

Научная статья
УДК 66.081.6
doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.043

МЕТОД НАНОФИЛЬТРАЦИИ В ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ДЕСОРБАТА УРАНА

Зекaил Маратович Тюлюбаев¹, Алексей Михайлович Лексин², Лилия Александровна Леонова³

^{1, 3}Томский политехнический университет, Томск, Россия

²Институт высоких технологий, Алматы, Казахстан

¹zekail@mail.ru

²a.m.leksin@iht.kazatomprom.kz

³leonovale@tpu.ru

Аннотация

Проведены эксперименты по нанофильтрации десорбата урана с целью концентрирования урана и выделения серной кислоты. Показано, что нанофильтрация, осуществляемая в открытом цикле, позволяет повысить концентрацию урана в 1,5 раза, извлечение урана в концентрат составляет 98 %. При проведении опытов в режиме рецикла с использованием части концентрата для повторной фильтрации степень концентрирования урана равна 1,95. Это позволяет вернуть в технологический процесс до 50 % серной кислоты и нитрат-ионов, содержащихся в исходном десорбате.

Ключевые слова:

нанофильтрация, десорбат, уран, концентрат

Для цитирования:

Тюлюбаев З. М., Лексин А. М., Леонова Л. А. Метод нанофильтрации в технологии переработки десорбата урана // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2023. Т. 14, № 1. С. 240–244. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.043

Original article

NANOFILTRATION METHOD IN THE TECHNOLOGY OF URANIUM DESORBATE PROCESSING

Zekail M. Tyulyubaev¹, Alexei M. Leksin², Liliya A. Leonova³

^{1, 3}Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

²Institute of High Technologies, Almaty, Kazakhstan

¹zekail@mail.ru

²a.m.leksin@iht.kazatomprom.kz

³leonovale@tpu.ru

Abstract

Experiments were carried out on nanofiltration of uranium desorbate in order to concentrate uranium and isolate sulfuric acid. It is shown that nanofiltration carried out in an open cycle makes it possible to increase the concentration of uranium by 1.5 times, the extraction of uranium into a concentrate is 98 %. When conducting experiments in the recycle mode using part of the concentrate for re-filtration, the uranium concentration degree was 1.95. This makes it possible to return to the technological process up to 50 % of sulfuric acid and nitrate ions contained in the initial desorbate.

Keywords:

nanofiltration, desorbate, uranium, concentrate

For citation:

Tyulyubaev Z. M., Leksin A. M., Leonova L. A. Nanofiltration method in the technology of uranium desorbate processing // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2023. Vol. 14, No. 1. P. 240–244. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.043

Введение

В настоящее время Республика Казахстан обеспечивает свыше 40 % мировой добычи природного урана, используя на своих предприятиях способ подземного скважинного выщелачивания. В процессе сорбционной переработки продуктивных урансодержащих растворов для десорбции используют раствор, содержащий 30–40 г/л серной кислоты, которая теряется безвозвратно при осаждении химических концентратов урана.

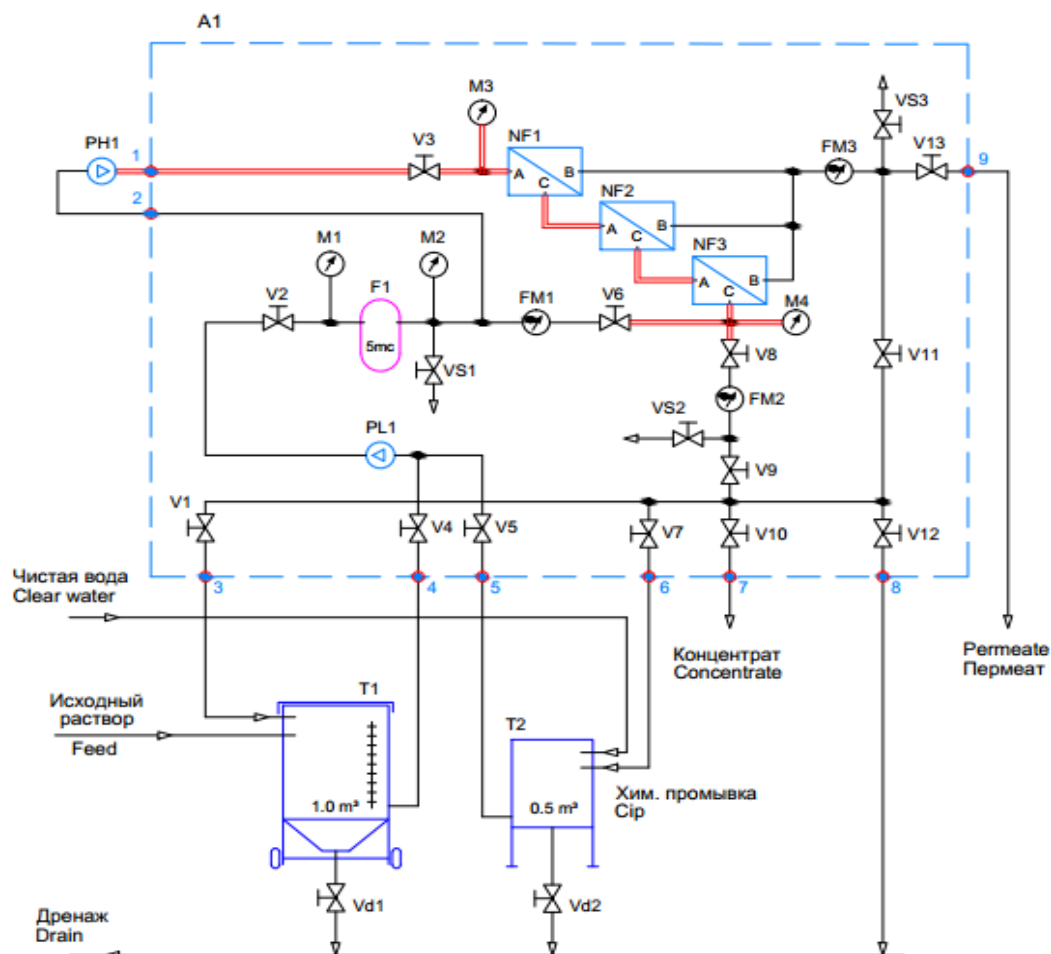
Актуальная задача выделения серной кислоты из уранового десорбата и возврата ее в технологический процесс может быть решена с использованием мембранных технологий, которые в настоящее время

широко применяются для концентрирования, разделения и очистки от примесей различных растворов [1–5]. В 2013 г. компания AMS Technologies, занимающаяся разработкой мембран, получила положительные результаты при изучении применимости технологии нанофильтрации на уранодобывающих предприятиях [6].

Целью данной работы являлось исследование нанофильтрации для разделения урана и серной кислоты при переработке урансодержащих растворов на предприятиях АО «НАК “Казатомпром”».

Результаты

В основу изготовленной установки нанофильтрации (УНФ) заложен принцип тангенциальной фильтрации. Принципиальная схема УНФ представлена на рисунке.



Принципиальная схема установки нанофильтрации (УНФ)

Конструктивно УНФ представляет собой металлический каркас, на котором устанавливаются насос, механический фильтр, мембраны нанофильтрации в корпусе, манометры, индикаторы потоков и запорная арматура, соединенные трубами из нержавеющей стали для участков с высоким давлением и трубами из поливинилхлорида для участков с низким давлением. УНФ снабжена емкостью исходного раствора и емкостью для промывки чистой водой или химическими растворами из нержавеющей стали. Емкости соединяются с внешними трубопроводами с помощью разъемных гидравлических соединений. Для создания необходимого давления УНФ оборудована насосом высокого давления, насосом низкого давления и фильтром тонкой очистки. Основным рабочим элементом УНФ являются мембранные модули производства Dow Chemical, через которые под приложенным давлением фильтруется испытываемый раствор.

Установка нанофильтрации работает только в ручном режиме. Исходный раствор из емкости подается насосом PL1 на картриджный фильтр с размером пор 5 мк для предварительной очистки от механических взвесей. Далее раствор поступает на вход насоса высокого давления РН1 и подается на три последовательно соединенные нанофильтрационные мембраны. Пермеат и концентрат собираются в соответствующие баки. Для анализа работы УНФ имеются индикаторы давления и потоков растворов, а также пробоотборники, позволяющие делать отбор проб исходного раствора, пермеата и концентрата.

Для проведения экспериментов по подбору режимов нанофильтрации на одном из предприятий АО «НАК “Казатомпром”» была отобрана представительная проба десорбата урана, полученного при проведении сорбционного концентрирования раствора выщелачивания. Содержание основных компонентов в десорбате составило: уран — 56,2 г/дм³, нитрат-ион — 15,3 г/дм³, серная кислота — 40,4 г/дм³, механические взвеси — 5,5 мг/дм³. В ходе эксперимента десорбат из емкости исходного раствора подавали сначала на фильтр тонкой очистки, далее в мембранный модуль. Частотным преобразователем устанавливали обороты насоса высокого давления, соответствующие заданному давлению на входе мембранного модуля. Давление на выходе концентрата регулировали специально установленным шаровым краном.

Время работы УНФ в непрерывном режиме составило для первой и второй серий экспериментов 19 ч. Первая серия экспериментов была проведена при исходном давлении на мембранном модуле $23 \cdot 10^5$ Па. Пробы пермеата и концентрата отбирали через каждые 3 ч. Результаты работы УНФ при давлении на входе $23 \cdot 10^5$ Па приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели нанофильтрации десорбата при давлении на входе $23 \cdot 10^5$ Па

Давление, Па		Продукт	Выход		Содержание U, г/дм ³	Извлечение U, %
на входе	на выходе		м ³ /ч	%		
$23 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$	Концентрат	0,40	66,75	82,73	98,61
		Пермеат	0,20	33,25	2,34	1,39
		Десорбат	0,60	100	56,20	100,00

Как видно из полученных результатов, селективность мембраны по отношению к урану составила свыше 98 %, содержание урана в концентрате по сравнению с исходным десорбатом увеличилось в 1,47 раза.

Исходя из того, что увеличение давления на входе в мембранный модуль способствует увеличению выхода пермеата и, как следствие, увеличению степени концентрирования урана в концентрате, вторая серия экспериментов была проведена при давлении, равном $29 \cdot 10^5$ Па (максимальное давление для данного типа мембран составляет $30 \cdot 10^5$ Па). Результаты экспериментов второй серии опытов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели нанофильтрации десорбата при давлении на входе $29 \cdot 10^5$ Па

Давление, Па		Продукт	Выход		Содержание U, г/дм ³	Извлечение U, %
на входе	на выходе		м ³ /ч	%		
$29 \cdot 10^5$	$11 \cdot 10^5$	Концентрат	0,38	63,13	82,02	98,61
		Пермеат	0,22	36,87	2,89	1,39
		Десорбат	0,60	100	56,20	100,00

При давлении на входе в мембранный модуль $29 \cdot 10^5$ Па получены результаты, сопоставимые с первой серией экспериментов.

Для повышения содержания урана в получаемом концентрате относительно кислоты была проведена третья серия экспериментов с возвратом части концентрата в питание (рецикл). Выход концентрата, пермеата и рецикл контролировали по показаниям ротаметров.

Был задан режим работы УНФ с выходом концентрата, равным выходу пермеата. Время работы установки составило 162 ч, выход рецикла в среднем равен 116 %. Результаты экспериментов третьей серии опытов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Показатели нанофильтрации десорбата с выходом концентрата,
равным выходу пермеата

Давление, Па		Продукт	Выход		Содержание, г/дм ³			Извлечение, %		
вход	выход		м ³ /ч	%	U	NO ₃ ⁻	H ₂ SO ₄	U	NO ₃ ⁻	H ₂ SO ₄
23·10 ⁵	4·10 ⁵	Рецикл	0,60	229,6	110,3	11,3	42,87			
		Концентрат	0,13	50,0	110,3	11,3	42,87	98,1	50,5	53,5
		Пермеат	0,13	50,0	2,1	11,1	37,31	1,9	49,5	46,5
		Исходное питание	0,26	100	56,2	11,2	40,09			

Как видно из представленных данных, при давлении на входе в мембранный модуль 23·10⁵ Па с использованием рецикла и выходом концентрата, равным выходу пермеата, степень концентрирования урана составила 1,95 раза, при этом извлечение урана в концентрат составило 98 %. При таком режиме работы УНФ содержание в концентрате кислоты относительно урана снизилось на 46,5 %, содержание нитратов относительно урана — на 48,7 %.

Таким образом, проведение дополнительной стадии нанофильтрации позволяет вернуть в технологический процесс до 50 % серной кислоты и нитрат-ионов, содержащихся в десорбате, которые по существующей технологической схеме безвозвратно теряются на стадии осаждения. Пермеат можно использовать для приготовления десорбирующего раствора.

Дальнейшие работы будут направлены на изучение возможности уменьшения выхода концентрата с целью дополнительного повышения степени концентрирования урана.

Выводы

Проведены эксперименты по нанофильтрации товарного десорбата, получаемого на одном из рудников АО «НАК «Казатомпром»». Установлено, что нанофильтрация десорбата, осуществляемая в открытом цикле, позволяет повысить концентрацию урана в 1,5 раза, при этом извлечение урана в концентрат составляет 98 %.

Для получения более высоких показателей проведены опыты с использованием части концентрата в циркуляции (рецикл), степень концентрирования урана при этом составила 1,95. Проведение дополнительной стадии нанофильтрации позволяет вернуть в технологический процесс до 50 % серной кислоты и нитрат-ионов, содержащихся в десорбате.

Список источников

1. Yang Z., Zhou Y., Feng Z., Rui X., Zhang T., Zhang Z. A Review on Reverse Osmosis and Nanofiltration Membranes for Water Purification // *J. Polymers*. 2019. Vol. 11. P. 3–21.
2. Park H., Ismael M., Takaba H., Lee Y. Acid-resistant thin-film composite nanofiltration membrane prepared from polyamide-polyurea and the behavior of density functional theory study // *J. Membrane Science*. 2022. Vol. 645. P. 1–2.
3. Wang J., Luo J., Feng S., Li H., Wan Y., Zhang X. Review-recent development of ionic liquid membranes // *J. Green Energy Environ*. 2016. Vol. 1. P. 1–19.
4. Mocanu A., Rusen E., Diacon A., Damian C., Dinescu A., Sucheai M. Electrochemical deposition of zinc oxide on the surface of composite membrane polysulfone-graphene-polystyrene in the presence of water soluble polymers // *J. of Nanomaterials*. 2017. Vol. 11. P. 2–5.
5. Liu G., Han K., Ye H., Zhu C., Gao Y., Liu Y., Zhou Y. Graphene oxide/triethanolamine modified titanate nanowires as photocatalytic membrane for water treatment // *J. Chemical Engineering*. 2017. Vol. 320. P. 74–80.
6. Круглый И. А. Обзор возможностей применения нанофильтрационных мембран в производстве урана // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности» (Алматы, 2014 г.). Алматы: АО «НАК «Казатомпром», 2014. С. 175–181.

References

1. Yang Z., Zhou Y., Feng Z., Rui X., Zhang T., Zhang Z. A Review on Reverse Osmosis and Nanofiltration Membranes for Water Purification. *J. Polymers*, 2019, Vol. 11, pp. 3–21.
2. Park H., Ismael M., Takaba H., Lee Y. Acid-resistant thin-film composite nanofiltration membrane prepared from polyamide-polyurea and the behavior of density functional theory study. *J. Membrane Science*, 2022, Vol. 645, pp. 1–2.

3. Wang J., Luo J., Feng S., Li H., Wan Y., Zhang X. Review-recent development of ionic liquid membranes. *J. Green Energy Environ*, 2016, Vol. 1, pp. 1–19.
4. Mocanu A., Rusen E., Diacon A., Damian C., Dinescu A., Sucheа M. Electrochemical deposition of zinc oxide on the surface of composite membrane polysulfone-graphene-polystyrene in the presence of water soluble polymers. *J. of Nanomaterials*, 2017, Vol. 11, pp. 2–5.
5. Liu G., Han K., Ye H., Zhu C., Gao Y., Liu Y., Zhou Y. Graphene oxide/triethanolamine modified titanate nanowires as photocatalytic membrane for water treatment. *J. Chemical Engineering*, 2017, Vol. 320, pp. 74–80.
6. Kruglyj I. A. Obzor vozmozhnostej primeneniya nanofil'tracionnyh membran v proizvodstve urana [Overview of the possibilities of using nanofiltration membranes in uranium production]. *Materialy Sed'moj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Aktual'nye problemy uranovoj promyshlennosti" (Almaty, 2014 g.)* [Materials of the Seventh International scientific and practical conference "Actual problems of the uranium industry"]. Almaty, Publ. JSC NAC Kazatomprom, 2014, pp. 175–181. (In Russ.).

Информация об авторах

З. М. Тюлюбаев — аспирант;

А. М. Лексин — старший научный сотрудник;

Л. А. Леонова — кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

Z. M. Tyulyubaev — Graduate Student;

A. M. Leksin — Researcher;

L. A. Leonova — PhD (Technic), Assistant professor.

Статья поступила в редакцию 31.01.2023; одобрена после рецензирования 31.01.2023; принята к публикации 01.02.2023.
The article was submitted 31.01.2023; approved after reviewing 31.01.2023; accepted for publication 01.02.2023.