

УДК 004.942:504.75.06

DOI: 10.22213/2410-9304-2024-2-57-62

Современные аспекты моделирования динамики содержаний радиоактивных веществ в многослойных хранилищах

А. В. Калач, доктор химических наук, профессор,

Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия

М. А. Зайцева, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия

Стабильное развитие атомной энергетики во всем мире за последние несколько десятилетий привело к образованию и накоплению больших объемов радиоактивных отходов. В настоящее время каждое государство, обладающее системами ядерной энергетики, в качестве долгосрочной стратегии обращения с радиоактивными отходами, как правило, использует концепцию геологической утилизации, что требует непрерывное совершенствование методов и средств ввиду ужесточения экологических стандартов обращения с отходами и норм радиационного контроля. В статье рассматриваются особенности моделирования динамики содержаний радиоактивных веществ в однослойных и многослойных хранилищах твердых радиоактивных отходов, полученных в процессе уранового производства, в виде одномерных уравнений и системы уравнений второго и первого порядков. Приведен обзор возможностей существующих моделей, которые позволяют учитывать сложные взаимодействия между радионуклидами и окружающей средой, а также возможные источники загрязнения и механизмы переноса радиоактивных веществ. Сделан акцент на возможности получения данных о временной эволюции содержаний радионуклидов в хранилище для проведения оценки потенциального радиационного воздействия на окружающую среду и человека по результатам математического моделирования с использованием рассматриваемых численных выражений. Показано, что использование рассматриваемых моделей позволяет анализировать и предсказывать перемещение растворенных радионуклидов и других веществ при решении современных научных инженерных и экологических задач. Отмечено, что в настоящее время отсутствует модель, позволяющая осуществлять прогнозирование пространственно-временных изменений содержаний радионуклидов в различных слоях хвостохранилищ с целью исследования накопленных радиоактивных отходов, чтобы раскрыть механизмы их образования, проанализировать особенности распределения, выявить зоны активной концентрации и определить миграционную активность радионуклидов в процессе хранения.

Ключевые слова: безопасность, моделирование, диффузия, массоперенос, многослойная система, водоносный горизонт.

Введение

В середине прошлого века высокоразвитые страны приняли решение о размещении отходов производства предприятий по переработке первичных концентратов урана в приповерхностных хранилищах. В тот период времени подобное решение представлялось самым рациональным и безопасным.

Со временем на предприятиях накопилось значительное количество радиоактивных отходов, включающих химические элементы актиноидов, представленных в виде донных осадков и солесодержащих вод. Исключительно большая часть подобных объектов после завершения их использования десятилетиями сохраняется без действий в подобном состоянии, готовясь к переработке. Подобный подход означает, что данные технологические сооружения представляют потенциальную опасность для окружающих территорий. Исследование текущего состояния данного вопроса подтверждает отсутствие полностью

безопасных инженерных решений для подобного варианта поверхностного хранения радиоактивных отходов.

Следует отметить, что воздействие природных факторов приводит к процессам вымывания и размывания осадков, что неизбежно приводит к проникновению радиоактивных элементов в окружающую среду через просачивание в грунтовые воды. В связи с этим процесс условной обработки радиоактивных отходов, относящихся к таким объектам, необходимо запустить как можно раньше.

Несмотря на лидирующие позиции Российской Федерации в области атомной энергетики, похвастаться опытом кондиционирования приповерхностных хранилищ предприятий переработки первичных концентратов урана не представляется возможным. При этом постоянное ужесточение экологических стандартов обращения с отходами и норм радиационного контроля требует наличие набора действенных решений этой нетривиальной задачи.

В процессе эксплуатации приповерхностных хранилищ часто используются не только для хранения радиоактивных отходов, но и для других видов отходов предприятия, особенно те, которые занимаются комплексной деятельностью. В связи с этим окончательное формирование и осаждение твердой фазы из сбросных пульп происходит именно в приповерхностном хранилище, и в этом случае предсказать поведение актиноидов или радия, который вносит основной вклад в удельную активность шламов, основываясь лишь на анализе технологической схемы, невозможно. Необходимо провести комплекс исследований накопленных радиоактивных отходов, чтобы раскрыть механизмы их образования, проанализировать распределение актиноидов в ходе этих процессов, выявить зоны их активной концентрации и определить миграционную активность в процессе хранения.

Таким образом, высокоэффективное решение проблемы кондиционирования твердых радиоактивных отходов приповерхностных хранилищ возможно только с учетом техногенного характера их формирования, а также специфики каждого отдельного производства. Следует отметить, что решение этой задачи невозможно на основе существующих универсальных подходов. Кроме того, использование упрощенных моделей приводит к занижению в прогнозных результатов [1–11].

В связи с этими выявленными особенностями представляется актуальным решение научной задачи, направленной на совершенствование способов расчета и прогнозирования изменения содержания радионуклидов в многослойных хранилищах твердых отходов с последующей оценкой дозовой нагрузки на биоту с использованием возможностей современных методов математического моделирования.

Цель публикации – исследование возможностей современных математических моделей для описания процессов переноса и оценки динамики поведения радионуклидов в хранилищах.

Современные аспекты математического моделирования поведения радионуклидов в хранилищах

Интерес к математическому моделированию поведения радионуклидов возник давно и продолжает оставаться устойчивым уже достаточно долгое время.

1. *Однофазная (однослойная) среда, содержащая РН.*

Вертикальную молекулярную диффузию, как правило, представляют моделью [12]:

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

где C – концентрация РН; D – коэффициент диффузии.

Начальное условие: $C(x,0)=\varphi(x)$.

Краевые условия: $C(0,t)=0$.

Поток вещества через единичное сечение при $x=l$ рассчитывают согласно закону Фика:

$$J_D = -D_m \left. \frac{\partial C}{\partial x} \right|_{x=l}. \quad (2)$$

Использованием метода разделения переменных:

$$C(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \frac{p^2 - \mu_n^2}{p(p+1) + \mu_n^2} \exp\left(-\frac{\mu_n^2 D t^2}{l^2}\right) \sin \frac{\mu_n x}{l}, \quad (3)$$

$$A_n = \frac{2}{l} \int_0^l \varphi(x) \sin \frac{\mu_n x}{l} dx, \quad p = Hl,$$

где $\mu_{1,2} \dots \mu_n$ представляют собой положительные корни уравнения $\operatorname{tg} \mu = -\frac{\mu}{p}$.

2. *Модель микродисперсии вдоль продольной оси.*

Рассмотрим нестационарную динамическую модель, описывающую распределение концентрации РН вдоль линии тока:

$$\nabla J = v_l \left[\frac{\partial c}{\partial l} - \left(\delta_L + \frac{D_M}{v_l} \right) \frac{\partial^2 c}{\partial l^2} \right]. \quad (4)$$

Для получения решения основной задачи, при которой концентрация РН на входной границе потока постоянна, скорость фильтрации v неизменна вдоль оси x и начальные условия однородны, распределение концентрации возможно описать выражением следующего вида [13, 14]:

$$\bar{c} = 0,5 \left[\operatorname{erfc}(\xi) + e^{Pe} \operatorname{erfc}(\xi') \right], \quad (5)$$

$$\text{где } \xi = \frac{x - vt/n}{\sqrt{4D_L t/n}}, \quad \xi' = \frac{x + vt/n}{\sqrt{4D_L t/n}}, \quad Pe = \frac{vx}{D_L}.$$

Следует отметить, что при выполнении неравенства $Pe > 50$ получим выражение следующего вида:

$$\bar{c} = 0,5 \operatorname{erfc}(\xi). \quad (6)$$

В частности, согласно выражению (6), текущая координата x_0 фронта переноса (линии с постоянной концентрацией $\bar{c} = 0,5$) определяется фактической скоростью фильтрации (u).

При этом по (6) получаем уравнение движения для любой изолинии с концентрацией \bar{c} , близкой к фронту переноса:

$$x_{\bar{c}} = \frac{vt}{n} \pm 2|\xi| \sqrt{(Dt)/n}. \quad (7)$$

Отметим, что решение (5) получено для граничного условия I рода на входной границе потока, без учета диффузионной (дисперсионной) компоненты массопереноса.

В связи с этим для описания миграции в породах с низкой проницаемостью может потребоваться другое решение краевой задачи [15], полученное за счет учета более строгого граничного условия III рода.

В этом случае применяют квазиодномерное уравнение массопереноса, не учитывающее молекулярную диффузию:

$$n \frac{\partial c}{\partial t} + v_l \frac{\partial c}{\partial l} = \delta_L v_l \frac{\partial^2 c}{\partial l^2}, \quad (8)$$

где l и $v_l = f(l)$ – обозначают текущую длину передачи и скорость фильтрации вдоль фиксированного пути.

Для приближенного решения этого уравнения применяемая к однородным начальным и граничным условиям используется формула (6), где для аргумента ξ существуют два основных представления:

$$\xi = \frac{l - l_0}{\sqrt{2\sigma_l^2}} \quad \text{или} \quad \xi = \frac{t_0 - t}{\sqrt{2\sigma_t^2}}, \quad (9)$$

где l_0 и t_0 – это пространственные и временные координаты фронтов поршневых вытеснений; σ_l^2 , σ_t^2 – статические показатели дисперсии распределения концентрации, связанные с размером переходной зоны:

$$\sigma_l^2 = 2\delta_L u_i^2 \int_0^{l_0} \frac{dl}{u_i^2}, \quad \sigma_t^2 = 2\delta_L \int_0^{t_0} \frac{dt}{u_i}, \quad (10)$$

где $u_i = v_i / n$ – скорость радиоактивной частицы перед перемещением в момент времени t ; $u_i = v_i / n$ – реальная скорость движения частицы с фактической координатой l .

При условии неучитывания величин σ_l^2 , σ_t^2 для плоскопараллельного (с постоянной скоростью фильтрации v) случая получим выражения следующего вида:

$$\sigma_l^2 = \frac{2x_0^2}{Pe_0}, \quad \sigma_t^2 = \frac{2t_0^2}{Pe}, \quad (11)$$

где $Pe_0 = l_0 / \sigma_L$, $Pe = l / \sigma_L$, $l \equiv x, r$.

3. *Однофазная среда, молекулярная диффузия и конвективный дисперсионный перенос (гидродисперсия).*

При большом диаметре частиц грунта присутствует и продольная гидродисперсия, представленная в виде модели [16]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \omega \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \lambda(t)C, \quad (12)$$

где ω – коэффициент конвективного переноса; λ – коэффициент выведения РН из слоя и естественного радиоактивного распада.

Решение уравнения (12) с прежними начальными и краевыми условиями имеет вид:

$$C(x, t) = \frac{Q}{\sqrt{D}} f_1(x) f_2(t) [f_3(x, t) - f_4(x, t) f_5(x, t)],$$

$$f_1(x) = \exp\left(\frac{Ux}{2D}\right), \quad f_2(x) = \exp\left[-\left(\frac{U^2}{4D} + \Lambda\right)t\right],$$

$$f_3(x, t) = \frac{1}{\sqrt{\pi t}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right), \quad (13)$$

$$f_4(t) = \frac{U}{2\sqrt{D}} \exp\left[-\frac{U(x+0,5Ut)}{2D}\right],$$

$$f_5(x, t) = \operatorname{erfc}\left[\frac{1}{2}\left(\frac{2}{\sqrt{D}} + U\sqrt{\frac{t}{D}}\right)\right],$$

где U и Λ – коэффициенты переноса и выведения РН; Q – мощность загрязнения; $\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\sigma}} \int_x^\infty e^{-t^2} dt$ – табулированная функция.

4. *Многослойная система, состоящая из жидких РАО, слоя глины, а также ненасыщенной зоны, водоносного горизонта и водоупора:*

$$(n_0 + k_d p) \frac{d}{dt} C(t, x) = D \frac{\partial^2 C(x, t)}{\partial x^2}, \quad (14)$$

начальное условие:

$$C(t, x) = \frac{E}{ab(n_0 + K_d p)} \delta(x) \Big|_{t=0},$$

граничные условия:

$$\frac{\partial C(t, x)}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0, \quad I = -D \frac{\partial C}{\partial x} \Big|_{x=h},$$

где h – толщина барьера, м; E – начальная активность области источника, Бк; C – концентрация водородных ионов в воздухе, измеряемая физической величиной РН, выраженной в Бк/м³; a , b – длина и ширина помещения, м; n_0 – активный пористый материал, обладающий высокой плотностью; K_d – коэффициент распределения молекулы РН между твердой и жидкой фазами, м³/кг; p – показатель плотности материала, выраженный в кг/м³; D – значение коэффициента диффузии воды в молекулярных единицах, м²/год; $\lambda = \frac{\ln(2)}{T}$ – константа полураспада; T – период полураспада.

Аналитическое решение уравнения (14) имеет вид:

$$C(t, x) = \frac{E}{ab(n_0 + K_a \rho)} \exp(-\lambda t) W(t, x), \quad (15)$$

где $W(t)$ – функция, вычисляемая с помощью справочника [17].

Следует отметить, что поток на выходе из глин этого барьера характеризуется максимумом через 1000 лет.

Заключение

Таким образом, в статье рассмотрены математические модели распределения и изменения содержаний РН в виде одномерных уравнений и системы уравнений второго и первого порядков.

Сделан акцент на особенностях моделей, описывающих процессы диффузии, микродисперсии и гидродисперсии в однофазной среде, которые учитывают наличие растворенных радионуклидов (РН) и их перемещение в исследуемой среде.

В первой модели рассматривается однофазная среда с растворенными молекулами РН, в которой вертикальную молекулярную диффузию описывает уравнение диффузии.

Во второй, динамической модели рассматривается описание распределения содержаний РН вдоль линии тока.

В третьей модели рассматривается однофазная среда с учетом молекулярной диффузии и конвективного дисперсионного переноса (гидродисперсии).

Причем в данном случае уравнение для концентрации включает коэффициент конвективного переноса и коэффициент выведения РН из слоя. Решение этого уравнения позволяет описать процессы переноса РН в среде с большими диаметрами частиц грунта.

Таким образом, исследованы модели, позволяющие описать и исследовать процессы диффузии, микродисперсии и гидродисперсии РН в однофазной среде.

Следует отметить, что использование этих моделей позволяет анализировать и предсказывать перемещение растворенных радионуклидов и других веществ при решении современных научных инженерных и экологических задач.

Однако обзор математических моделей показал, что в настоящее время отсутствует модель, позволяющая осуществлять прогнозирование пространственно-временных изменений содержания РН в различных слоях хвостохранилища.

Библиографические ссылки

1. Капырин И. В., Уткин С. С., Василевский Ю. В. Концепция разработки и использования расчетного комплекса GeRa для обоснования безопасности пунктов захоронения радиоактивных отходов // Вестник атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 2014. № 4. С. 44–54.
2. Сускин В. В., Капырин И. В., Болдырев К. А. Подходы к геомиграционному моделированию при оценке безопасности пункта захоронения РАО в расчетном комплексе GERA // Радиоактивные отходы. 2023. № 3 (24). С. 117–125.
3. Капырин И. В. Состояние и перспективы развития методов геомиграционного моделирования для анализа вопросов долгосрочного обеспечения радиационной безопасности // Вопросы радиационной безопасности. 2022. № 4 (108). С. 3–16.
4. Параллельные вычисления в гидрогеологическом расчетном коде GeRa: организация и эффективность / И. В. Капырин, И. Н. Коньшин, Г. В. Копытов, В. К. Крамаренко // Вычислительные методы и программирование. 2018. Т. 19, № 4. С. 356–367.
5. Anuprienko D. V., Kapyrin I. V. Modeling groundwater flow in unconfined conditions: numerical model and solvers' efficiency // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2018. Т. 39. № 7. С. 867–873.
6. Обзор зарубежных практик захоронения ОЯТ и РАО / Н. С. Цебаковская, С. С. Уткин, И. В. Капырин, Н. В. Медянцева, А. В. Шамина. М. : Комтехпринт, 2015. 208 с.
7. Носов А. В., Крылов А. Л., Арон Д. В., Меркушов В. П. Обзор существующих подходов к моделированию распространения радиоактивных веществ в водных объектах суши в рамках разработки РПК «БАКИС». Препринт. Ин-т проблем безопас. развития атом. энергетики РАН, № ИБРАЕ-2018-04. М. : ИБРАЭ РАН, 2018. 43 с.
8. Комплекс программ нимфа. Методика решения задач нелинейной однофазной фильтрации и тепломассопереноса жидкости в пористых средах / Р. М. Шагалиев, О. И. Бутнев, М. Л. Глинский, А. А. Куваев, А. Н. Бахаев, И. В. Горев, М. В. Журавлева, С. С. Колесников, Е. Н. Лысова, П. А. Машенькин, В. А. Пронин, М. Е. Семенов, М. Л. Сидоров // Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2020. Т. 25-1. С. 28–43.
9. Постоянно действующая математическая модель ореолов загрязнённых подземных вод вблизи водоёмов-хранилищ ЖРО Карачай и Старое болото ФГУП «ПО «МАЯК» / А. В. Глаголев, Е. Г. Дрожко, А. А. Куваев, Н. М. Куринова, Н. В. Макарова, Т. В. Суханова // Вопросы радиационной безопасности. 2022. № 4 (108). С. 58–70.
10. Анисимов Н. А., Куваев А. А. Численное моделирование влагопереноса в конструкциях приповерхностного пункта захоронения радиоактивных отходов // Радиоактивные отходы. 2022. № 3 (20). С. 97–106.

11. Анисимов Н. А., Дрожко Е. Г., Куваев А. А. К вопросу о численном моделировании источников радиоактивного загрязнения грунтов и грунтовых вод при обосновании вывода радиационно опасных объектов из эксплуатации // Вопросы радиационной безопасности. 2019. № 4 (96). С. 3–12.

12. Свиридова Т. С. Миграция цезия в почвах зоны природного и техногенного радиоактивного загрязнения // Изв. ТулГУ. Сер. Естественные науки. 2009. Вып. 1. С. 259–264.

13. Bear J. Dynamics of fluids in porous media // Amer. Els. N.Y., 1972. 764 p.

14. Ogata A. Theory of dispersion in granular medium. Fluid. Movement in Earth Materials. Geological Survey Professional. Paper 411-1, 1970, 34 p.

15. Мироненко В. А., Румынин В. Г., Учаев В. К. Охрана подземных вод в горнодобывающих районах (опыт гидрогеологических исследований). Л. : Недра, 1980. 320 с.

16. Шарафутдинов Р. Б., Ушанов О. Н., Корж В. И. Моделирование диффузии радионуклидов из приповерхностных хранилищ жидких РАО // Ядерная и радиационная безопасность. 2008. № 1. С. 18–25.

17. Полянин А. Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики. М. : Физико-математическая литература. 2001. 576 с.

References

1. Kapyrin I.V., Utkin S.S., Vasilevsky Yu.V. [The concept of development and use of the GeRa calculation complex to justify the safety of radioactive waste disposal sites]. *Vestnik atomnoi nauki i tekhniki. Ser. Matematicheskoe modelirovanie fizicheskikh protsessov*. 2014. No. 4. P. 44-54 (in Russ.).

2. Suskin V.V., Kapyrin I.V., Boldyrev K.A. [Approaches to geomigration modeling when assessing the safety of a radioactive waste disposal site in the GERA calculation complex]. *Radioaktivnye otkhody*. 2023. No. 3. Pp. 117-125 (in Russ.).

3. Kapyrin I.V. [State and prospects for the development of geomigration modeling methods for analyzing long-term radiation safety issues]. *Radiation Safety Issues*. 2022. No. 4 (108). pp. 3-16.

4. Kapyrin I.V., Konshin I.N., Kopytov G.V., Kramarenko V.K. [Parallel calculations in the hydrogeological calculation code GeRa: organization and efficiency]. *Voprosy radiatsionnoi bezopasnosti*. 2018. Vol. 19, no. 4. Pp. 356-367 (in Russ.).

5. Anuprienko D.V., Kapyrin I.V. [Modeling groundwater flow in unconfined conditions: numerical model and solvers' efficiency]. *Lobachevskii Journal of Mathematics*. 2018. Vol. 39, no. 7. Pp. 867-873.

6. Tsebakovskaya N.S., Utkin S.S., Kapyrin I.V., Medyantsev N.V., Shamina A.V. *Obzor zarubezhnykh praktik zakhroneniya OYaT i RAO* [Review of foreign practices for disposal of spent nuclear fuel and radioactive waste]. Moscow: Komtekhpriint Publ., 2015. 208 p. (in Russ.).

7. Nosov A.V., Krylov A.L., Aron D.V., Merkuшов V.P. *Obzor sushchestvuyushchikh podkhodov k*

modelirovaniyu rasprostraneniya radioaktivnykh veshchestv v vodnykh ob"ektakh sushy v ramkakh razrabotki RPK «BAKIS». [Review of existing approaches to modeling the spread of radioactive substances in water bodies on land as part of the development of the BAKIS RPC]. Preprint. Institute of problems is safe. development atom. energetics RAS, No. IBRAE-2018-04. Moscow: IBRAE RAS, 2018. 43 p. (in Russ.).

8. Shagaliev R.M., Butnev O.I., Glinsky M.L., Kuvaev A.A., Bakhaev A.N., Gorev I.V., Zhuravleva M.V., Kolesnikov S.S., Lysova E.N., Mashenkin P.A., Pronin V.A., Semenov M.E., Sidorov M.L. *Kompleks programm nimfa. Metodika resheniya zadach nelineinoi odnofaznoi fil'tratsii i teplomassoperenosa zhidkosti v poristyykh sredakh* [Nymph program complex. Methodology for solving problems of nonlinear single-phase filtration and heat and mass transfer of liquid in porous media]. *Trudy RFYaTs-VNIIEF* [Proceedings of the RFNC-VNIIEF]. 2020. T. 25-1. pp. 28-43.

9. Glagolev A.V., Drozhko E.G., Kuvaev A.A., Kurinova N.M., Makarova N.V., Sukhanova T.V. [A permanent mathematical model of halos of contaminated groundwater near the liquid radioactive waste storage reservoirs Karachay and Staroye Boloto FSUE PA MAYAK]. *Voprosy radiatsionnoi bezopasnosti*. 2022. No. 4. Pp. 58-70 (in Russ.).

10. Anisimov N.A., Kuvaev A.A. [Numerical modeling of moisture transfer in the structures of a near-surface disposal site for radioactive waste]. *Radioaktivnye otkhody*. 2022. No. 3. Pp. 97-106 (in Russ.).

11. Anisimov N.A., Drozhko E.G., Kuvaev A.A. [On the issue of numerical modeling of sources of radioactive contamination of soils and groundwater when justifying the decommissioning of radiation hazardous facilities]. *Voprosy radiatsionnoi bezopasnosti*. 2019. No. 4. Pp. 3-12 (in Russ.).

12. Sviridova T.S. [Migration of cesium in soils of the zone of natural and technogenic radioactive contamination]. *Izv. TulGU. Ser. Estestvennyye nauki*. 2009. Vol. 1. Pp. 259-264 (in Russ.).

13. Bear J. *Dynamics of fluids in porous media*. Amer. Els. N.Y., 1972. 764 p.

14. Ogata A. *Theory of dispersion in granular medium. Fluid Movement in Earth Materials*. Geological Survey Professional Paper 411-1, 1970, 34 p.

15. Mironenko V.A., Romanin V.G., Uchaev V.K. *Okhrana podzemnykh vod v gornodobyvayushchikh raionakh (opyt gidrogeologicheskikh issledovaniy)* [Protection of groundwater in mining areas (experience of hydrogeological research)]. Leningrad: Nedra Publ., 1980. 320 p. (in Russ.).

16. Sharafutdinov R.B., Ushanov O.N., Korzh V.I. [Modeling the diffusion of radionuclides from near-surface storage facilities for liquid radioactive waste]. *Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost'*. 2008. No. 1. Pp. 18-25 (in Russ.).

17. Polyaniin A.D. *Spravochnik po lineinym uravneniyam matematicheskoi fiziki* [Handbook of linear equations of mathematical physics]. Moscow: Physics and mathematics literature. 2001. 576 p. (in Russ.).

Modern Features of Radioactive Substance Content Dynamics Simulation in Multi-walled Stores

A. V. Kalach, Doctor of Chemistry, Professor, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia

M. A. Zaytseva, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia

The world's sustainable development of nuclear power engineering during last decades resulted in large number of radioactive wastes. Currently, each state having nuclear power engineering systems in possession, utilizes the concept of geological disposal as a long-term strategy of radioactive wastes treatment that requires continuous advancements in methods and means due to wastes and standards of radiation monitoring stringency. The article considers the features of radioactive substance content dynamics simulation for single- and multi-walled solid radioactive waste stores, being the product of uranium production, represented by one-dimensional equations and the second and first order sets of equations. The potentials of the existing models, that take into account complex interactions between radionuclides and environment along with possible sources of pollution and mechanisms of radioactive substance transfer, were reviewed. The data availability of temporary radionuclide content evolution inside the store to assess possible effect on environment and people based on the results of mathematical modelling of the considered numerical expressions was emphasized. It was shown, that current models allow analysing and predicting transfer of radionuclide solutions and other substances due to finding solution to contemporary scientific engineering and environmental problems. It was noted, that nowadays there is no model providing forecast of radionuclide content spatial and temporal variations within various store layers to study the accumulated radioactive wastes revealing the mechanisms of their formation, to analyse the features of their distribution, to determine the areas of their active concentration and to define the radionuclide migration activity during storage.

Keywords: safety, simulation, diffusion, mass transfer, multi-walled system, aquifer.

Получено: 09.01.24

Образец цитирования

Калач А. В., Зайцева М. А. Современные аспекты моделирования динамики содержаний радиоактивных веществ в многослойных хранилищах // Интеллектуальные системы в производстве. 2024. Т. 22, № 2. С. 57–62. DOI: 10.22213/2410-9304-2024-2-57-62.

For Citation

Kalach A.V., Zaytseva M.A. [Modern Features of Radioactive Substance Content Dynamics Simulation in Multi-walled Stores]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2024, vol. 22, no. 2, pp. 57-62. DOI: 10.22213/2410-9304-2024-2-57-62.