

Научная статья
УДК 66.081.6-278
doi:10.37614/2949-1215.2024.15.1.047

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОСВЕЩЕНИЯ РАСТВОРОВ ОЯТ МЕТОДОМ ТАНГЕНЦИАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАДИОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Анатолий Борисович Мелентьев^{1✉}, Наталья Сергеевна Самарина²,
Михаил Васильевич Логунов³, Сергей Александрович Лукин⁴**

^{1–4}Производственное объединение «Маяк», Озёрск, Россия

¹cpl@po-mayak.ru✉

Аннотация

Предложена технология осветления растворов ОЯТ методом тангенциальной фильтрации для реализации на перспективном радиохимическом производстве. Приведена структурная схема. Показано, что работа узла тангенциальной фильтрации в связке с центрифугой, которая применяется для отмывки пульпы от ценных компонентов, позволяет существенно сократить объёмы промывных растворов, поступающих на переработку, что приведёт к сокращению объёмов ЖРО производства.

Ключевые слова:

растворы ОЯТ, тангенциальная фильтрация, фильтрационные процессы, мембранные процессы

Для цитирования:

Разработка технологии осветления растворов ОЯТ методом тангенциальной фильтрации для перспективного радиохимического производства / А. Б. Мелентьев [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2024. Т. 15, № 1. С. 289–293. doi:10.37614/2949-1215.2024.15.1.047.

Original article

THE DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY FOR CALRIFICATION OF SNF SOLUTIONS BY CROSS-FLOW FILTRATION METHOD FOR THE FUTURE RADIOCHEMICAL FACILITY

Anatoliy B. Melentev^{1✉}, Natalia S. Samarina², Mikhail V. Logunov³, Sergey A. Lukin⁴

^{1–4}FSUE “Mayak” PA, Ozersk, Russia

¹cpl@po-mayak.ru✉

Abstract

The technology of clarification of SNF solutions by the method of cross-flow filtration for implementation in the future radiochemical production is proposed. A block diagram is provided. It is shown that the operation of the cross-flow filtration unit in conjunction with a centrifuge, which is used to wash the pulp from valuable components, can significantly reduce the volume of washing solutions entering the processing, which will lead to a reduction in the volume of LRW of facility.

Keywords:

SNF solutions, cross-flow filtration, filtration processes, membrane processes

For citation:

The development of a technology for calrification of SNF solutions by cross-flow filtration method for the future radiochemical facility / A. B. Melentev [et al.] // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2024. Vol. 15, No. 1. P. 289–293. doi:10.37614/2949-1215.2024.15.1.047.

Введение

Стратегия развития ядерной энергетики России предполагает дальнейшее совершенствование радиохимических и фабрикатонных технологий. Мощности по переработке ОЯТ должны обеспечивать потребности двухкомпонентной ядерной энергетики в плутонии с учётом планов строительства РБН и перспективных ВВЭР, для чего недостаточно существующих в настоящее время производств. В связи с этим планируется модернизация действующей и создание дополнительной промышленной инфраструктуры для переработки ОЯТ и обеспечения ядерной энергетики РФ регенерированными ядерными материалами с образованием минимального количества отходов на всем ЯТЦ, что должно быть учтено при выборе тех или иных технологических решений.

Для осветления радиоактивных азотнокислых растворов в промышленных масштабах применяются отстаивание, осветление с помощью центрифуг и фильтрование на тупиковых фильтрах.

Центрифужное осветление растворов ОЯТ используется за рубежом, например, во Франции. Основной недостаток данного метода состоит в наличии движущихся с большой скоростью деталей аппарата, что неизбежно провоцирует нештатные ситуации, повышенный износ, а в итоге вызывает трудности в эксплуатации, связанные с работой с высокоактивными растворами. Кроме того, среднескоростные центрифуги не обеспечивают достаточной полноты удаления мелких частиц. Для соответствия требованиям осветления к поступающим на экстракцию растворам (менее 5 мг/дм³ твёрдой фазы) необходим высокий, примерно от 8000 до 10 000 фактор разделения. Достичь таких показателей можно только на высокоскоростных центрифугах, что неизбежно приводит к усложнению конструкции аппаратов и вызывает проблемы при эксплуатации.

Осветление растворов ОЯТ на РТ-1 в настоящее время проводится на патронных и насыпных фильтрах. В обоих случаях перед процессом осветления требуется проводить обработку фильтруемого раствора флокулянтами. Указанные способы осветления имеют существенные недостатки. Применительно к патронным кольцевым фильтрам это:

- 1) ограниченный срок работы фильтрующих элементов из-за их разрушения;
- 2) низкий уровень механизации их замены, что приводит к повышенному облучению персонала;
- 3) использование вспомогательного фильтрующего материала — перлита, что увеличивает массу высокоактивных твердых отходов;
- 4) внезапный неконтролируемый выход из строя за счёт поломки элемента с существенной в этот момент миграцией твёрдой фазы и перлита из фильтра в головной экстрактор первого цикла, что приводит к заливанию аппарата.

При осветлении на насыпных фильтрах основной проблемой является существенный проскок твёрдой фазы в фильтрат, который возрастает с увеличением выгорания топлива. Для растворов топлива с высоким выгоранием насыпной фильтр не способен обеспечить требуемое качество осветления.

Таким образом, существующие варианты осветления либо не отвечают современным требованиям, либо сложны в использовании. В качестве перспективной технологии осветления растворов ОЯТ рассматривается тангенциальная фильтрация.

Технология осветления растворов ОЯТ методом тангенциальной фильтрации с использованием центрифуги для отмывки пульпы от ценных компонентов

Азотнокислые растворы ОЯТ, направляемые после растворения на дальнейшую переработку, по типу относятся к высокодисперсным и малоконцентрированным суспензиям. Основным фактором, резко снижающим скорость осветления суспензий, является наличие в них коллоидной дисперсии. Содержание твёрдой фазы в растворах оксидного топлива энергетических реакторов составляет в среднем от 1 до 2 г/дм³, в растворах на основе высокообогащённого урана — от 4 до 6 г/дм³. В настоящее время осветление растворов ОЯТ ВВЭР-440, ВВЭР-1000, РБМК на РТ-1 ведётся на насыпном фильтре, при этом перед осветлением раствор проходит подготовку (нагрев, обработку флокулянтами, охлаждение). Используемый в данный момент для фильтрации растворов ОЯТ насыпной тупиковый фильтр типа ФН-500 рассчитан на максимальное выгорание ОЯТ 30–35 ГВт·с/т U. При переработке растворов топлива с выгоранием 50 ГВт·с/т U и более наблюдается снижение фильтроцикла, сложности с регенерацией фильтра, а также существенный проскок взвесей, что приводит к отклонениям в работе экстракционного узла.

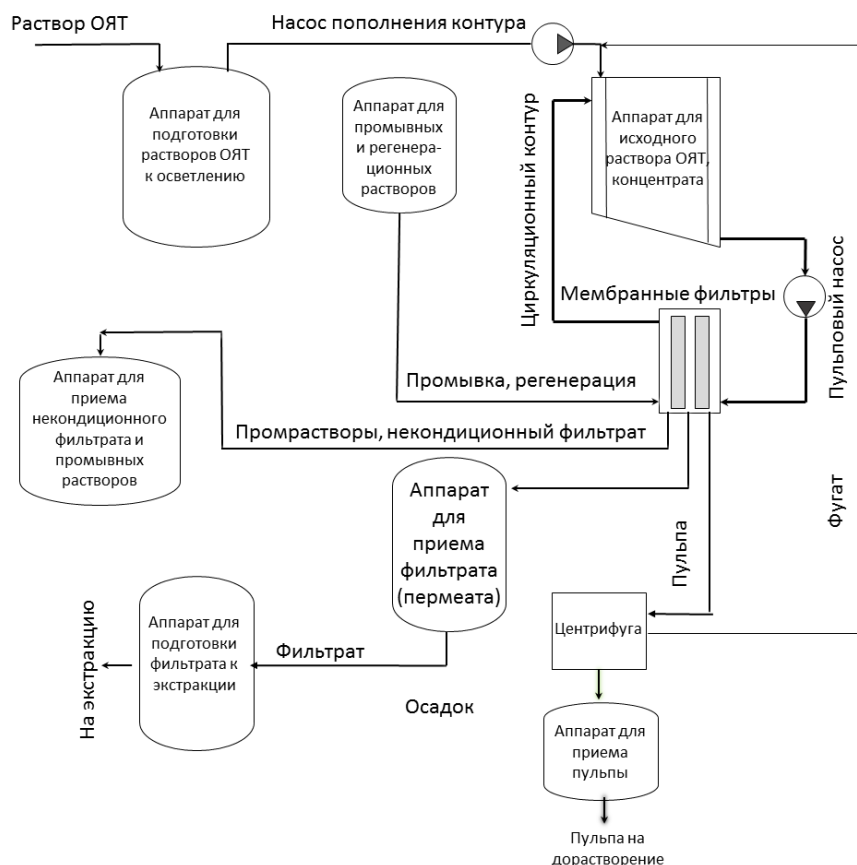
Тангенциальная фильтрация — это баромембранный процесс разделения суспензий, при котором поток фильтруемой суспензии непрерывно движется продольно по каналу фильтра, на внутреннюю поверхность которого нанесён мембранный слой, а поток пермеата отводится с наружной поверхности фильтра перпендикулярно потоку фильтруемой суспензии. Мембранный слой препятствует проникновению частиц твёрдой фазы и коллоидов в пермеат. Фильтруемая суспензия циркулирует по замкнутому контуру (ёмкость для исходного раствора → насос → фильтр → ёмкость для исходного раствора) под давлением, создаваемым насосом, концентрат (не прошедшая через фильтрующую перегородку часть суспензии, содержащая твёрдую фазу) проходит по каналу фильтра и поступает снова в ёмкость

для исходного раствора. Пермеат, очищенный от твёрдой фазы и коллоидов, собирается в отдельную ёмкость. За счёт постоянного отведения пермеата из системы происходит уменьшение объёма суспензии с её концентрированием по твёрдой фазе.

Проточная организация процесса фильтрации не предполагает накопления осадка на фильтрующей поверхности мембраны (в отличие от тупикового режима фильтрования), так как он смывается тангенциально направленным к фильтрующей поверхности потоком исходной суспензии (то есть при оптимальной линейной скорости потока мембрана работает в режиме самоочищения), который по мере продвижения вдоль фильтра трансформируется в концентрат. При данном режиме работы не происходит резкого снижения проницаемости мембраны и производительности установки по пермеату, обеспечивается её продолжительная устойчивая работа в непрерывном режиме.

Метод тангенциальной фильтрации хорошо известен и применяется в радиохимической промышленности для осветления жидких радиоактивных отходов [1–4], в том числе в комбинации с центрифужным осветлением.

На имитационных суспензиях была показана принципиальная возможность применения данного метода для осветления растворов отработавшего ядерного топлива, при этом обеспечивается высокое качество осветления [5]. Но если отмывку итогового концентрата (пульпы) от растворимых ценных компонентов, оставшихся в маточном растворе, производить непосредственно в циркуляционном контуре установки, то есть путём подачи промывного раствора в контур и постепенного разбавления маточника, объём промывных растворов за один фильтроцикл составляет не менее 12 % объёма фильтрата. С целью сокращения объёма промывных растворов предлагается для отмывки пульпы использовать центрифугу. Предложенная технология осветления растворов ОЯТ в этом случае может быть реализована следующим образом (рис.).



Структурная схема осветления растворов ОЯТ методом тангенциальной фильтрации с использованием центрифуги для отмывки пульпы от ценных компонентов

Раствор ОЯТ (суспензия) после операции растворения поступает в аппарат для подготовки к осветлению, где при необходимости проводится корректировка его состава, в противном случае этот аппарат выполняет роль буфера. Далее суспензия от растворения ОЯТ принимается в кольцевой аппарат циркуляционного контура. Контур состоит из кольцевого аппарата, пульпового насоса и мембранных фильтров. Циркуляция раствора ОЯТ в замкнутом циркуляционном контуре осуществляется пульповым насосом в радиохимическом исполнении ЦНСП-30/32 (доработанный аналог существующего пульпонасоса ЦНСП-15/32 повышенной производительности). Фильтрат (пермеат) отводится в аппарат для приёма фильтрата. Чтобы поддерживать постоянный объём фильтруемого раствора ОЯТ в контуре, используется насос пополнения контура, который обеспечивает подпитку исходным раствором ОЯТ с производительностью, равной производительности фильтров по пермеату.

Фильтрация ведётся до достижения содержания твёрдой фазы в концентрате от 100 до 120 г/дм³. Пульпа при такой концентрации твёрдой фазы транспортабельна и передаётся на отжимную центрифугу, где производится сгущение пульпы и её отмывка от ценных компонентов, при этом ожидается существенное сокращение объёма промывных растворов. Центрифуга может не обладать высоким фактором разделения, поскольку мутный фугат возвращается обратно на стадию осветления.

Отмытая пульпа направляется на доизвлечение целевых компонентов (дорастворение) в электрохимический растворитель.

Для регенерации (очистки пор) мембранных фильтров используется пермеат. Регенерация производится выдачей пермеата на фильтры обратным током под давлением от 0,3 до 0,5 МПа, для чего требуется от 50 до 100 дм³ пермеата. Таким же образом возможна оперативная регенерация мембранных фильтров в ходе фильтроцикла при кратковременной остановке. Показано, что регенерация пермеатом является эффективной, однако в схеме предусмотрена подача на фильтры обратным током не только пермеата, но и иных регенерационных растворов в случае необходимости.

Предполагается, что срок службы мембранного фильтра, изготовленного из керамики на основе циркония и алюминия, будет значительным (несколько лет). Способ размещения фильтров предусматривает их дистанционную замену [6]. Отработанный мембранный фильтр вместе с держателем извлекается из проходки в защитный чехол. Дальнейшее обращение с фильтром может предполагать его расстыковку с держателем и удаление керамической части в ТРО.

Выводы

Предложенная технология осветления растворов ОЯТ обладает рядом преимуществ по сравнению с существующими технологиями, а именно:

- обладает универсальностью, подходит для осветления растворов разных типов ОЯТ;
- обеспечивает высокое качество осветления суспензий, содержащих высокодисперсные взвеси и коллоиды;
- не требует применения флокулянтов и вспомогательных фильтрующих материалов;
- осуществление регенерации обратным током пермеата приводит к сокращению объёмов ЖРО на последующих циклах переработки.

Список источников

1. Применение мембранной фильтрации для переработки жидких низкоактивных отходов радиохимического производства / П. А. Бобров [и др.] // Вопросы радиационной безопасности. 2017. № 3. С. 38–45.
2. Опыт использования баромембранных процессов для очистки жидких радиоактивных отходов / П. А. Бобров [и др.] // Радиоактивные отходы. 2018. № 1 (2). С. 42–53.
3. Переработка жидких низкоактивных отходов с использованием тангенциальной ультрафильтрации на химико-металлургическом производстве ФГУП «ПО «Маяк» / Н. Ю. Лагунова [и др.] // Химическая технология. 2020. Т. 21, № 3. С. 126–133.
4. Переработка жидких среднеактивных отходов уранового производства по осадительно-фильтрационной технологии химико-металлургического производства ФГУП «ПО «Маяк» / Н. Ю. Лагунова [и др.] // Химическая технология. 2020. Т. 21, № 6. С. 282–288.

5. Применение динамической тангенциальной фильтрации для решения технологических задач проекта «Прорыв» / Н. С. Самарина [и др.] // Атомная энергия. 2019. Т. 127, вып. 4. С. 208–216.
6. Устройство для фильтрации жидких радиоактивных отходов, приспособленное для дистанционного обслуживания: пат. 154344 Рос. Федерация. № 2014146077/07; заявл. 17.11.14; опубл. 20.08.15, Бюл. № 23. 9 с.

References

1. Bobrov P. A., Slynchev O. M., Akincev A. S. Primenenie membrannoj fil'tracii dlya pererabotki zhidkih nizkoaktivnyh othodov radiohimicheskogo proizvodstva [The use of membrane filtration for the processing of liquid low-level waste from radiochemical facility]. *Voprosy radiacionnoj bezopasnosti* [Radiation safety issues], 2017, No. 3, pp. 38–45. (In Russ.).
2. Bobrov P. A., Slynchev O. M., Akincev A. S. Opyt ispol'zovaniya baromembrannyh processov dlya ochistki zhidkih radioaktivnyh othodov [The experience in the use of baromembrane processes for the purification of liquid radioactive waste]. *Radioaktivnye othody* [Radioactive waste], 2018, No. 1, pp. 42–53. (In Russ.).
3. Lagunova N. Yu., Konnikov A. V., Silich N. V., Musal'nikov A. M. Pererabotka zhidkih nizkoaktivnyh othodov s ispol'zovaniem tangencial'noj ul'trafil'tracii na himiko-metallurgicheskom proizvodstve [The processing of low-level liquid waste using cross-flow filtration at the chemical-metallurgical facility of FSUE "Mayak" PA]. *Himicheskaya tekhnologiya* [Chemical technology], 2020, Vol. 21, No. 3, pp. 126–133. (In Russ.).
4. Lagunova N. Yu., Konnikov A. V., Silich N. V., Musal'nikov A. M. Pererabotka zhidkih sredneaktivnyh othodov uranovogo proizvodstva po osditel'no-fil'tracionnoj tekhnologii himiko-metallurgicheskogo proizvodstva [The processing of medium-level liquid waste from uranium production using sedimentation and filtration technology of chemical-metallurgical facility of FSUE "Mayak" PA]. *Himicheskaya tekhnologiya* [Chemical technology], 2020, Vol. 21, No. 6, pp. 282–133. (In Russ.).
5. Samarina N. S., Mashkin A. N., Markova D. V., Kadochigov K. A., Lukin S. A., Melentev A. B., Harlova E. D., Shadrin A. Yu., Dvoeglazov K. N., Milyutin V. V. Primenenie dinamicheskoy tangencial'noj fil'tracii dlya resheniya tekhnologicheskikh zadach proekta "Proryv" [Use of Cross-Flow Filtration for Practical Purposes of "Proryv" Project]. *Atomnaya energiya* [Atomic energy], 2019, Vol. 127, No. 4, pp. 208–216. (In Russ.).
6. Kozlov P. V., Chermnykh A. A., Shalashov V. A., Remizov M. B., Makarovskiy R. A., Kustov S. V., Svetlakov V. V. *Ustrojstvo dlya fil'tracii zhidkih radioaktivnyh othodov, prispособlennoe dlya distancionnogo obsluzhivaniya. Patent 154344, Rossijskaya Federaciya, No. 2014146077/07* [The device for filtration of liquid radioactive waste, designed for remote maintenance. Patent 154344, Russian Federation, No. 2014146077/07], заявл. 17.11.14, опубл. 20.08.15, Бюл. № 23, 9 с.

Информация об авторах

А. Б. Мелентьев — кандидат химических наук, инженер-технолог;
М. В. Логунов — кандидат технических наук, советник генерального директора;
С. А. Лукин — заместитель начальника ЦЗЛ по науке и технологии;
Н. С. Самарина — инженер-технолог.

Information about the authors

A. B. Melentev — PhD (Chemistry), Engineer-Technologist;
M. V. Logunov — PhD (Engineering), Advisor to the General Director;
S. A. Lukin — Deputy Chief of CPL for Science and Technology;
N. S. Samarina — Engineer-Technologist.

Статья поступила в редакцию 08.04.2024; одобрена после рецензирования 10.04.2024; принята к публикации 12.04.2024.
The article was submitted 08.04.2024; approved after reviewing 10.04.2024; accepted for publication 12.04.2024.