

## **Раздел 3. Инженерное обеспечение**

УДК 655.557: 655.7

### **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНИИ ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ И ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**

Урецкий<sup>1</sup> Е. А., Николенко<sup>2</sup> И.В., Мороз<sup>3</sup> В. В., Акулич<sup>4</sup> Т.И.

- <sup>1</sup>. Республиканское унитарное предприятие (РУП) Белорусский государственный проектный институт «БелГПИ» г. Витебск, ул. Пушкина, 6 Республика Беларусь. 210602 e-mail: euretsky@yandex.by.  
<sup>2</sup>. Институт «Академия строительства и архитектуры» ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» 295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская 181 e-mail: energia-09@mail.ru  
<sup>3,4</sup> Учреждение образования «Брестский государственный технический университет» 224017 Республика Беларусь г. Брест, ул. Московская, 267 e-mail: <sup>3</sup>vovavall@mail.ru; <sup>4</sup>tigol1976@mail.ru;

**Аннотация.** Разработана и исследована внедреная на предприятии ОАО «Брестский электромеханический завод» (БЭМЗ) линия доочистки сточных вод производств защитных покрытий (ПЗП) и печатных плат (ППП). Эксплуатация линии доочистки подтвердила ее работоспособность, невысокую энергоемкость, низкие затраты воды на собственные нужды, показано, что схема ступенчатого повторного использования сточных вод позволяет варьировать степень доочистки в зависимости от требований производства к качеству технической воды и от состава стоков, поступающих на очистку. При этом степень возврата воды в производство достигает 85...90%.

**Предмет исследования.** Сточные воды производств защитных покрытий и печатных плат

**Материалы и методы исследования.** В работе проведены исследования элементов линии доочистки сточных вод ПЗП и ППП на очистных сооружениях базового предприятия и на основании их разработана и внедрена опытно – производственная линия доочистки сточных вод. При проведении исследований на опытной установке была осуществлена проверка полученных выводов, использованных для разработки технологий доочистки различных видов сточных вод ПЗП и ППП а также совершенствованию технологического оборудования и утилизации осадка в производстве строительных материалов.

**Результаты.** Внедрение ресурсосберегающей технологии доочистки сточных вод производств защитных покрытий и печатных плат позволило сократить до минимума количество технологического оборудования и более чем на порядок уменьшить потребность в покупных реагентах, а также более чем вдвое снизить потребность в производственных площадях для его размещения.

**Выводы:** Установлено что выбор схемы доочистки воды ПЗП и ППП зависит от качества исходного состава сточных вод и требований к очищенной воде. При этом при выборе наиболее приемлемого вариантов схем доочистки сточных вод ПЗП и ППП для конкретного потребителя, необходимо выделение потоков наименее загрязнённых сточных вод и возврат их после очистки на нужды технического водоснабжения. На основе исследований элементов линии доочистки сточных вод ПЗП и ППП на очистных сооружениях ОАО «БЭМЗ» внедрена опытно – производственная линия доочистки сточных вод. Полученные результаты исследований позволяют использовать при создании ступенчатых оборотных систем водоснабжения промышленных предприятий.

**Ключевые слова.** рН, реагенты, осветитель, зернистые фильтры; сорбционные фильтры ионообменные фильтры, электродиализ

### **ВВЕДЕНИЕ**

Снижение мировых запасов пресной воды стремительно превращает ее в дефицитный природный ресурс. Недостаток водных ресурсов, а также проблемы охраны окружающей среды делают вопросы, которые связаны с водопользованием особо актуальными. Факторами, которые вызывают негативное влияние на рациональность использования и создание дефицита водных ресурсов, являются мировой рост их потребления, нерациональное использование и загрязнение, а также применение устаревших технологий водопользования. Основной промышленного водоснабжения является гарантированное обеспечение технологических процессов предприятия водой удовлетворяющей всем требованиям по объемам и по качеству.

Многочисленная очистка и повторное использование воды в промышленности является

наиболее эффективным и экономичным способом соблюдения требований по предотвращению загрязнения окружающей среды, а также основой создания малоотходных и безотходных технологических процессов. Поэтому разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий очистки сточных вод различных отраслей промышленности, обеспечивающих комплексное и рациональное использование сырьевых ресурсов, исключающих образование отходов и загрязнения окружающей среды – одно из важнейших направлений повышения эффективности водопользования [1, 2, 3, 4]. Это в полной мере относится и к предприятиям приборо- и машиностроения, основное количество сильнозагрязнённых сточных вод которых образуется в производстве защитных покрытий (ПЗП) и производстве печатных плат (ППП) [5, 6].

Без разработки и внедрения высокоэффективных ресурсосберегающих технологий доочистки

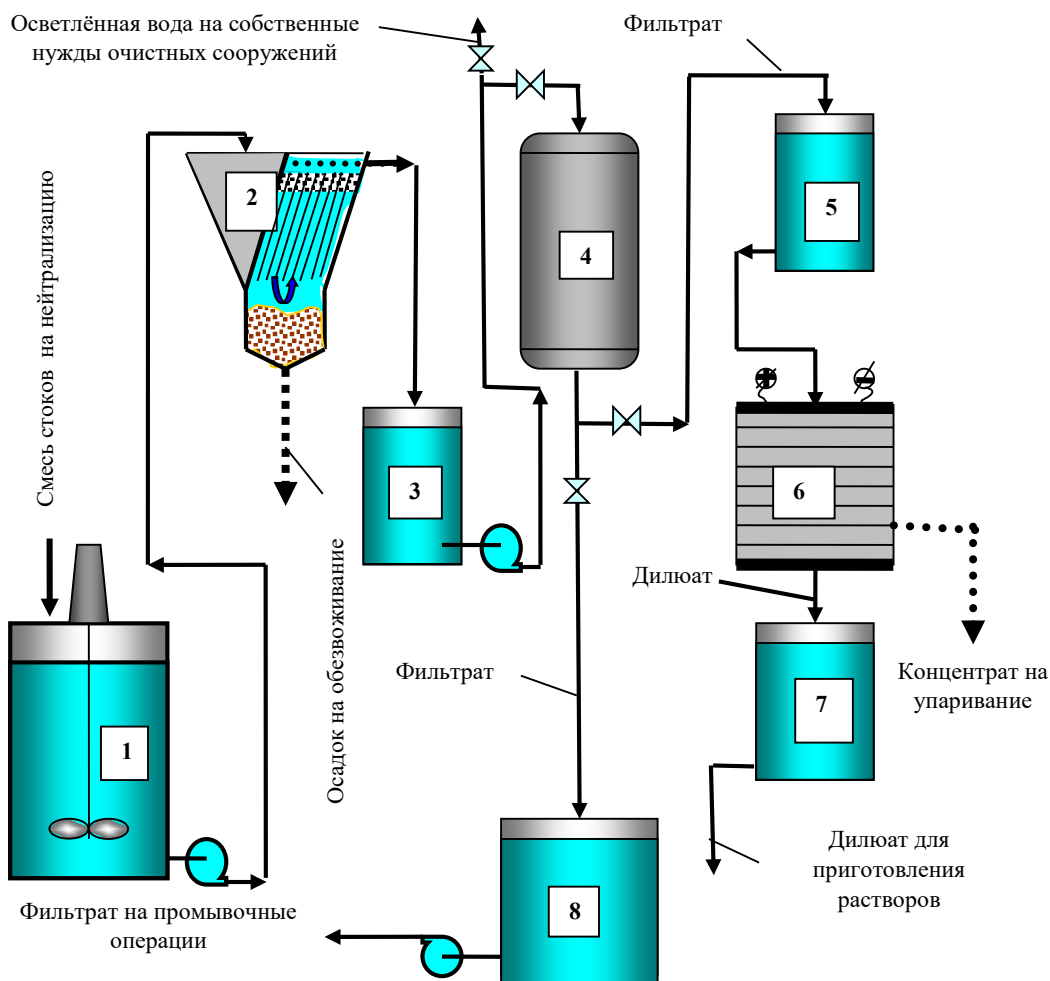
сточных вод с возвратом их на повторное использование создание таких систем невозможно. Целью статьи является разработка и исследование схемы доочистки сточных вод производств защитных покрытий и печатных плат смонтированной на предприятии ОАО «Брестский электромеханический завод» (ОАО БЭМЗ)

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Создание систем оборотного водоснабжения на промышленном предприятии является наиболее эффективным и экономичным способом соблюдения требований по предотвращению загрязнения окружающей среды. Оборотные циклы промышленного водоснабжения технически возможны и эффективны, и в настоящее время имеют большое экономическое и экологическое значение. Законодательными нормами устанавливаются требования по стандартам качества очищенной воды, которые должны обеспечить промышленные предприятия, прежде чем выпускать сточные воды в окружающую среду. Нарушение этих норм и правил приводит к жестким штрафным санкциям, которые в конечном итоге ложатся на себестоимость продукции предприятия. Поэтому рециркуляция промышленного цикла водопользования имеет все больший экономический и экологический смысл, так как промышленные сточные воды должны рассматриваться как дополнительный ресурс для его продуктивного использования. Способ и схема доочистки воды зависит в основном от качества исходного состава сточных вод и требований к очищенной воде. Имеет также значение расход воды, наличие свободных площадей и энергоресурсов [1-6]. При невысоком содержании загрязняющих компонентов в исходном составе сточных вод, умеренных требований к технической воде и ограниченных её расходах схема доочистки может быть несложной. Сопоставление качества доочищенной воды с ее целевым использованием открывает совершенно новый способ мышления и управления водопользования, который превращает промышленные сточные воды из проблемы утилизации в ценный дополнительный источник водоснабжения, а также экономический стимул для внедрения ресурсосберегающих технологий в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий

Схемы доочистки сточных вод производств защитных покрытий и печатных плат могут быть различными как по структуре, так и по аппаратному исполнению. Основной задачей выбора схемы является определение наиболее приемлемого варианта схемы для конкретного потребителя доочищенной воды, с учетом обеспечения комплексного и рационального использования водных ресурсов конкретного предприятия. Для многих технологических процессов в некоторые показатели качества воды, соответствующие требованиям нормативных документов, например, цветность 30<sup>0</sup> градусов и жёсткость 3,5 мг-экв/л совершенно неприемлемы, в то время как стандартное содержание взвеси до 1,0 мг/л и колииндекс 3 - явно избыточное требование. Поэтому создание систем ступенчатого водоиспользования, при которой сточная вода подготавливается в соответствии с технологическими требованиями для ряда технологических процессов, более гибка и экономична и несмотря на кажущуюся сложность, она может оказаться единственно возможной. Особенно экономичным такое решение представляется в сочетании с малоотходной ресурсосберегающей технологией реагентной обработки стоков от гальванического производства, покраски и производства печатных плат с частичным водооборотом.

Схема экспериментальной линии доочистки сточных вод ПЗП и ППП, которая была внедрена на ОАО «БЭМЗ» показана на рис. 1 [7, 9]. Исходным аппаратом схемы является реактор-нейтрализатор сточных вод, в который подается смесь всех видов стоков на нейтрализацию. Очистка полученных стоков производится поэтапно в тонкослойном модуле со встроенными зернистыми хлопьеобразователями, напорного каркасно-засыпном фильтре, а также в стандартной электродиализной установки ЭДУ 400х2. Предложенное решение позволяет провести осветление сточной воды, прошедшей предварительную реагентную обработку в необходимом объеме для повторного использования, Часть этого потока после соответствующей предподготовки подвергается деминерализации и возвращается по байпасной схеме в оборотный цикл. В принципе деминерализованная вода после дополнительной глубокой деминерализации пригодна и для приготовления технологических растворов.



**Рис. 1.** Схема экспериментальной линии доочистки сточных вод ПЗП и ППП на ОАО «БЭМЗ»

1- Реактор-нейтрализатор всех видов сточных вод; 2 - Тонкослойный модуль с зернистым хлопьеобразователем; 3 - Бак осветлённой сточной воды; 4- Напорный каркасно-засыпной фильтр; 5 - Бак фильтрата; 6 - Электродиализная установка ЭДУ 400x2; 7 - Бак дилуата; 8 - Бак смеси фильтрата и дилуата.

**Drawing. 1.** Scheme of the experimental line for post-treatment of wastewater. Production of Protective Coatings and Production of Printed Circuit Boards at JSC "BEMZ"

1- Reactor-neutralizer of all types of wastewater; 2 - Thin-layer module with granular flocculant; 3 - Tank of clarified waste water; 4- Pressure frame-fill filter; 5 - Filtrate tank; 6 - Electro dialysis unit EDU 400x2; 7 - Diluate tank; 8 - Tank for a mixture of filtrate and diluate.

Помимо сходства обработанных сточных вод с природными скоагулированными водами имеется и отличие, заключающееся в том, что концентрация твердой фазы и структура составляющих ее агрегатов меняется многократно в зависимости от условий водоотведения на технологических участках. Эти соображения определили необходимость использования зернистых хлопьеобразователей, в соответствии с а. с. №3862844, непосредственно перед тонкослойным отстойником с нисходяще-восходящим движением воды, как показано на схеме, изображенной на рис.2. Для повышения эффекта осветления в широком диапазоне дисперсности, на выходе из восходящего полочного модуля устроен фильтр с

плавающей загрузкой. Как показал опыт эксплуатации этого модуля эффект осветления сточных вод по взвешенным веществам составил 96%. Время “зарядки” крупнозернистого хлопьеобразователя (КЗХ) не менее 16 ч. Предварительная обработка зёрен КЗХ 2%-ным раствором ПАА позволила сократить это время и улучшить хлопьеобразование, особенно на начальной фазе работы. Поскольку полочные отстойники относятся к высокопроизводительным сооружениям, то накопление осадка в них идёт быстрее, чем в обычных и это надо учитывать при расчёте иловой части и определении межпродувочного периода.

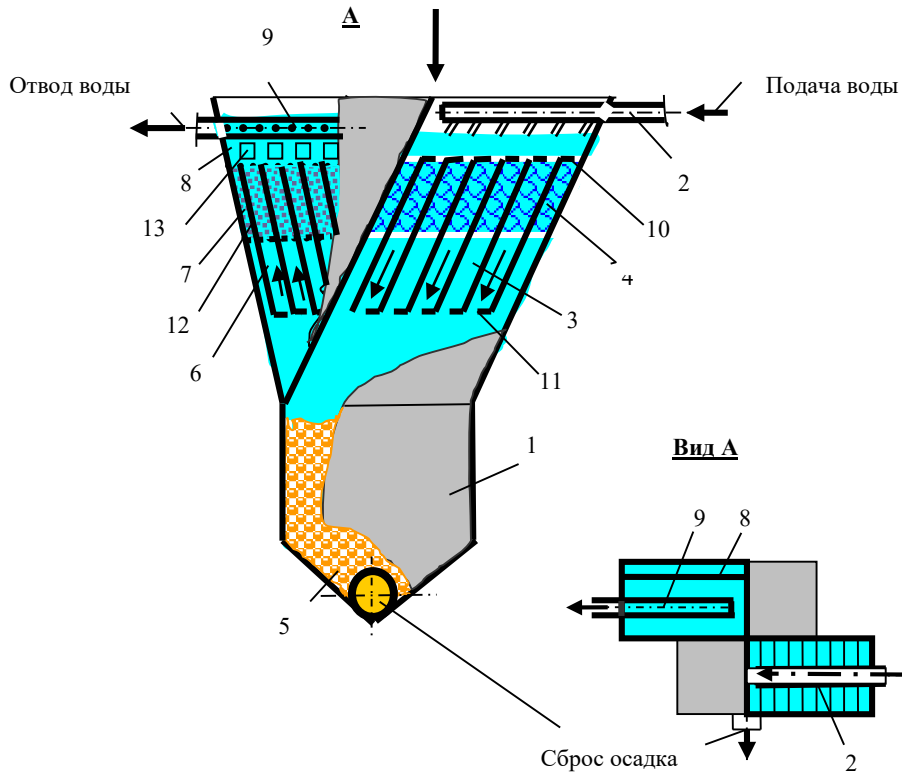


Рис. 2. Схема тонкослойного отстойника.

1- Корпус; 2- Распределительная система для подачи грязной воды; 3 – Прямоточный модуль; 4 – Крупнозернистая загрузка; 5 – Осадкоуплотнитель; 6 – Тонкослойный модуль; 7 – Мелкозернистая загрузка; 8 – вертикальная перегородка; 9 – Сборная система для отвода осветлённой воды; 10,11 – Противоположно-направленные на верхних и нижних концах козырьки для фиксации крупнозернистой загрузки; 12 – Сетка для ограничения уровней мелкозернистой загрузки; 13 – Окна в перегородке; 14 L-образные пластины модуля.

Drawing. 2. Scheme of a thin-layer settling tank. Author's certificate №3862844

1- Housing; 2- Distribution system for dirty water supply; 3 - Direct-flow module; 4 - Coarse-grained loading; 5 - Sediment thickener; 6 - Thin-layer module; 7 - Fine-grained loading; 8 - vertical partition; 9 - Collection system for the removal of clarified water; 10,11 - Oppositely directed at the upper and lower ends of the visors for fixing the coarse-grained load; 12 - Grid to limit the levels of fine-grained loading; 13 - Windows in the partition; 14 - L-shaped module plates

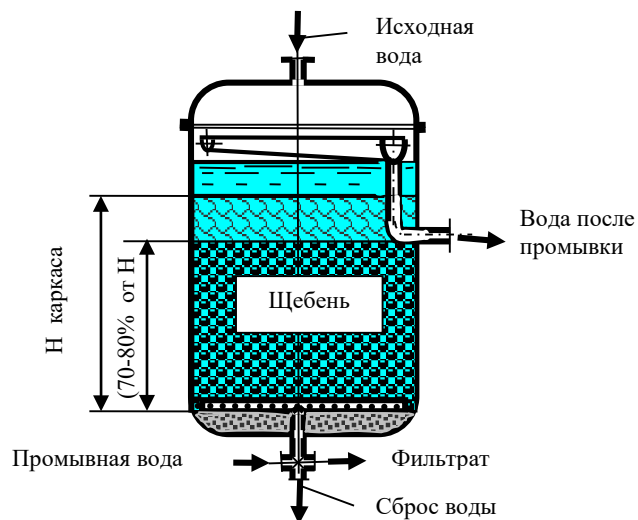


Рис. 3 Экспериментальный напорный каркасно-засыпной фильтр (КЗФ)  
Drawing. 3 Experimental pressure frame-fill filter (KZF)

Первая ступень осветления не гарантирует от проскока взвезд до 30 мг/л. дальнейшее осветление осуществляется на зернистых механических фильтрах. При этом при выборе конструкции фильтра следует отдавать предпочтение устройствам, обеспечивающим чистоту распределительных систем, хорошую регенерацию загрузки, её умеренные утраты при энергичной промывке, достаточную грязеёмкость. Кроме того, желательно для загрузки фильтра использовать малододефицитные материалы, во всяком случае их расход при стартовой загрузке и сократить утрату в период эксплуатации. Всем эти требованиям отвечают какасно-засыпные фильтры, один из которых напорный был применён в линии доочистки сточных вод, который показан на рис.3 [10, 11].

В качестве мелкозернистой загрузки был применён кварцевый песок размером 0,8...1 мм, крупнозернистый щебень с величиной зёрен 40...50 мм. Общая высота загрузки Н слоя крупнозернистой загрузки 1,5 м. Межзерновое пространство заполнялось песком на 60...70% общей высоты слоя. Как показали результаты исследований эффект осветления на этом фильтре был не ниже 90%, при скорости фильтрования 6...8 ч, удельном расходе промывной воды менее 5%. В результате, качество сточных вод после двух ступеней осветления в основном удовлетворяло паспортным требованиям для исходной воды перед обессоливанием.

Обессоливание осветлённых сточных вод на опытной линии производилось методом электродиализа. Электродиализ давно признан эффективным методом опреснения соленых вод. Преимущества его перед рядом других методов заключаются в том, что он не требует изменения агрегатного состояния воды, осуществляется при невысоких температурах и давлении, потреблении энергии пропорционально солесодержанию. Последнее особенно рационально для деминерализации пресных вод (до 1000 мг/дм<sup>3</sup>). При таком солесодержании срок службы мембран возрастает благодаря малой плотности тока, выход по току более 80%, примерный расход электроэнергии 1...2 квт.час с учетом затрат на прокачку рассола и дилуата через установку. Расход воды на собственные нужды не превышает 15%. Следует отметить, что серийные аппараты электродиализа достаточно хорошо автоматизированы и практически не требуют дополнительных реагентов в процессе эксплуатации. Опыт показал, что обслуживающий персонал быстро осваивает эти аппараты.

Все эти соображения определили выбор аппарата в схеме доочистки. Сложность заключалась в том, что стандартные аппараты разработаны для условий получения небольших объемов деминерализованной воды (до 50%) при неограниченных возможностях сброса промывных вод и концентрата. После изменения обвязки стандартного аппарата удалось сократить объем

концентрата до 10%, исключить потери воды на промывку, т.е. решить задачу, обратную той, которая ставилась при конструировании установки.

Деминерализация сточных вод после их глубокого осветления (отстаивание + фильтрация) может производиться мембранными и ионообменными методами. Температурные воздействия (дистилляция и вымораживание) нерационально в связи с затратами больших количеств энергии, а экстракционные методы неприемлемы по экологическим соображениям. Ионообмен может обеспечить более высокую степень деминерализации, чем мембранные методы [7-9]. Поэтому, распространённым проектным решением обессоливания сточных вод является их обработка ионообменными методами. Стоимость такой обработки на порядок выше стоимости реагентной очистки сточных вод. Высоки расходы реагентов на регенерацию смол, затраты воды на собственные нужды приближаются к качеству обессоленной воды. Определённым выходом можно считать применение мембранных методов, в частности, метода электродиализа.

Преимущество его перед другими методами заключается в том, что он не приводит к изменению агрегатного состояния воды. Осуществляется при обычных температурах и невысоком давлении, потребление энергии пропорционально солесодержанию в исходной воде. При низком солесодержании (до 1000 мг/дм<sup>3</sup>) срок службы мембран возрастает благодаря малой плотности тока. Невелик расход электроэнергии до 1 квт. час. Расход воды на собственные нужды (промывка приэлектродных пространств) также незначительный. Кроме того, серийные аппараты автоматизированы, и обслуживающий персонал быстро осваивает их эксплуатацию. Расход дополнительных реагентов сведён к минимуму [7-9].

Сложность заключается в том, что стандартные установки разработаны для получения небольших объемов деминерализованной воды для питьевого водоснабжения, а слабо концентрированный рассол обычно сбрасывается в водоёмы. Поэтому на предприятии ОАО БЭМЗ была поставлена задача проверить возможность доочистки глубоко осветлённых промышленных сточных вод (отстаивание + фильтрация) производством защитных покрытий и печатных плат методом электродиализа. В результате, обработанные сточные воды гальванического, покрасочного и производства печатных плат на этом предприятии после их глубокого осветления (отстаивание + фильтрация) имели солесодержание до 1 г/дм<sup>3</sup>.

#### **Проточный и ступенчатый – проточный режимы доочистки сточной воды**

Для исследований был принят проточный режим, как режим, позволяющий достигнуть максимальной степени обессоливания исходной жидкости. В таблице 1 приведены результаты рядового опыта на этом режиме. Объём

информации виден из таблицы. Фиксировались величина силы тока и напряжение, а также степень опреснения. По результатам нескольких десятков опытов составлена таблице 2 с усреднёнными показателями по основным параметрам. Из таблиц видно, что за один проход электропроводность дилуата, уменьшается в 8 - 10 раз, снижается

жесткость, содержание сульфатов, хлоридов, металлов и органики, pH дилуата уменьшается примерно на единицу. Установлено, что объём дилуата не превышает 40...50 % от количества воды, подаваемой на обработку. Кроме того, до 20 % воды расходуется на промывку ризлектродного пространства.

**Таблица 1.** Типовая таблица результатов исследования работы ЭДУ на проточном режиме  
**Table 1.** Typical table of the results of the study of the operation of the EDU in the flow mode

Проба	pH	Электропроводность μS·см <sup>-1</sup>	Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	Железо, мг/дм <sup>3</sup>	Медь, мг/дм <sup>3</sup>	Хром, мг/дм <sup>3</sup>	Жёсткость, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Окисляемость, мг/дм <sup>3</sup> O <sub>2</sub>	Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	Объём, м <sup>3</sup>
Исходная	8,90	964	1,2	0,32	1,25	0,02	6,10	16,00	182,0	63,4	4,63
Дилуат	6,80	94	0	0,07	0,12	отс	1,26	4,00	9,6	11,4	1,66
Концентрат	7,98	1620	0	0,17	0,50	отс	12,1	13,9	225,7	171	2,55
Промывка дилуата	8,80	958	1,0	0,32	1,15	0,01	0,0	16,00	165,0	57,3	0,22
Промывка концентрата	8,30	1073	1,0	0,32	1,82	0,02	6,2	16,80	185,0	68,7	0,25

**Таблица 2.** Усреднённые результаты исследований работы ЭДУ на проточном режиме  
**Table 2.** Averaged results of studies of EDF operation in flow mode

Проба	pH	Электропро- водность, μS·см <sup>-1</sup>	Железо мг/дм <sup>3</sup>	Жёсткость , мг-экв/дм <sup>3</sup>	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	Объём, %
Исходная	8,42	1100	0,43	6,60	185,0	256,9	-
Дилуат	6,97	147	0,14	1,38	24,0	32,8	41
Концентрат	8,10	1960	0,27	12,4	276,2	430,3	39

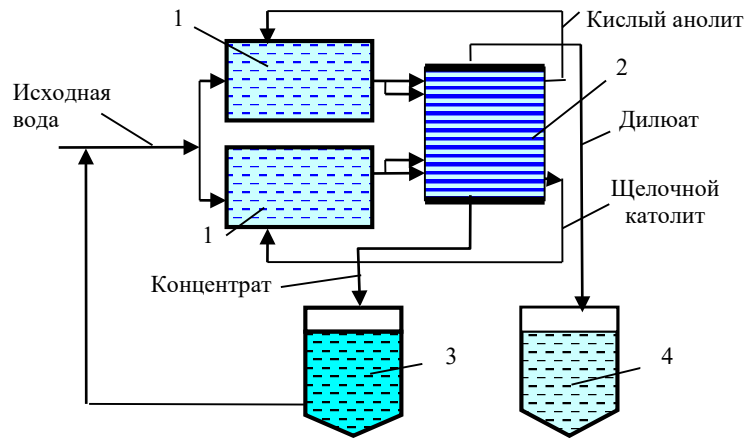
Такое положение не приемлемо в условиях обработки промышленных сточных вод с целью их максимального использования. Испытание установки в циркуляционном режиме показало, что одновременно с увеличением концентрации рассола повышается концентрация солей в дилуате. Явление также нежелательное в рамках поставленной задачи.

Была предпринята попытка перекомпоновки коммуникаций ЭДУ с целью уменьшения затрат воды на собственные нужды и создания условий для ступенчатого концентрирования рассола до необходимой концентрации, как показано на рис. 4.

Поскольку использование щелочного католита и кислого анолита проблематично, принято решение возвращать этот вид стоков в промежуточные баки.

В таблице 3 приведены результаты рядового опыта, а в таблице 4 - усреднённые показатели по основным параметрам.

Трёхкратное концентрирование рассола позволило в 3,6 раза увеличить его электропроводность, в 2,6 раза – жесткость, в 2,3 раза – содержание сульфатов и хлоридов. К концу процесса объём концентрата не превышал 10 % от первоначального объёма сточных вод. Электропроводность дилуата после второй ступени выросла вдвое, а после третьей ступени более чем втрое. Содержание металлов в дилуате сократилось в 2 - 3 раза. Представляется целесообразным для повторного использования применять дилуат после первой и второй ступени. Дилуат третьей ступени может быть использован для промывки фильтра, а затем направлен в исходные сточные воды, как представлено на схеме изображенной на рис. 5.

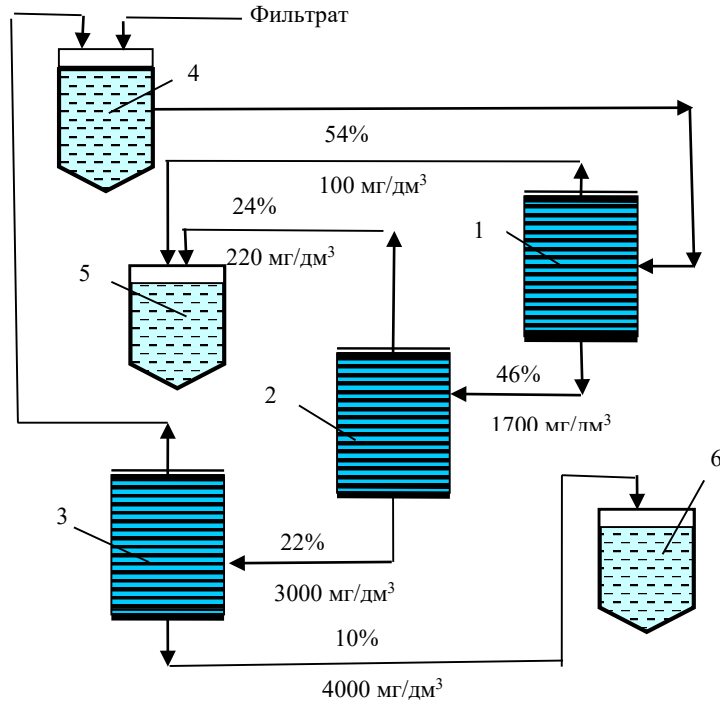


**Рис. 4. Проточно-ступенчатый режим**

1 – промежуточные баки; 2 – электродиализатор; 3 – сборник концентрата; 4 – сборник дилуата

**Drawing. 4. Flow-step mode**

1 - intermediate tanks; 2 – electrodesalinator; 3 – concentrate collector; 4 - diluate collector



**Рис. 5. Ступенчатая схема концентрирования рассола и накопления дилуата для повторного использования**

1 – 3 – диализатор третьей ступени; 4 – приёмная ёмкость исходной воды; диализатор первой ступени;

2 – диализатор второй ступени; 5 - приёмная ёмкость дилуата; 6 – приёмная ёмкость концентрата

**Figure 5. Stepped scheme of brine concentration and diluate accumulation for reuse**

1 - 3 - third stage dialyzer; 4 - receiving tank of source water; first stage dialyzer;

2 - dialyzer of the second stage; 5 - diluate receiving tank; 6 – concentrate receiving tank

**Таблица 3.** Типовая таблица результатов исследования работы ЭДУ на ступенчатом режиме  
**Table 3.** Typical table of the results of the study of the operation of the EDU in a stepped mode

Степень обработки	Проба	pH	Электропроводность, $\mu\text{S}\text{cm}^{-1}$	Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	Железо, мг/дм <sup>3</sup>	Мель, мг/дм <sup>3</sup>	Хром, мг/дм <sup>3</sup>	Жёсткость, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Окисляемость, мг/дм <sup>3</sup> O <sub>2</sub>	Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	Объём, м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Исходная	8,43	856	5,0	0,34	0,78	0,12	5,80	5,92	146,0	114,2	6,07
	Диллоат	7,15	86	1,0	0,13	отс	отс	0,60	1,44	16,0	6,022	2,42
	Концентрат	8,50	1429	3,5	0,17	0,6	0,02	12,2	5,92	109,4	174,5	2,53
	Промывка диллоата	8,75	324	4,0	0,34	0,68	0,09	5,82	5,90	78,0	108,5	0,50
	Промывка концентрата	7,76	897	5,0	0,34	1,38	0,12	6,0	6,67	148,0	119,7	0,62
2	Исходная	8,50	1429	3,5	0,2	0,6	0,02	12,2	5,92	209,4	174,5	2,15
	Диллоат	7,20	187	2,0	0,11	0,06	отс	1,32	2,08	32,7	11,3	0,59
	Концентрат	8,29	2038	3,0	0,20	1,80	0,02	21,3	6,24	584,0	275,8	1,09
	Промывка диллоата	7,70	1287	3,5	0,20	0,9	0,03	9,90	5,61	153,9	131,3	0,23
	Промывка концентрата	8,00	1332	3,5	0,67	1,5	0,05	9,80	6,37	120,2	138,4	0,24

**Таблица 4.** Усреднённые результаты исследований работы ЭДУ на ступенчатом режиме  
**Table 4.** Averaged results of studies of EDF operation in stepwise mode

Проба	Степень обработки	pH	Электропроводность, $\mu\text{S}\text{cm}^{-1}$	Железо, мг/дм <sup>3</sup>	Жёсткость, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	Объём, %
1	2		3	4	5	6	7	8
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	
Диллоат	I	6,97	147	0,14	1,38	24,0	32,6	54,0
	II	7,02	300	0,13	2,98	56,3	11,2143,7	53,0
	III	7,24	517	0,21	3,30	85,4		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

**Таблица 5.** Сравнение результатов работы ЭДУ на прямом и обратном режимах  
**Table 5.** Comparison of the results of EDU operation in direct and reverse modes

Степень обработки	Проба	pH	Электропроводность, $\mu\text{См}^{-1}$	Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	Железо, мг/дм <sup>3</sup>	Мель, мг/дм <sup>3</sup>	Хром, мг/дм <sup>3</sup>	Жёсткость, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Окисляемость, мг/дм <sup>3</sup> O <sub>2</sub>	Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>
Прямой ток											
I	Дилуат	7,25	174	0,42	0,14	0,21	отс 0,02 0,02	1,23	3,1	27,4	12,8
II		7,24	380	0,70	0,13	0,49		4,21	5,78	162,5	87,6
III		7,53	750	0,54	0,18	0,26		4,90	6,54	183,5	104,1
I	Концентрат	8,50	1993	1,50	0,25	0,98	0,04	10,51	10,2	413,5	234,5
II		2800	2,53	0,30	1,31	0,025	18,8	11,0	554,5	420,4	
Обратный ток											
I	Дилуат	7,19	216	0,90	0,16	0,13	0,02	1,41	4,42	41,3	25,7
II		7,50	390	0,32	0,12	0,20	0,002	2,15	2,75	90,3	47,8
II		7,53	750	0,54	0,18	0,26	0,02	4,90	6,54	183,5	104,1
I	Концентрат	8,20	1800	1,50	0,30	1,10	0,033	11,09	8,19	435,1	262,3
II		8,17	2570	0,86	0,23	1,17	0,02	11,70	9,10	439,5	348,9

**Результаты исследований процесса электролиза**

Помимо характеристик работы двух основных режимов использования аппарата, получены данные, представляющие интерес для проектирования и эксплуатации установок:

**Концентрация загрязнений на входе в ЭДУ.** Ранее была показана необходимость глубокой очистки жидкости, поступающей в аппарат, от взвеси, металлов, органики. Несмотря на это, эксперименты проводились при заметном нарушении этих ограничений. Сделано это для того, чтобы за относительно короткий период исследований накопить данные, равноценные длительной эксплуатации.

Появилась возможность оценить распределение загрязнений в потоках ЭДУ, их концентрацию на диафрагмах, степень необратимости влияния на процессы и т.д.

Специальными расчётами установлено, что за один из периодов работы длительностью 65 часов через ЭДУ прошло около 160 м<sup>3</sup> исходного стока. С потоком поступало 254 г Си, 59,6 г. Fe, 17,6 г Сг. Оставалось в аппарате соответственно 120,2 г; 28,2

г.; 10,4 г. Ощутимых изменений степени обессоливания их за этот период не произошло

**Оценка работы ЭДУ на прямом и обратном токе.** Изменение полярности электродов при регулярной переполосовке существенного влияния на степень обессоливания не оказывает. Об этом свидетельствуют данные таблицы 12.37, в которой приведено сравнение работы ЭДУ на прямом и обратном токе.

Сравнение результатов работы ЭДУ на прямом и обратном режимах показана в таблице 5.

**Эффект обессоливания при ступенчатой работе.** Среднее значение эффекта обессоливания на I, II, III ступенях соответственно 85, 81 и 83 %. Практически он оставался постоянным.

В таблице 6 приведены результаты эксплуатации линии доочистки в сопоставлении с качеством технической и водопроводной воды, используемой на базовом объекте. По основным показателям фильтрат соответствует технической воде.

**Таблица 6.** Результаты работы линии доочистки  
**Table 6.** The results of the post-treatment line

Место отбора проб	pH	Взвешенные вещества, мг/л	Сухой остаток, мг/л	Общее содержание, мг/л	Окисляемость, мг/л	Щёлочность, мг/л	Хром, мг/л	Железо, мг/л
Рактор	9,00	324,0	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	2,0	13,5
Остойник	8,85	21,0	882,0	1100,0	7,4	3,1	3,1	1,44
Фильтр	8,76	5,0	863,0	1000,0	7,2	3,0	0,02	0,42
Дилуат*)	7,44	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
Водопродная вода	6,9	4,82	261,0	320,0	4,8	4,6	отс	0,14

\*) - после однократной обработки на ЭДУ

## ВЫВОДЫ

1. Создание систем оборотного водоснабжения на промышленном предприятии является наиболее эффективным и экономичным способом соблюдения требований по предотвращению загрязнения окружающей среды, а также очищенные промышленные сточные воды являются дополнительным ресурсом для его продуктивного использования..

2. Исследования и эксплуатация линии ступенчатой доочистки подтвердила ее работоспособность, невысокую энергоемкость, низкие затраты воды на собственные нужды, а также весьма незначительный расход кислоты при обработке пакетов.

3. Показано, что схема ступенчатого повторного использования стоков с безопасным выводом солей позволяет варьировать степень доочистки в зависимости от требований различных технологических процессов производства к качеству технической воды и от состава стоков, поступающих на очистку. При этом степень возврата воды в производство составит 85...90%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дегремон. Технический справочник по обработке воды: в 2т: пер. с фр. – СПб. Новый журнал, 2007.
2. Очистка промышленных сточных вод: пер. с нем. – СПб: Новый журнал, 2012.384 с.
3. Справочник по современным методам и технологиям очистки природных и сточных вод, и оборудованию / ДАНСЕЕ, отдел по Восточной Европе. - Копенгаген. - 2001. - 253 с.
4. Й. Лондонг. К.-Х. Розенвинкель. DWA. Очистка промышленных сточных вод: пер. с нем.- СПб: Новый журнал, 2012, 384 стр.
5. Долина Л.Ф. Современная техника и технологии для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов: Монография. – Дн-вск.: Континент. – 2008. – 254 с.
6. Е.А. Урецкий, И.В. Николенко, В. В. Мороз. Разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий утилизации твердых и жидких отходов сточных вод производств защитных покрытий и печатных плат. Монография. – М.: Русайнс. - 2022,- 168 с.
7. Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий. Монография. - Брест, изд-во БГТУ, 2007, -396 с.
8. Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий Монография: изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2014 -360 стр. С илл.
9. Урецкий Е.А., Гогина Е.С., Мороз. Оптимизация существующих и разработка новых ресурсосберегающих технологий в водном хозяйстве предприятий приборо- и машиностроения В.В. Монография. – М.: Изд-во АСВ, 2022. – 624 с. ISBN 978–5–4323

10. Отчёт. Теоретические исследования сорбционной и фильтрационной очистки сточных вод гальванического производства от растворённых и взвешенных веществ в рамках договора о творческом сотрудничестве ОАО «БЭМЗ» и АН СССР ГеоХИМ им. В.И. Вернадского, Москва, Брест. 1984 г.

11. Митин Б.А. Особенности конструирования и эксплуатации фильтров для очистки промышленных стоков. Реф. сб., ГПИ Сантехпроект №2 М. 1975г.

## REFERENCES

1. Degremon. Technical guide to water treatment: in 2 volumes: per. from fr. - St. Petersburg. New magazine, 2007.
2. Purification of industrial waste water: per. with him. - St. Petersburg: New Journal, 2012.384 p.
3. Handbook of modern methods and technologies for natural and waste water treatment and equipment / DANCEE, Department for Eastern Europe. - Copenhagen. - 2001. - 253 p.
4. J. Londong. K.-H. Rosenwinkel. DWA. Purification of industrial waste water: per. from German - St. Petersburg: New Journal, 2012, 384 pages.
5. Dolina L.F. Modern equipment and technologies for wastewater treatment from heavy metal salts: Monograph. – Dn-vsk.: Kontinent. – 2008. – 254 p.
6. E.A. Uretsky, I.V. Nikolenko, V.V. Moroz. Development and implementation of resource-saving technologies for the disposal of solid and liquid waste from wastewater production of protective coatings and printed circuit boards. Monografiya. – M.: Rusains. - 2022,- 168 p.
7. Uretsky E.A. Resource-saving technologies in the water management of industrial enterprises. Monograph. - Brest, publishing house of BSTU, 2007, - 396 p.
8. Uretsky E.A. Resource-saving technologies in the water management of industrial enterprises Monograph: LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2014 -360 p. C ill.
9. Uretsky E.A., Gogina E.S., Frost. Optimization of existing and development of new resource-saving technologies in the water sector of enterprises of instrumentation and mechanical engineering V.V. Monograph. - M.: Publishing house ASV, 2022. - 624 p. ISBN 978-5-4323.
10. Report. Theoretical studies of sorption and filtration treatment of wastewater from galvanic production from dissolved and suspended substances in the framework of the agreement on creative cooperation between JSC «BEMZ» and the USSR Academy of Sciences GeoKhim im. IN AND. Vernadsky, Moscow, Brest. 1984
11. Mitin B.A. Features of the design and operation of filters for industrial wastewater treatment. Ref. Sat., GPI Santekhproekt No. 2 M. 1975

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE LINE OF WASTE WATER PURIFICATION  
PRODUCTION OF PROTECTIVE COATINGS AND PRINTED BOARDS

Uretsky<sup>1</sup> E.A., Nikolenko<sup>2</sup> I.V., Moroz<sup>3</sup> V.V., Akulich<sup>4</sup> T.I.

<sup>1</sup>Republican Unitary Enterprise (RUE) Belarusian State Design Institute "BelGPI"  
Vitebsk, Pushkin, 6 Republic of Belarus. 210602 e-mail: euretsky@yandex.by.

<sup>2</sup>V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Academy of construction and architecture,  
181, Kievskaya str., Simferopol, 295050, Russian Federation, e-mail: energia-09@mail.ru

<sup>3</sup>Educational Institution "Brest State Technical University" 224017 Republic of Belarus, Brest, st. Moscovskaya, 267  
e-mail: vovavall@mail.ru, +375297202402

<sup>4</sup>Educational Institution "Brest State Technical University" 224017 Republic of Belarus, Brest, st. Moscow, 267 e-mail:  
tigol1976@mail.ru, +37529724 6651

**Abstract.** A line for post-treatment of wastewater from the production of protective coatings (PPC) and printed circuit boards (PCB) introduced at the base enterprise JSC "BEMZ" was developed and studied. The operation of the post-treatment line has confirmed its performance, low power consumption, low water consumption for own needs. It is shown that the scheme of stepwise reuse of wastewater makes it possible to vary the degree of post-treatment depending on the production requirements for the quality of process water and the composition of the wastewater entering the treatment. In this case, the degree of return of water in production will be 85-90%.

**Subject of study.** Wastewater from the production of protective coatings and printed circuit boards

Materials and research methods. In the work, studies of the elements of the wastewater treatment line PPC and PPP at the treatment facilities of the base enterprise were carried out and, on the basis of them, a pilot production line for wastewater treatment was developed and implemented. When conducting research on a pilot plant, the obtained conclusions were verified, which were used to develop technologies for the post-treatment of various types of wastewater from the PPC and PPP, as well as the improvement of process equipment and sludge disposal in the production of building materials.

**Results.** The introduction of a resource-saving technology for post-treatment of wastewater from the production of protective coatings and printed circuit boards made it possible to reduce the amount of process equipment to a minimum and reduce the need for purchased reagents by more than an order of magnitude, as well as more than halve the need for production space for its placement.

**Conclusions:** It has been established that the choice of a scheme for post-treatment of water for the production of protective coatings and printed circuit boards depends mainly on the quality of the initial composition of wastewater and the requirements for treated water. At the same time, when choosing the most appropriate options for post-treatment of wastewater PZP and PPP for a particular consumer, it is necessary to separate the flows of the least polluted wastewater and return them after treatment to the needs of technical water supply.

Studies of the elements of the line for post-treatment of wastewater PPC and PPP at treatment facilities were carried out JSC "BEMZ" and on the basis of them developed and implemented a pilot production line for wastewater treatment. The obtained research results were transferred to design institutes for the creation of circulating water supply systems for subordinate enterprises

**Key words:** PPC, pH, reagents, illuminator, granular filters; sorption filters ion exchange filters, electro dialysis