

ПОЛУЧЕНИЕ ВОДЫ ПОВЫШЕННОГО КАЧЕСТВА, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ НА ОАО «БЭМЗ»

В. В. Мороз¹, Е. А. Урецкий², Э. И. Михневич³

¹К. т. н., доцент, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов
УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: vovavall@mail.ru

²Инженер-эколог РУП «Белорусский государственный проектный институт», Витебск, Беларусь, e-mail: euretsky@yandex.by

³Д. т. н., профессор кафедры водоснабжения и водоотведения
УО «Белорусский национальный технический университет», Минск, Беларусь, e-mail: ed_mik_bia@tut.by

Реферат

В статье приведены результаты исследования по изучению состава сточных вод производства печатных плат, которые позволили создать малозатратную технологию доочистки этих сточных вод, что позволяет байпасно-ступенчато возвращать до 85 % очищенных сточных вод обратно в производство и получать воду повышенного качества (Е4) для приготовления растворов драгметаллов.

Ключевые слова: ионы тяжелых металлов, тонкослойные отстойники, торф, намывные фильтры, электродиализ, ионообменные фильтры.

OBTAINING HIGH QUALITY WATER USED FOR THE PRODUCTION OF PRINTED BOARDS AT JSC «BEMZ»

V. V. Moroz, E. A. Uretsky, E. I. Mikhnevich

Abstract

The article presents the results of a study on the study of the composition of wastewater from the production of printed circuit boards, which made it possible to create a low-cost technology for the post-treatment of this wastewater, which makes it possible to return up to 85% of the treated wastewater back to production in a bypass-step manner and obtain high-quality water (E4), for the preparation of solutions of precious metals.

Keywords: Heavy metal ions, thin-layer sedimentation tanks, peat, pre-wash filters, electro dialysis, ion-exchange filters.

Введение

На сегодняшний день микроэлектроника остается по-прежнему одним из катализаторов научно-технического прогресса важнейших отраслей народного хозяйства. Уровень и скорость её развития, а также объемы производства ее основных изделий во многом определяют оборонный, экономический и культурный потенциал страны [1, 2, 3, 4].

Основными стандартами, которые регламентируют качество воды, применяемой в микроэлектронике, являются стандарты Института полупроводниковой техники и материалов (Semiconductor Equipment and Materials Institute – SEMI) и Американского общества по испытанию материалов (American Society of Testing Materials – ASTM). Требования к воде по нормам ASTM D-5127-90 и ОСТ 11.029.003-80 [1, 2, 3, 4]. Но поскольку ОСТ 11.029.003-80 был выпущен в 1980 году и требования к деионизованной воде, указанные в нем устарели, и в своей деятельности по проектированию и изготовлению установок получения ультрачистой воды для микроэлектроники мы в основном руководствуемся стандартами SEMI и ASTM.

В стандарте ASTM D 5127-90 для деионизованной воды, применяемой в электронике, предусмотрено четыре типа воды, в зависимости от размера полупроводниковых микроэлементов, в производстве которых она используется:

- тип Е-1 – ультрачистая вода для элементов размером менее 1 мкм;
- тип Е-2 – для элементов размером от 1 до 5 мкм;
- тип Е-3 – для элементов размером более 5 мкм;
- тип Е-4 – для производства электронных плат общего назначения, где возможно промежуточное хранение подготовленной воды в атмосферных емкостях.

Основная часть. Основные задачи исследований и разработка технологической схемы доочистки сточных вод

На ОАО «Брестский электромеханический завод» (ОАО «БЭМЗ»), в свое время одним из крупнейших предприятий радиопромышленности СССР, Московским государственным проектным институтом (МГПИ) было запроектировано и внедрено мощное гальваническое производство. Для очистки сточных вод этого производства были также запроектированы очистные сооружения реагентного

типа большой для приборостроительной отрасли производительности 88,1 м³/ч. Очистные сооружения занимали отдельный 4-х этажный корпус.

Согласно проекту МГПИ на ОАО «БЭМЗ» для приготовления технологических растворов гальванического производства (цинкование, никелирование, хромирование и др.) использовалась водопроводная вода для питьевых нужд. Однако эта вода не обеспечивала получения качественных покрытий деталей. Объяснялось это тем, что её забор в г. Бресте осуществлялся из подземных источников. Вследствие этого она содержала в своём составе высокие концентрации солей жёсткости, железа и пр. Положение усугублялось ещё и тем, что из-за несвоевременных промывок городских водопроводных сетей и их дезинфекции в воде имели место высокие концентрации взвеси и органических загрязнений. Все перечисленные факторы негативно сказывались на качестве покрытий.

Для устранения этих негативных факторов авторами была разработана и внедрена технология доочистки сточных вод с последующим возвратом их обратно в производство [5, 6, 7].

Создание этой технологии упрощалась внедрением малозатратной ресурсосберегающей технологии совместной очистки сточных вод производств защитных покрытий (гальваника + покраска) [7, 8]. Новая технология по сравнению с проектной позволила снизить содержание взвешенных веществ в осветлённых сточных водах с 20–40 мг/дм³ до 10–20 мг/дм³, ХПК с 2500 мг/дм³ до 20 мг/дм³ и общее солесодержание с 1500–2500 мг/дм³ до 20–25 мг/дм³.

Согласно этой технологии сточные воды, прошедшие предварительную очистку на ранее разработанной рациональной технологии, последовательно проходят осветление на тонкослойном модуле с зернистым хлопьеобразователем, напорном каркасно-засыпном фильтре и электродиализной установке [5, 6]. Эта технология, в зависимости от требований ТУ к качеству технической воды, позволяла байпасно-ступенчато возвращать доочищенные сточные воды на повторное использование. В процентном соотношении количество от всепотребляемой воды составило: осветлённые воды на собственные нужды очистных сооружений 8–10 %, фильтрат на промывочные операции деталей гальванического производства 60–65 %, дилуат для приготовления растворов 6–10 %).

Результаты работы линии доочистки сточных вод приведены в таблице 1.

В рамках расширения производственной базы ОАО «БЭМЗ» МГПИ разработал проект отдельного корпуса для производства многослойных печатных плат. Согласно этому проекту сброс различного вида сточных вод от этого производства составлял 250 м³/час. Однако технология доочистки сточных вод гальванического производства, описанная выше, была недостаточно высока для сточных вод производства печатных плат и в особенности для приготовления растворов драгметаллов (золочения, серебрения, палладирования и пр.), соответствующим нормам ASTM. (E4). Необходимы были новые подходы.

Таблица 1 – Результаты работы линии доочистки

Место отбора проб	pH	Взвешенные вещества, мг/дм ³	Сухой остаток, мг/дм ³	Общее солесодержание, мг/дм ³	Окисляемость, мг/дм ³	Щёлочность, мг/дм ³	Хром, мг/дм ³	Железо, мг/дм ³
Реактор	9,00	324,0	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	20	13,5
Отстойник	8,85	21,0	882,0	1100,0	7,4	3,1	0,05	1,44
Фильтр	8,76	5,0	863,0	1000,0	7,2	3,0	0,02	0,42
Дилуат*	7,20	1,2	220,0	160,0	6,4	2,2	0,01	0,02
Техническая вода	8,1	8,2	202,0	240,0	5,6	4,0	отс	0,22
Водопроводная вода	6,9	4,8	261,0	320,0	4,8	4,6	отс	0,14

* – после однократной обработки на ЭДУ

Как известно, состав элементов системы очистки воды для производств печатных плат, количество стадий подготовки воды, аппаратное оформление технологического процесса, как правило, зависит от источника водоснабжения, состава исходной воды, требуемой степени очистки для различных производств.

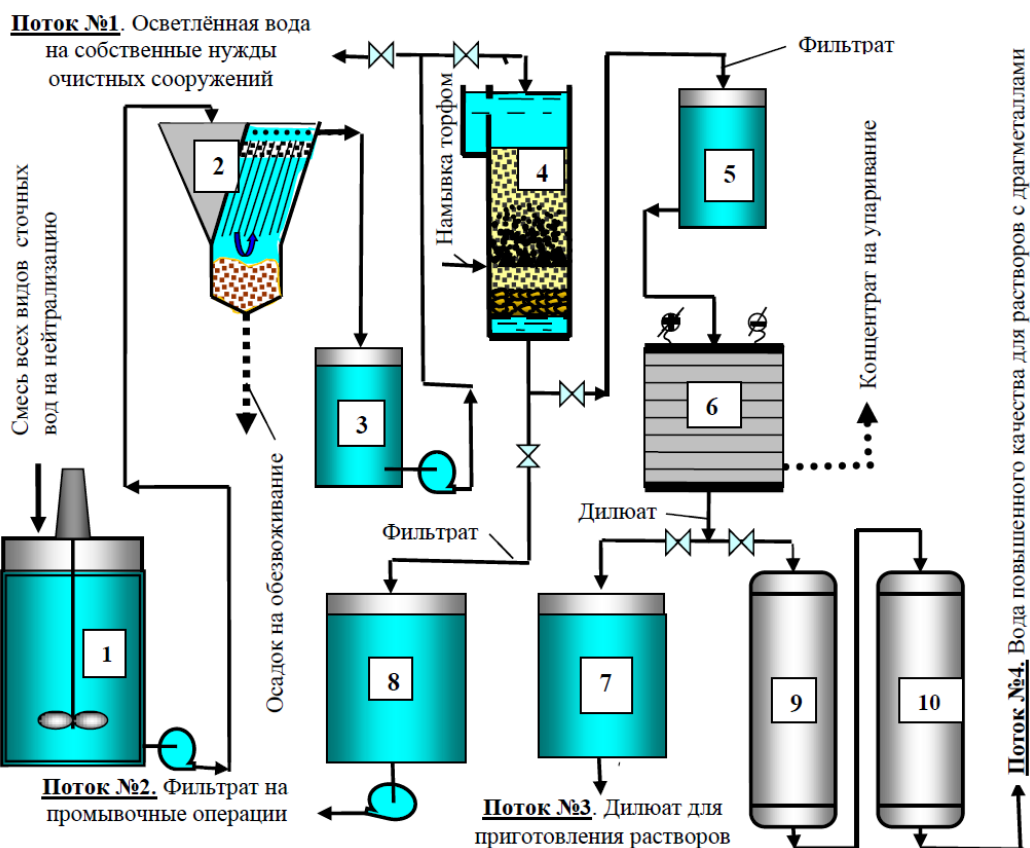
Именно поэтому современные системы получения воды повышенного качества предусматривают многостадийный процесс, обеспечивающий максимальное качество получаемой воды:

- стадию очистки на однослойных или многослойных насыпных фильтрах (фильтрах механической очистки);
- стадию адсорбционной очистки на насыпных адсорбционных фильтрах с активным углем или с использованием различного типа намывных сорбентов;
- мембранные технологии (нанофильтрация, ультрафильтрация, обратный осмос, электродиализ и пр.), которые могут значительно снизить содержание анионов и катионов (при обратном осмосе до 1 % от их содержания в исходной воде), задерживают микроорганизмы, высокомолекулярные органические соединения, эндотоксины и др. примеси;
- стадию высокой степени обессоливания воды с использованием Н-катионирования и ОН-анионирования.

С учётом требований, изложенных выше, для проведения научных исследований на очистных сооружениях ОАО «БЭМЗ» была смонтирована экспериментальная ступенчато-байпасная линия доочистки сточных вод для ПЗП (производство защитных покрытий) и ППП (производство печатных плат) (рисунок 1), которая в отличие от традиционной линии подготовки воды предназначена только для гальванического производства где с целью повышения качества воды была дополнена намывным фильтром (поз. 4), катионитовым фильтром (поз. 9) и анионитовым фильтром (поз. 10). При этом качество воды, прошедшей узел доочистки, должно было соответствовать требованиям технологической службы предприятия, указанным в таблице 2.

Предложенное техническое решение, производительность 1,0 до 1,5 м³/ч позволило с помощью ступенчато-байпасного подхода доочистки сточных вод дифференцировано обеспечить потребителей ПЗП и ППП водой необходимого качества.

При этом часть потока воды, прошедшего очистку с помощью электродиализа (поз. 6), направляется на ионообменные фильтры, где подвергается дополнительной деминерализации.



- 1 – реактор-нейтрализатор всех видов сточных вод; 2 – тонкослойный модуль с зернистым хлопьеобразователем;
- 3 – бак осветлённой сточной воды; 4 – намывный фильтр; 5 – бак фильтрата; 6 – электродиализная установка ЭДУ 400х2;
- 7 – бак дилуата; 8 – бак смеси фильтрата и дилуата; 9 – катионитовый фильтр; 10 – анионитовый фильтр

Рисунок 1 – Схема экспериментальной линии доочистки сточных вод ПЗП и ППП на ОАО «БЭМЗ»

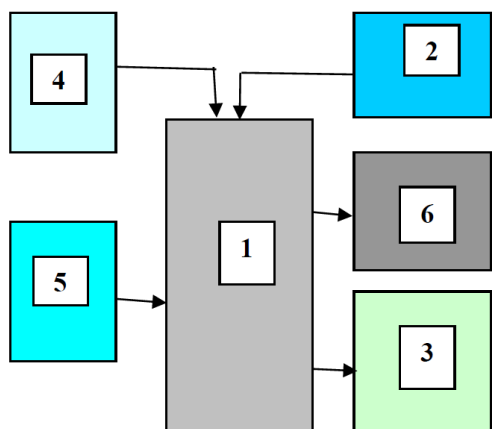
Таблица 2 – Характеристика качества воды, используемой для приготовления растворов технологических ванн защитных покрытий

№№ п/п	Показатели качества воды	Единица измерения	Требования ОСТ 420054.076
1	Взвешенные вещества	мг/дм ³	10
2	Твёрдые вещества	мг/дм ³	20
3	Цветность	градус	20
4	Жёсткость	мг-экв/дм ³	6,0
5	Железо	мг-экв/дм ³	0,3
6	Окисляемость	мгО ₂ /дм ³	5,0

Эта деминерализованная вода соответствует американскому стандарту ASTM для воды качества (E4) и она пригодна для приготовления технологических растворов драгметаллов [2, 3].

Технологическая схема работает следующим образом. Смесь сточных вод после нейтрализации в реакторе-нейтрализаторе (поз. 1) локальных очистных сооружений ОАО «БЭМЗ» отдельным потоком направляется на экспериментальную линию доочистки сточных вод ПЗП и ППП (рисунок 1). На этой линии реализуется дифференцированная байпасная схема. Она состоит из тонкослойного модуля со встроенными зернистыми хлопьеобразователями (поз. 2), намывного фильтра (поз. 4), стандартной электродиализной установки ЭДУ 400x2 Алма-атинского завода МПС (поз. 6), катионитового ионообменного фильтра (поз. 9) и анионитового ионообменного фильтра (поз. 10). Определяющими загрязнителями промышленных сточных вод исследуемого типа являются взвешенные вещества, железо и растворённые органические вещества.

Одной из задач являлось исследование возможности использования намывного фильтра в качестве узла доочистки от взвешенных и органических загрязнений. Для этого была изготовлена опытно-промышленная установка блок-схема, которой приведена на рисунке 2, а схема фильтра-сорбера в сборе показана на рисунке 3 [9, 12].



1 – фильтр-сорбер; 2 – узел предварительного осветления сточных вод; 3 – ёмкость фильтрата; 4 – узел приготовления суспензии Сорбента; 5 – ёмкость промывной воды; 6 – сборник промывной воды

Рисунок 2 – Блок-схема опытно-промышленной установки

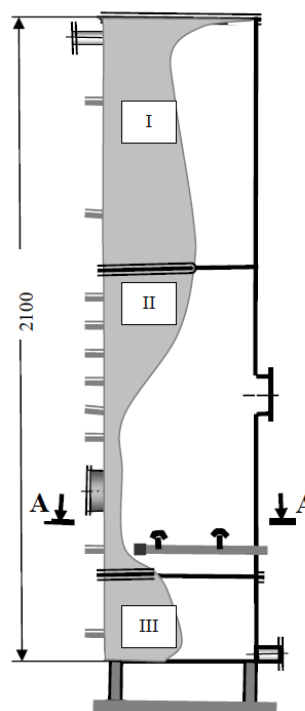
Корпус фильтра-сорбера был изготовлен из нержавеющей стали толщиной 4 мм. Фильтр состоял из трёх отдельных секций, имеющих фланцевые соединения. Общая высота фильтра составляла 2700 мм. Площадь фильтрующей поверхности 0,16 м². Все три секции были оборудованы пробоотборниками и штуцерами для подключения пьезометров. Фильтр имел патрубок для подачи исходной жидкости, сборный коллектор промывной воды, патрубки для загрузки и выгрузки сорбента, устройства для ввода сорбента, коллектор для подачи промывной воды и отвода фильтрата. Фильтр-сорбер был оборудован устройством для измерения скорости фильтрации. Все основные элементы установки были соединены стальными трубопроводами диаметром 40 мм и оборудованы запорно-регулирующей арматурой.

Принципиальная схема загрузки фильтра-сорбера приведена на рисунке 4, а система намыва сорбента на рисунке 5.

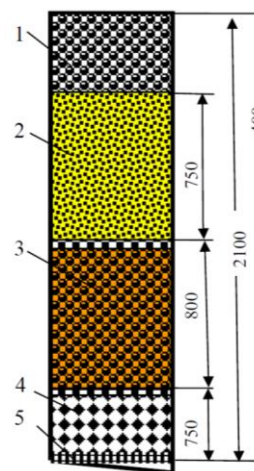
Для определения эффективности удаления основных загрязнителей опытной установкой была проведена серия опытов. На основании полученных данных были приняты оптимальные параметры технологического режима фильтра. Результаты работы установки представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты работы установки

№№ п/п	Наименование загрязнений	Ед. измер.	Концентрация загрязнений в исходной сточной жидкости	Концентрация загрязнений в фильтрате фильтра-сорбера	Эффект очистки %
1.	Взвешенные вещества	мг/дм ³	38–43	3–3,2	92 %
2.	Органические вещества	мгО ₂ /дм ³	48–51	14,2–16	68 %
3.	Железо общее	мг/дм ³	2,36–2,8	0,73–0,92	62 %

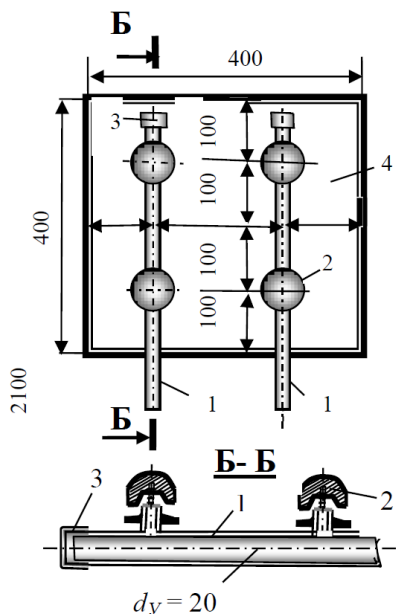


I – верхний элемент; II – средний элемент; III – нижний элемент
Рисунок 3 – Схема фильтра-сорбера в сборе



1 – щебень крупностью 25–50; 2 – кварцевый песок крупностью 0,8–1,2 мм; 3 – керамзит крупностью 3–5мм; 4 – гранит крупностью 5–7 мм; 5 – поддерживающая сетка
Рисунок 4 – Принципиальная схема загрузки фильтра-сорбера

В таблице 4 приведены усреднённые показатели по основным параметрам работы.



1 – распределительный коллектор; 2 – дренажный копчаок; 3 – заглушка; 4 – корпус фильтра
Рисунок 5 – Система намыва сорбента

После проведения исследований на разработанном и внедрённом на ОАО «БЭМЗ» многослойном намывном фильтре-сорбере были проведены дальнейшие исследования доочистки сточных вод на электродиализной установке марки ЭДУ 400х2 Алма-атинского завода МПС. Фотография установки показана на рисунке 6 [6].

С целью увеличения объёма выхода диллюата была предпринята попытка перекомпоновки коммуникаций ЭДУ с целью уменьшения затрат воды на собственные нужды и создания условий для ступенчатого концентрирования рассола до необходимой концентрации (рисунок 7).

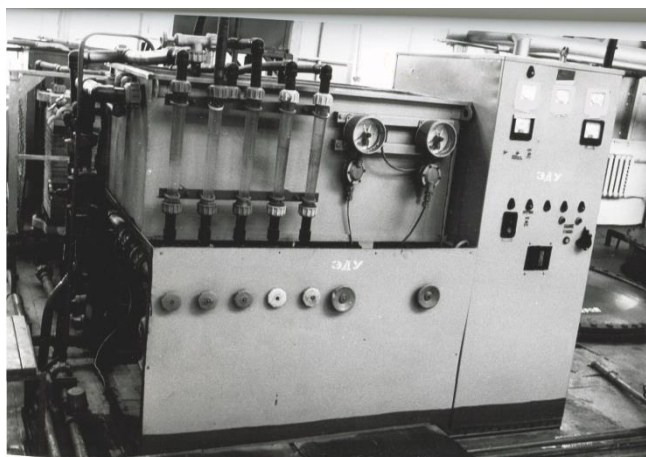
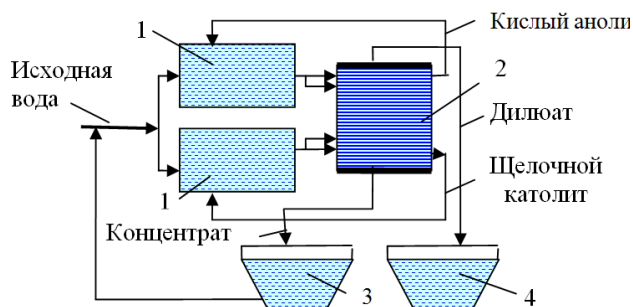


Рисунок 6 – Электродиализная установка ЭДУ 400х2



1 – промежуточные баки; 2 – электродиализатор ЭДУ 400х2; 3 – сборник концентрата; 4 – сборник диллюата
Рисунок 7 – Проточно-ступенчатый режим

Таблица 4 – Усреднённые показатели по основным параметрам

Проба	Степень обработки	pH	Электропроводность, $\mu\text{S cm}^{-1}$	Железо, мг/дм ³	Жёсткость, мг-экв/дм ³	Хлориды, мг/дм ³	Сульфаты, мг/дм ³	Объём, %
Исходная	I	8,42	1100	0,43	6,60	185,1	256,9	
	II	8,10	1960	0,27	12,4	276,2	490,3	
	III	8,20	2734	0,25	16,2	383,5	552,0	
Диллюат	I	6,97	147	0,14	1,38	24,0	32,6	54,0
	II	7,02	300	0,13	2,98	56,3	11,2143	53,0
	III	7,24	517	0,21	3,30	85,4	7	51,0
Концентрат	I	8,10	1960	0,27	12,4	276,2	430,3	46,0
	II	8,20	2734	0,25	16,2	383,5	552,0	47,0
	III	8,20	3700	0,22	21,6	464,8	619,3	49,0

Для деминерализации потока воды, направляемого для приготовления растворов драгметаллов (Au, Ag, Pt и др.) была смонтирована опытная ионообменная установка, приведенная на рисунке 8.



Рисунок 8 – Опытная ионообменная установка, смонтированная на ОАО «БЭМЗ»

На основании проведенных лабораторных и полупромышленных исследований [8, 9] были установлены следующие основные технологические параметры ионообменных фильтров:

- загрузка фильтра (марка ионита): катионитового – КУ-2-8 (ГОСТ 20298-74), анионитового – АВ-17-8 (ГОСТ 20301-74);
- насыпной вес товарного ионита КУ-2-8 - 0,8 т/м³; АВ-17-8 - 0,6-0,7 т/м³;
- объём 1 м³ сухого ионита при набухании КУ-2-8 - 1,15 м³, АВ-17-8 – 2,8 м³;
- скорость фильтрования сточных вод – 15 м/ч;
- регенерирующие растворы: катионита – HCl, H₂SO₄; анионита – NaOH;
- скорость подачи регенерационного раствора – 2–3 м/ч;
- при применении HCl и NaOH; регенерация производится растворами постоянной концентрации;
- при применении H₂SO₄ для предотвращения выпадения в слое катионита и дренаже фильтра осадка сульфата кальция первая половина регенерационного раствора имеет концентрацию 1,5–2%, вторая половина – 8–10%. Первая половина элюатов содержащая 90–95% всех десорбированных ионов направляется на переработку, вторая – в бак для повторного использования в следующем цикле регенерации.

Интенсивность подачи воды на взрыхление ионитов: катионита – 3,5 дм³/с·м²; анионита – 2,5 дм³/с·м². Продолжительность взрыхления – 10 мин. Удельный расход воды на отмывку ионита, м³/м³ загрузки катионита 8–10, анионита 11–13.

Расход растворов реагентов на регенерацию, м³/м³ ионита: 7–10 % HCl – 2,25–2,5; 8–10% H₂SO₄ – 2,2–2,5; 4–6 % NaOH – 4,4–6. Количество сточных вод, очищаемых 1 м³ ионита КУ-2-8 – 200–250; АВ-17-8 – 150–160.

На основании литературных данных для ионообменной доочистки были выбраны катионит КУ-2 и анионит АВ-17. Экспериментально определена ёмкость константы обмена катионов Ca²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺, Cu²⁺ и др.; анионов Cl⁻, SO₄²⁻, CrSO₄²⁻ и др. на этих ионитах.

Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Разработана схема ступенчатого повторного использования очищенных сточных вод в зависимости от требований производства к качеству технической воды и от состава сточных вод, поступающих на очистку, позволяющая возвратить до 85–90 % очищенной воды в производство.
2. В результате проведенных лабораторных исследований в полупромышленных условиях определены технологические параметры всех элементов схемы оборотного водоснабжения.
3. Исследования позволили установить, что в условиях завода подготовка сточных вод для использования их для приготовления растворов драгметаллов качеством E4 (стандарт ASTM) возможна после их обезвреживания на рациональной технологии и последующем отстаивании на полочных отстойниках, фильтровании на намывных фильтрах, обработке методом электродиализа и ионообменных фильтрах.
4. Разработаны рекомендации по ионообменной доочистке для установок производительностью 10 и 200 м³/ч, которые были использованы при проектировании корпуса производства печатных плат.
5. Эксплуатация линии доочистки на реальных сточных водах ОАО «БЭМЗ» подтвердила ее работоспособность, невысокую энергоёмкость, низкие затраты воды на собственные нужды, а также весьма незначительный расход кислоты при обработке пакетов электродиализного аппарата.

Список цитированных источников

1. Технический справочник по обработке воды: в 2 т: пер. с фр. / Л. Андрианмирандо [и др.] – СПб : Новый журнал, 2007. – 1696.
2. Кармазинов, Ф. В. Очистка промышленных сточных вод: пер. с нем. / Ф. В. Кармазинов, М. И. Алексеев, О. Н. Рублевская. – СПб : Новый журнал, 2012. – 384 с.
3. Справочник по современным методам и технологиям очистки природных и сточных вод и оборудованию / ДАНСЭЕ, отдел по Восточной Европе. – Копенгаген. – 2001. – 253 с.
4. Новый справочник химика. СПб: НПО. «Профессионал». Процессы и аппараты химических технологий. МММ. – Ч II. – 2006. – 916 с.
5. Урецкий, Е. А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий / Е. А. Урецкий. – Брест : изд-во БрГТУ, 2007. – 396 с.
6. Урецкий, Е. А. Ресурсосберегающие технологии промышленного водоснабжения и водоотведения / Е.А. Урецкий. – Germany : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 360 с.
7. Разработка и внедрение новой бессточной и безотходной технологической системы водного хозяйства защитных покрытий приборо- и машиностроения / Теоретические исследования сорбционной и фильтрационной очистки сточных вод гальванического производства от растворённых и взвешенных примесей – Отчёт. – АН СССР. Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского. ОАО «Брестский электромеханический завод» – Москва– Брест. – 1984.
8. Субботкин, Л. Д. Разработка и внедрение ресурсосберегающей технологии совместной очистки сточных вод гальванического и покрасочного производств / Л. Д. Субботкин, Е. А. Урецкий, В. В. Мороз, // Строительство и техногенная безопасность. – 2017. – № 7 (60) – С. 83–85.

9. Урецкий, Е. А. Опыт повторного использования сточных вод на предприятия приборо- и машиностроения / Е. А. Урецкий, Л. Д. Субботкин, В. В. Мороз // Строительство и техногенная безопасность. – 2018. – № 11 (63). – С. 98–103.
10. Мороз, В. В. Исследование работы узла сорбционной доочистки сточных вод с использованием намывных сорбционных фильтров / В. В. Мороз, Е. А. Урецкий // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания»: IV Международная научно-практическая конференция ICEP – 2021, посвященная юбилеям Брестского государственного технического университета – 55 лет и факультета инженерных систем и экологии – 50 лет. – Брест. 2021.
11. Урецкий, Е. А. Исследование узла сорбционной доочистки осветлённых сточных вод в лабораторных условиях / Урецкий Е. А., Николенко И. В., Мороз В. В. // Строительство и техногенная безопасность. – 2022. – №23(75).

References

1. Tekhnicheskij spravocnik po obrabotke vody: v 2 t: per. s fr. / L. Andrianmirado [i dr.] – SPb : Novyj zhurnal, 2007. – 1696.
2. Karmazinov, F. V. Ochistka promyshlennyh stocnyh vod: per. s nem. / F. V. Karmazinov, M. I. Alekseev, O. N. Rublevskaya. – SPb : Novyj zhurnal, 2012. – 384 s.
3. Spravochnik po sovremennym metodam i tekhnologiyam ochistki prirodnyh i stocnyh vod i oborudovaniyu / DANSEE, otdel po Vostochnoj Evrope. – Kopenhagen. – 2001. – 253 s.
4. Novyj spravocnik himika. SPb: NPO. «Professional». Processy i apparaty himicheskikh tekhnologij. МММ. – Ч II. – 2006. – 916 с.
5. Ureckij, E. A. Resursosberegayushchie tekhnologii v vodnom hozjajstve promyshlennyh predpriyatij / E. A. Ureckij. – Brest : izd-vo BrGTU, 2007. – 396 s.
6. Ureckij, E. A. Resursosberegayushchie tekhnologii promyshlennogo vodosnabzheniya i vodootvedeniya / E.A. Ureckij. – Germany : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 360 s.
7. Razrabotka i vnedrenie novoj besstocnoj i bezotходной tekhnologicheskoy sistemy vodnogo hozjajstva zashchitnyh pokrytij priboro- i mashinostroeniya / Teoreticheskie issledovaniya sorbcionnoj i fil'tracionnoj ochistki stocnyh vod gal'vanicheskogo proizvodstva ot rastvoronnyh i vzveshennyh primesej – Otchyot. – AN SSSR. Institut geohimii i analiticheskoy himii im. V. I. Vernadskogo. ОАО «Brestskij elektromekhanicheskij zavod» – Moskva– Brest. – 1984.
8. Subbotkin, L. D. Razrabotka i vnedrenie resursosberegayushchej tekhnologii sovmestnoj ochistki stocnyh vod gal'vanicheskogo i pokrasochnogo proizvodstv / L. D. Subbotkin, E. A. Ureckij, V. V. Moroz, // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. – 2017. – № 7 (60) – S. 83–85.
9. Ureckij, E. A. Opyt povtornogo ispol'zovaniya stocnyh vod na predpriyatii priboro- i mashinostroeniya / E. A. Ureckij, L. D. Subbotkin, V. V. Moroz // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. – 2018. – № 11 (63). – S. 98–103.
10. Moroz, V. V. Issledovanie raboty uzla sorbcionnoj doochistki stocnyh vod s ispol'zovaniem namyvnyh sorbcionnyh fil'trov / V. V. Moroz, E. A. Ureckij // Aktual'nye nauchno-tekhnicheskie i ekologicheskie problemy sohraneniya sredy obitaniya»: IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya ICEP – 2021, posvyashchennaya yubileyam Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – 55 let i fakul'teta inzhenernyh sistem i ekologii – 50 let. – Brest. 2021.
11. Ureckij, E. A. Issledovanie uzla sorbcionnoj doochistki osvetlyonnyh stocnyh vod v laboratornyh usloviyah / Ureckij E. A., Nikolenko I. V., Moroz V. V. // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. – 2022. – №23(75).

Материал поступил 17.11.2022, одобрен 16.12.2022, принят к публикации 16.12.2022