

Научная статья
УДК 621.039

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА СРЕДЫ ЧЕРЕЗ ФИЛЬТР-КОНТЕЙНЕР В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБА ПОДВОДА И ТИПА СОРБЕНТА

**Илья Алексеевич Бессонов¹, Артем Дмитриевич Лезов,
Сергей Валерьевич Чалпанов, Максим Сергеевич Смыков,
Глеб Игоревич Скворцов, Олег Леонидович Ташлыков,
Виктория Андреевна Климова**

Уральский федеральный университет имени первого Президента
России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

¹ ilja.bessonov2014@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены пути повышения эффективности конструкции фильтр-контейнера для ионоселективной очистки жидких радиоактивных отходов путем увеличения суммарной площади сечения проходных каналов в полости сорбента. Построена твердотельная модель различных компоновок конструкции. Проведена оценка эффективности различных сорбентов на относительную пропускную способность и минимальное сопротивление потока жидкости.

Ключевые слова: ионоселективная очистка, жидкие радиоактивные отходы, сорбент, компьютерное моделирование, гидродинамическое сопротивление

Для цитирования: Исследование характеристик потока среды через фильтр-контейнер в зависимости от способа подвода и типа сорбента / И. А. Бессонов, А. Д. Лезов, С. В. Чалпанов, М. С. Смыков, Г. И. Скворцов, О. Л. Тышлыков, В. А. Климова // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика. Даниловские чтения — 2021 = Energy and Resource Saving. Power Supply. Non-traditional and Renewable Energy Sources. Nuclear Energy. Danilov Readings — 2021 : сборник научных трудов. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2023. С. 484–491.

© Бессонов И. А., Лезов А. Д., Чалпанов С. В., Смыков М. С., Скворцов Г. И., Ташлыков О. Л., Климова В. А., 2023

Original article

INVESTIGATION OF THE CHARACTERISTICS OF THE FLOW OF THE MEDIUM THROUGH THE FILTER-CONTAINER DEPENDING ON THE METHOD OF SUPPLY AND THE TYPE OF SORBENT

Ilya A. Bessonov¹, Artem D. Lezov, Sergei V. Chalpanov, Maxim S. Smykov, Gleb I. Skvortsov, Oleg L. Tashlykov, Victoria A. Klimova

Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

¹ ilja.bessonov2014@yandex.ru

Abstract. The ways of increasing the efficiency of the design of the filter-container for ion-selective purification of liquid radioactive waste by increasing the total cross-sectional area of the passage channels in the sorbent cavity are considered. A solid model of various layouts of the structure has been built. Evaluation of the effectiveness of various sorbents on the relative throughput and the minimum resistance of the fluid flow has been carried out.

Keywords: ion-selective cleaning, liquid radioactive waste, sorbent, computer simulation, hydrodynamic resistance

For citation: Bessonov I. A., Lezov A. D., Chalpanov S. V., Smykov M. S., Skvortsov G. I., Tyshlykov O. L., Klimova V. A. (2023). Issledovaniye kharakteristik potoka sredy cherez fil'tr-konteyner v zavisimosti ot sposoba podvoda i tipa sorbenta [Investigation of the characteristics of the flow of the medium through the filter-container depending on the method of supply and the type of sorbent]. *Ehnergo- i resursosberezhenie. Ehnergoobespechenie. Netradicionnye i vozobnovlyаемые istochniki ehnergii. Atomnaya ehnergetika. Danilovskie chteniya — 2021* [Energy and Resource Saving. Power Supply. Non-traditional and Renewable Energy Sources. Nuclear Energy. Danilov Readings — 2021]. Ekaterinburg : Ural University Publishing House, 2023. P. 484–491. (In Russ).

Образование радиоактивных отходов (РАО) является специфической особенностью функционирования АЭС. В связи с этим решение проблемы экологически безопасного обращения с РАО и обеспечение безопасной эксплуатации АЭС становятся основными условиями приемлемости использования атомной энергетики как надежного источника энергии, обеспечивающего устойчивое развитие человечества [1–3].

Жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) представляют собой гомогенные или гетерогенные смеси (пульпы, эмульсии, суспензии) в кислом или щелочном состоянии. Эксплуатационные ЖРО загрязнены продуктами деления (цезий, стронций, йод), радионуклидами коррозионного происхождения (кобальт, никель, марганец), веществами, используемыми для поддержания водно-химического режима и дезактивации оборудования.

Радиоактивные вещества в растворах кубовых остатков находятся в виде ионов, нейтральных молекул и коллоидных частиц. Основными радионуклидами в кубовых остатках являются $^{134,137}\text{Cs}$, ^{60}Co , ^{54}Mn . Для изотопов цезия характерна ионная форма нахождения. Радионуклиды кобальта и марганца в кубовых остатках находятся в форме комплексов с соединениями, которые используются для дезактивации оборудования.

Основной задачей при обращении с ЖРО является окончательная изоляция кондиционированных РАО. Среди методов кондиционирования наибольшее сокращение объемов ЖРО происходит при селективной сорбции. Целью исследования является изучение зависимости гидродинамического сопротивления ловушки от её конструкции. Также рассматривается зависимость создаваемого слоем сорбента сопротивления от его марки.

Для изучения было выбрано три сорбента НПП «Эксорб», занимающих ведущее место среди производителей сорбентов для ионоселективной очистки в России и мире.

Для определения гидравлического сопротивления выбранных образцов была проведена серия экспериментов по исследованию течения воды через слой сорбента.

В ходе выполнения эксперимента были получены зависимости гидродинамического сопротивления для всех трех образцов.

В программном комплексе *SOLIDWORKS Flow Simulation* пористая среда моделируется как распределенное по объему сопротивление течению. При создании корректной модели нужно задать для слоя тип проницаемости, порозность и зависимость коэффициента гидродинамического сопротивления от параметров течения (перепада давления в слое, скорости или расхода жидкости, линейных размеров слоя, размера поры и других). Можно выбрать комбинацию параметров, наилучшим образом подходящую для условий конкретного моделирования.

Полученные результаты были добавлены в инженерную базу данных *SOLIDWORKS Flow Simulation*.

Следующим этапом работы была разработка твердотельной модели фильтр-контейнеров (рис. 1). В существующих конструкциях фильтров по мере движения очищаемой среды эффективность фильтрации снижается.

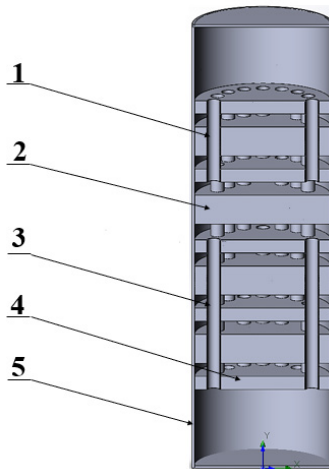


Рис. 1. Твердотельная модель фильтр-контейнера:

- 1 — подводящие трубки; 2 — слой сорбента; 3 — отводящие трубки;
4 — перегородка; 5 — корпус

Повысить эффективность использования объема фильтрующего материала можно при подаче очищаемой среды одновременно в несколько слоев сорбента. В качестве примера можно привести конструкцию устройства «МАНР» для очистки натрия от изотопов цезия, которая использовалась на реакторах БН-350 и БН-600. В ней натрий одновременно подавался по четырем параллельным каналам в разные слои сорбента [4].

Одним из основных недостатков данной конструкции является создание гидравлического сопротивления при входе и выходе в подводящих трубках (создаётся местное сопротивление). Также существенный вклад вносит развитие вихревого движения над слоем сорбента, так как имеется только один сток для жидкости из камеры, причём он смещен от центра. Для решения проблемы предложено увеличить количество трубок для подачи очищаемой среды в каждый слой. Уве-

личение количества подводящих труб должно привести к снижению гидравлического сопротивления конструкции за счет увеличения площади проходного сечения, а также привести к уменьшению образования вихревых зон.

Моделирование режимов течения очищаемой среды в фильтр-контейнере проведено в пакете вычислительной гидродинамики *SOLIDWORKS Flow Simulation*. На рисунке 1 представлена модель с 4-мя подводящими трубками в объеме сорбента. Общее число трубок проходящих через сорбент равно 12.

В результате моделирования получены значения гидравлического сопротивления для всех 4-х типов конструкции (рис. 2). Видно, что с увеличением числа трубок значение сопротивление потоку снижается. Также уменьшается завихренность около сорбционной зоны и сопротивление потоку.



Рис. 2. Результаты моделирования различных конструкций фильтр-контейнеров

Согласно уравнению Эргуна значение гидравлического сопротивления пористой среды зависит от значения порозности [4]. Меняя марку сорбента, мы можем менять гидравлическое сопротивление слоя. Нами было выполнено моделирование течение потока через все три образца. Для сохранения во всех образцах времени нахождения сре-

ды в слое было произведено изменение толщины объема сорбента, что также вызвало изменение значений гидравлического сопротивления. Сравнение проводилось относительно сорбента СМЕТ. По результатам моделирования видно, что сорбент марки «МОДИКС» обладает наименьшим гидравлическим сопротивлением при постоянном времени нахождения всех образцов в слое.

В результате моделирования было выявлено, что с увеличением количества трубок сопротивление конструкции снижается. Также на основе моделирования различных марок сорбента, было выявлено, что наименьшим сопротивлением обладает сорбент марки «МОДИКС» Проведенная оценка рассматривает только гидродинамический эффект от слоя и не учитывает влияния на эффективность сорбентов их поглощающей способности. Для выявления наиболее эффективного сорбента необходимо проводить дополнительную серию экспериментов, по результатам которой можно сделать комплексный вывод об эффективности определенной марки сорбента.

Список источников

1. Новиков Г. А., Ташлыков О. Л., Щеклеин С. Е. Обеспечение безопасности в области использования атомной энергии : учебник. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. 552 с.
2. Атомные электростанции с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем: учебное пособие. В 2 ч. / А. И. Бельтюков [и др.] ; под общ. ред. С. Е. Щеклеина, О. Л. Ташлыкова. Екатеринбург : УрФУ, 2013. Ч. 1. 548 с.
3. Повышение Эффективности локализации радионуклидов кобальт-60 и цезий-137 из жидких радиоактивных отходов в решении проблемы обеспечения радиационной безопасности АЭС / В. П. Ремез, О. Л. Ташлыков, С. Е. Щеклеин [и др.] // Ядерная физика и инжиниринг. 2016. Т. 7, № 2. С. 129–137.
4. Simulation method of the low-Re flows in the packed bed technological equipment / A. P. Khomyakov, S. V. Mordanov, A. S. Lavrov and D. I. Grinyov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 862 (6). P. 062020. doi:10.1088/1757-899X/862/6/062020.

References

1. Novikov G. A., Tashlykov O. L., Scheklein S. E. Safety assurance in the field of atomic energy use : textbook. Ekaterinburg : Ural Publishing House University, 2017. 552 p.
2. Nuclear power plants with sodium-cooled fast reactors : a tutorial. At 2 / A. I. Beltyukov [and others] ; under total. ed. S. E. Shcheklein, O. L. Tashlykov. Ekaterinburg : UrFU, 2013. Part 1. 548 p.
3. Increasing the Efficiency of localization of cobalt-60 and cesium-137 radionuclides from liquid radioactive waste in solving the problem of ensuring the radiation safety of nuclear power plants / V. P. Remez, O. L. Tashlykov, S. E. Scheklein [et al.] // Nuclear Physics and Engineering. 2016. Vol. 7, No. 2. P. 129–137.
4. Simulation method of the low-Re flows in the packed bed technological equipment / A. P. Khomyakov, S. V. Mordanov, A. S. Lavrov and D. I. Grinyov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 862 (6). P. 062020.

Информация об авторах

Илья Алексеевич Бессонов — студент Уральского энергетического института Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия), ilja.bessonov2014@yandex.ru

Артем Дмитриевич Лезов — студент Уральского энергетического института Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия), cool.lezov@mail.ru

Сергей Валерьевич Чалпанов — студент Уральского энергетического института Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия), chalpanovs@mail.ru

Максим Сергеевич Смыков — студент Уральского энергетического института Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия), maks2001122@gmail.com

Глеб Игоревич Скворцов — студент Уральского энергетического института Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия), gskvortcov@mail.ru

Олег Леонидович Ташлыков — кандидат технических наук, доцент кафедры атомных станций и возобновляемых источников энергии

Уральского энергетического института Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия), otashlykov@list.ru

Виктория Андреевна Климова — старший преподаватель кафедры атомных станций и возобновляемых источников энергии Уральского энергетического института Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия), v.a.klimova@urfu.ru

Information about the authors

Ilya A. Bessonov — Student of the Ural Power Engineering Institute of the Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia), ilja.bessonov2014@yandex.ru

Artem D. Lezov — Student of the Ural Power Engineering Institute of the Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia), cool.lezov@mail.ru

Sergey V. Chalpanov — Student of the Ural Power Engineering Institute of the Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia), chalpanovs@mail.ru

Maxim S. Smykov — Student of the Ural Power Engineering Institute of the Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia), maks2001122@gmail.com

Gleb I. Skvortsov — Student of the Ural Power Engineering Institute of the Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia), gskvortcov@mail.ru

Oleg L. Tashlykov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Nuclear Plants and Renewable Energy Sources of the Ural Power Engineering Institute of the Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia), otashlykov@list.ru

Victoria A. Klimova — Senior Lecturer, Department of Nuclear Plants and Renewable Energy Sources, Ural Power Engineering Institute of the Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia), v.a.klimova@urfu.ru