

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ УСТАНОВОК ОБРАТНОГО ОСМОСА ПРИ ОЧИСТКЕ ФИЛЬТРАТОВ ПОЛИГОНОВ ТБО

Первов А.Г., Ширкова Т.Н.

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет"

Аннотация. Проведены лабораторные и пилотные исследования по очистке фильтрата полигонов ТБО с применением метода обратного осмоса с получением воды, пригодной для сброса ее в водоемы рыбохозяйственного назначения. В случае применения химического осаждения органических веществ, содержащихся в фильтрате ТБО (с применением коагуляции, флокуляции) с последующей обработкой с применением метода обратного осмоса, Разработанная технология предусматривает применение химического осаждения органических веществ, определяемых показателем ХПК, с последующей обработкой методом обратного осмоса. Расход концентрата снижается до величины, не превышающей 0,5 - 1 % от величины общего расхода поступающего на очистку фильтрата ТБО, что делает возможным его удаление вместе с обезвоженным осадком и утилизацию (сжигание, остекловывание и др.). Представлены результаты обработки экспериментальных данных, позволяющие определить: требуемую площадь поверхности мембран и количество мембранных аппаратов; типы мембранных аппаратов; количество ступеней установки обратного осмоса; величины рабочего давления и выхода фильтрата на каждой из ступеней. На основе проведения оптимизационных исследований определены значения рабочего давления, соответствующие минимальной величине эксплуатационных затрат.

Предмет исследования: фильтраты полигонов ТБО с различного состава, определяемого показателями ХПК (химическое потребление кислорода), концентраций ионов аммония, нитрат -ионов, фосфат ионов, а также жесткости и щелочности; определение расходов сбрасываемого концентрата и изучение возможностей их сокращения; определение затрат на реагенты и электроэнергию.

Материалы методы: изучены схемы проведения процессов очистки. Представлены и рассмотрены химические уравнения проходящих в сооружениях процессов, определены стехиометрические концентрации используемых реагентов. Составлены балансовые схемы, позволяющие определить расходы фильтрата ТБО, очищенной воды, осадка и концентратов установок обратного осмоса, а также концентрации в них различных загрязнений на каждой ступени очистки на входе и выходе из сооружений.

Ключевые слова: фильтрат полигонов ТБО; обратный осмос; нанофильтрация; осадкообразование на мембранах; выход фильтрата; снижение расхода концентрата.

ВВЕДЕНИЕ

Полигоны хранения твердых бытовых отходов (ТБО) часто являются источником заражения поверхностных и подземных вод [1]. Применение метода обратного осмоса в настоящее время широко используется в доочистке сточных вод, в том числе и для очистки фильтрата полигонов ТБО [2,3]. Сложность очистки фильтратов ТБО состоит в необходимости обрабатывать воду с высокими значениями ХПК (от 1000 до 3000 мг/л) и общего содержания (от 600 до 20000 мг/л) [3]. Ввиду сложности составов фильтратов ТБО при обработке их методом обратного осмоса используют комбинированные схемы очистки с применением различных методов [3,4], очистку "напрямую" с применением обратноосмотических мембран [5,6], а также с предварительной коагуляцией и осаждением высокомолекулярных органических веществ [7,8].

Серьезную проблему при использовании метода обратного осмоса для очистки фильтрата полигонов ТБО представляет необходимость утилизации концентрата, который традиционно составляет от 15 до 30 процентов общего расхода воды [6,8,9]. Как уже говорилось выше, наиболее технически и экономически "приемлемым" методом утилизации концентрата является возврат его в "тело" полигона [1,2]. При этом все удаленные загрязнения

возвращаются в "тело" полигона. Но расход концентрата должен иметь минимально возможное значение, в противном случае наблюдается рост концентраций всех загрязнений в фильтрате полигона ТБО с течением времени [7,8]. В работе [10] авторами описывалась технология сокращения расхода концентрата при доочистке биологически очищенной воды методом обратного осмоса, в соответствии с которой расход концентрата снижается до величины, не превышающей 0,5-1% от расхода исходной воды и все задержанные мембранами загрязнения удаляются с установки вместе с обезвоженным осадком.

Поэтому целью настоящей работы стало экспериментальное определения параметров и характеристик процесса обратного осмоса при обработке фильтрата полигона ТБО как после реагентной обработки и осаждения большей части органических загрязнений, так и "напрямую", без затрат на реагентное осаждение [2,7]. По результатам экспериментов определены величины эксплуатационных затрат (на замену мембран, на реагенты, на электроэнергию) для двух разных технологий очистки фильтрата полигона ТБО. В случае применения предварительной реагентной обработки технология включает осаждение органических соединений из фильтрата и его последующую обработку на мембранной установке обратного осмоса с получением очищенной воды и

осадка с влажностью 80%. Концентрат установки обратного осмоса утилизируемая и отводится с установки вместе с осадком [10]. В случае обработки фильтрата полигона ТБО методом обратного осмоса "напрямую" используется только осадки взвешенных веществ. Концентрат установки обратного осмоса составляет не более 5 % от объема исходного поступающего на очистку фильтрата ТБО и возвращается обратно в "тело" полигона.

В настоящей работе рассмотрены возможности очистки фильтрата полигонов ТБО методом обратного осмоса после проведения реагентной обработки и осадки большей части гуминовых веществ. Такой подход к очистке сточных вод уже прорабатывался рядом авторов [2,7]. Специально для очистки сточных вод используются разработанные мембранные аппараты с «открытым» каналом, позволяющие обрабатывать сточные воды с высоким содержанием взвешенных веществ [11]. Проблему создаёт то обстоятельство, что показатель ХПК сточной воды уже после реагентной обработки имеет очень высокое значение (200-300 мг/л), что может отрицательно сказываться на работе мембран, вызывая образование органических осадков. Кроме того, влияние высоких концентраций органических веществ на производительность мембран также мало исследовано [8]. Органические вещества различной природы и молекулярного веса, определяемые показателем ХПК, могут адсорбироваться на мембранной поверхности и коагулировать. Результаты проведённых ранее исследований позволяют предположить, что накопление органических загрязнений не оказывает значительного влияния на процесс обратного осмоса и может контролироваться с применением химических промывок [11,12]. Вопросы утилизации концентрата составляют более серьёзную проблему при очистке сточных вод с высоким содержанием ХПК «напрямую», чем в ранее описанных случаях при обработке биологически очищенных сточных вод [10]. При биологической очистке воды образуется избыточный активный ил, который составляет не менее 12 -15 кг на 100 куб. м очищаемой воды. Поэтому при влажности обезвоженного осадка 80% расход концентрата, удаляемого с осадком, может составлять около 1% расхода очищаемой воды. В случае очистки сточной воды полигонов ТБО, имеющей высокое значение ХПК при невысоком содержании взвешенных веществ, сократить расход концентрата до величины, не превышающей 0,2%, представляет серьёзную задачу [10].

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Целью проведения эксперимента было определение установки обратного осмоса для очистки сточных вод «напрямую» методом обратного осмоса с получением очищенной воды высокого качества (используемой для технических нужд или для сброса в водоемы рыбохозяйственного назначения) и обезвоженного осадка.

Расход концентрата установки определяется количеством осадка взвешенных веществ, удаляемых из воды. Поэтому для каждого случая, в зависимости от состава исходной воды, определяется количество воды, удаляемой с установки вместе с обезвоженным осадком. Для определения возможностей установки по сокращению объёма концентрата до заданной величины, были запланированы эксперименты по определению изменения производительности мембран в процессе увеличения концентраций солей и органических загрязнений в концентрате установки. Кроме того, в процессе увеличения значения ХПК в концентрате повышается опасность образования на мембранах отложений органических осадков, скорость образования которых предполагалось определить.

Эксперименты проводились на экспериментальной установке, показанной на рис.1 (4). Технологическая схема проведения экспериментов представлена на рис.1 (а), а общий вид установки показан на рис.1 (б). Использовались мембранные элементы типа 1812 с обратноосмотическими мембранами типа BLN и нанофильтрационными мембранами типа 90 NE. Площадь мембран в 1812 составляла 0,5 кв. метра. Использовалась сточная вода, прошедшая реагентную обработку с применением хлорного железа. ХПК воды после реагентного осадки гуматов составила 180-200 мг/л.

Электропроводность воды составляла 880 мг/л. Общая жесткость - 8 мг-экв/л. Концентрация иона аммония - 30 мг/л, концентрация нитрат-ионов - 32 мг/л. Химический состав фильтрата полигона ТБО в процессе обработки представлен в Таблице 1.

Исходная вода помещалась в бак исходной воды 1 (рис.4), откуда насосом 2 подавалась в мембранный аппарат 3, где разделялась на фильтрат и концентрат. Давление в аппарате регулировалось с помощью вентиля 4 и определялось по манометру 5. Концентрат после аппарата направлялся в бак исходной воды 1, а фильтрат - в бак сбора фильтрата

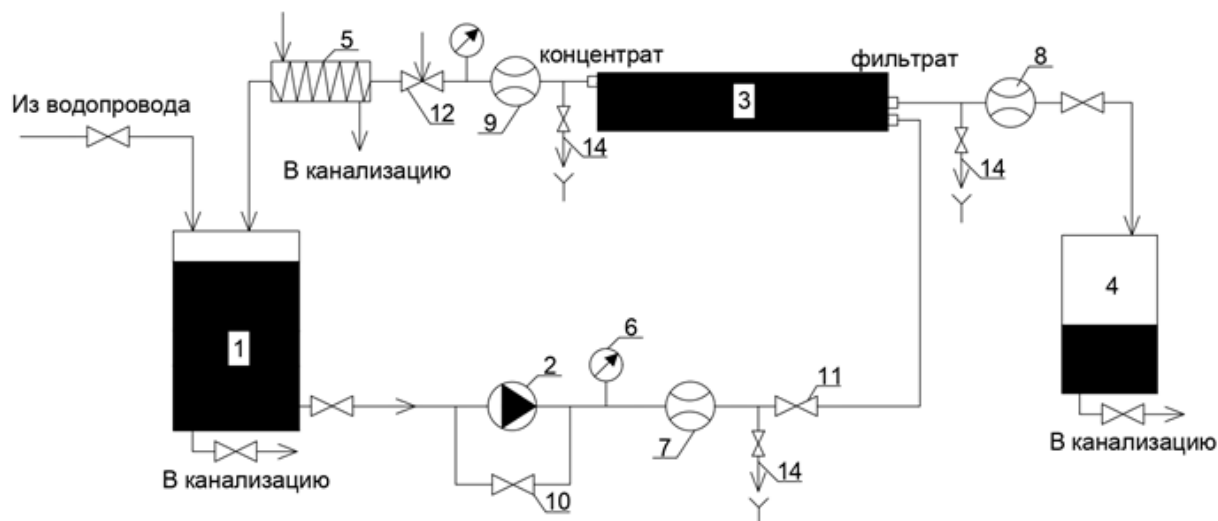


Рис.1 Схема экспериментальной мембранной установки:

- 1 - бак исходной воды
- 2 - насос
- 3 - мембранный элемент в напорном корпусе
- 4 - бак фильтрата
- 5 - теплообменник
- 6 - манометр
- 7,8,9 – расходомеры
- 10 - кран байпаса
- 11 - вентиль регулировки давления
- 12,13 - краны промывки.

Fig. 1 Schematic of the experimental membrane setup:

- 1 - source water tank
- 2 - pump
- 3 - membrane element in the pressure casing
- 4 - filtrate tank
- 5 - heat exchanger
- 6 - manometer
- 7,8,9 - flow meters
- 10 - bypass valve
- 11 - pressure control valve
- 12.13 - flushing valves.

Таблица 1. Результаты определения концентраций различных загрязнений в фильтре полигона ТБО в процессе очистки

Table 1. The results of determining the concentrations of various contaminants in the filter of the solid waste landfill during the purification process

	Исходный фильтрат	После реагентной обработки	После обратного осмоса 1 ступени	После обратного осмоса 2 ступени
1	ХПК - 1728 мг/л	ХПК - 605 мг/л	ХПК - 15 мг/л	ХПК - 8 мг/л
2	рН - 8,9	рН - 6,5	рН - 6,8	рН - 6,2
3	Кальций - 15,5 мг-экв/л	Кальций - 8,8 мг-экв/л	Кальций - 0,2 мг-экв/л	Кальций - 0,05 мг-экв/л
4	Щёлочность - 76,0 мг/л	Щёлочность - 13,6 мг/л	Щёлочность - 5,0 мг/л	Щёлочность - 2,1 мг/л
5	Аммоний - 425 мг/л	Аммоний - 92 мг/л	Аммоний - 3,1 мг/л	Аммоний - 0,2 мг/л
6	Нитраты - 65,5 мг/л	Нитраты - 42,1 мг/л	Нитраты - 5,85 мг/л	Нитраты - 2,73 мг/л
7	Хлориды - 2308 мг/л	Хлориды - 266 мг/л	Хлориды - 27 мг/л	Хлориды - 2 мг/л
8	Сульфаты - 627 мг/л	Сульфаты - 508 мг/л	Сульфаты - 0,68 мг/л	Сульфаты - 0,12 мг/л

Исходя из опыта обработки сточных вод с помощью обратноосмотических мембран [10,11], на первой ступени очистки сточной воды проводили обработку с применением обратноосмотических мембран BLN, уменьшив объём исходной воды в 7-10 раз. Далее снижение объёма концентрата производилось с помощью нанофильтрационными

мембран 90 NE, имеющих большую удельную производительность.

Значения концентраций ионов аммония, хлорид-ионов, сульфат-ионов, а также значения концентраций органических веществ, определяемых термином ХПК, показаны на рис. 2 (а), а на рис. 2 (б) представлена зависимость снижения

производительности мембранного аппарата от значения К при обработке фильтрата ТБО.

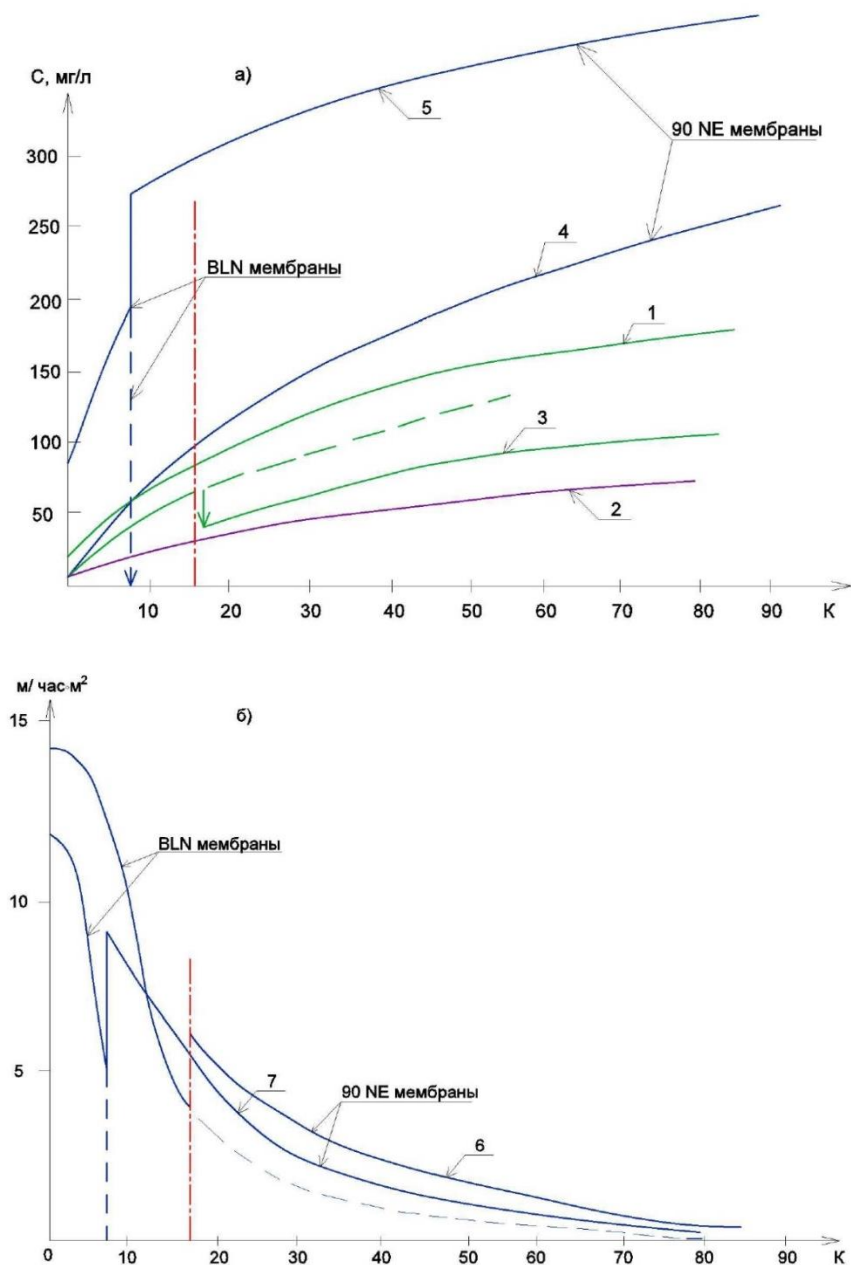


Рис.2. Результаты определения изменений качества очистки по различным ионам и снижения производительности мембран в процессе экспериментов: а) зависимость значений концентраций различных загрязнений в фильтрате обратноосмотических и нанофильтрационных мембран от значений К; б) изменение величины удельной производительности мембран с ростом величины К.

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1 - хлориды | 5 - ХПК (без реагентной обработки) |
| 2 - аммоний | 6 - производительность по фильтрату после реагентной обработки |
| 3 - ХПК (после реагентной обработки) | 7- производительность по фильтрату без реагентной обработки |
| 4 - сульфаты | |

Fig. 2. The results of determining changes in the quality of purification for various ions and a decrease in membrane performance during the experiments: a) the dependence of the values of the concentrations of various contaminants in the filtrate of reverse osmosis and nanofiltration mebranes on the values of К; б) the change in the specific performance of membranes with an increase in К.

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1 - chlorides | 5 - COD (without reagent treatment) |
| 2 - ammonium | 6 - filtrate performance after reagent treatment |
| 3 - COD (after reagent treatment) | 7 - filtrate performance without reagent treatment |
| 4 - sulfates | |

При работе мембранной установки происходит образование осадка органических веществ на поверхности мембран. Образование органических осадков на мембранах изучалось в ряде работ [6,12]. Доказано, что органические загрязнения адсорбируются на поверхности мембраны, при этом селективность мембран повышается, а производительность очень незначительно падает.

Процесс адсорбции быстро заканчивается после накопления «адсорбционного» слоя на мембранах, который после того, как «покроет» поверхность мембраны, «отталкивает» органические соединения [14]. Результаты определения скоростей образования органических отложений на мембранах показаны на рис. 3.

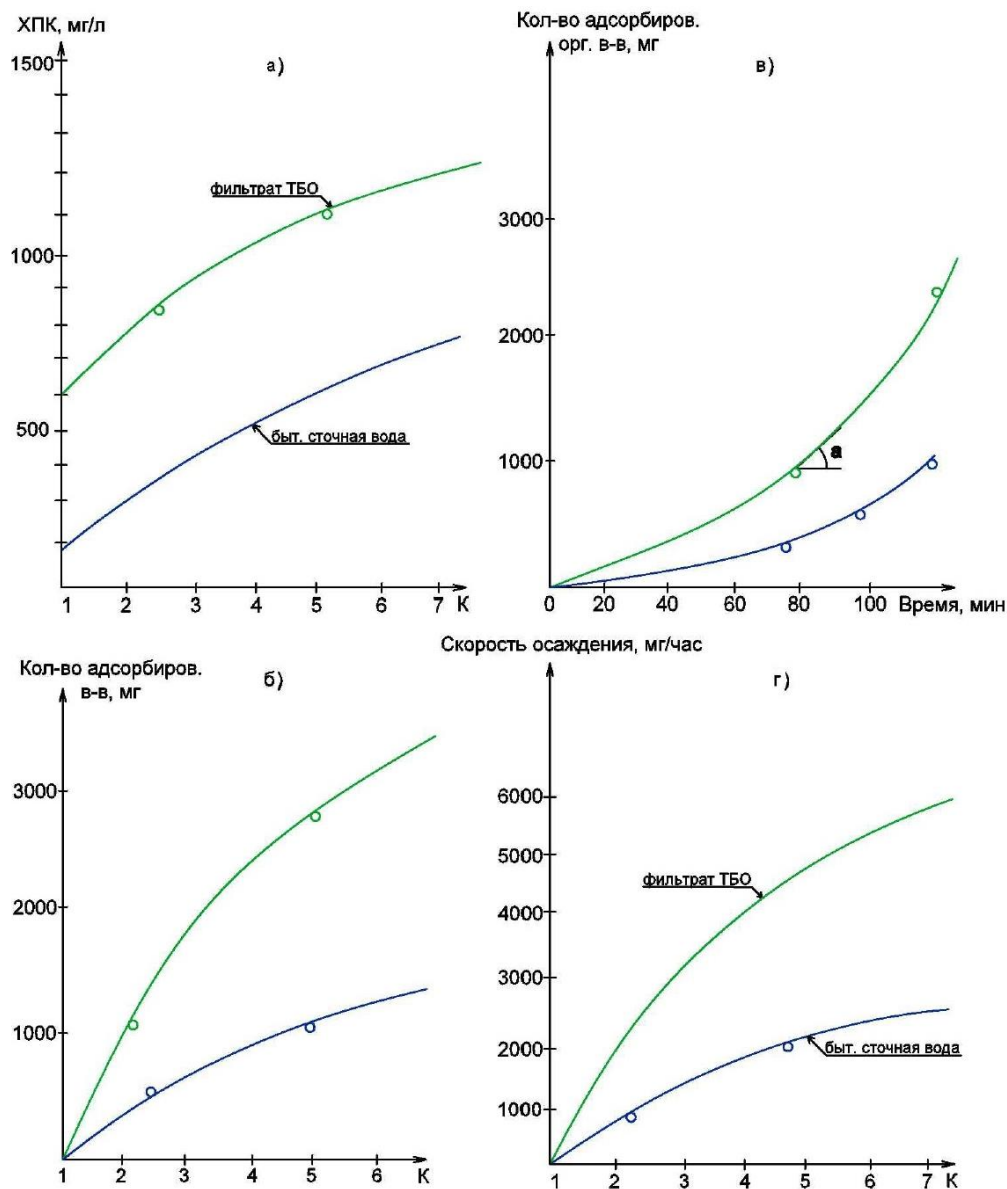


Рис.3. Определение скоростей адсорбции гуминовых веществ к поверхности обратноосмотической мембраны: а) зависимость значений ХПК от значения К в концентрате; б) зависимость количества адсорбированных органических веществ от К; в) зависимость количества адсорбированных органических веществ от времени эксперимента; г) зависимость скоростей накопления органических веществ от К.

Fig. 3. Determination of the rates of adsorption of humic substances to the surface of the reverse osmosis membrane: а) the dependence of the COD values on the value of K in the concentrate; б) the dependence of the amount of adsorbed organic substances on K; в) the dependence of the amount of adsorbed organic substances on the time of the experiment; д) the dependence of the rates of accumulation of organic substances on K.

Определение скоростей адсорбции органических веществ проводилось в соответствии с методикой, описанной в [12]. В процессе обработки фильтрата

ТБО определялись значения ХПК в фильтрате и концентрате для разных значений К и времени эксперимента. Количество адсорбированных

органических веществ определялось методом массового баланса, как разница между количеством органических веществ в исходной воде и в концентрате и фильтрате для разных значений К (рис.3,б). Скорости образования отложений определялись как тангенсы углов наклона касательных к кривым графиков зависимостей количества осадка от времени в точках, соответствующих выбранным значениям К (рис.3,в). Определение скоростей адсорбции позволяет прогнозировать количество

накопленного осадка на мембранах с течением времени. Удаление органических осадков с поверхности мембран производится путём проведения химических промывку мембранных аппаратов. На рис.4, показаны результаты экспериментов по проведению химических промывок мембранного аппарата щелочным раствором. Эффективность проведения промывки контролируется по значениям цветности (рис.4,а) и по значениям ХПК (рис.4,б).

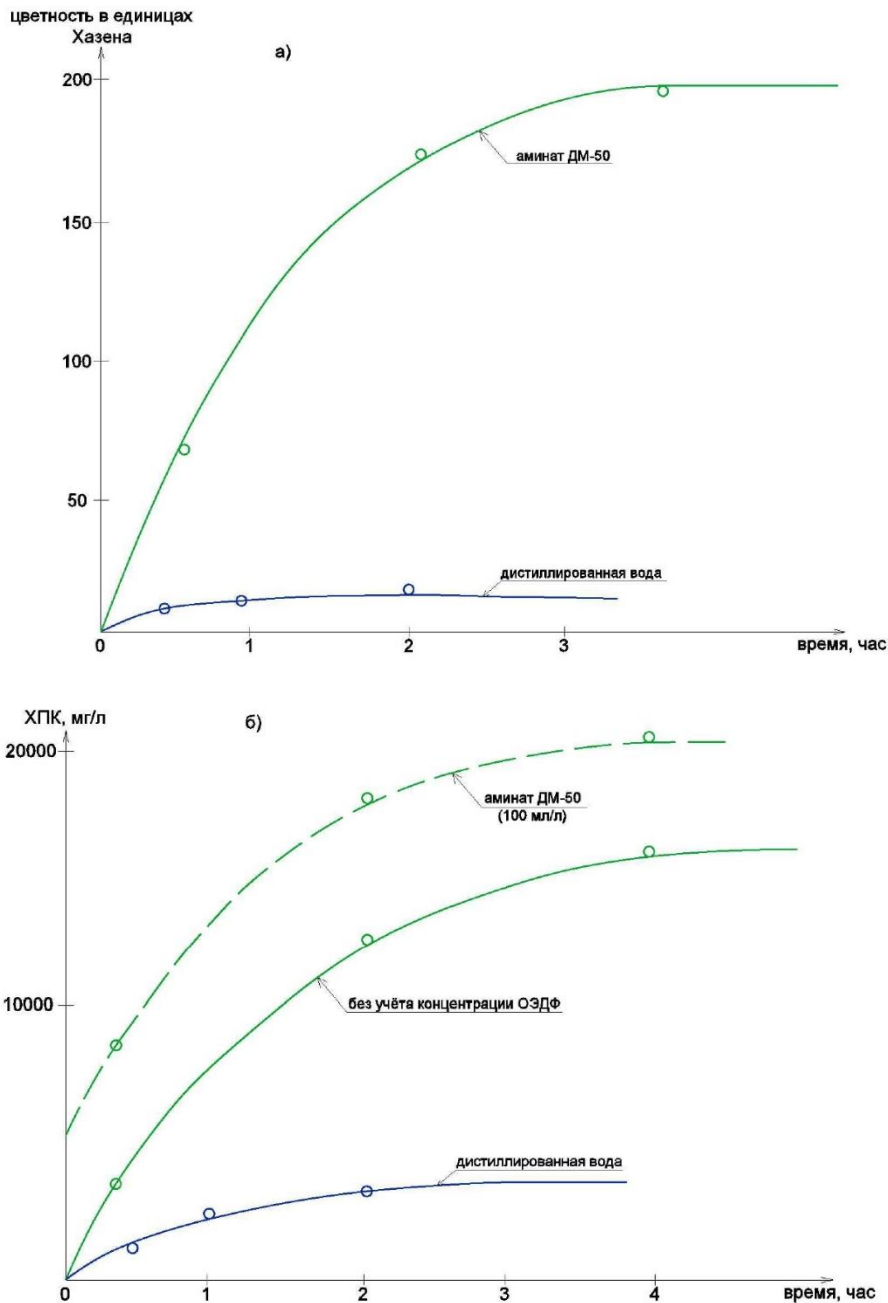


Рис.4. Определение эффективности удаления осадка органических веществ при химической промывке: а) зависимость цветности промывной раствора от времени; б) зависимость ХПК промывного раствора от времени

Fig. 4. Determination of the efficiency of removing organic matter sediment during chemical washing: a) the dependence of the color of the washing solution on time; b) time dependence of the COD of the washing solution..

Для определения требуемого количества мембранных элементов для обработки концентрата

и доведения его расхода до величины, не превышающей 1% от поступающей на очистку

воды, были проанализированы полученные экспериментально зависимости производительности мембран от кратности снижения объёма исходной воды, значения величины общего солесодержания и значения ХПК исходной сточной воды, полученные при давлении 6 Бар при обработке воды на экспериментальной установке (рис.1,б).

Как видно из рис.2 (б), производительность мембран при увеличении К сильно уменьшается. Для определения требуемой для достижения заданной величины выхода площади мембран были определены значения удельной производительности мембран, соответствующие различным диапазонам изменения значения К (рис.5). На рис.5 показаны зависимости снижения удельной производительности мембран от значений К (рис.5,а) и значений объема полученного в процессе эксперимента фильтрата (рис.5,б). Для определения требуемой для концентрирование фильтрата ТБО

площади мембран объём полученного фильтрата разбивается на участки: объём фильтрата, полученный в диапазоне изменения К от 1 до 3; при изменении К от 3 до 4; при изменении К от 4 до 7. Для каждого диапазона определены объёмы полученного фильтрата, представленные на рис.6 в процентах от общего объёма полученного фильтрата.

На рис.6 (а,в) представлены зависимости средней величины удельной производительности мембран на первой ступени от К при очистке фильтрата ТБО после реагентной обработки. Средняя величина удельной производительности для каждого диапазона изменения К получена, как частное от деления объёма фильтрата, полученного в этом диапазоне, на время, требуемое для накопления этого объёма. Требуемое значение площади мембран для получения объёма фильтрата в каждом диапазоне изменения К определялось, как частное от деления объёма фильтрата на среднее значение величины удельной производительности мембран в этом диапазоне (рис.6,б,г).

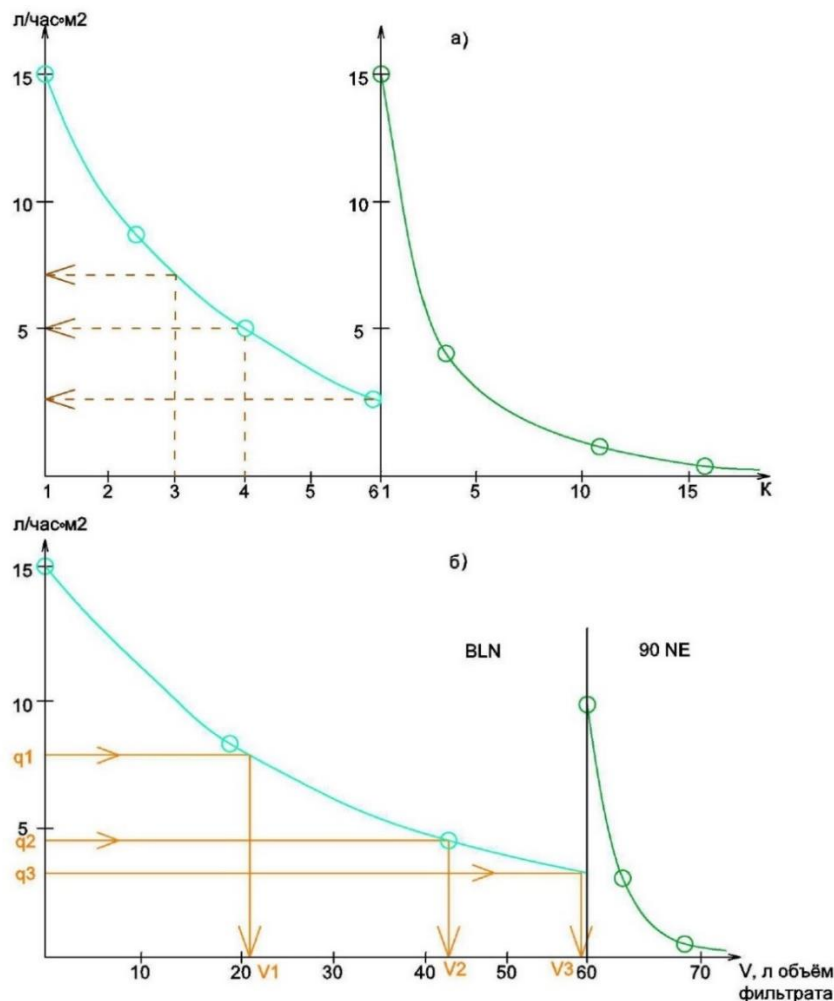


Рис.5. Определение расходов и объемов полученного фильтрата в различных диапазонах изменения К при обработке фильтрата ТБО после реагентной обработки; а) – зависимость удельной производительности мембраны от К; б) – зависимость удельной производительности мембраны от полученного объема фильтрата.

Fig. 5. Determination of flow rates and volumes of the obtained filtrate in various ranges of K variation when processing the MSW filtrate after reagent treatment; а) – the dependence of the specific performance of the membrane on K; б) – the dependence of the specific performance of the membrane on the obtained volume of the filtrate.

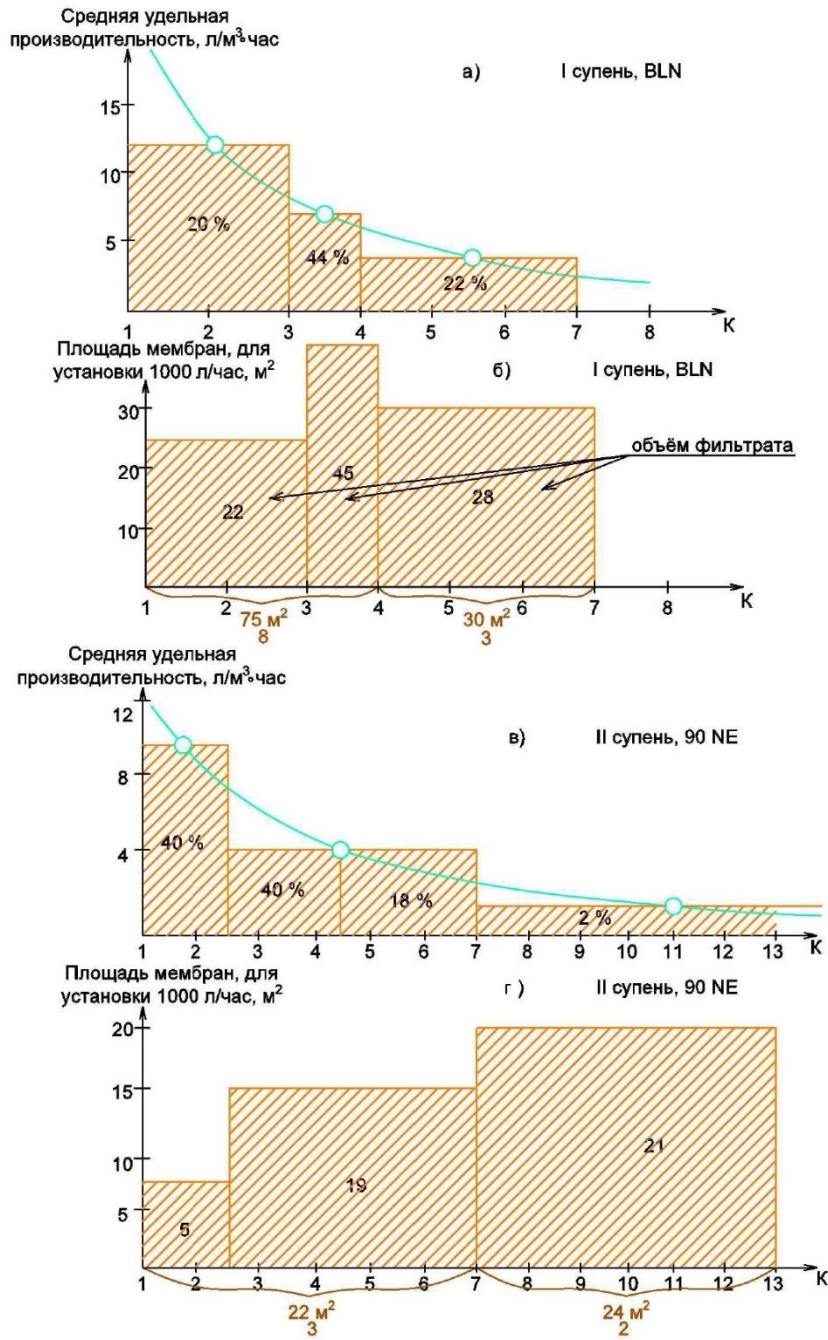


Рис.6. Определение площади мембран для установки обработки фильтрата ТБО производительностью 1000 литров в час: а, б – на первой ступени обработки; в, г – на второй ступени обработки.

Fig. 6. Determination of the area of membranes for a solid waste filtrate processing unit with a capacity of 1000 liters per hour: a, b – at the first stage of treatment; c, d – at the second stage of processing.

Результаты определения количеств мембранных аппаратов типа 4040 при очистке фильтрата ТБО "напрямую" безреагентной обработки показаны на рис.7. На рис.8 показаны результаты определения требуемой площади поверхности мембран для достижения заданной величины К в виде зависимости площади мембран от К. Требуемое количество мембранных элементов определяется, исходя из того, что площадь мембран в рулонном серийном элементе "стандарта" 4040 (длина 100 мм и диаметр 100мм) составляет 10 квадратных метров.

Таким образом, чтобы произвести в час 1000 литров очищенной воды и при этом снизить расход сбрасываемого концентрата до величины, составляющую 1/7 от расхода поступающей на очистку воды, требуется 12 мембранных элементов "стандарта" 4040 (рис. 9). Мембранные элементы подключаются "ступенчато", расположение аппаратов выглядит следующим образом: 5 параллельно работающих элементов, затем 4 и далее – 3.

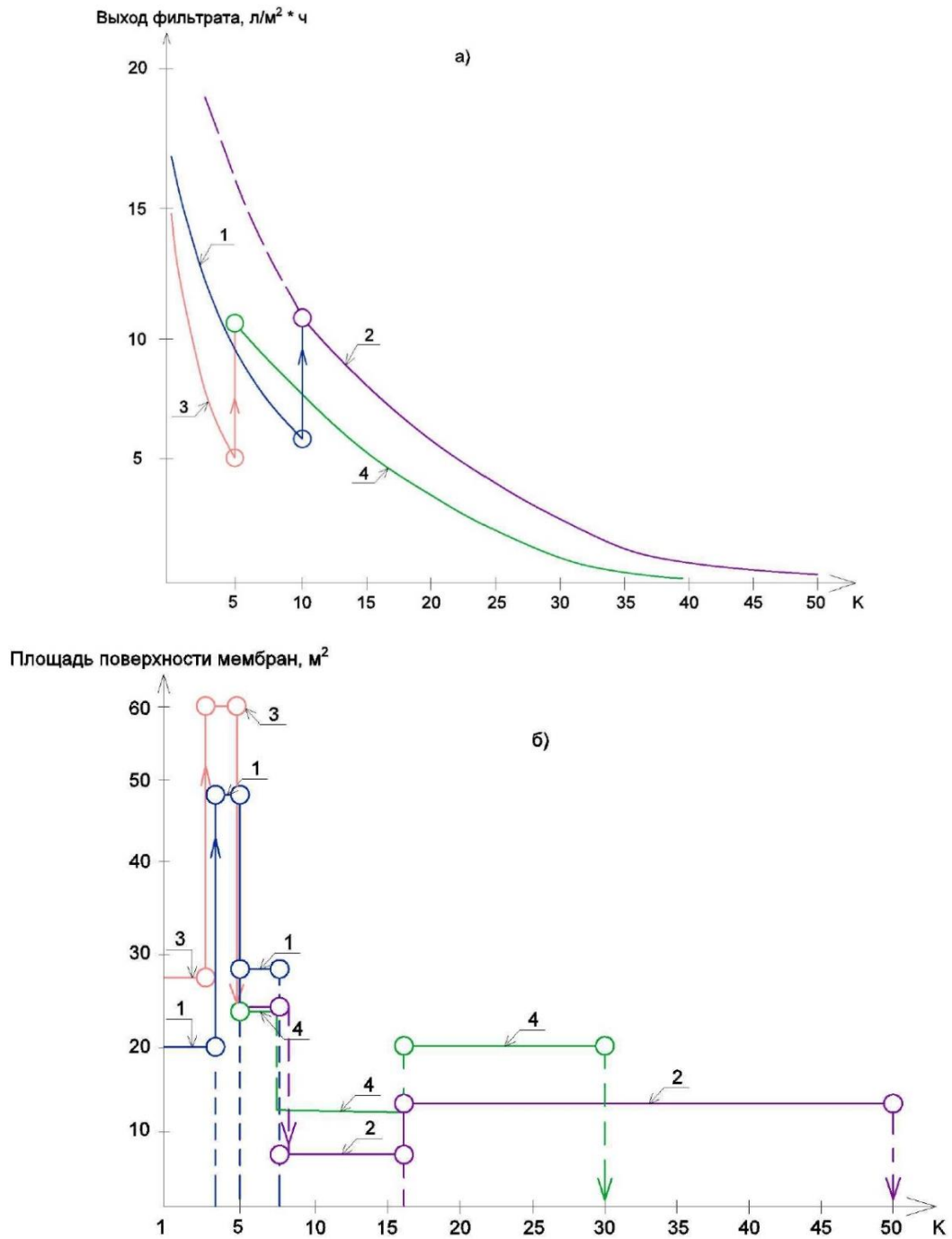


Рис. 7. Определение требуемой площади поверхности мембран для достижения заданной величины выхода фильтрата: а) – зависимость величины удельной производительности мембран от К; б) – значения площади поверхности мембран в различных диапазонах изменения К:

- 1 – мембраны BLN, после реагентной обработки фильтрата ТБО
- 2 – мембраны 90 NE после реагентной обработки фильтрата ТБО
- 3 – мембраны BLN, очистка фильтрата ТБО без предварительной реагентной обработки
- 4 – мембраны 90 NE, очистка фильтрата ТБО без предварительной реагентной обработки

Fig. 7. Determination of the required membrane surface area to achieve a given filtrate yield value: а) – the dependence of the specific membrane performance on K; б) – the values of the membrane surface area in different ranges of K:

- 1 – BLN membranes, after reagent treatment of solid waste filtrate
- 2 – membranes 90 NE after reagent treatment of solid waste filtrate
- 3 – BLN membranes, MSW filtrate purification without preliminary reagent treatment
- 4 – membranes 90 NE, MSW filtrate purification without preliminary reagent treatment

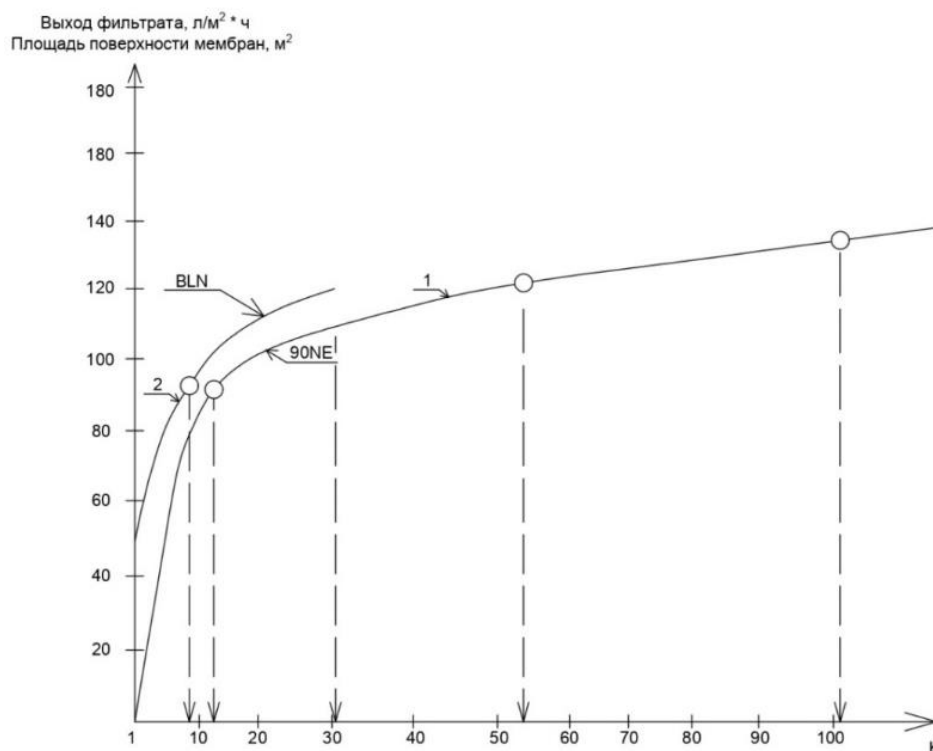


Рис .8. Зависимость требуемой площади поверхности мембран от выбранной величины К при обработке фильтрата полигона ТБО: 1 – фильтрат ТБО после реагентной обработки; 2 – фильтрат ТБО без реагентной обработки

Fig. 8. Dependence of the required membrane surface area on the selected K value when processing the filtrate of the solid waste landfill: 1 – solid waste filtrate after reagent treatment; 2 – MSW filtrate without reagent treatment

На рис.9 показаны результаты определения количества мембранных элементов и даны схемы их подключения для двух вариантов: с предварительной реагентной обработкой фильтрата полигона ТБО и без предварительной реагентной обработки. Для случая, когда предварительная реагентная обработка не производится и фильтрат ТБО, имеющий значение ХПК 1800 мг/л, очищается на мембранах обратного осмоса "напрямую", максимальная величина выхода фильтрата не превышает 90% вследствие быстрой потери мембранами производительности (рис.7,а).

На рис.10 показана технологическая схема очистки воды и вариант подключения мембранных элементов на первой, второй и третьей ступенях мембранной очистки. Расчет площади мембран и количества аппаратов выполнен для величины рабочего давления 6 Бар. Технологическая схема включает сооружения для удаления взвешенных веществ: обработку коагулянтами и флокулянтами, отстаивание и фильтрование. При этом величина ХПК исходной воды практически не снижается. Для того, чтобы снизить значение ХПК, требуется реагентная обработка с использованием стехиометрических расходов реагентов (хлорного

железа и др.) с большими дозами. Кроме того, реагентная обработка и осаждение органических веществ (гуматов) требует времени, поэтому размещение оборудования для отстаивания требует дополнительного места. После проведения реагентного осаждения в баке 3 (рис.10) органических загрязнений, фильтрат полигона ТБО проходит обработку на установке первой ступени обратного осмоса (рис. 9 и 10), значение величины выхода фильтрата на которой составляет 85-90%.

Для последующего увеличения величины выхода фильтрата используется установка третьей ступени с применением нанофильтрационных мембран. Для этого концентрат установки первой ступени собирается в промежуточном баке концентрата 11 (рис. 10), в котором осуществляется дополнительное реагентное осаждение сконцентрированных высокомолекулярных органических веществ (значение ХПК в концентрате первой ступени доходит до 1200-1500 мг/л). Дальнейшее снижение расхода концентрата осуществляется на третьей ступени с применением аппаратов с нанофильтрационными мембранами типа 90NE, в которых расход концентрата снижается еще в 15-20 раз (рис.7).

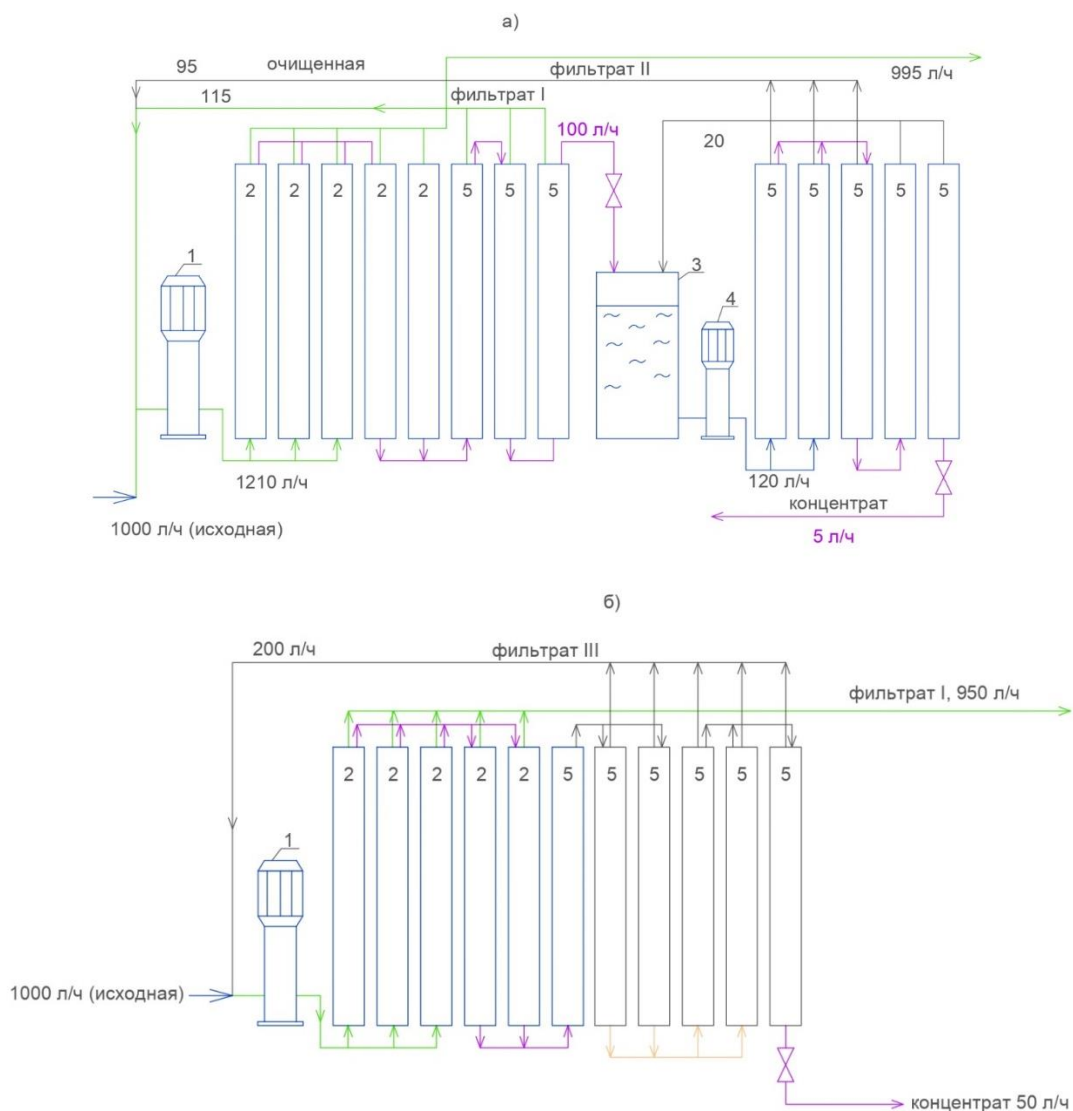


Рис. 9. Результаты определения площади мембран на I и II ступенях очистки и схема подключения аппаратов:

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 – насос I ступени | 4 – насос II ступени |
| 2 – мембранный аппарат BLN 4040 | 5 – мембранные аппараты 70NE 4040 |
| 3 – бак сбора концентрата I ступени | |

Fig. 9. Results of determining the area of membranes at I and II stages of purification and connection diagram of the devices:

- | | |
|---|--------------------------------|
| 1 – stage I pump | 4 – stage II pump |
| 2 – membrane apparatus BLN 4040 | 5 – membrane devices 70NE 4040 |
| 3 – 1st stage concentrate collection tank | |

Осадок из первичных отстойников 3 и из промежуточного бака-отстойника 11 (рис.10) поступает в уплотнитель осадка 15, а затем направляется на блок обезвоживания 18. Фильтрат после установки обезвоживания осадка направляется в промежуточный бак 11 установки второй ступени. Исходя из общего количества осадка можно определить требуемое количество концентрата (воды, составляющей влажность обезвоженного осадка при 80

процентной влажности) и при ХПК исходной воды 1800 мг/л, а также при ХПК воды после реагентной обработки на входе в аппараты первой ступени 240 мг/л, При расходе фильтрата полигона ТБО 24 куб. м в сутки (1000 литров в час) общее количество осадка (твердых веществ), выводимое с установки, составляет 60 кг/сутки. Расход обезвоженного осадка (при влажности 80 %) составит 360 литров в сутки.

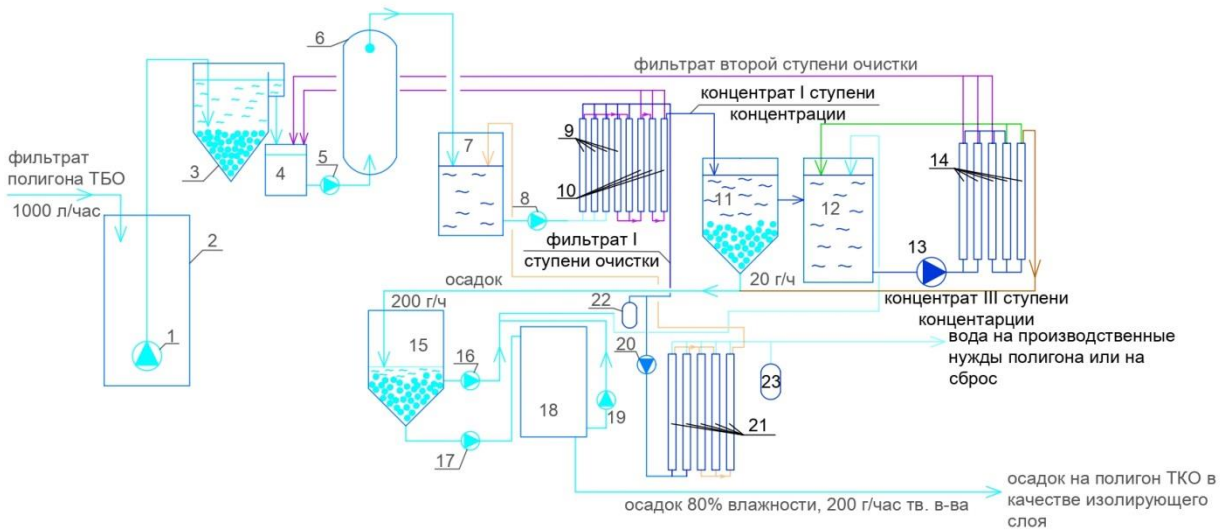


Рис. 10. Технологическая схема очистки фильтрата ТБО с указанием всех видов оборудования:

- | | | |
|--|---|---|
| 1 – насосное перекачивание
фильтрата | 9 – мембраны обратного осмоса | 16 – насос для рециркуляции
очищенной воды |
| 2 – резервуар для сбора фильтрата | 10 – наночистотная мембрана для
восстановления | 17 – иловый насос для
обезвоживания |
| 3 – отстойник | 11 – резервуар для сбора
концентрата для осаждения
органических веществ | 18 – «мешок»
обезвоживающий блок |
| 4 – бак для осветлённой
воды | 12 – резервуар осветлённого
концентрата | 19 – насос для удаления
воды |
| 5 – насос подачи воды на
фильтры | 13 – насос третьей ступени | 20 – насос обратного
осмоса второй ступени |
| 6 – фильтры | 14 – мембраны третьей
ступени | 21 – вторая ступень
мембран |
| 7 – насосы для фильтрации
воды | 15 – резервуар для
«сгущения» ила | 22 – бак давления
продукта первой ступени |
| 8 – насос подачи воды на систему
обратного осмоса | | 23 – бак давления продукта
второй ступени |

Fig. 10. Technological scheme for cleaning the MSW filtrate with an indication of all types of equipment:

- | | | |
|---------------------------------------|--|---|
| 1 – pumping pumping of filtrate | 9 – reverse osmosis membranes | 16 – pump for recirculation
purified water |
| 2 – reservoir for collecting filtrate | 10 – nanofiltration membrane to increase
recovery | 17 – sludge pump for
dehydration |
| 3 – sump | 11 – collection tank
concentrate for precipitation of organic
matter | 18 – "bag"
dewatering unit |
| 4 – tank for clarified
water | 12 – clarified concentrate tank | 19 – pump for removal
water |
| 5 – water supply pump for
filters | 13 – pump of the third stage | |
| | 14 – membrane of the third | |

Для случая, когда фильтрат полигона ТБО очищается "напрямую" на мембранной установке без реагентной обработки, промежуточного бака 11 и бака осветленной воды 12 (рис. 10), а также рабочего насоса третьей ступени 13 (рис.10) не требуется: наночистотные мембраны входят в состав установки третьей ступени (рис. 9,б). С увеличением рабочего давления растёт удельная производительность мембран (уменьшается

требуемая площадь мембран) и растёт расход электроэнергии. С уменьшением количества мембранных аппаратов падает и расход моющих реагентов на промывку мембран и растворение органических отложений. На рис.11 показаны результаты определения оптимального значения величины рабочего давления, соответствующего минимальному значению эксплуатационных затрат.

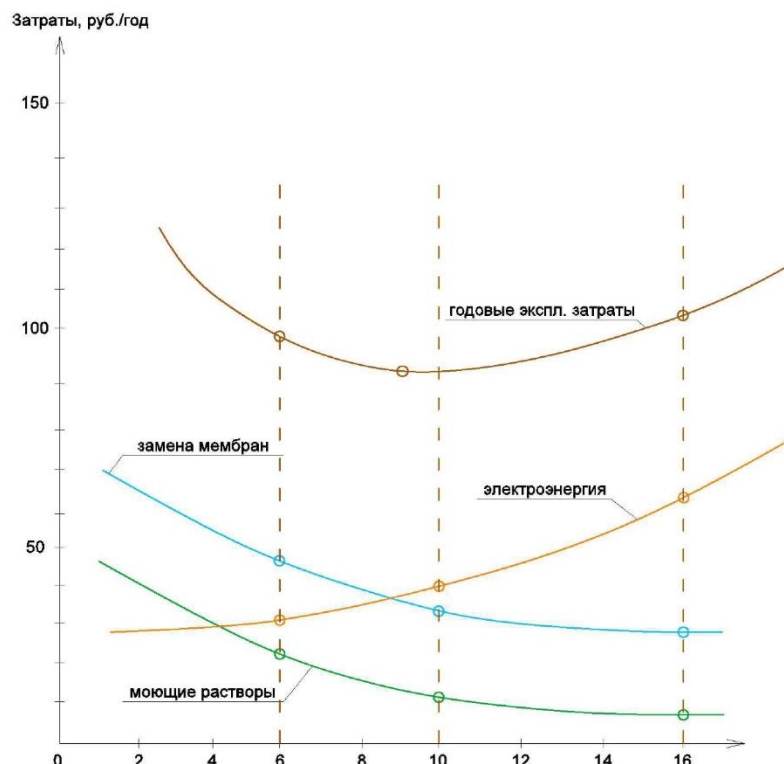


Рис. 11. Результаты определения величины эксплуатационных затрат для установки обработки фильтрата полигона ТБО производительностью 1000 литров в час.

Fig. 11. The results of determining the value of operating costs for the treatment plant for the landfill leachate with a capacity of 1000 liters per hour

ВЫВОДЫ

На эффективность работы мембран при разделении фильтратов полигонов хранения ТБО методом обратного осмоса большое влияние оказывает содержание в нем высокомолекулярных органических веществ. Целесообразно производить реагентное осаждение органических веществ с применением реагентов перед последующей обработкой сточной воды методом обратного осмоса.

После обезвоживания осадка, состоящего из взвешенных веществ и осажденных реагентным способом органических соединений влажность его составляет 78-80%. Концентрат установки обратного осмоса, составляющий 0,6-0,8% от объема исходного поступающего на обработку фильтрата полигона ТБО выводится вместе в обезвоженным осадком.

При обработке фильтрата полигона ТБО "напрямую" методом обратного осмоса без предварительной реагентной обработки максимальная величина выхода фильтрата, которую можно достичь при обработке, составляет не более 90-92%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hussein L., Abdel-Shafy, Mona S., Mansour M. Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling and valorization. *Egyptian Journal of Petroleum*. Volume 27, Issue 4, December 2018, pages 1275 - 1290.
2. J. Wiszniowski, D. Robert, J. Summer-Gorska, K. Miksh, J.V. Weber. Landfill leachate treatment methods: a review. *Environ. Chem. Lett.*, 4 (2006), 51-61. DOI: 10.1007/s10311-005-0016-z.
3. Sun W.Y., Kang M.S., Yim S.K., Choi K.H. Advances Landfill Leachate Treatment Using an integrated membrane processes. *Desalination*, v. 149, (2002), p. 109-114.
4. B. Weber and F. Holz. *Landfill Leachate Treatment by Reverse Osmosis*. 1991. Elsevier Science Publishers Ltd, England. *Effective Industrial Membrane Processes - Benefits and opportunities*, pp.143-154.
5. Angelo Chianese, Ronaldo Ranauro, Nicola Verdone. Treatment of landfill leachate by reverse osmosis. *Water Research*, Volume 33, Issue 3, February 1999, pages 64-652.
6. Kenichi Ushikovski, Tetsuo Kobayashi, Kazuya Uematsu, Akihiro Toji, Dai Kojima, Kanji Matsumoto. Leachate treatment by the reverse osmosis system. *Desalination*, Volume 150, Issue 2, November 2002, Pages 121-129.

7. Amokrane A., Comel C., Veron J. Landfill leachate pretreatment by coagulation-flocculation. *Water Resources*. (1997), 31, 2775-2782.

8. Mark Wilf. The guidebook to membrane for wastewater reclamation. Balaban Desalination Publishing, 2010. V.788.

9. A. Perez-Gonzales, A.M. Urriaga, R. Ibanez, I. Ortoz. State of the art and review of the treatment technologies of water reverse osmosis concentrates. *Water Research*, 46 (2012) 267 - 283.

10. Wojciech Dabrowski, Alexei Pervov, Konstantin Tikhonov. Use of reverse osmosis to modify biological wastewater treatment. *Vestnik MGSU. Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, vol.13 issue 10, 2018. ISSN 1997-0935. DOI: 10.22227/1997-0935, 2018.10.1222-1235.

11. Pervov A.G., Andrianov A.P. Application of membranes to treat wastewater for it's recycling and reuse: new considerations to reduce fouling and recovery up to 99 per cent. *Desalination and water treatment*. 2011. Vol.35.(1-3). Pp.2-9. DOI: 10.5004/DWT.2011.3133.

12. A.G. Pervov, Xuan Quyet Nguen and E.B. Yurchevski. Investigation of the influence of organics contained in natural water on the performance of reverse osmosis membranes. *ISSN 2517-7516, Membranes and membrane technologies*, 2019, vol.1, No 5, pp.286-297. Pleiades Publishing, Ltd.2019.

DETERMINATION OF THE MAIN PARAMETERS OF OPERATION OF REVERSE OSMOSIS IN THE PURIFICATION OF EFFLUENTS OF LANDFILLS

Pervov A.G., Shirkova T.N.

Summary. Results of investigations are presented that were aimed at production of quality water that meets regulations for surface water sources discharge. All impurities rejected by reverse osmosis membranes that are contained in concentrate stream can be withdrawn together with the dewatered sludge. Experimental research is conducted to develop membrane operational modes during leachate treatment. Experimental procedure is described to evaluate reduction of membrane flux and rejection during leachate treatment and recovery increase. Results of investigations are presented that enable us to determine main characteristics of membrane process such as: membrane flux, ammonia rejection, membrane types required, number of stages, recovery values. Experimental relationships are developed to determine the required membrane recovery values that correspond to ammonia concentration in the feed water to meet required regulation values in the product water. Tools to evaluate the required membrane area and required amount of membrane modules are developed and described. Influence of organics defined as COD (chemical oxygen demand) on membrane performance is investigated. Optimum values of working pressure are evaluated as well as economical parameters of membrane process are determined. Main tools to handle concentrate streams of membrane facilities and to withdraw it with dewatered sludge as well as methods to utilize sludge and concentrate are discussed.

Subject of research: filtrates of solid waste landfills with different composition determined by COD indicators (chemical oxygen consumption), concentrations of ammonium ions, nitrate ions, phosphate ions, as well as hardness and alkalinity; determining the costs of the discharged concentrate and studying the possibilities of reducing them; determining the cost of reagents and electricity.

Materials methods: the schemes of cleaning processes have been studied. Chemical equations of processes occurring in structures are presented and considered, and stoichiometric concentrations of the reagents used are determined. Balance charts have been drawn up to determine the costs of solid waste filtrate, treated water, sediment and concentrates of reverse osmosis plants, as well as the concentrations of various contaminants in them at each stage of treatment at the entrance and exit of structures.

Key words: landfill leachate; reverse osmosis; nanofiltration; membrane fouling; recovery; concentrate handling.