцев Р.В. – Харків: НТУ «ХПІ», 2019. 112 с.