

Оценка эффективности мембранного разделения высококонцентрированных фильтрационных вод полигона твердых бытовых отходов на двухступенчатой установке обратного осмоса

А.А. Поворов¹ , М.Е. Ильина² ,
О.Г. Селиванов² , И.Н. Курочкин²  

 ivan33vl@yandex.ru

¹ ООО «БМТ», Россия, г. Владимир

² ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», Россия, г. Владимир

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Фильтрационные воды полигонов твердых бытовых отходов содержат токсичные химические соединения, что представляет серьезную экологическую угрозу водным объектам и здоровью человека. В работе рассмотрены вопросы оценки эффективности процесса мембранного разделения высококонцентрированных фильтрационных вод методом обратного осмоса. **Методы.** Для проведения исследования использована экспериментальная двухступенчатая установка обратного осмоса. Образцы сточной воды подвергались предварительной механической очистке на зернистом фильтре и фильтре тонкой очистки из полипропиленового волокна. В качестве параметров эксперимента, определяющих эффективность процесса мембранного разделения высококонцентрированных водных сред, приняты удельная производительность мембраны и степень концентрирования. **Результаты.** В ходе проведенных исследований получены оптимальные параметры ведения технологического процесса очистки высокоминерализованных фильтрационных вод. Выявлено положительное влияние предварительной стадии подкисления высококонцентрированных водных сред, обладающих высокой щелочностью, на процесс мембранного разделения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водные объекты, установка обратного осмоса, высококонцентрированные сточные воды, фильтрационные воды полигонов ТБО.

Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Министерством науки и высшего образования РФ (Соглашение о предоставлении субсидии от № 075-11-2021-031 от 23 июня 2021 г. ИГК 000000S407521QKN0002) в рамках реализации комплексных проектов по созданию высокотехнологичных производств, утвержденных Постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218.


© Поворов А.А., Ильина М.Е., Селиванов О.Г., Курочкин И.Н., 2021

Для цитирования: Поворов А.А., Ильина М.Е., Селиванов О.Г., Курочкин И.Н. Оценка эффективности мембранного разделения высококонцентрированных фильтрационных вод полигона ТБО на двухступенчатой установке обратного осмоса // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 4. С. 142–155. DOI: 10.35567/1999-4508-2021-6-8.

Дата поступления 25.01.2021

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF MEMBRANE SEPARATION OF HIGHLY CONCENTRATED FILTRATION WATERS OF A SOLID WASTE LANDFILL AT A TWO-STAGE REVERSE OSMOSIS PLANT

Aleksandr A. Povorov¹ , Marina E. Ilyina² ,
Oleg G. Selivanov² , Ivan N. Kurochkin²  

 ivan33vl@yandex.ru

¹ LLC “BMT”, Russia, Vladimir

² A. G. and N. G. Stoletov Vladimir State University, Vladimir, Russia

ABSTRACT

Significance. Filtration waters of solid domestic waste landfills contain toxic chemical compounds that are of serious environmental hazard to water bodies and human health. The paper considers the issues of evaluating the efficiency of the process of membrane separation of highly concentrated filtration waters of a solid waste landfill by reverse osmosis. **Methods.** An experimental two-stage reverse osmosis unit was used for the research. Before studying the membrane filtration processes, the wastewater samples were subjected to preliminary mechanical cleaning on a granular filter and a fine filter made of polypropylene fiber. The specific capacity of the membrane and the degree of concentration were used as experimental parameters that determine the efficiency of the process of membrane separation of highly concentrated aqueous media. **Results.** In the course of the conducted studies we have obtained the optimal parameters of the technological process of the highly-mineralized filtration waters treatment. The positive effect of the preliminary stage of acidification of highly concentrated aqueous media with high alkalinity on the process of membrane separation was revealed.

Keywords: water bodies, two-stage reverse osmosis plant, highly concentrated wastewater, preliminary mechanical treatment, permeate, concentrate, filtration water of landfills

Financing: The work has been done with financial support of the project of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement on granting the subsidy No. 075-11-2021-031 of June 23, 2021, IGK 000000S407521QKN0002) within the framework of implementation of integrated projects for establishment of high-tech productions approved by the Resolution of the Government of the Russian Federation No. 218 dated April 9, 2010.

For citation: Povorov A.A., Ilyina M.E., Selivanov O.G., Kurochkin I.N. Evaluation of the efficiency of membrane separation of highly concentrated filtration waters of a solid waste landfill at a two-stage reverse osmosis plant. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2021. No. 6. P. 142–155. DOI: 10.35567/1999-4508-2021-6-8.

Received January 25, 2021.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время метод мембранного обессоливания широко используется при очистке сточных вод, водных растворов минеральных солей, химических и фармацевтических жидких продуктов, промывных и рабочих растворов предприятий машиностроительной, пищевой, химической, текстильной, топливно-энергетической и других отраслей промышленности [1–4]. Традиционная схема обессоливания таких водных сред включает предварительную очистку и этап прохождения растворов через различные установки обратного осмоса с одной или двумя ступенями обессоливания по пермеату [5–6]. Мембранное обессоливание все активнее применяется и при очистке фильтрационных вод полигонов твердых бытовых отходов (ТБО) [7–9]. Фильтрационные воды полигонов содержат целый ряд высокотоксичных химических органических и неорганических соединений, выщелачиваемых из отходов, а также выделяющихся при биологическом разложении органических фракций, что представляет серьезную экологическую угрозу водным объектам и здоровью человека.

Очистка высококонцентрированных сточных фильтрационных вод полигонов ТБО с применением мембранных технологий – сложный многоступенчатый технологический процесс [10–12]. Следует отметить, что использование метода мембранного разделения для очистки концентрированных фильтрационных вод требует более частой химической регенерации мембранных элементов для восстановления транспортных характеристик, полную их замену по причине необратимого загрязнения (до 2 – 3 раз в год), повышенных энергозатрат (до 6 кВт·ч на м³ очищенной воды), что обусловлено, прежде всего, сложным многокомпонентным составом фильтрационных вод полигонов ТБО. Однако именно техника мембранного разделения является эффективной ключевой стадией при очистке высокоминерализованных фильтрационных вод полигонов ТБО, позволяющей получить максимальное количество воды, очищенной до требований ПДК для вод рыбохозяйственного назначения, и минимальный объем загрязненного концентрата.

Экспериментальное исследование процессов очистки высококонцентрированных фильтрационных вод происходит дифференцированно и параллельно с поисками наиболее приемлемых комплексных технологий, позволяющих организовать различные технологические схемы мембранного разделения, в т. ч. многоступенчатой очистки сточных вод полигона ТБО как по пермеату, так и по концентрату, с целью уменьшения его объема.

Цель данного исследования – оценка эффективности технологии мембранного разделения высокоминерализованных фильтрационных вод полигона ТБО на экспериментальной двухступенчатой установке обратного осмоса.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работы по глубокому обессоливанию предварительно подготовленных фильтрационных вод полигонов ТБО «Дмитровский» (Московская обл.) проводились на разработанной специалистами ООО «БМТ» (г. Владимир) экспериментальной мембранной двухступенчатой обратноосмотической установке (рис. 1).



Рис. 1. Экспериментальная мембранная двухступенчатая установка обратного осмоса.
Fig. 1 Experimental membrane two-stage apparatus for reverse osmosis.

Принципиальная технологическая схема экспериментальной двухступенчатой обратноосмотической установки представлена на рис. 2.

В ходе проведенного эксперимента исходную осветленную сточную воду, прошедшую предварительную очистку на зернистом фильтре, заливали в емкость E1, откуда высоконапорным плунжерным насосом H1 подавали на первую ступень обратноосмотической установки – мембранный аппарат A1. На первой ступени установки при рабочем давлении до 60 атм происходило разделение сточной воды на два потока: очищенную и частично обессоленную воду (пермеат первой ступени), которая собиралась в емкость E2, а концентрат первой ступени постоянно возвращался в емкость

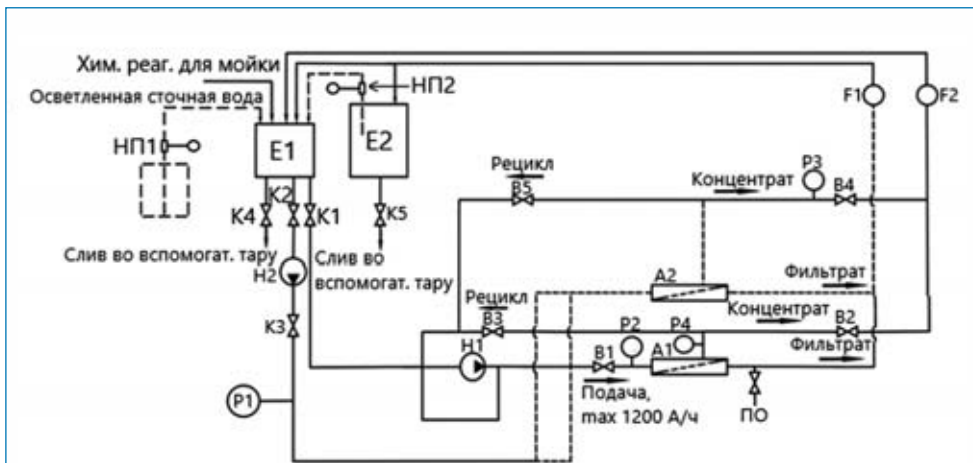


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема экспериментальной мембранной двухступенчатой установки обратного осмоса: Н1, Н2 – погружной насос; Е1, Е2 – емкость; К1–К5 – кран; В1–В5 – вентиль; Р1–Р4 – манометр; F1, F2 – расходомер; А1, А2 – мембранный аппарат; ПО – пробоотборник.

Fig. 2. Principal process flow sheet of the experimental membrane two-stage apparatus of reverse osmosis: Н1, Н2 are immersed pumps; Е1, Е2 are capacities; К1–К5 are taps; В1–В5 are valves; Р1–Р4 are manometers; F1, F2 are flow gauges; А1, А2 are membrane apparatus; ПО is a sampler.

Е1. При достижении заданной степени отбора пермеата процесс концентрирования сточной воды прекращался. Концентрат из емкости Е1 после первой ступени мембранного разделения выводился в промежуточную вспомогательную емкость. Емкость Е1 промывали водопроводной водой и в нее перекачивали из емкости Е2 пермеат, полученный на первой ступени мембранного разделения. Плунжерным насосом Н2 пермеат первой ступени подавали на вторую ступень установки – мембранный аппарат А2, где под действием рабочего давления до 15 атм шел процесс окончательного обессоливания сточной воды. Контроль рабочего давления на входе и выходе мембранных аппаратов А1 и А2 осуществлялся по показаниям манометров Р2–Р4 и Р–Р3 соответственно. Расход пермеата 1 и 2 ступеней определяли по показаниям расходомера F1, расход концентрата – по показаниям расходомера F2.

Определение физико-химических показателей исходной сточной воды, а также очищенной после первой и второй ступеней мембранной фильтрации проводили согласно ГОСТ и ПНД Ф, указанных в табл. 1.

Таблица 1. Состав сточной воды полигона ТБО «Дмитровский»
Table 1. The “Dmitrovsky” solid domestic waste dump ground waste water composition

Показатель, единица измерения	Исходный фильтрат ТБО	Нормативный документ
pH	7,91	ПНДФ 14.1:2:34.121-97
Жесткость, мгэкв/л	32	ГОСТ 31954-2012
Кальций, мг/л	400	ГОСТ 31869-2012
Магний, мг/л	144	ГОСТ 31869-2012
Щелочность, мгэкв/л	400	ГОСТ-31957-2012
Бор, мг/л	17,2	ГОСТ 31949-2012
Железо (Fe _{общ}), мг/л	12,49	ПНД Ф 14.1:2:4.50-96
Кадмий, мг/л	0,0003	ГОСТ 31870-2012
Кремний, мг/л	37,83	ПНД Ф 14.1:2:4.215-06
Марганец, мг/л	1,36	ГОСТ 4974-2014
Цинк, мг/л	0,18	ГОСТ 31870-2012
Аммиак (NH ₄ ⁺), мг/л	6300	ГОСТ 33045-2014
Нитраты (NO ₃ ⁻), мг/л	482	ГОСТ 18826-73
Сульфаты(SO ₄ ⁻), мг/л	50	ГОСТ-31940-2012
Хлориды (Cl ⁻), мг/л	7112	ГОСТ 4245-72
АПАВ, мг/л	65	ПНД Ф 14.1:2:4.15-95
НПАВ, мг/л	46,25	ПНД Ф 14.1:2:4.194-2003
Нефтепродукты, мг/л		ГОСТ 31953-2012
ХПК, мгО ₂ /л	10 733	ГОСТ Р 52708-2007
Цветность, градус	18 000	ГОСТ-31868-2012
Солесодержание, мг/л	31 500	ГОСТ Р 54316-2011

Поскольку сточные воды полигона ТБО содержат большое количество механических и коллоидных частиц, а также высокомолекулярных органических веществ, перед исследованием процессов мембранной фильтрации образцы сточной воды подвергались предварительной механической очистке на лабораторном зернистом фильтре с двухслойной загрузкой, состоящей из слоя антрацита и слоя кварцевого песка и на фильтре тонкой механической очистки на основе полипропиленового волокна. Предварительная очистка позволяет обеспечить защиту как мембранных элементов, так и насосов высокого давления.

Для первой ступени обратноосмотического разделения сточной воды полигона ТБО был выбран мембранный элемент марки RE 4040SN, для второй ступени – мембранный элемент марки RE 4040BL производства фирмы CSM (Южная Корея).

Состав сточной воды полигона ТБО «Дмитровский» представлен в табл. № 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ данных химического состава исходных фильтрационных вод полигона ТБО показал, что они имеют высокий показатель щелочности. Для его уменьшения было принято решение о предварительной корректировке pH исходного раствора фильтрационных вод с целью снижения концентрации карбоната кальция, который легко выпадает в виде осадка на поверхности мембран в процессе концентрирования. Для оценки влияния подкисления исходного раствора на процесс мембранного разделения первой ступени проведены эксперименты с предварительно осветленной фильтрационной водой с pH раствора исходной пробы и осветленной фильтрационной водой, подкисленной серной кислотой до pH = 7. Процесс обратноосмотического разделения на первой ступени экспериментальной установки проводили при рабочем давлении до 60 атм, подаче исходного раствора на мембранный элемент – 1,3 м³/ч, температуре разделяемого раствора – 25 °С, начальной производительности мембранного элемента по фильтрационной воде – 225 л/ч. В ходе проведения эксперимента определяли зависимость удельной производительности мембраны от степени концентрирования (отбора пермеата) без корректировки pH среды исходного раствора и с подкислением исходного раствора до pH = 7. Результаты испытаний представлены в табл. 2 и табл. 3.

Сравнительный анализ данных табл. 2 и табл. 3 показывает, что предварительное подкисление исходного осветленного фильтрата полигона ТБО перед обратноосмотическим разделением значительно повышает удельную производительность мембраны, а значит обеспечивает более эффективный процесс обратноосмотического разделения на первой ступени.

Таблица 2. Зависимость удельной производительности мембраны от степени концентрирования без корректировки рН исходного раствора.
Table 2. Dependence of the membrane specific capacity on the concentration degree without adjustment of the initial solution pH

Время концентрирования, мин	t, °C	Производительность элемента, л/ч	Удельная производительность мембраны, л/м ² ч	Степень отбора пермеата, %
0	14	225	32,1	–
5	14,5	159	22,7	5,7
15	15	133	18,9	14,3
35	20	106	15,1	28,5
50	25	62	8,9	42,9
60	26	58	8,3	45,7
65	30	46	6,5	57,1
80	31	34	4,8	65,7

Таблица 3. Зависимость удельной производительности мембраны от степени концентрирования при подкислении исходного раствора
Table 3. Dependence of the membrane specific capacity on the concentration degree in case of acidification of the initial solution

Время концентрирования, мин	t, °C	Производительность элемента, л/ч	Удельная производительность мембраны, л/м ² ч	Степень отбора пермеата, %
0	20	287	41	–
10	22	228	32,6	17,1
15	23	193	27,6	28,6
20	24	141	20,1	40,0
30	25	101	14,5	51,4
40	26	65	9,2	57,1
45	27	48	6,9	62,8
60	30	41	5,8	65,7

Химический анализ пермеата первой ступени (табл. 4) показал, что первая ступень мембранной обратноосмотической очистки фильтрата полигона ТБО «Дмитровский» позволяет получить достаточно высокую степень извлечения загрязнений, однако качество пермеата по ряду показателей (аммиак, нитраты, хлориды, общее солесодержание) не удовлетворяет нормативным параметрам. С целью достижения необходимой степени очистки проведены экспериментальные работы по обратноосмотическому разделению пермеата, полученного на первой ступени мембранного разделения, т. е. проведена вторая ступень очистки фильтрата.

Процесс обратноосмотического разделения второй ступени проводили при рабочем давлении до 15 атм, подаче исходного раствора на мембранный элемент – 1,3 м³/ч, температуре разделяемого раствора – 25 °С, начальной производительности мембранного элемента – 319 л/ч.

В ходе проведения экспериментальных работ по обратноосмотическому разделению на второй ступени очистки установлена зависимость изменения удельной производительности мембраны от степени концентрирования (отбора пермеата), которая представлена на рис. 3. Удельная производительность мембраны уменьшается с увеличением степени концентрирования. При степени отбора фильтрата 95 % происходит значительное снижение удельной производительности мембраны с 45 л/м²·ч до 7 л/м²·ч, поэтому для обеспечения эффективности процесса и сохранения высокой производительности мембраны (30–35 л/м²·ч) на второй ступени очистки оптимальной величиной степени отбора фильтрата будет 60 %.

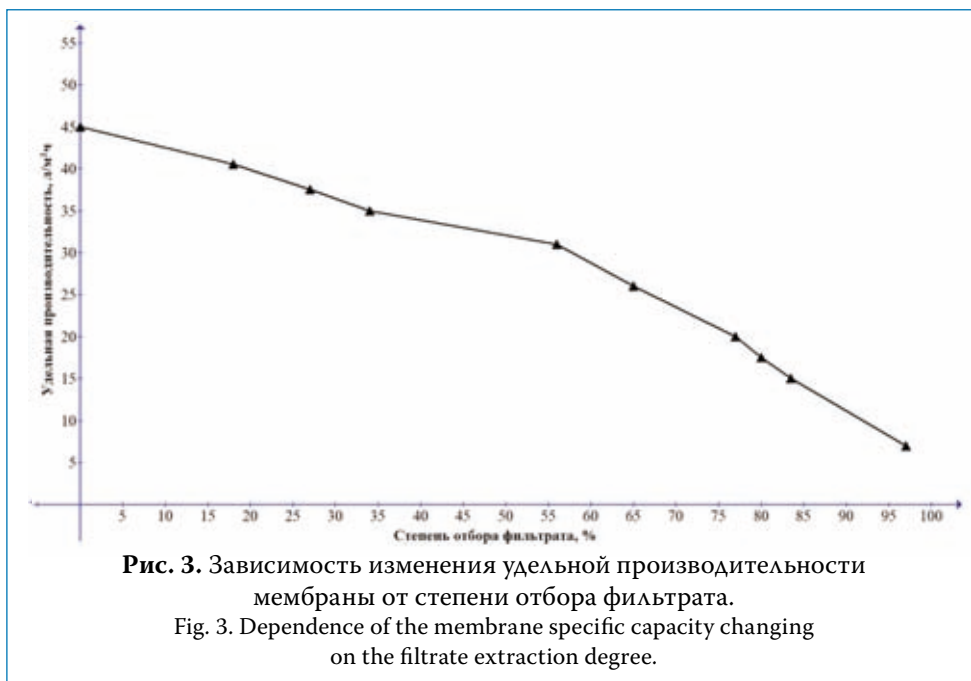
Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что двухступенчатая мембранная обратноосмотическая очистка фильтрата полигона ТБО «Дмитровский» позволяет получить заданную степень очистки, отвечающую требованиям на сброс сточных вод в водоем рыбохозяйственного значения практически по всем показателям, кроме аммонийного азота. Для достижения нормативного значения по этому показателю применение третьей ступени обратноосмотического разделения экономически нецелесообразно, поэтому требуется дополнительная стадия технологического процесса по доочистке пермеата второй ступени с использованием других физико-химических методов, например, адсорбции или ионного обмена.

Концентрат, образующийся при мембранном обессоливании сточных вод полигона ТБО (5–10 % от общего объема исходной воды), можно утилизировать в тело самого полигона. Установлено, что при общей минерализации солевого концентрата до 120 г/л, его можно контролировать и возвращать в тело полигона без подавления биодеструкции отходов и нарушения биологических процессов, формирующих состав фильтрата [13]. Возможен и другой вариант, когда концентрат обратного осмоса

Таблица 4. Результаты химического анализа очищенного фильтрата полигона ТБО «Дмитровский» после первой и второй ступеней мембранного разделения
 Table 4. Results of the chemical analysis of the “Dmitrovsky” solid domestic waste dump ground treated filtrate anfte the first and the second stages of membrane separation

Показатель, единица измерения	Обратноосмотическое разделение	
	Пермеат 1 ступени	Пермеат 2 ступени
рН	6,69	6,1
Жесткость, мг-экв/л	0,18	0,04
Кальций, мг/л	2,6	0,6
Магний, мг/л	0,6	0,12
Щелочность, мгэкв/л	20	3,2
Бор, мг/л	6,1	4,7
Железо (Fe _{общ.}), мг/л	0,01	0,01
Кремний, мг/л	0,15	0,04
Марганец, мг/л	0,0016	0,004
Цинк, мг/л	0,001	Отс.
Аммиак (NH ₄ ⁺), мг/л	276	54
Нитраты (NO ₃ ⁻), мг/л	110	33
Сульфаты, мг/л	18	9
Хлориды (Cl ⁻), мг/л	420	46
АПАВ, мг/л	1,25	0,4
НПАВ, мг/л	<0,02	<0,02
Нефтепродукты, мг/л	0,25	0,12
ХПК, мгО ₂ /л	91	29
Цветность, град.	17	12
Солесодержание, мг/л	1675	232

направляется на выпаривание, что позволит уменьшить объем отходов и получить их в виде легко утилизируемых солей. Для этого необходимо использовать современные эффективные энергосберегающие выпарные аппараты (плочные вертикально-трубчатые испарители, выпарные аппараты с механической рекомпрессией пара), что позволит сократить энергопотребление в четыре и более раз.



Использование технологии обессоливания предварительно осветленных высокоминерализованных фильтрационных вод полигонов ТБО на базе двухступенчатого обратного осмоса позволяет значительно улучшить технико-экономические показатели процесса очистки фильтрационных вод по сравнению с традиционными системами очистки. Мембранные элементы нового поколения обеспечивают более высокую производительность, позволяют увеличить межрегенерационный период работы и увеличить срок эксплуатации до трех лет. Применение оптимального состава моющей композиции при химической регенерации полимерных мембран от органических загрязнений, в т. ч. белковых, значительно снижает риск их загрязнения органическими соединениями и на 20 – 30 % уменьшает эксплуатационные затраты на реагенты, используемые для регенерации полимерных мембран.

Технология двухступенчатого обратного осмоса значительно упрощает технологическую схему очистки высокозагрязненных сточных вод, уменьшает количество используемых единиц оборудования и тем самым сокращает затраты на получение 1 м³ обессоленной воды в 1,7 – 2,2 раза, а эксплуатационные – в 2,5 раза. Внедрение на полигонах ТБО установок очистки фильтрационных вод, реализующих разработанную технологию, позволит полностью нивелировать экологический ущерб от загрязнения поверхностных и подземных вод и почвы.

ВЫВОДЫ

В рамках проведенной работы на экспериментальной двухступенчатой установке обратного осмоса исследованы вопросы эффективности процесса мембранного разделения предварительно осветленных высококонцентрированных фильтрационных вод полигона твердых бытовых отходов с показателем химического потребления кислорода $10700 \text{ мгО}_2/\text{л}$ и щелочностью 400 мг-экв/л .

По результатам исследований отработаны оптимальные параметры процесса очистки высококонцентрированных сточных вод: на 1 ступени обратного осмоса рабочее давление составило 60 кгс/см^2 , степень концентрирования $K = 2,9$; на 2 ступени обратного осмоса рабочее давление – 15 кгс/см^2 , степень концентрирования $K = 9$. Выявлено положительное влияние предварительной стадии подкисления высококонцентрированных водных сред, обладающих высокой щелочностью, на процесс мембранного разделения. Показано, что удельная производительность мембраны существенно увеличивается при подкислении исходного раствора, но уменьшается с увеличением степени концентрирования.

Разработанная экспериментальная установка двухступенчатого обратного осмоса позволяет эффективно решать задачи по очистке высококонцентрированных сточных вод полигонов ТБО различного состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lee W.J., Goh P.S., Lau W.J., Ong C.S., Ismail A.F. Antifouling zwitterion embedded forward osmosis thin film composite membrane for highly concentrated oily wastewater treatment // *Separation and Purification Technology*. 2019. Vol. 2141. P. 40–50.
2. Bohdziewicz J., Sroka E. Integrated system of activated sludge–reverse osmosis in the treatment of the wastewater from the meat industry // *Process Biochemistry*. 2005. Vol. 40. No. 5. P. 1517–1523.
3. Menchik P., Moraru C.I. Nonthermal concentration of liquid foods by a combination of reverse osmosis and forward osmosis. Acid whey: A case study // *Journal of Food Engineering*. 2019. Vol. 253. P. 40–48.
4. Han G., Liang C. Z., Chung T.S., Weber M., Maletzko C. Combination of forward osmosis (FO) process with coagulation/flocculation (CF) for potential treatment of textile wastewater // *Water Research*. 2016. Vol. 9115. P. 361–370.
5. Trifonova T.A., Roschina S.I., Shirkin L.A., Selivanov O.G., Ilina M.E. An integrated innovative technology for the treatment of municipal solid waste landfill leachate // *Biosciences Biotechnology Research Asia*. 2015. Vol. 12. No 3. P. 2481–2488.
6. Первов А.Г. История и перспективы применения мембранных технологий в области водоснабжения // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2009. № 7. С. 4–10.
7. Трифонова Т.А., Селиванова Н.В., Ширкин Л.А., Селванов О.Г., Ильина М.Е. Проблемы утилизации ТБО на полигонах // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2013. Т. 15. № 3–2. С. 685–687.

8. Гонопольский А.М., Николайкина Н.К., Мурашов В.Е., Миташова Н.И., Кушнир К.Я. Многостадийная технология очистки фильтрата полигонов твердых бытовых отходов // *Вода: химия и экология*. 2008. № 2. С. 25–30.
9. Сталинский Д.В., Эпштейн С.И., Музыкаина З.С., Варнавская И.С. Комплексный подход к решению проблемы очистки сточных вод полигонов твердых бытовых отходов // *Водоочистка*. № 4. 2012. С. 7–14.
10. Трифонова Т.А., Поворов А.А., Ширкин Л.А., Селиванов О.Г., Ильина М.Е. Комплексная технология очистки фильтрационных вод полигонов твердых бытовых отходов // *Экология и промышленность России*. 2015. Т.19. № 11. С. 4–9.
11. Чухланов В.Ю., Селиванов О.Г., Пикалов Е.С., Чеснокова С.М., Подолец А.А. Очистка воды от фторид-ионов лантаносодержащим керамическим материалом // *Экология и промышленность России*. 2018. Т. 22. № 8. С. 28–31.
12. Поворов А.А., Павлова В.Ф., Шиненкова Н.А., Логунов О.Ю. Технология очистки дренажных полигонных вод // *Твердые бытовые отходы*. № 4. 2009. С. 26–27.
13. Ширкин Л.А., Селиванов О.Г., Ильина М.Е., Трифонова Т.А. Оценка устойчивости природно-технической системы полигона ТБО // *Фундаментальные исследования*. № 11. 2015. С. 534–539.

REFERENCES

1. Lee W. J., Goh P. S., Lau W. J., Ong C. S., Ismail A. F. Antifouling zwitterion embedded forward osmosis thin film composite membrane for highly concentrated oily wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*. 2019. Vol. 2141. P. 40-50.
2. Bohdziewicz J., Sroka E. Integrated system of activated sludge–reverse osmosis in the treatment of the wastewater from the meat industry. *Process Biochemistry*. 2005. Vol. 40, No 5. P. 1517-1523.
3. Menchik P., Moraru C.I. Non-thermal concentration of liquid foods by a combination of reverse osmosis and forward osmosis. Acid whey: A case study. *Journal of Food Engineering*. 2019. Vol. 253. P. 40–48.
4. Han G., Liang C.-Z., Chung T.-S., Weber M., Maletzko C. Combination of forward osmosis (FO) process with coagulation/flocculation (CF) for potential treatment of textile wastewater. *Water Research*. 2016. Vol. 9115. P. 361–370.
5. Trifonova T.A., Roschina S.I., Shirkin L.A., Selivanov O.G., Ilyina M.E. An integrated innovative technology for the treatment of municipal solid waste landfill leachate. *Bio-sciences Biotechnology Research Asia*. 2015. Vol.12. no. 3. P. 2481–2488 (in Russ.).
6. Pervov A.G. History and prospects of the membrane techniques application in water supply. *Vodosnabzhenie i sanitarnaia tekhnika [Water supply and sanitary techniques]*. 2009. No 7. P. 4-10 (in Russ.).
7. Trifonova T.A., Selivanova N.V., Shirkin L.A., Selvanov O.G., Ilyina M.E. Problems of the solid domestic waste utilization at landfills. *Izvestiyia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademiyi nauk [Communications of the Russian Academy of Sciences Samara Scientific Center]*. 2013. Vol. 15. No 2-3. P. 685-687 (in Russ.).
8. Gonopol'skiyi A.M., Nikolaikina N.K., Murashov V.E., Mitashova N.I., Kushnir K.Y. Multi-stage technique of the solid domestic waste landfill filtrate treatment. *Voda: khimiya i ekologiya [Water: chemistry and ecology]*. 2008. No 2. P. 25–30 (in Russ.).

9. Stalinskii D.V., Epshtein S.I., Muzykina Z.S., Varnavskaia I.S. Integrated approach to solution of the problem of the solid domestic waste landfills waste water treatment. *Vodochistka [Water treatment]*, No 4. 2012. P. 7–14 (in Russ.).
10. Trifonova T.A., Povorov A.A., Shirkin L.A., Selivanov O.G., Ilyina M.E. Kompleksnaia tekhnologiya ochistki fil'tratsionnykh vod poligonov tverdykh bytovykh otkhodov. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii [Ecology and industry of Russia]*. 2015. Vol. 19. No 11. P. 4-9 (in Russ.).
11. Chukhlanov V.Iu., Selivanov O.G., Pikalov E.S., Chesnokova S.M., Podolets A.A. / Ochistka vody ot ftorid-ionov lantanosoderzhashchim keramicheskim materialom. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii [Ecology and industry of Russia]*. 2018. Vol. 22. № 8. P. 28-31 (in Russ.).
12. Povorov A.A., Pavlova V.F., Shinenkova N.A., Logunov O.Iu. / Tekhnologiya ochistki drenaznykh poligonnykh vod. Tverdye bytovye otkhody [*Solid domestic waste*]. No 4. 2009. P. 26-27 (in Russ.).
13. Shchirkin L.A., Selivanov O.G., Ilyina M.E., Trifonova T.A. Assessment of the solid domestic waste landfill natural/engineering system sustainability. *Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental research]*. No 11. 2015. P. 534–539 (in Russ.).

Сведения об авторах:

Поворов Александр Александрович, канд. техн. наук, генеральный директор, ООО «БМТ», Россия, 600033, г. Владимир, ул. Элеваторная, 6; e-mail: vladimir@vladbmt.ru

Ильина Марина Евгеньевна, канд. техн. наук, доцент кафедры биологии и экологии, ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87; ORCID: 0000-0001-8742-5439; e-mail: ilina4@mail.ru

Селиванов Олег Григорьевич, зав. лабораториями кафедры биологии и экологии, ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87; ORCID: 0000-0003-3674-0660; e-mail: selivanov6003@mail.ru

Курочкин Иван Николаевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87; ORCID: 0000-0002-0405-2225; e-mail: ivan33vl@yandex.ru

About the authors:

Aleksandr A. Povorov, LLC "BMT" General Director, ul. Elevatornaya, 6, Vladimir, 600033, Russia; e-mail: vladimir@vladbmt.ru

Marina E. Ilyina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vladimir State University Chair of Biology and Ecology, ul. Gorkogo, 87, Vladimir, 600000, Russia; ORCID: 0000-0001-8742-5439; e-mail: ilina4@mail.ru

Oleg G. Selivanov, Head of Laboratories, Vladimir State University Chair of Biology and Ecology, ul. Gorkogo, 87, Vladimir, 600000, Russia; ORCID: 0000-0003-3674-0660; e-mail: selivanov6003@mail.ru

Ivan N. Kurochkin, Postgraduate Student, Vladimir State University, ul. Gorkogo, 87, Vladimir, 600000, Russia; ORCID: 0000-0002-0405-2225; e-mail: ivan33vl@yandex.ru