

Известия вузов. Строительство. 2023. № 8. С. 61–71.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2023; (8): 61–71.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 628.543.3

DOI: 10.32683/0536-1052-2023-776-8-61-71

## **К ВОПРОСУ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ И ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**

**Евгений Аронович Урецкий<sup>1</sup>, Илья Викторович Николенко<sup>2</sup>,  
Владимир Валентинович Мороз<sup>3</sup>, Татьяна Ивановна Акулич<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный проектный институт (БелГПИ) РУП, Витебск,  
Республика Беларусь

<sup>2</sup>Институт «Академия строительства и архитектуры» ФГАОУ ВО  
«КФУ им. В.И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия

<sup>3</sup>Брестский государственный технический университет», Брест,  
Республика Беларусь

**Аннотация.** Рассмотрен ряд вариантов схем доочистки сточных вод производств защитных покрытий и печатных плат. Показано, что выбор схемы доочистки воды зависит в основном от качества исходного состава сточных вод и требований к доочищенной воде. При этом простейшим решением является выделение потоков наименее загрязненных сточных вод и возврат их после очистки на нужды технического водоснабжения. Альтернативным решением может быть совместная реагентная обработка всех видов сточных вод с доочисткой ионообменными методами. Однако более гибкой и экономичной является система ступенчатого водопользования, при которой вода подготавливается согласно технологическим требованиям для соответствующих производств.

**Ключевые слова:** рН, реагенты, осветлитель, зернистые фильтры, сорбционные фильтры, ионообменные фильтры, электродиализ

**Для цитирования:** Урецкий Е.А., Николенко И.В., Мороз В.В., Акулич Т.И. К вопросу выбора рациональных технологий доочистки сточных вод производств защитных покрытий и печатных плат // Известия вузов. Строительство. 2023. № 8. С. 61–71. DOI: 10.32683/0536-1052-2023-776-8-61-71.

Original article

**THE QUESTION OF THE CHOICE OF RATIONAL  
TECHNOLOGIES FOR THE TERMINAL WASTEWATER  
TREATMENT PRODUCTION  
OF PROTECTIVE COATINGS AND PRINTED BOARDS**

**Evgeny A. Uretsky<sup>1</sup>, Iliya V. Nikolenko<sup>2</sup>, Vladimir V. Moroz<sup>3</sup>,  
Tatiana I. Akulich<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian State Design Institute (BelGPI) RUE, Vitebsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Institute "Academy of Construction and Architecture" FGAOU HE

"KFU named after V.I. Vernadsky", Simferopol, Republic of Crimea, Russia

<sup>3</sup>Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus

**Abstract.** The paper presents a number of variants of schemes for post-treatment of wastewater from the production of protective coatings and printed circuit boards are considered. It is shown that the choice of a water treatment scheme depends mainly on the quality of the initial runoff and the requirements for treated water. In this case, the simplest solution is to separate the flows of the least polluted wastewater and return them after treatment to the needs of industrial water supply. An alternative solution may be a joint reagent treatment of all types of wastewater with post-treatment by ion-exchange methods. However, a more flexible and economical system is a staged water use, in which water is prepared in accordance with the technological requirements for the respective industries.

**Keywords:** pH, reagents, clarifier, granular filters, sorption filters, ion exchange filters, electro dialysis

**For citation:** Uretsky E.A., Nikolenko I.V., Moroz V.V., Akulich T.I. The question of the choice of rational technologies for the terminal wastewater treatment production of protective coatings and printed boards. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2023; (8): 61–71. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2023-776-8-61-71.

**Введение.** 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 [1–4]. Это в полной мере относится и к предприятиям приборо- и машиностроения, основное количество сильнозагрязненных сточных вод которых образуется в производстве защитных покрытий (ПЗП) и производстве печатных плат (ППП) [5, 6]. Создание таких систем без разработки и внедрения высокоэффективных ресурсосберегающих технологий доочистки сточных вод с возвратом их на повторное использование невозможно.

*Цель данной статьи:* определение наиболее приемлемого варианта схемы доочистки сточных вод производств защитных покрытий и печатных плат для конкретного потребителя на основе выбора рациональной технологии.

*Основные задачи исследования.* Для достижения поставленной цели сформулированы и реализованы следующие задачи:

анализ технологий и элементов оборотной системы водоснабжения ПЗП и ППП на очистных сооружениях промышленного предприятия с производством защитных покрытий и печатных плат;

определение исходного состава сточных вод производств защитных покрытий и печатных плат, а также требований к доочищенной воде;

разработка вариантов опытно-производственной линии доочистки сточных вод для оборотной системы водоснабжения ПЗП и ППП;

проведение исследований на опытной установке для проверки вариантов технологий доочистки различных видов сточных вод ПЗП и ППП;

оценка полученных результатов по составу общего потока сточных вод производств покрытий до и после очистки;

разработка рекомендаций по выбору рациональной технологии для создания оборотных систем водоснабжения для ПЗП и ППП.

**Основная часть.** Многократная очистка и повторное использование воды в промышленности является наиболее эффективным и экономичным способом соблюдения требований по предотвращению загрязнения окружающей среды. Оборотные циклы промышленного водоснабжения технически возможны и эффективны, так как в настоящее время имеют большое экономическое и экологическое значение. В большинстве промышленно развитых стран экологическими законодательствами и соответствующими нормами устанавливаются требования, чтобы промышленное производство обеспечивало определенные стандарты качества воды, прежде чем выпускать сточные воды в окружающую среду. Рециркуляция промышленного цикла водоснабжения и водоотведения не только технически возможна, но и имеет все больший экономический и экологический смысл, поскольку промышленные сточные воды должны рассматриваться как дополнительный ресурс для продуктивного использования.

Способ и схема доочистки производственной сточной воды зависят в основном от исходного ее состава 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 требованиях к технической воде и ограниченных ее расходах схема доочистки может быть несложной. Все более высокие требования, предъявляемые в технологии доочистки производственных сточных вод для повторного использования, усиливающийся дефицит водных ресурсов создают условия для усовершенствования и разработки технических и технологических решений, направленных на поиск новых высокоэффективных технологий.

Простейшее решение – выделение потоков наименее загрязненных сточных вод и возврат их после очистки на нужды технического водоснабжения, как представлено на рис. 1.

С учетом затрат на собственные нужды таким образом можно сэкономить до 20 % технической воды. Это решение экологически целесообразно только в сочетании с максимальной регенерацией отработанных технологических растворов в основном производстве и использовании нерегенерированных в основном производстве растворов в качестве реагентов для очистки сточных вод.

Альтернативным решением является совместная реагентная обработка всех видов сточных вод с доочисткой ионообменными методами (рис. 2).

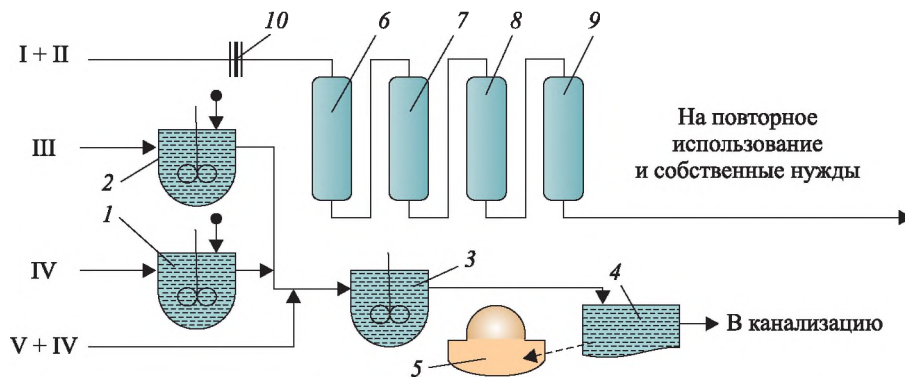


Рис. 1. Упрощенная схема с возвратом части сточных вод

I – промывные сточные воды, содержащие хром; II – промывные кислотно-щелочные сточные воды; III – сточные воды, содержащие цианиды; IV – ОТП с  $\text{Cr}^{6+}$ ; V – щелочные ОТП; VI – кислые ОТП; 1 – линия обработки сточных вод, содержащих хром; 2 – линия обработки сточных вод, содержащих цианиды; 3 – линия нейтрализации сточных вод; 4 – осветлитель; 5 – узел обезвоживания осадка; 6, 7 – зернистые фильтры; 8, 9 – ионообменные фильтры; 10 – узел электрохимической обработки;  $\bullet \rightarrow$  реагенты

Fig. 1. Simplified scheme with the return of part of the wastewater

I – washing wastewater containing chromium; II – washing acid-alkaline wastewater; III – wastewater containing cyanides; IV – spent process solution with  $\text{Cr}^{6+}$ ; V – alkaline spent process solution; VI – acid spent process solution; 1 – line for the treatment of wastewater containing chromium; 2 – line for the treatment of wastewater containing cyanide; 3 – wastewater neutralization line; 4 – clarifier; 5 – sludge dehydration unit; 6, 7 – granular filters; 8, 9 – ion-exchange filters; 10 – electrochemical processing unit;  $\bullet \rightarrow$  reagents

При таком подходе линия доочистки сложна, дорога и в экологическом отношении неэффективна. Значительные объемы элюатов и затраты на их нейтрализацию, упаривание и захоронение ставят под сомнение целесообразность данного решения. Кроме того, при глубоком обессоливании расход воды на собственные нужды приближается к 100 %. В таких условиях повторное использование стоков оказывается в тупиковой ситуации. Определенным выходом из тупика может быть обессоливание части потоков

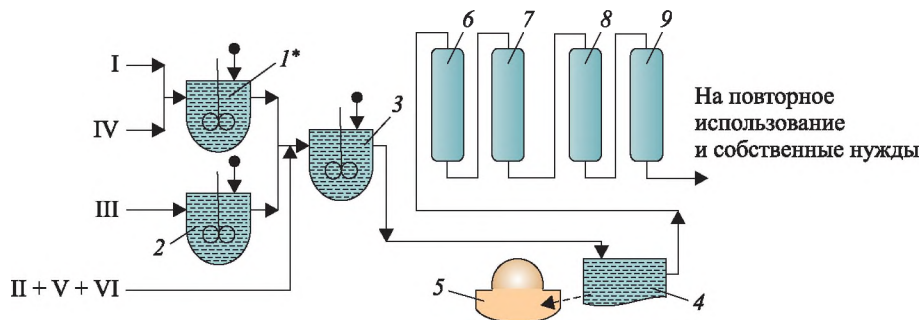


Рис. 2. Упрощенная схема с возвратом всех видов сточных вод

Усл. обозн. см. на рис. 1

Fig. 2. Simplified scheme with the return of all types of wastewater

See the symbols in Fig. 1

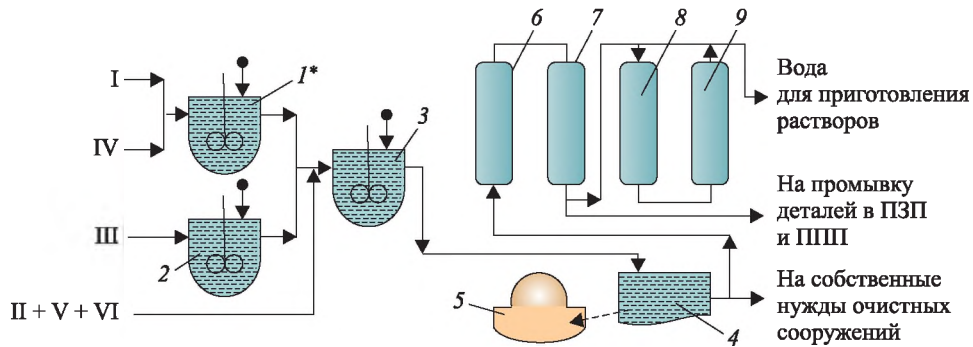


Рис. 3. Упрощенная технологическая схема с байпасным обессоливанием  
Усл. обозн. см. на рис. 1

Fig. 3. Simplified scheme with bypass desalination  
See the symbols in Fig. 1

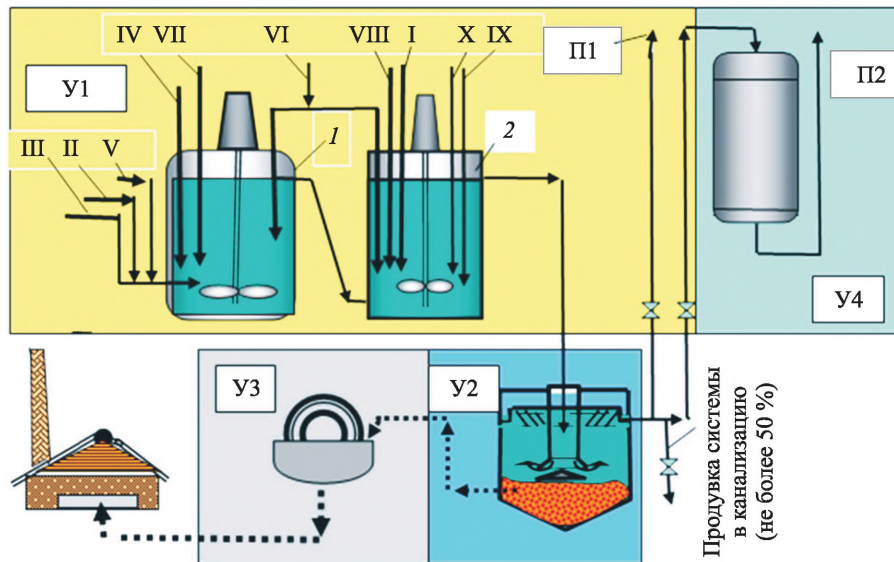
(рис. 3). Этот прием несколько компенсирует отрицательные эффекты, а при комбинации электродиализ – ионообмен расхода воды на собственные нужды может быть уменьшен вдвое [7, 8].

Вышеприведенные технологические решения базируются на задаче доведения всего объема доочищенного стока до показателей качества, близких к стандарту питьевой воды. В схемах оборотного водоснабжения далеко не все технологические процессы действительно нуждаются в воде такого высокого качества. Для ряда производств некоторые требуемые показатели качества, например, цветность 30° и жесткость 3,5 мг-экв/л совершенно неприемлемы, в то время как стандартное содержание взвеси до 1,0 мг/л и коли-индекс 3 – явно избыточное требование. Вероятно, система ступенчатого водоиспользования, при которой вода подготавливается в соответствии с технологическими требованиями для ряда производств, более гибка и экономична и, несмотря на очевидную сложность, она может оказаться единственно возможной.

Основой водоснабжения промышленного предприятия является гарантированное обеспечение его водой, удовлетворяющей всем требованиям технологических процессов по объемам и по качеству. От обеспечения качества воды и организации водоснабжения промышленного предприятия в значительной степени зависят качество и себестоимость выпускаемой продукции. Оборотные (замкнутые) системы водоснабжения промышленных предприятий создают возможность рециркуляции воды на всем предприятии или в отдельных технологических процессах, тем самым получая с каждого кубометра больше продукции. С другой стороны, замкнутые системы водоснабжения промышленных предприятий являются эффективным и экономичным способом соблюдения требований по загрязнению окружающей среды с многократной очисткой и повторным использованием воды.

Для окружающей среды опасны промышленные предприятия, производство которых связано с технологическими процессами окраски, нанесения гальванических покрытий, а также изготовления печатных плат. В их сточных водах содержатся в большом количестве тяжелые металлы, цианиды, фториды, ПАВы, вредные органические соединения, такие как бензол, ксилол, толуол, фенолы и пр. Система ступенчатого водопользования, при которой вода подготавливается в соответствии с требованиями для ряда технологических процессов, наиболее

рациональна и экономична. 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, внедренной на ОАО «Брестский электромеханический завод» (ОАО «БЭМЗ») [7, 9]. Блок-схема этой рациональной технологии совместной очистки сточных вод ПЗП и ППП с частичным оборотом сточных вод показана на рис. 4. Представленная технология позволяет



*Рис. 4.* Блок-схема рациональной технологии совместной очистки сточных вод ПЗП и ППП с частичным оборотом сточных вод

I – кислотно-щелочные промывные сточные воды; II – промывные сточные воды, содержащие комплексные соединения ТМ; III – промывные сточные воды, содержащие хром; IV – промывные сточные воды, содержащие фтор; V – сточные воды, содержащие органику; VI – растворы, содержащие товарный восстановитель (резервные); VII – кислый раствор, содержащий восстановитель; VIII – кислые растворы без окислителей; IX – кислые растворы с окислителями; X – щелочные ОТР + раствор CaO; 1 – реактор нейтрализации всех видов сточных вод; 2 – реактор восстановления хрома; U1 – реакторный узел нейтрализации сточных вод; U2 – узел осветления сточных вод в вертикальных отстойниках, оборудованный полочными вставками; U3 – узел обезвоживания осадка; U4 – узел осветления сточных вод на механических и сорбционных фильтрах; П1 – поток воды, осветленной в отстойниках, направляемый для использования в гидрофильтрах покрасочных камер и на нужды очистных сооружений; П2 – поток отфильтрованной воды на механических фильтрах, направляемый для использования неотвеченных промывочных деталей в гальваническое и покрасочное производство

*Fig. 4.* Block diagram of a rational technology for co-treatment of wastewater in the production of protective coatings and the production of printed circuit boards with a partial circulation of wastewater

I – acid-base washing wastewater; II – washing wastewater containing HM complex compounds; III – washing wastewater containing chromium; IV – washing wastewater containing fluorine; V – wastewater containing organic matter; VI – solutions containing a commercial reducing agent (reserve); VII – acidic solution containing a reducing agent; VIII – acidic solutions without oxidizers; IX – acidic solutions with oxidizing agents; X – alkaline spent process solution + CaO solution; 1 – neutralization reactor for all types of wastewater; 2 – chromium reduction reactor; U1 – reactor unit for wastewater neutralization; U2 – sewage clarification unit in vertical settling tanks, equipped with shelf inserts; U3 – sludge dewatering unit; U4 – sewage clarification unit on mechanical and sorption filters; P1 – the flow of water clarified in settling tanks, directed for use in hydrofilters of spray booths and for the needs of treatment facilities; P2 – the flow of filtered water on mechanical filters, sent for use for non-critical flushing parts in the galvanizing and painting industry

выполнять очистку кислотно-щелочных промывных сточных вод, содержащих хром, фтор, органику и комплексные соединения ТМ.

Благодаря этой технологии низкое содержание взвешенных и растворенных веществ в сточных водах упростило процессы осветления и обессоливания и расширило возможность использования ступенчато-байпасной схемы с различными сочетаниями аппаратов для осветления и обессоливания. Выбор метода осветления – один из этапов при разработке технологии доочистки. Необходимость и степень такой очистки воды зависит от целей последующего ее использования. В зависимости от требуемой степени доочистки могут применяться разные методы осветления воды, которые основаны на различных физических, химических и физико-химических процессах.

Как видно, крайние пределы концентраций немного ниже величин, наблюдаемых в типовых реагентных схемах, что облегчает все процессы доочистки. Это и подтвердили натурные исследования. Усредненный состав сточных вод после их осветления в отстойнике приведен в табл. 1.

Предложенная система ступенчатого водопользования, при которой вода подготавливается в соответствии с требованиями для ряда технологических процессов, реализована на очистных сооружениях ОАО «БЭМЗ», где была изготовлена и смонтирована экспериментальная опытно-производственная линия, показанная на рис. 5 [7, 8]. Эта линия доочистки сточных вод реализовывала ступенчатый характер очистки с учетом их соледержания, позволяла варьировать степень доочистки в зависимости от технологических требований к качеству технической воды отдельных производственных процессов, а именно получать:

– поток 1 воды, осветленной в полочном отстойнике, направляющийся на нужды очистных сооружений и заполнение гидравлических фильтров покрасочного производства;

**Таблица 1. Состав общего потока сточных вод производств покрытий до и после очистки**

**Table 1. Composition of the total wastewater flow of coatings production before and after treatment**

№ п/п	Наименование ингредиента	Единица измерения	Средний, доверительный интервал концентраций		Наблюдаемый максимум после отстойника	
			до	после	до	после
1	Хром (VI)	мг/дм <sup>3</sup>	90–110	Отс.	120	Отс.
2	Хром общ.	мг/дм <sup>3</sup>	Не опр.	08–1,6	Не опр.	1,7
3	Цинк	мг/дм <sup>3</sup>	21–28	Следы	32,1	0,2
4	Никель	мг/дм <sup>3</sup>	2,2–4,9	Отс.	5,20	0,1
5	Железо	мг/дм <sup>3</sup>	41–58	0,2–1,0	63,0	1,5
6	Медь	мг/дм <sup>3</sup>	12–45	0,1–0,4	64,0	0,5
7	Кислота	мг-экв/дм <sup>3</sup>	7,9–9,1	Отс.	10,8	Отс.
8	Щелочь	мг-экв/дм <sup>3</sup>	3–4,2	Отс.	5,25	Отс.
9	pH		Не опр.	8,1–8,4	Не опр.	8,6
10	ХПК	мг/дм <sup>3</sup>	1500–2000	12–18	2500	21,6

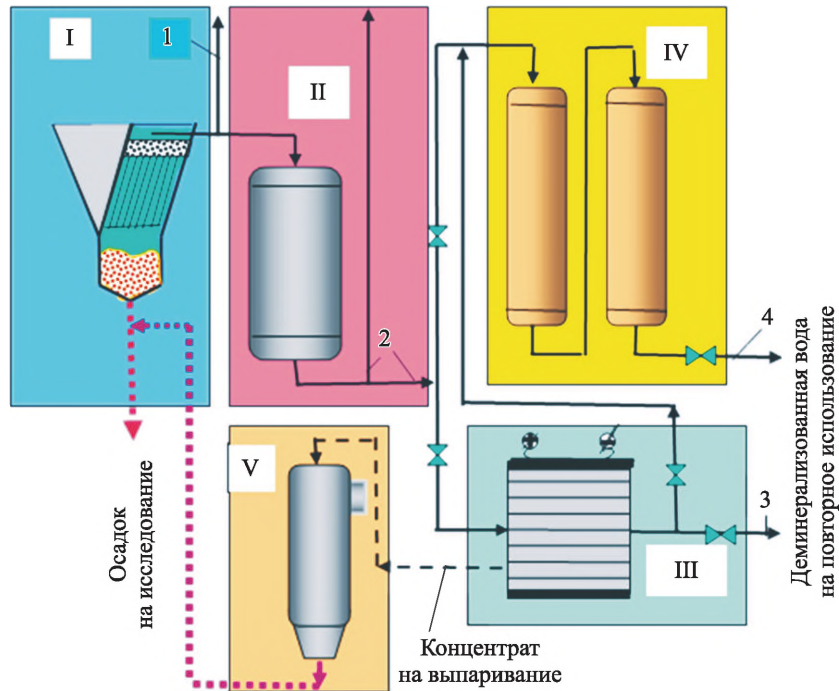


Рис. 5. Блок-схема опытно-производственной линии, смонтированной на очистных сооружениях ОАО «БЭМЗ» для проведения экспериментов  
 I – узел осветления сточных вод; II – узел фильтрования сточных вод на КЗФ; III – узел обессоливания сточных вод на ионообменных установках; IV – узел обессоливания воды; V – узел термической обработки рассолов; 1 – поток воды, осветленной в полощном отстойнике; 2 – поток отфильтрованной воды на намывном механическом фильтре; 3 – поток воды, обессоленной методом электродиализа; 4 – поток воды, последовательно обессоленной методом электродиализа, а затем на ионообменной установке (ультрачистая)

Fig. 5. Block diagram of an experimental production line mounted at the treatment facilities of JSC "BEMZ" for conducting experiments  
 I – sewage clarification unit; II – wastewater filtration unit at frame-fill filters; III – sewage desalination unit at ion exchange plants; IV – water desalination unit; V – brine heat treatment unit; 1 – flow of water clarified in a shelf sump; 2 – the flow of filtered water on the alluvial mechanical filter; 3 – flow of water demineralized by electrodiagnosis; 4 – the flow of water sequentially desalted by electrodiagnosis, and then on an ion-exchange unit (ultra pure)

– поток 2 отфильтрованной воды на механическом фильтре, предназначенный для промывки неответственных деталей гальванического производства;

– поток 3 воды, обессоленной методом электродиализа, идущий для приготовления растворов цинкования, хромирования, меднения и др., где не требуется особо чистая вода уровня питьевой;

– поток 4 воды, последовательно обессоленной методом электродиализа, а затем на ионообменной установке, т.е. ультрачистой, применяемой в производстве растворов, содержащих драгметаллы в ПЗП и ППП.

На очистных сооружениях ОАО «БЭМЗ» были проведены и исследования элементов оборотной системы водоснабжения ПЗП и ППП [7, 8]. В табл. 2 приведены результаты эксплуатации линии доочистки в сопостав-



Таблица 2. Результаты работы линии доочистки

Table 2. Results of the post-treatment line

Место отбора проб	рН	Взвешенные вещества, мг/л	Сухой остаток, мг/л	Общее солесодержание, мг/л	Окисляемость, мг/л	Щелочность, мг/л	Хром, мг/л	Железо, мг/л
Реактор	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
Дилюат*	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
Водопроводная вода	6,9	4,82	261,0	320,0	4,8	4,6	Отс.	0,14

\* После однократной обработки на ЭДУ.

лении с качеством технической и водопроводной воды, используемой на этом предприятии. Из полученных данных следует, что по основным показателям фильтрат по качеству соответствует технической воде.

В случае необходимости в еще более высокой степени очистки воды вода потока 4 доочищалась на локальных установках в основном производстве в соответствии с требованиями ОСТов. При этом степень возврата воды в производство должна составлять 85–90 %.

Согласно этому заданию МГПИ был решен вопрос утилизации образующихся в процессе очистки жидких и твердых отходов. А также получено согласование с Белорусским институтом санитарии и гигиены на безопасность утилизации таких отходов в производстве строительных материалов, в частности рядового красного кирпича, керамзита, керамической глазурованной плитки и пр. [12].

Результаты исследований были переданы проектным институтам для создания оборотных систем водоснабжения подведомственным предприятиям.

**Выводы.** 1. Рассмотрен ряд вариантов схем доочистки сточных вод производств защитных покрытий (ПЗП) и печатных плат (ППП). Показано, что выбор схемы доочистки воды этих производств зависит от качества исходного состава сточных вод и требований к доочищенной воде.

2. Анализ известных схем с возвратом части сточных вод после доочистки в оборотные схемы производственного водоснабжения показал, что система ступенчатого водопользования, при которой вода подготавливается в соответствии с требованиями для ряда технологических процессов, более гибка и экономична.

3. Установлено, что при выборе наиболее приемлемого варианта схемы доочистки сточных вод ПЗП и ППП для конкретного потребителя необходимо выделение потоков наименее загрязненных сточных вод и возврат их после очистки на нужды технического водоснабжения.

4. Проведено исследование элементов оборотной системы водоснабжения ПЗП и ППП на очистных сооружениях БЭМЗ и на основании их

разработана и внедрена опытно-производственная линия доочистки сточных вод.

5. Полученные результаты исследований по потокам обработанных сточных вод с системой ступенчатого водопользования предназначены для обоснования разработки оборотных систем водоснабжения различных предприятий.

#### Список источников

1. Дегремонт. Технический справочник по обработке воды: в 2 т. / 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. Лондонг Й., Розенвинкель К.-Х. Очистка промышленных сточных вод / пер. с нем. СПб.: Новый журнал, 2012. 384 с.
5. Долина Л.Ф. Современная техника и технологии для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов: Моногр. Днепропетровск: Континент, 2008. 254 с.
6. Урецкий Е.А., Николенко И.В., Мороз Е.А. Разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий утилизации твердых и жидких отходов сточных вод производств защитных покрытий и печатных плат: Моногр. М.: Русайнс, 2022. 168 с.
7. Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий. Моногр. Брест: Изд-во БГТУ, 2007. 396 с.
8. Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий: Моногр. Germany, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 360 с.
9. Урецкий Е.А., Гогина Е.С., Мороз В.В. Оптимизация существующих и разработка новых ресурсосберегающих технологий в водном хозяйстве предприятий приборо- и машиностроения: Моногр. М.: Изд-во АСВ, 2022. 624 с.
10. Отчет по НИР: Разработка элементов безотходной технологии и их исследование на сооружениях БЭМЗ / № гос. регистрации 80028756. Брест: Брестский инженерно-строительный институт, 1983. 320 с.
11. Митин Б.А. Особенности конструирования и эксплуатации фильтров для очистки промышленных стоков: Реф. сб. № 2. М.: ГПИ Сантехпроект, 1975.
12. Белорусский научно-исследовательский санитарно-гигиенический институт. Результаты санитарно-химических исследований на основе керамических масс с добавкой осадка сточных вод от производств защитных покрытий. Информационные карты по результатам санитарно-химических исследований 1988 г.

#### References

1. Degremont. Technical guide to water treatment: in 2 vol. Transl. from French. St. Petersburg: New Journal, 2007. (In Russ.).
2. Purification of industrial waste water. Transl. from German. St. Petersburg: New Journal, 2012. 384 p. (In Russ.).
3. Handbook of modern methods and technologies for natural and waste water treatment and equipment. DANCEE: Department for Eastern Europe. Copenhagen, 2001. 253 p. (In Russ.).
4. Londong J., Rosenwinkel K.-H. Purification of industrial waste water. Transl. from German. St. Petersburg: New Journal, 2012. 384 p. (In Russ.).

5. *Dolina L.F.* Modern equipment and technologies for wastewater treatment from heavy metal salts: Monograph. Dnepropetrovsk, 2008. 254 p. (In Russ.).
6. *Uretsky E.A., Nikolenko I.V., Moroz E.A.* 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: Monograph. Moscow, 2022. 168 p. (In Russ.).
7. *Uretsky E.A.* Resource-saving technologies in the water management of industrial enterprises: Monograph. Brest: Publishing house of BSTU, 2007. 396 p. (In Russ.).
8. *Uretsky E.A.* Resource-saving technologies in the water management of industrial enterprises: Monograph. Germany, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 360 p. (In Russ.).
9. *Uretsky E.A., Gogina E.S., Moroz V.V.* Optimization of existing and development of new resource-saving technologies in the water sector of enterprises of instrumentation and mechanical engineering: Monograph. Moscow, 2022. 624 p. (In Russ.).
10. R & D Report: Development of waste-free technology elements and their research at Brest electromechanical plant. State registration no. 80028756. Brest: Brest Institute of Civil Engineering, 1983. 320 p. (In Russ.).
11. *Mitin B.A.* Features of the design and operation of filters for industrial wastewater treatment: Ref. Sat. No. 2. Moscow: GPI Santekhproekt, 1975. (In Russ.).
12. Belarusian Research Sanitary and Hygienic Institute. Results of sanitary-chemical studies based on ceramic masses with the addition of sewage sludge from the production of protective coatings. Information cards based on the results of sanitary-chemical studies in 1988. (In Russ.).

#### **Информация об авторах**

**Е.А. Урецкий** – инженер, начальник отраслевой научно-исследовательской лаборатории, euretsky@yandex.by

**И.В. Николенко** – доктор технических наук, профессор, nikoshi@mail.ru

**В.В. Мороз** – кандидат технических наук, доцент, vovavall@mail.ru

**Т.И. Акулич** – инженер, tigol1976@mail.ru

#### **Information about the authors**

**E.A. Uretsky** – Engineer, Head of the Branch Research Laboratory, euretsky@yandex.by

**I.V. Nikolenko** – DSc, Professor, nikoshi@mail.ru

**V.V. Moroz** – PhD, Ass. Professor, vovavall@mail.ru

**T.I. Akulich** – Engineer, tigol1976@mail.ru

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в публикацию. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.06.2023  
Одобрена после рецензирования 20.07.2023  
Принята к публикации 27.07.2023

The article was submitted 20.06.2023  
Approved after reviewing 20.07.2023  
Accepted for publication 27.07.2023