

УДК 628.543

## К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИБОРО- И МАШИНОСТРОЕНИЯ

**В. В. Мороз<sup>1</sup>, В. В. Ивашечкин<sup>2</sup>, Е. А. Урецкий<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> К. т. н., доцент, заведующий кафедрой природообустройства, УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: vovavall@mail.ru

<sup>2</sup> Д. т. н., профессор кафедры гидротехнического и энергетического строительства, водного транспорта и гидравлики, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: ivashechkin\_vlad@mail.ru

<sup>3</sup> Компетентный внештатный представитель Корпорации Hoffland Environmental Inc. (USA) 10391 Silver Springs Road Conroe, TX 77303, Environmental technology and equipment, Витебск, Беларусь, e-mail: euretsky@yandex.by

### Реферат

В статье приведены методы совершенствования стокообразующего оборудования производства защитных покрытий (ПЗП) и производства печатных плат (ППП) в направлении использования малоотходных и малосточных технологических процессов. Предложено также использование оборотных систем непосредственно в основном производстве с целью многократного уменьшения потребления «свежей» воды на технологические нужды и ее обезвреживание с утилизацией отходов, образующихся в процессе ее очистки, обеспечивающих комплексное сокращение загрязнённых сточных вод, сбрасываемых в канализацию. Этот процесс является одним из важнейших направлений рационального использования воды в ПЗП и ППП по снижению загрязнения окружающей среды. Описаны способы рационального формирования потоков сточных вод ПЗП и ППП у мест их образования и методы, позволяющие их обезвреживание «попутными» технологиями в рамках традиционных реагентных очистных сооружений. Важным моментом при создании таких систем, является утилизация ценных компонентов из сточных вод (дорогих металлов, химикатов и пр.) и использование отходов производства для обработки сточных вод, что повысит их рентабельность. Сброс концентрированных отработанных технологических растворов (ОТР) приводят к безвозвратным потерям цветных металлов, а также нарушают нормальную работу очистных сооружений. Разработаны методы использования ОТР вместо или совместно с покупными реагентами, позволяющие снизить потребность в них не менее чем в три раза.

**Ключевые слова:** pH, технологические растворы, электролиты, промывка, реагенты, печатные платы, защитные покрытия, обезжиривание, отработанные технологические растворы, промывка, водопотребление, поток.

## ON THE QUESTION OF IMPROVING THE TECHNOLOGY OF WASTEWATER TREATMENT FOR INSTRUMENT AND MECHANICAL ENGINEERING ENTERPRISES

**V. V. Moroz, V. V. Ivashechkin, E. A. Uretsky**

### Abstract

Methods for improving wastewater treatment equipment in protective coating (PPC) and printed circuit board (PCB) manufacturing are presented, focusing on low-waste and low-discharge processes. The use of recirculating systems directly in the primary production process is also proposed to significantly reduce the consumption of "fresh" water for process needs and to render it harmless, recycling waste generated during its treatment, thereby ensuring a comprehensive reduction in contaminated wastewater discharged into the sewer system.

This process is one of the most important areas of rational use of water in PPC and PCB to reduce environmental pollution. The article describes methods for rational formation of PPC and PCB wastewater flows at the places of their formation and methods that allow their neutralization by "associated" technologies within the framework of traditional reagent treatment facilities. An important point in creating such systems is the utilization of valuable components from wastewater (expensive metals, chemicals, etc.) and the use of production waste for wastewater treatment, which will increase their profitability. Discharge of concentrated wastewater solutions (WTS) leads to irreversible losses of non-ferrous metals and disrupts the normal operation of treatment facilities. Methods have been developed for using WTS instead of or in combination with commercial reagents, reducing the need for them by at least threefold.

**Keywords:** pH, process solutions, electrolytes, flushing, reagents, printed circuit boards, protective coatings, degreasing, spent process solutions, flushing, water consumption, flow.

### Введение

В условиях значительного повышения цен на реактивы одно-значно стоит вопрос создания комплекса технологий и оборудования, применение которых в производствах защитных покрытий (ПЗП) и печатных плат (ППП), позволит увеличить срок службы электролитов и растворов в несколько раз и обеспечить регенерацию из них цветных металлов и химикатов. Данные решения позволят предотвратить залповые сбросы загрязнённых сточных вод, которые нарушают режим работы очистных сооружений предприятий, выводят их из строя и способствуют попаданию тяжёлых металлов (ТМ), других токсичных веществ в водоёмы. Эти же решения позволят снизить капитальные и эксплуатационные затраты на очистку сточных вод.

### Основная часть. Анализ образования сточных вод и предложения по созданию малосточной технологии

Современная технология комплекса регенерации отработанных электролитов и металлов должна обеспечить:

- использование методов регенерации в технологическом процессе ПЗП и ППП (создание участков по регенерации цветных металлов и химикатов);
- максимальное извлечение цветных металлов и химических элементов;
- создание в городах Республики Беларусь, имеющих развитое гальвано-производство, центров по переработке электролитов и гальваношламов.

В производствах защитных покрытий и печатных плат наблюдается большой объём отработанных технологических растворов,

которые не регенерируются [1, 2, 3]. Снижение объёма отработанных жидких отходов должно производиться как на очистных сооружениях, так и в основном производстве. При этом максимального снижения объёма жидких отходов (до 91 %) можно достичь именно на основном производстве.

*Мероприятия по снижению количества жидких отходов в основном производстве.*

1. Максимальное внедрение способов регенерации используемых растворов возможно непосредственно в технологических циклах. Согласно рекомендациям [1], выпущенным еще в 1992 г., отработанные электролиты должны были регенерироваться и возвращаться обратно в основное производство. Каждый случай сброса растворов электролитов на очистные сооружения должен быть обоснован в технологической части проекта. При этом наличие узла регенерации электролитов на основном производстве и правильная его эксплуатация позволяет электролитам работать годами и только корректироваться по убыли наносимых на покрываемые детали компонентов [2–6].

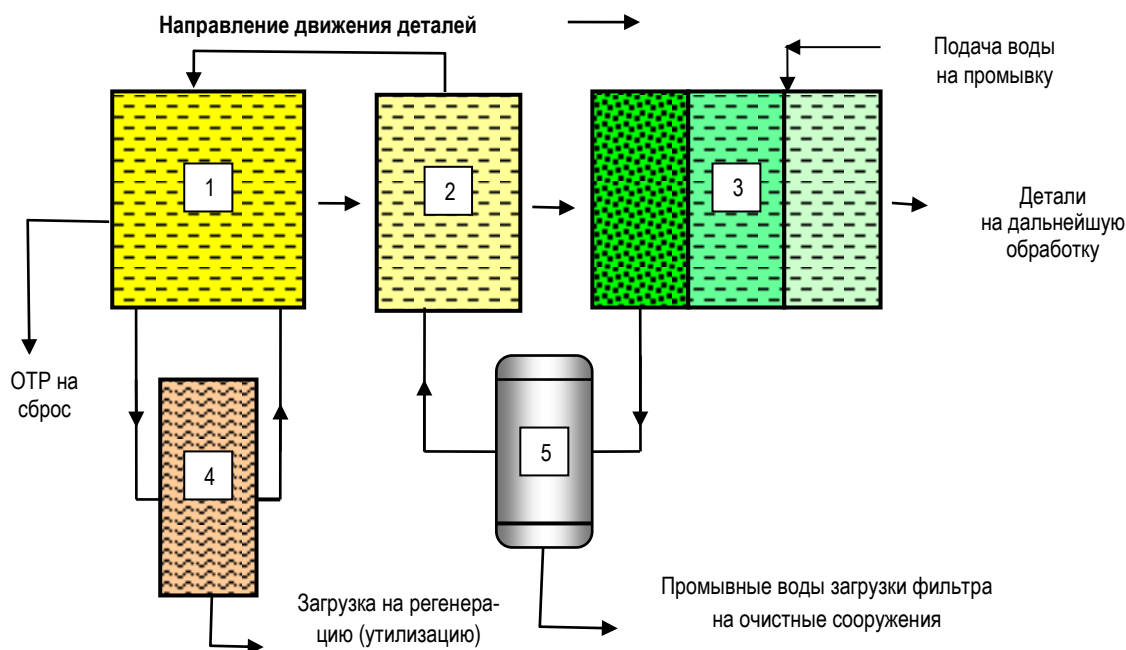
Примечательно, что площади, занимаемые узлом регенерации электролитов, и стоимость его размещения на основном производстве, несопоставимы с затратами на его обезвреживание на очистных сооружениях.

2. Большие потери материалов происходят из-за так называемых «залповых сбросов», когда в результате небрежного обслуживания гальванических ванн электролиты выходят из строя и сливаются в систему водоотведения [2–6].

Основные причины загрязнений растворов электролитов следующие:

- падение деталей с подвесных приспособлений, которые загрязняют растворы электролитов солями меди, железа, цинка, свинца, олова и пр.;
- отсутствие надлежащего контроля, который приводит к тому, что латунные крючки, к которым крепятся аноды детали, омываются электролитами в случае повышения их уровней в ваннах, и в этом случае происходит их анодное растворение, попадание в электролит меди, цинка и пр.;
- небрежное обезжиривание деталей, которое приводит к загрязнению электролитов органическими веществами;
- попадание в раствор электролитов смазочных масел с монорельсов, тельферных устройств и других узлов механизированных и автоматизированных технологических линий.

Упрощённая схема локальной системы возврата электролита в гальваническую ванну показана на рисунке 1.



1 – гальваническая ванна; 2 – ванна сборник; 3 – ванна трёхкаскадной промывки; 4 – ванна селективной очистки; 5 – фильтр  
**Рисунок 1** – Упрощённая схема локальной системы возврата электролита в гальваническую ванну

На многих предприятиях используют практику введения нормативов на смену электролитов гальванических ванн через несколько месяцев использования [2–4, 12]. Подобную практику следует признать неправильной, так как электролиты при своевременной их корректировке и соблюдении правил работы на ваннах служат годами и даже десятилетиями без частичной или полной их замены [2–6]. И в случае, если появится необходимость замены раствора электролита на свежий, то весь металл, находящийся в электролите, должен быть извлечён методом электролиза с нерастворимыми анодами или выделен химическим способом [2–5].

Понятие отработанных технологических растворов (ОТР) применимо только к химическим процессам, таким как химическое никелирование или меднение, процессы травления, хромирования, оксидирования и т. п. [2, 3].

3. Для уменьшения объёма сбрасываемых на очистные сооружения тяжёлых металлов (ТМ) необходимо оборудовать ванны улавливания. А последние ванны каскадных промывок необходимо оборудовать солемерами (концентратомерами) и устройствами внутреннего и внешнего электролиза для извлечения металлов [2–6, 13] (рисунки 2, 3, 4).

Внедрение таких малозатратных технических решений позволит обеспечить в сбрасываемых сточных водах на очистные сооружения концентрации ТМ только в виде следов или практическое их отсутствие.

Использование многоступенчатых схем промывки позволяет многократно сократить расход воды на технологические нужды без ухудшения качества покрытий. При одноступенчатой промывке изделия на промывку 1 м<sup>2</sup> покрытия расходует примерно 1000 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> при двухступенчатой 25–30 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>, при трёхступенчатой всего лишь 8–10 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> [2].

Установка одной ванны улавливания позволяет уменьшить расход воды при одноступенчатой схеме промывки в четыре раза, при двухступенчатой – в два раза, при трёхступенчатой – на 60 % [2].

При переходе от трёхступенчатой к четырёхступенчатой промывке достигается сокращение водопотребления лишь на 30–50 %. То есть увеличение более двух ступеней промывок значительного сокращения воды не даёт (таблица 1).

Однако в соответствии с [2, 3] считается, что ещё при большем увеличении количества ванн периодически непроточной промывки значительно сокращается расход воды на промывку и резко увеличивается продолжительность непроточного периода (т. е. количество обработанной поверхности деталей, м<sup>2</sup>).

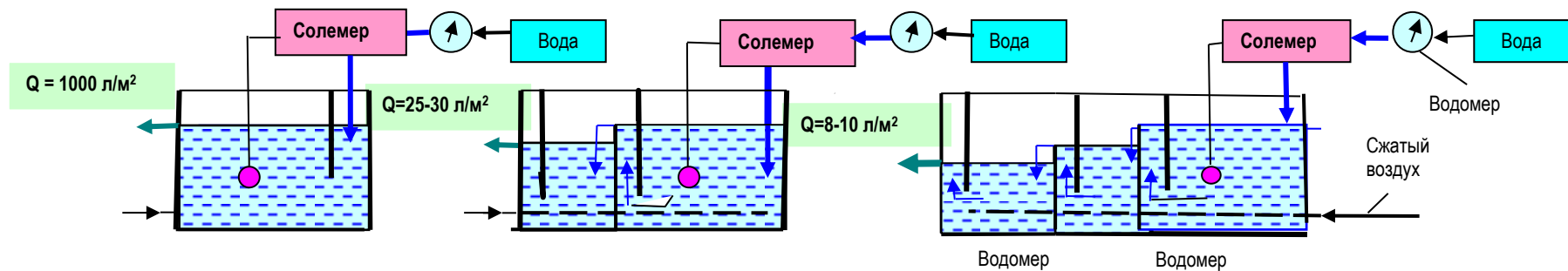


Рисунок 2 – Уменьшение потребности в воде на 1 м<sup>2</sup> покрытий при внедрении каскадных промывок

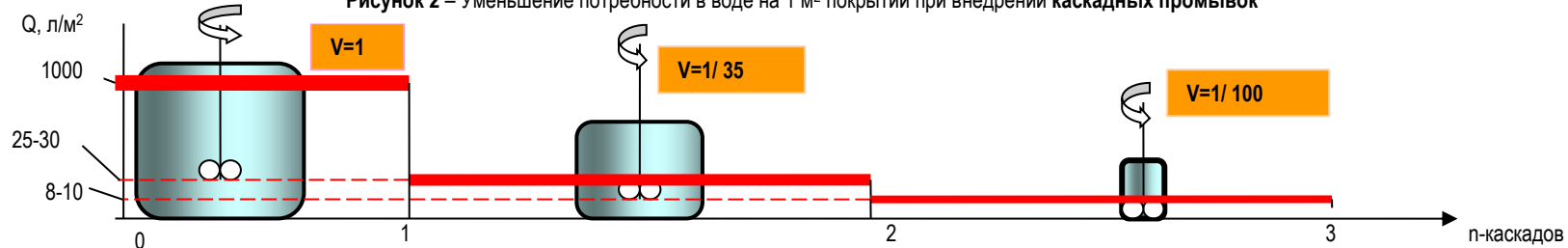
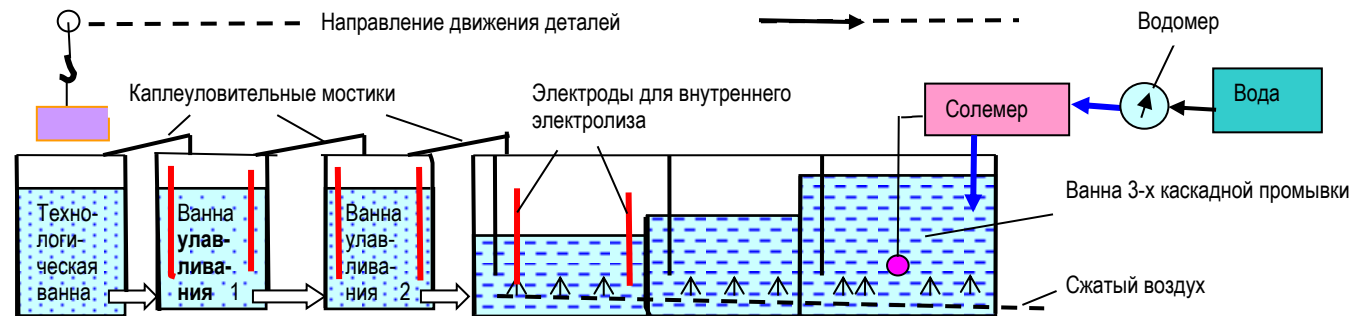
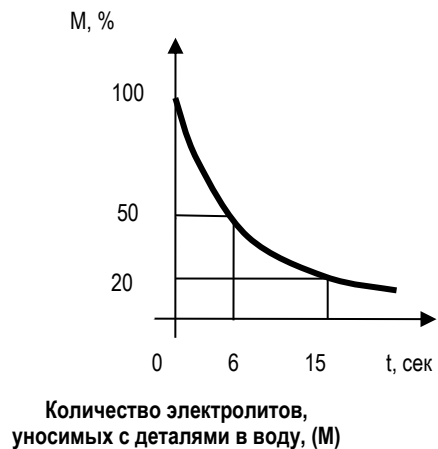


Рисунок 3 – Кратность уменьшения объема ёмкостной аппаратуры на очистных сооружениях



85 %	10 %	Менее 4,5 %	Следы химикатов	% задержания химикатов
Выдержка над ванной	Установка первого уловителя	Установка второго уловителя	Ванна 3-х каскадной промывки	Наименование операций

Рисунок 4 – Пути уменьшения выноса химикатов со сточными водами гальваники

Таблица 1 – Сравнение расхода воды при многоступенчатой схеме промывки

Количество ванн промывки	Конечная концентрация ионов меди в ваннах промывки по окончании непроточного периода, г/дм <sup>3</sup>							Продолжительность непроточного периода, ч/смен	
	в 1-й, С <sub>1</sub>	в 2-й, С <sub>2</sub>	в 3-й, С <sub>3</sub>	в 4-й, С <sub>4</sub>	в 5-й, С <sub>5</sub>	в 6-й, С <sub>6</sub>	в 7-й, С <sub>7</sub>		в 8-й, С <sub>8</sub>
2	0,3	0,002							70/8
3	1,6	0,07	0,002						429/53
4	4,1	0,46	0,035	0,002					1157/144
5	7,2	1,5	0,21	0,023	0,002				2220/277
6	10,2	3,2	0,7	0,12	0,017	0,002			3566/445
7	12,9	5,5	1,7	0,4	0,08	0,014	0,002		5149/643
8	15,0	8,1	3,3	1,0	0,3	0,06	0,012	0,002	6932/866

Проведённый анализ работы [2, 11] не трёх и четырёх, а семи и восьми ванн промывки, установленных на процессе меднения и работающих в периодически непроточном режиме, показывает, что при незначительной разнице в расходе воды на промывку (0,1–0,2 дм<sup>3</sup>/ч) продолжительность непроточного режима отличается значительно (на 1700–2400 ч) и для восьми ванн промывки (объёмом по 1000 дм<sup>3</sup>) достигает 11000 ч (что при производительности 1 м<sup>2</sup>/ч соответствует обработке 11000 м<sup>2</sup>). Даже при условии установки после ванны меднения пяти ванн промывки, работающих в периодически непроточном режиме, они будут работать в односменном режиме без замены воды 2220 ч, 277 смен или более одного года (13-ти месяцев). При восьми периодически непроточных ваннах промывки срок замены воды достигает нескольких лет, а объём загрязнённой промывочной воды составляет всего

лишь несколько кубических метров. То есть, в течение нескольких лет для промывки используется одна и та же вода.

Для подтверждения выводов по поводу необходимости и полезности увеличения количества ванн промывки для создания малосточных и бессточных технологий [2, 11] приводится пример процесса меднения и работающих ванн в периодически в непроточном режиме (таблица 2).

Это является качественно новым фактом – при односменной работе неавтоматизированных линий 11 000 часов – это более пяти лет работы без подачи воды, а при этом объём загрязнённой промывочной воды составляет всего лишь несколько кубических метров. То есть, в течение нескольких лет для промывки используется одна и та же вода определённого объёма, находящаяся в ваннах периодически непроточной промывки без сброса в канализацию [2].

Таблица 2 – Классификация ОТП по свойствам, которые могут найти применение в очистке сточных вод

Технологические свойства	Наименование	Место образования	Область применения
Восстановительные	1) травильные (стальные детали) 2) активации (декапирования) 3) травильные в FeCl <sub>3</sub> 4) травильные в CuCl <sub>2</sub> 5) подтравливания (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 6) осветления в HCl 7) химического оксидирования	ПЗП ПЗП, ППП* ПЗП, ППП ППП ППП ППП ПЗП	Восстановление Cr(VI) и подкисление сточных вод, содержащих хром
Окислительные	Растворы, содержащие HNO <sub>3</sub> 1) осветления 2) травления 3) пассивации 4) хромирования	ПЗП	Подкисление кислотно-щелочных сточных вод
Для создания кислой среды	1) кислого кадмирования 2) никелирования 3) латунирования 4) олово-висмут 5) анодирования 6) меднения 7) эматалирования	ПЗП	Подкисление сточных вод, содержащих хром, и кислотно-щелочных сточных вод
Для создания щелочной среды	1) катодного обезжиривания 2) анодного обезжиривания 3) электрохимического обезжиривания 4) химического обезжиривания 5) цинкования 6) щелочного кадмирования 7) антикоррозионной обработки	ПЗП	Подщелачивание кислотно-щелочных сточных вод

Но как бы долго ни использовались ванны промывки без смены в них воды, говорить о полной бессточности нельзя. Если же промежуток между сменой воды составляет несколько лет, то для обеспечения полной бессточности путём выделения из сточных вод компонентов электролитов и их возврата в производство можно использовать небольшие локальные аппараты, которые хоть и малопродуктивны, но просты в обслуживании и малозатратны. К таким аппаратам можно отнести погружные электрохимические модули (С. С. Кругликов – РХТУ им. Д. И. Менделеева, г. Москва), системы очистки и выпарки воды (ЗАО НПП «Баромембранная технология», г. Владимир), малогабаритные ионообменные модули (В. И. Захаров –

ОАО «Авиаприборпроект», г. Москва), установку УЛОС с сорбентом МУС (Б. Н. Нечаев – НТК «Регенератор», г. Москва), мембранную установку и вакуум-выпарные аппараты ЭСВА и ВКР (ЗАО «БМТ», г. Владимир), установку для регенерации промывочных вод «Корпорация спецтехнологического оборудования «ВИТРИ», г. Новгород), и простые ТЭНы [11]. Последние в рассматриваемых условиях [2] обладают особой привлекательностью. Как правило, упаривание промывочных вод не отличается экономичностью. В рассматриваемых условиях, когда ограничен объём высококонцентрированной сточной воды образуется один раз в несколько лет, упаривание из-за своей простоты, универсальности и, главное, доступности становится конкурентно

способным по сравнению с другими методами отделения компонентов технологических растворов от промывной воды.

4. Внедрение рациональных методов промывки деталей, позволяющих многократно уменьшить, как объём потребляемой воды на технологические нужды, так и загрязнения её токсичными ингредиентами [2–6].

5. Рациональное формирование потоков сточных вод у мест их образования, позволяющее использование регенерированных в основном производстве отработанных технологических растворов (ОТР) в качестве реагентов при очистке сточных вод, а также обезвреживание этих потоков малозатратными «путными» технологиями [4, 6, 8] (рисунок 5).

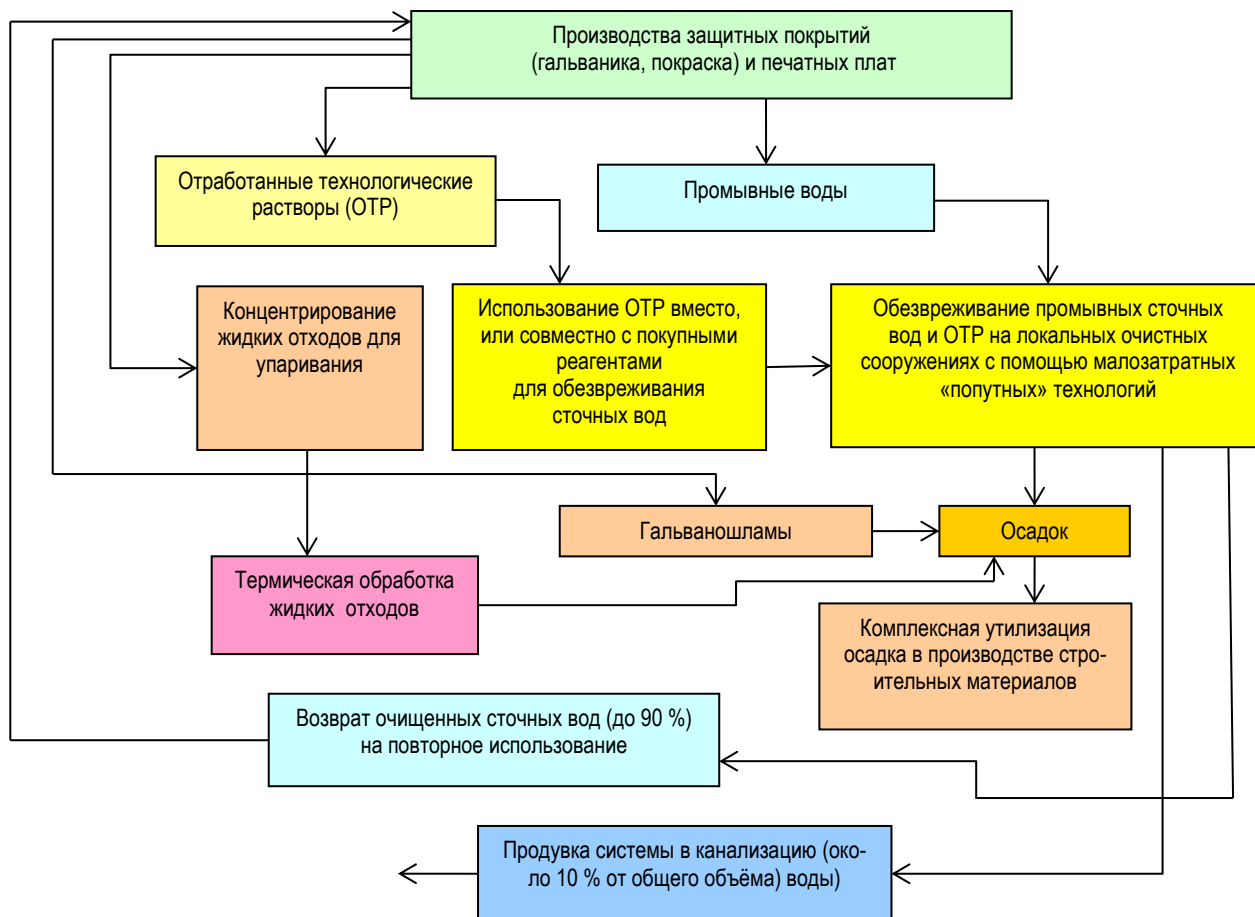


Рисунок 5 – Блок-схема ресурсосберегающей технологии очистки сточных вод и утилизации отходов производств защитных покрытий (гальваника + покраска) и печатных плат, внедрённой на ОАО «БЭМЗ»

Сопоставляя составы растворов, применяемые в основном производстве, и виды товарных реагентов, идущих на обработку сточных вод, установлено, что во многих случаях используются сходные по технологическим свойствам химикаты. В связи с этим выяснилась возможность использования их взамен товарных реагентов, классифицировав эти растворы по видам.

Классификация отработанных растворов не только по величине pH, но и по технологическим свойствам вызвана следующими соображениями.

Отдельные кислые растворы содержат окислители (азотная кислота и т. п.) и другие восстановители (железо (II), олово (II), медь (I) и т. п.). Объединение их в общей сборной емкости нецелесообразно. Такое объединение приводит к окислению восстановителей азотной кислотой. При этом эффективность использования кислой смеси в качестве восстановителя резко снижается. Более того, избыточные количества азотной кислоты, как указывалось ранее, создают ряд нежелательных явлений. Так, например, они окисляют товарные реагенты (сернистое железо и т. п.), чем увеличивают их потребную дозу. Кроме того, в процессе взаимодействия восстановителей с азотной кислотой выделяются летучие соединения, опасные для обслуживающего персонала [15].

Учитывая выше изложенное, представляется разумным разделение сточных вод не только на промывные и концентрированные с использованием последних взамен или совместно с товарными реагентами, но и разделение отдельных видов кислых рас-

творов с учётом технологических свойств на подвиды. Такое разделение отработанных кислых растворов на растворы, не содержащие восстановители и содержащие их, приведет к резкому увеличению эффективности их использования. Концентрация восстановителей в кислом отработанном растворе, выделенном из общей смеси кислот, многократно возрастет. Это является следствием отсутствия разбавления другими кислотами и окислителями, присутствующих в них. Исключаются токсичные газообразные выделения. В отдельных случаях отпадет необходимость в товарных реагентах для восстановления шестивалентного хрома. И наконец, будет решена главная технологическая задача – окисление двухвалентного железа в процессе восстановления шестивалентного хрома [16]. Не потребуются защелачивание общего объема сточной воды до pH = 9,5, обусловленного условиями содержания гидроксида железа (II). Исключится растворение гидроксида хрома, вызванное высоким значением pH в отстойнике. Улучшится коагуляция взвесей и осаждение их в отстойниках, ранее затрудняемое присутствием железа (II). Многократно уменьшится расход щелочного реагента.

И наконец, снимется проблема выпуска сточных вод с заводским превышением значением pH.

Количество образующихся жидких отходов напрямую связано со снижением выноса раствора из основных гальванических ванн, а также со стеканием раствора в промывочные ванны не только с изделий, но и приспособлений.

Удельный вынос раствора электролита снижается с увеличением продолжительности стекания раствора над технологической ванной, при применении специальных устройств для обдувки или стряхивания раствора с изделий, а также использование для подвеса оборудования высококачественной изоляции с гладкой водоотталкивающей поверхностью и т.п.

Продолжительность стекания жидкости можно увеличить, если обеспечить следующее:

- установить над стационарными ваннами выносные штанги для выдерживания подвесок, поднятых из технологических ванн над зеркалом ванны;

- медленно выносить подвеску из технологической ванны при более быстром переносе её в следующую ванну;

- осуществить выбор оптимальных конструкций подвесок и барабанов, устройство между технологическими и промывными ваннами козырьков, обеспечивающих стекание упавших капель растворов обратно в технологическую ванну;

- выдерживание деталей над поверхностью ванны оптимального промежутка времени (на автоматических линиях должно быть заложено в программе), а также применение обдува, встряхивания и т. п. Только увеличение времени выдержки деталей над ваннами с 4 до 16 с сокращает вынос раствора и расход воды на промывку в три раза [17];

- существенное снижение количества «уносимого» деталей электролита можно достигнуть, если в состав электролитов ввести поверхностно-активные вещества, которые уменьшают величину поверхностного натяжения растворов. Подобным действием обладает, например, хлорамин, введение которого в ванну хромирования снижает величину поверхностного натяжения электролита с 740 до 310 мН/см. В результате этого количество хромосодержащих соединений, уносимых в промывную воду, снижается на 40–45 % [7–10].

Наряду с указанными мероприятиями для снижения выноса раствора могут применяться и другие мероприятия, не требующие, как правило, значительных затрат. К таким мероприятиям относятся:

- установка между технологическими и промывными ваннами желобов (каплеуловительных мостиков) из антикоррозийного материала с наклоном в сторону технологической ванны, после которой следует промывка;

- правильное подвешивание изделий, обеспечивающих минимальный вынос раствора. Плоские изделия следует по возможности подвешивать вертикально, причем наименьшая сторона их должна располагаться по вертикальной оси. Изделия сложной конфигурации должны подвешиваться так, чтобы обеспечивалось хорошее обтекание. Для этого необходимо сделать дополнительные технологические отверстия в чашеобразных углублениях, вынутые из раствора изделия располагать отверстиями к зеркалу технологической ванны;

- выравнивание водосливов.

*Мероприятия предлагаемые для реализации на очистных сооружениях.*

1. Внедрение «попутных» технологий очистки сточных вод, содержащих свинец, фтор, комплексные соединения тяжёлых металлов, лакокрасочные загрязнения и др, реализуемые в рамках традиционных методов очистки сточных вод гальванического производства на тех же технологических линиях, теми же реагентами и при тех же параметрах проведения процессов, позволяет многократно уменьшить потребность в покупных реагентах, соответственно, снизить вторичное загрязнение сточных вод и во много раз уменьшить объём образующегося осадка в осветлителях [4, 5, 6, 17, 18].

3. Использование в системах очистки сточных вод высокопроизводительных автоматизированных реакторов с учётом их гидродинамических возможностей, правильной обвязкой их технологическими трубопроводами и с размещением чувствительных элементов систем автоматического регулирования (САР) в активных зонах ведения процессов. При этом САР, должны позволять использовать ОТР вместо покупных реагентов и обеспечивать оптимальную подачу их для ведения процессов очистки сточных вод [4, 5, 6, 21].

4. Применять не регенерируемые в основном производстве, отработанные технологические растворы в соответствии с их технологи-

ческими свойствами, вместо или совместно с покупными реагентами, что позволит многократно уменьшить их потребность и, соответственно, предотвратить вторичное загрязнение обрабатываемых сточных вод, а также снизить объём образующегося осадка [4, 6, 18].

5. Уменьшать объём концентрирования отработанных жидких отходов мембранными технологиями и др. перед термической их обработкой [4, 5, 6, 18, 19].

Внедрение даже части перечисленных методов на ОАО «БЭМЗ» позволило практически на порядок уменьшить объём подлежащего утилизации осадка [4, 10, 14, 17, 20], а может свести до его минимума с практическим отсутствием в нём ТМ. Упрощённая схема снижения объёмов жидких и твёрдых отходов в сточных водах, внедрённая на ОАО «БЭМЗ», приведена на рисунке 6.

## Выводы

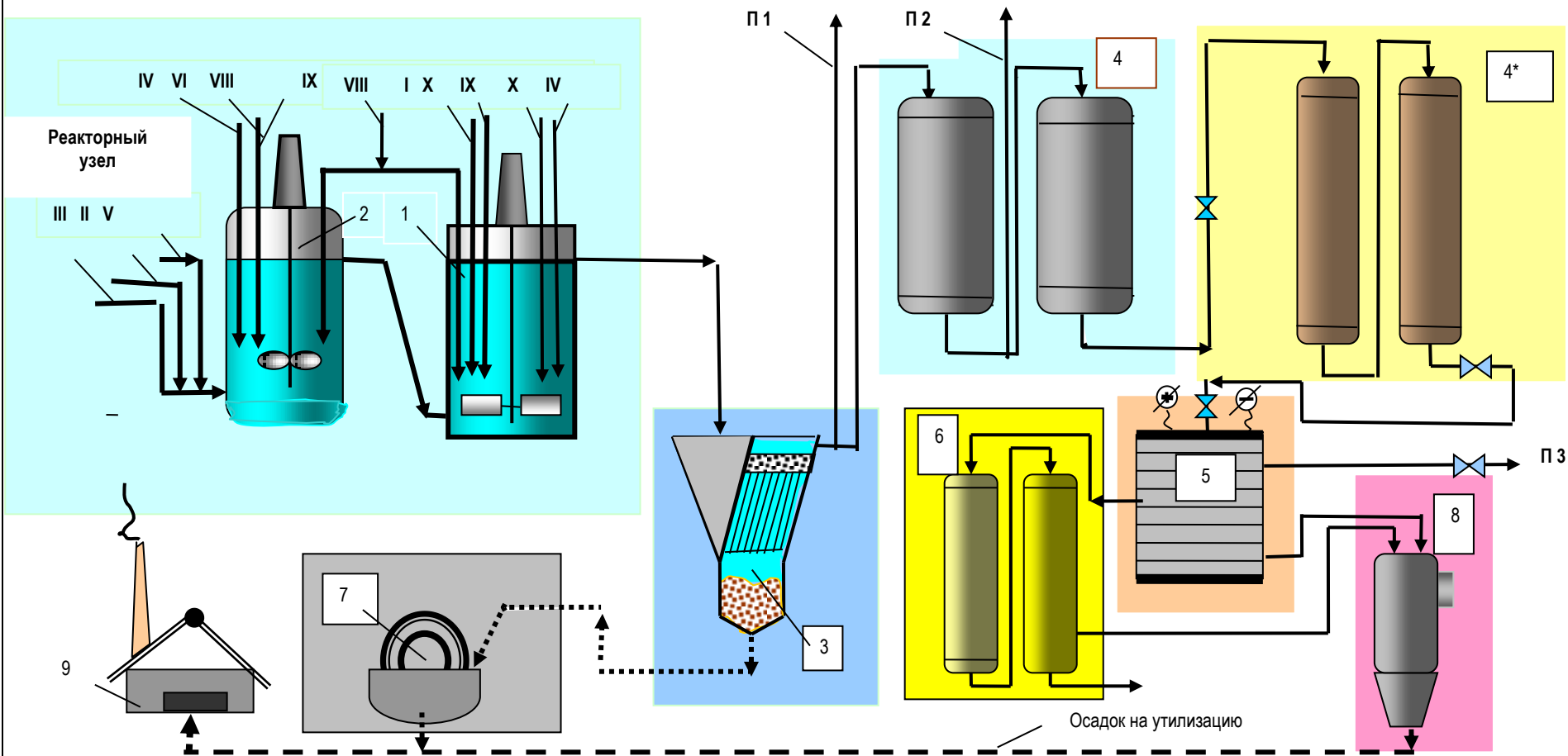
1. В результате исследований предложены технические решения по совершенствованию стокообразующих производств защитных покрытий и печатных плат предприятий приборо- и машиностроения, позволяющие многократно снизить потребность в «свежей» воде на технологические нужды и соответственно уменьшить потребность в покупных реагентах для проведения процессов очистки сточных вод.

2. Разработано оптимальное формирование потоков сточных вод у мест их образования, создающее предпосылки для обезвреживания комплексных соединений тяжёлых металлов, свинца и фтора в рамках традиционных очистных сооружений, т. е. на тех же технологических линиях, теми же реагентами, при тех же параметрах ведения процессов. Создана малосточная, малоотходная ресурсосберегающая технология реагентной очистки сточных вод предприятий приборо- и машиностроения, внедрённая на ОАО «БЭМЗ».

3. Разработана блок-схема и упрощённая схема ресурсосберегающей технологии очистки сточных вод и утилизации жидких и твёрдых отходов производств защитных покрытий и печатных плат внедрённой на ОАО «БЭМЗ».

## Список цитированных источников

1. Рекомендации по проектированию водоснабжения и канализации цехов гальванических покрытий. БЗ-79 : Госстрой СССР, СантехНИИпроект. – М., 1992. – 170 с.
2. Виноградов, С. С. Организация бессточных циклов нанесения покрытий / С. С. Виноградов // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2005. – Т. 13, № 4. – С. 37–54.
3. Виноградов, С. С. Организация гальванического производства. Оборудование, расчёт производства, нормирование / С. С. Виноградов ; под ред. проф. В. Н. Кудрявцева. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Глобус, 2005. – 240 с.
4. Урецкий, Е. А. Оптимизация существующих и разработка новых ресурсосберегающих технологий в водном хозяйстве предприятий приборо- и машиностроения : монография / Е. А. Урецкий, Е. С. Гогина, В. В. Мороз. – М. : Изд-во АСВ, 2022. – 624 с.
5. Урецкий, Е. А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий : монография // Е. А. Урецкий ; под науч. ред. А. Д. Гуриновича ; под общ. ред. С. Е. Березина. – Брест : БрГТУ, 2007. – 396 с.
6. Урецкий, Е. А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий : монография / Е. А. Урецкий. – Germany : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 360 с.
7. Урецкий, Е. А. Опыт повторного использования сточных вод на предприятии приборо- и машиностроения / Е. А. Урецкий, Л. Д. Субботкин, В. В. Мороз // Строительство и техногенная безопасность : сб. науч. трудов. – Симферополь : НАПКС, 2018. – № 11 (63). – С. 98–103.
8. Урецкий, Е. А. Разработка и внедрение ресурсосберегающей технологии совместной очистки сточных вод гальванического и покрасочного производств / Е. А. Урецкий, В. В. Мороз, Л. Д. Субботкин // Строительство и техногенная безопасность : сб. науч. трудов. – Симферополь : НАПКС, 2017. – № 7 (60). – С. 87–92.



I – кислотно-щелочные промывные сточные воды; II – промывные сточные воды, содержащие комплексные соединения ТМ; III – промывные содержащие хром сточные воды; IV – содержащие фтор промывные сточные воды; V – содержащие краску сточные воды; VI – растворы, содержащие товарный восстановитель; VII – кислый раствор, содержащий восстановитель; VIII – кислые растворы без окислителей; IX – кислые растворы с окислителями; X – Щелочные ОТП + раствор CaO; 1 – реактор нейтрализации всех видов стоков; 2 – реактор восстановления хрома; 3 – узел осветления сточных вод; 4 – узел глубокого осветления стоков на механических 4 и сорбционных фильтрах 4\*; 5 – узел деминерализации стоков методом электролиза; 6 – узел обессоливания ионообменом; 7 – узел обезвоживания осадка; 8 – узел термической обработки рассолов; 9 – объект утилизации осадков ПЗП и ППП; Поток сточных вод: П1 – на собственные нужды; П2 – на неответственные промывки деталей в ПЗП и ППП; П3 – приготовление растворов

**Рисунок 6** – Упрощённая схема снижения объёмов жидких и твёрдых отходов в сточных водах, внедрённой на ОАО «БЭМЗ»

9. Субботкин, Л. Д. Исследования процессов совместной физико-химической очистки сточных вод гальванического и покрасочного производства / Л. Д. Субботкин, Е. А. Урецкий, В. В. Мороз // Строительство и техногенная безопасность : сб. науч. трудов. – Симферополь : НАПКС, 2017. – № 9 (61). – С. 133–138.
10. Урецкий, Е. А. Оптимизация существующих и разработка новых ресурсосберегающих технологий в водном хозяйстве предприятий приборо- и машиностроения : монография / Е. А. Урецкий, Е. С. Гогина, В. В. Мороз. – М. : АСВ, 2023. – 618 с.
11. Проблемы и перспективы технических наук : сборник статей Международной научно-практической конференции, г. Уфа, 8 мая 2015 г. – Уфа : АЭТЕРНА, 2015. – 231 с.
12. Нормирование отходов производства : учебно-методическое пособие для студентов инженерных специальностей и слушателей Института повышения квалификации / В. М. Овчинников, А. В. Сторовойтов, В. А. Халиманчик, Т. В. Теслюк. – Гомель : БелГУТ, 2006. – 208 с.
13. Губанов, Л. Н. Ресурсосберегающие технологии в гальваническом производстве / Л. Н. Губанов // Вода и экология: проблемы и решения. – 2000. – № 2. – С. 27–31.
14. Новикова, О. К. Обработка осадков сточных вод : учеб.-метод. пособие / О. К. Новикова ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 96 с.
15. Окислительно-восстановительное титрование : учеб.-метод. пособие / сост.: А. Л. Подкорытов, Л. К. Неудачина, С. А. Штин ; М-во образования и науки Рос. Федерации ; Урал. Федер. ун-т. – Екатеринбург : Урал. ун-т, 2015. – 64 с.
16. Жилинский, В. В. Электрохимическая очистка сточных вод и водоподготовка : учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-48 01 04 Технология электрохимических производств / В. В. Жилинский, О. А. Слесаренко. – Минск : БГТУ, 2014. – 85 с.
17. Использование реагентов-осадителей в процессах очистки сточных вод гальванических производств : монография / С. Ю. Андреев, А. С. Кочергин, Т. В. Малютина, Т. В. Алексеева. – Пенза : ПГУАС, 2016. – 116 с.
18. Реагентная очистка сточных вод и утилизация отработанных растворов и осадков гальванических производств : учеб. пособие / Ю. П. Перельгин, О. В. Зорькина, И. В. Рашевская, С. Н. Николаева. – Пенза : ПГУ, 2013. – 80 с.
19. Виноградов, С. С. Создание бессточных операций с помощью ванн улавливания / С. С. Виноградов // Пути и средства повышения экологической безопасности гальванических производств : тезисы докладов 7 Всероссийского научно-технического семинара, Москва, 21–24 мая, 2002. – М. : ВИМИ, 2002. – С. 3–5.
20. Васильева, Н. В. Водоотведение и очистка сточных вод : учебно-методическое пособие / Н. В. Васильева. – Горки : БГСХА, 2023. – 165 с.
21. Новикова, О. К. Водоснабжение промышленных предприятий : учеб. пособие / О. К. Новикова, А. М. Ратникова ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь ; Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 223 с.
22. Ureckij, E. A. Resursosberegayushchie tekhnologii v vodnom hozyajstve promyshlennyh predpriyatij : monografiya // E. A. Ureckij ; pod nauch. red. A. D. Gurinovicha ; pod obshch. red. S. E. Berezina. – Brest : BrGTU, 2007. – 396 s.
23. Ureckij, E. A. Resursosberegayushchie tekhnologii v vodnom hozyajstve promyshlennyh predpriyatij : monografiya / E. A. Ureckij. – Germany : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 360 s.
24. Ureckij, E. A. Opyt povtornogo ispol'zovaniya stochnyh vod na predpriyatii priboro- i mashinostroeniya / E. A. Ureckij, L. D. Subbotkin, V. V. Moroz // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost' : sb. nauch. trudov. – Simferopol' : NAPKS, 2018. – № 11 (63). – S. 98–103.
25. Ureckij, E. A. Razrabotka i vnedrenie resursosberegayushchej tekhnologii sovmestnoj oчитki stochnyh vod gal'vanicheskogo i pokrasochnogo proizvodstv / E. A. Ureckij, V. V. Moroz, L. D. Subbotkin // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost' : sb. nauch. trudov. – Simferopol' : NAPKS, 2017. – № 7 (60). – S. 87–92.
26. Subbotkin, L. D. Issledovaniya processov sovmestnoj fiziko-himicheskoy oчитki stochnyh vod gal'vanicheskogo i pokrasochnogo proizvodstva / L. D. Subbotkin, E. A. Ureckij, V. V. Moroz // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost' : sb. nauch. trudov. – Simferopol' : NAPKS, 2017. – № 9 (61). – S. 133–138.
27. Ureckij, E. A. Optimizaciya sushchestvuyushchih i razrabotka novyh resursosberegayushchih tekhnologij v vodnom hozyajstve predpriyatij priboro- i mashinostroeniya : monografiya / E. A. Ureckij, E. S. Gogina, V. V. Moroz. – M. : ASV, 2023. – 618 s.
28. Problemy i perspektivy tekhnicheskikh nauk : sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, g. Ufa, 8 maya 2015 g. – Ufa : AETERNA, 2015. – 231 s.
29. Normirovanie othodov proizvodstva : uchebno-metodicheskoe posobie dlya studentov inzhenernyh special'nostej i slushatelej Instituta povysheniya kvalifikacii / V. M. Ovchinnikov, A. V. Storovojtov, V. A. Halimanchik, T. V. Teslyuk. – Gomel' : BelGUT, 2006. – 208 s.
30. Gubanov, L. N. Resursosberegayushchie tekhnologii v gal'vanicheskom proizvodstve / L. N. Gubanov // Voda i ekologiya: problemy i resheniya. – 2000. – № 2. – S. 27–31.
31. Novikova, O. K. Obrabotka osadkov stochnyh vod : ucheb.-metod. posobie / O. K. Novikova ; M-vo transp. i kommunikacij Resp. Belarus', Belorus. gos. un-t transp. – Gomel' : BelGUT, 2015. – 96 s.
32. Okislitel'no-vosstanovitel'noe titrovanie : ucheb.-metod. posobie / sost.: A. L. Podkorytov, L. K. Neudachina, S. A. Shtin ; M-vo obrazovaniya i nauki Ros. Federacii ; Ural. Feder. un-t. – Ekaterinburg : Ural. un-t, 2015. – 64 s.
33. Zhilinskij, V. V. Elektrohimicheskaya oчитka stochnyh vod i vodopodgotovka : ucheb.-metod. posobie dlya studentov special'nosti 1-48 01 04 Tekhnologiya elektrohimicheskikh proizvodstv / V. V. Zhilinskij, O. A. Slesarenko. – Minsk : BGUT, 2014. – 85 s.
34. Ispol'zovanie reagentov-osaditelej v processah oчитki stochnyh vod gal'vanicheskikh proizvodstv : monografiya / S. Yu. Andreev, A. S. Kochergin, T. V. Maljutina, T. V. Alekseeva. – Penza : PGUAS, 2016. – 116 s.
35. Reagentnaya oчитka stochnyh vod i utilizaciya otrabotannyh rastvorov i osadkov gal'vanicheskikh proizvodstv : ucheb. posobie / Yu. P. Perelygin, O. V. Zorkina, I. V. Rashevskaya, S. N. Nikolaeva. – Penza : PGU, 2013. – 80 s.
36. Vinogradov, S. S. Sozdanie besstochnyh operacij s pomoshch'yu vann ulavlivaniya / S. S. Vinogradov // Puti i sredstva povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti gal'vanicheskikh proizvodstv : tezisы докладов 7 Vserossiyskogo nauchno-tekhnicheskogo seminar, Moskva, 21–24 maya, 2002. – M. : VIMI, 2002. – S. 3–5.
37. Vasil'eva, N. V. Vodootvedenie i oчитka stochnyh vod : uchebno-metodicheskoe posobie / N. V. Vasil'eva. – Gorki : BGSKHA, 2023. – 165 s.
38. Novikova, O. K. Vodосnabzhenie promyshlennyh predpriyatij : ucheb. posobie / O. K. Novikova, A. M. Ratnikova ; M-vo transp. i kommunikacij Resp. Belarus' ; Belorus. gos. un-t transp. – Gomel' : BelGUT, 2021. – 223 s.

#### References

1. Rekomendacii po proektirovaniyu vodosnabzheniya i kanalizacii cekhov gal'vanicheskikh pokrytij. BZ-79 : Gosstroj SSSR, SantekhNIIproekt. – M., 1992. – 170 s.
2. Vinogradov, S. S. Organizaciya besstochnyh ciklov naneseniya pokrytij / S. S. Vinogradov // Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti. – 2005. – T. 13, № 4. – S. 37–54.
3. Vinogradov, S. S. Organizaciya gal'vanicheskogo proizvodstva. Oborudovanie, raschyot proizvodstva, normirovanie / S. S. Vinogradov ; pod red. prof. V. N. Kudryavceva. – Izd. 2-e, pererab. i dop. – M. : Globus, 2005. – 240 s.
4. Ureckij, E. A. Optimizaciya sushchestvuyushchih i razrabotka novyh resursosberegayushchih tekhnologij v vodnom hozyajstve predpriyatij priboro- i mashinostroeniya : monografiya / E. A. Ureckij, E. S. Gogina, V. V. Moroz. – M. : Izd-vo ASV, 2022. – 624 s.

Материал поступил 03.02.2026, одобрен 25.02.2026, принят к публикации 03.03.2026