

Ресурсосберегающие очистные сооружения промышленных предприятий

Resource-efficient wastewater treatment plants for industrial enterprises

Д. В. Павлов, П. Н. Кисиленко,
В. А. Колесников

Промышленные предприятия обрабатывающей отрасли промышленности, имеющие в своем составе гальванические цеха и производства печатных плат, являются основным источником загрязнений окружающей среды тяжелыми металлами. При этом очистные сооружения на многих предприятиях в силу морального и физического износа не могут обеспечить необходимого качества очистки, особенно в условиях ужесточившегося законодательства, и требуют модернизации.

Специалистами РХТУ им. Д. И. Менделеева разработаны и совместно с НП «Транснациональный Экологический Проект» успешно внедряются на территории Российской Федерации современные очистные сооружения промышленных сточных вод на основе Наилучших Доступных Технологий (НДТ), таких как электрофлотация, ультрафильтрация и обратный осмос. Представленные в статье очистные сооружения лишены недостатков традиционных технологий водоочистки, позволяют добиться глубокой очистки сточных вод сложного состава, значительно сократить эксплуатационные затраты и, таким образом, обеспечить рентабельность промышленного производства.

Ключевые слова: очистные сооружения, очистка сточных вод, оборотное водоснабжение, гальваническое производство, электрофлотация, ультрафильтрация, керамические мембраны, обратный осмос.
Email: info@enviropark.ru

Обеспечение повышения ресурсо- и энергоэффективности предприятий, в том числе подпадающих под действие Директивы ЕС «О комплексном предотвращении и сокращении загрязнения окружающей среды», предполагает разработку и внедрение целого ряда технологических и технических решений. Безопасность человека и окру-

жающей среды, их защищенность от воздействия вредных техногенных, природных и социальных факторов являются неперенным условием устойчивого развития общества. Под безопасностью обычно понимается состояние защищенности человека, общества и окружающей среды от чрезмерных вредных воздействий техногенных, природных и экологических факторов [1].

Рынок машиностроения и металлообработки с каждым годом растет и интенсивно развивается, появляются инновационные подходы в отрасли обрабатывающей промышленности Российской Федерации, наращивают объемы производства обрабатывающей отрасли. Многие промышленные предприятия проводят первичную металлообработку с использованием мощностей, задействованных в основном производственном цикле. Индекс производства в машиностроительном комплексе в период 2009–2011 гг. приведен на Рис. 1 ниже.

Машиностроительные и металлообрабатывающие предприятия, имеющие в своем составе гальванические цеха и производства печатных плат, являются основным источником загрязнений окружающей среды тяжелыми металлами. Необходимость совершенствования технологии производства, дефицит водных ресурсов, повышение требований к степени очистки сточных вод поставили предприятия перед необходимостью решения задач по созданию бессточных и безотходных производств. Для решения этих задач необходимо соблюдение определенных принципов построения водного хозяйства, внедрение оборотных циклов водоснабжения и разработка принципиально новых технологических процессов и схем [3].

Специалистами РХТУ им. Д. И. Менделеева разработаны и совместно с НП «Транснациональный Экологический Проект» успешно внедряются современные очистные сооружения (ОС) сточных вод промышленных предприятий, основанные на Наилучших Доступных Технологий

Павлов Денис Владимирович — кандидат технических наук, заместитель директора МИЛРТИ, РХТУ им. Д. И. Менделеева, Координатор проекта НП «Транснациональный Экологический Проект».

Кисиленко Павел Николаевич — кандидат технических наук, главный специалист, Технопарк РХТУ им. Д. И. Менделеева.

Колесников Владимир Александрович — доктор технических наук, профессор, Ректор РХТУ им. Д.И. Менделеева.



(НДТ) [3], таких как электрофлотация (ЭФ), ультрафильтрация (УФ) и обратный осмос (ОО). Совершенство мембранных и флотационных технологий позволяет создавать компактное высокопроизводительное водоочистное оборудование с отсутствием эксплуатационных затрат на расходные материалы и относительно низким энергопотреблением, а, при необходимости, наращивать мощности ОС за счет модульности их исполнения.

Технико-экономические преимущества очистных сооружений, построенных на основе представленной комбинированной технологии:

- Отсутствие эксплуатационных затрат на замену растворимых электродов по сравнению с электрокоагуляторами, отсутствие вторичного загрязнения воды ионами железа;
- Отсутствие отстойников и, соответственно, малые занимаемые очистными сооружениями площади;
- Отсутствие эксплуатационных затрат на замену дорогостоящих сорбентов и ионообменных смол и, соответственно, приобретение реагентов для их регенерации;
- Длительный срок службы конструкционных материалов: поли-

пропилен — до 50 лет, нерастворимые электроды ОРТА — до 10 лет, керамические УФ мембраны до — 10 лет;

■ Высокое качество очистки сточных вод сложного состава (Табл. 1.), и, следовательно, снижение капитальных затрат на приобретение мембранной установки обессоливания воды при организации оборотного водоснабжения на производстве.

Согласно технологической схеме (Рис. 2.) сточные воды усредняются (E1, E2, НД1), проходят стадию кор-

рекции рН и обработки флокулянтom в реакторе-флокуляторе P1, поступают в электрофлотатор, где происходит извлечение дисперсных веществ. Из электрофлотатора вода поступает на ультрафильтрационную установку финишной очистки. Фильтрат УФ содержит только растворимые соли Na_2SO_4 , NaCl , NaNO_3 и поступает в усреднитель E4 для коррекции рН перед сбросом в городской коллектор, либо подачей на установку обратного осмоса с целью обессоливания и повторного использования. Флотоконцентрат из электрофлота-

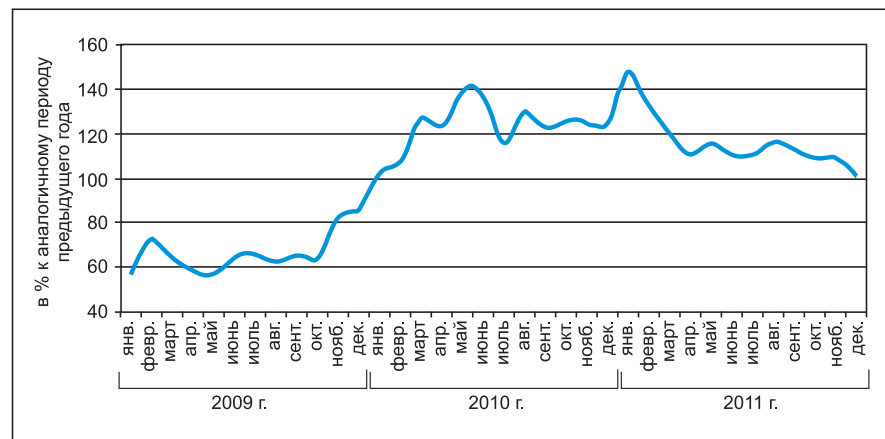


Рис. 1. Индекс производства в машиностроительном комплексе [2].

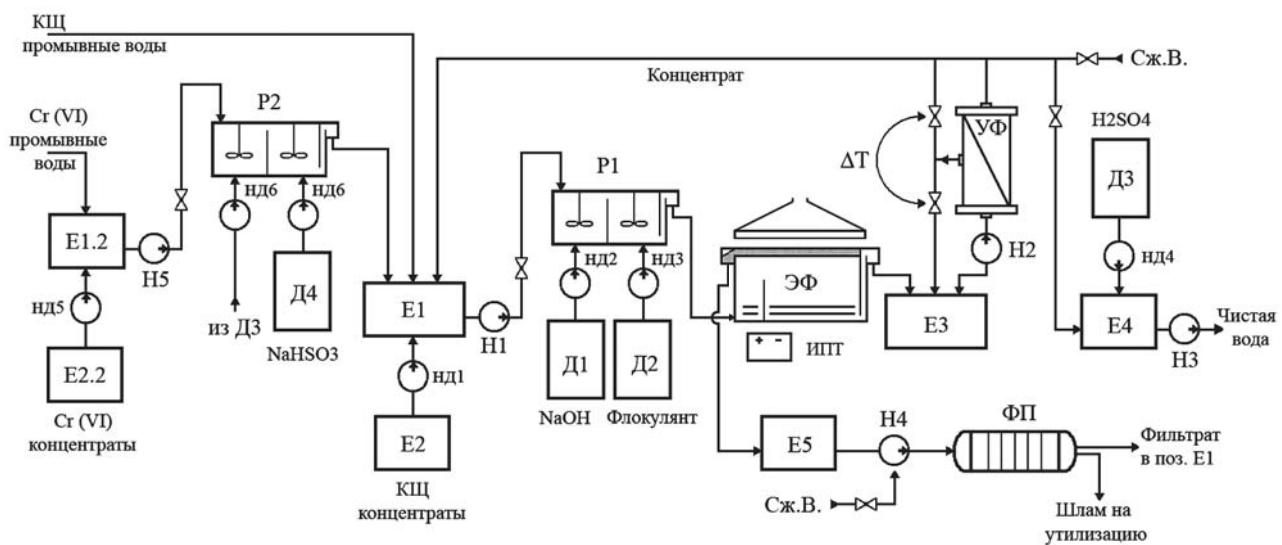
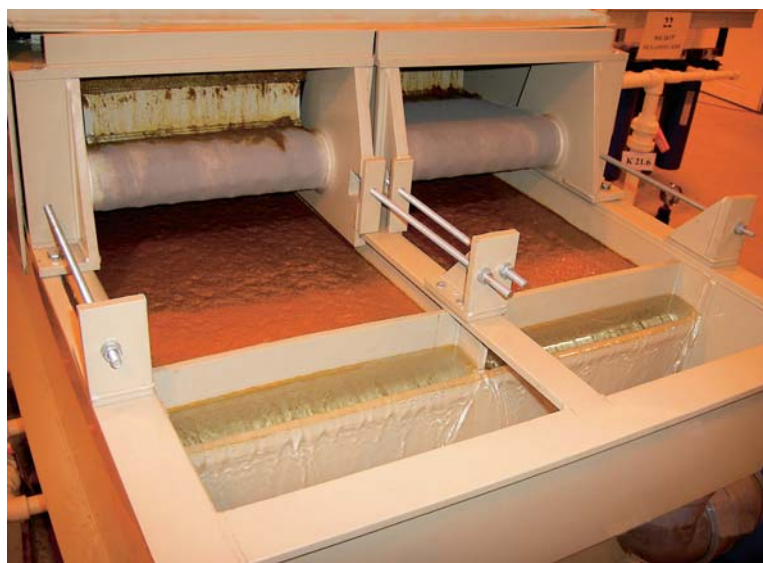


Рис. 2. Технологическая схема очистки сточных вод: E — накопительные емкости и усреднители; Н — насосы; Д / НД, установки приготовления и дозирования реагентов; P — реакторы; ЭФ — электрофлотатор; ИПТ — источник питания электрофлотатора; УФ — установка ультрафильтрации; ФП — фильтр-пресс, Сж. В. — подача сжатого воздуха.



а



б

Рис. 3. Электрофлотатор — общий вид (а) и процесс очистки воды (б)

тора подается на фильтр-пресс (ФП), для обезвоживания. Твердый отход влажностью 70% после выгрузки из фильтр-пресса сдается на утилизацию.

Технология предусматривает предварительную обработку и обезвреживание хромосодержащих сточных вод в отдельной технологической цепочке. Содержащие шестивалентный хром (VI) сточные воды усредняются (Е1.2, Е2.2, НД5), проходят стадию коррекции рН и обработки раствором бисульфита натрия в реакторе Р2. После обезвреживания сточные воды, содержащие уже хром (III) поступают самотеком в усреднитель Е1.

Основным оборудованием очистных сооружений являются электрофлотатор с нерастворимыми электродами ОРТА и установка ультрафильтрации на базе керамических мембран.

В электрофлотаторе происходит выделение микропузырьков электролитических газов дисперсностью 20–70 мкм. Микропузырьки захватывают хлопья дисперсной фазы и поднимают их на поверхность воды, где последние накапливаются в пенном слое флотоконцентрата. Флотоконцентрат удаляется с поверхности

воды работающим в автоматическом режиме ленточным пеносборным устройством в накопитель Е5 с целью последующей подачи на рамный фильтр-пресс. Электрофлотатор производительностью 10 м³/час представлен на Рис.3 (а, б).

Электрофлотаторы обеспечивают извлечение не менее 98% дисперсных веществ от их исходного содержания, отличаются низким энергопотреблением не более 0,25 кВт·ч/м³ и позволяют экономить производственные площади [4–6].

Установка ультрафильтрации на основе керамических мембран с размером пор 0,1–0,07 мкм, предназначенная для тонкой очистки воды (см. ниже Рис. 4, а) работает под давлением 2–2,5 бар в непрерывном режиме тангенциальной фильтрации. На мембранах задерживаются практически все остаточные взвешенные вещества и коллоидные частицы. Керамические УФ мембраны имеют срок службы до 10 лет, регенерируются обратной продувкой сжатым воздухом в автоматическом режиме, не требуют химической мойки, обладают высокой биологической, химической и износостойкостью. Их производительность не снижается в течение всего периода эксплуатации.

Установка обратного осмоса обеспечивают возможность очистки воды одновременно от катионов и анионов в растворенном состоянии. Установка ОО (см. ниже Рис. 4, б) выполняет на очистных сооружениях две важных задачи [7]:

- Обессоливание предварительно очищенных от дисперсных веществ сточных вод для возврата воды в гальваническое производство на операции промывки деталей и приготовления растворов электролитов;
- Снижает объем солосодержащих сточных вод, поступающих на вакуум-выпарную установку, на 80–90%, и, соответственно, значительно сокращает как капитальные затраты на приобретение вакуум-выпарной установки, так и эксплуатационные затраты на электроэнергию.

Надежность УФ и ОО установок повышается за счет установки резервного оборудования с возможностью его многофункционального использования, оптимизации количества мембранных элементов в каждой секции аппарата. Установка оснащается компьютерной системой поиска отказавшего мембранного элемента и модуля.



а



б

Рис. 4. Установка обратного осмоса (а) и ультрафильтрации с керамическими мембранами (б) на очистных сооружениях промышленного предприятия.

Как видно из Табл. 1, технология обеспечивает глубокую очистку сточных вод от тяжелых металлов до уровня 0,04 мг/л и нефтепродуктов до 0,05 мг/л. Однако, добиться остаточного содержания ионов меди и кадмия в очищенной воде менее 0,04 мг/л практически не представляется возможным. Ситуация подтверждается многолетним опытом авторов статьи в сфере проведения экспертизы существующих очистных сооружений промышленных предприятий, строительства и эксплуатации новых ОС на базе представленной комбинированной технологии, и литературными данными [3-6, 8-9]. При этом технология вакуумного выпаривания, и создание на ее основе систем оборотного водоснабжения, будет рентабельной в гальваническом производстве, лишь при сокращении объема промывных вод в среднем до 30л/м², при использовании ванн улавливания и многоступенчатых каскадных ванн промывки деталей [3, 5, 8].

В Табл. 2. представлены данные о капитальных затратах на проектирование и строительство очистных сооружений гальванических производств, рассчитанные авторами, исходя из опыта строительства ОС с применением комбинирования технологий электрофлотации, ультра-

Таблица 1. Результаты очистки промышленных сточных вод на очистных сооружениях, построенных специалистами РХТУ им. Д.И. Менделеева и НП «ТрансЭкоПроект» за 2009-2012 гг. на основе представленной технологии.

Показатель	Концентрация, мг/л						
	Сточные воды	Очищенная вода после ЭФ	Очищенная вода после УФ	ПДК МСК (ЕС)	Оборотная вода после ОО	ГОСТ 9.314 (2 Кат.)	ПДК РХ
Медь, Cu ²⁺	5-30	0,3-0,8	0,1	0,5 (0,5)	0,04	0,3	0,001*
Никель, Ni ²⁺	5-30	0,2-0,7	<0,04	0,5 (0,5)	0,04	1	0,01*
Цинк, Zn ²⁺	5-30	0,3-0,7	<0,01	2 (0,5)	<0,01	1,5	0,01
Хром, Cr ³⁺	5-30	0,5-1,2	0,1	1 (0,5)	<0,01	0,5	0,07
Железо, Fe ³⁺	5-30	0,1	0,01	3 (2)	<0,01	0,1	0,1
Алюминий, Al ³⁺	5-30	0,2	<0,04	1 (1)	<0,01	(0,5)	0,04
Свинец, Pb	5-30	1-2	<0,04	0,1 (0,2)	<0,01	(0,03)	0,006*
Кадмий, Cd ²⁺	5-30	1-20	0,1	0,01* (0,1)	0,04	-	0,005*
Сульфаты, SO ₄ ²⁻	1000-1500	1000-1500	1000-1500	500	<30	50	-
Хлориды, Cl ⁻	100-200	100-200	100-200	350	<4	35	-
АПВ	1-5	0,5-2,5	0,1-1	2,5	<0,01	1	0,25
Нефтепродукты	5-30	0,5-1	<0,05	4 (0,5)	<0,01	0,3	0,05

Таблица 2. Капитальные затраты на строительство очистных сооружений:

Производительность очистных сооружений, рассчитанных на два потока (КЦ и Cr6+), м ³ /час	Капитальные затраты на строительство очистных сооружений гальванических производств под ключ (тыс. руб. с учетом НДС)*		
	Очистные сооружения со сбросом воды	Очистные сооружения с возвратом 85 % воды на повторное использование	Вакуум-выпарная установка для утилизации ОО концентрата данных ОС
2	4850	6200	от 6200
5	6000	7500	от 11000
10	7750	10500	от 14000

*Стоимость рассчитана авторами при курсе Евро = 42 руб. 00 коп.

Manufactures which have workshops for surface treatment and printed circuit boards production are a major source of water pollution with heavy metals. At the present a big number of wastewater treatment plants (WWTPs) fail to perform proper treatment due to its being worn-out and obsolete. These WWTPs need to be modernized using new techniques.

The specialists of D. Mendeleev University have developed and in collaboration with NP «Transnational Ecological Project» are successfully implementing modern industrial WWTPs all around the Russian Federation. Represented WWTPs based on best available techniques (BAT) such as electroflotation, ultrafiltration using ceramic membranes and reverse osmosis. The technical and economic result is fine printable circuit boards and plating wastewater treatment within low power and chemicals consumptions, significantly reducing water disposal; and thus ensuring the profitability of WWTPs utilization and as the result industrial enterprises in whole.

Keywords: WWTP, wastewater treatment, wastewater reuse, plating industry, electroflotation, ultrafiltration, ceramic membranes, reverse osmosis.
Email: info@enviropark.ru

фильтрации и промышленного обратного осмоса.

Представленная в статье технология успешно реализована на очистных сооружениях гальванических производств, машиностроительных и металлообрабатывающих предприятий Москвы, Московской области, а также Санкт-Петербурга, Воронежа и Северодвинска. Внедрение представленной технологии повышает рентабельность эксплуатации ОС и создает возможность орга-

низации оборотного водоснабжения промышленных предприятий.

Приоритет по разрабатываемым технологиям принадлежит РХТУ им. Д.И. Менделеева. Имеются патенты РФ на новые технические решения. ■

Литература

1. Повышение ресурсо- и энергоэффективности: наука, технология, образование. Труды Международного симпозиума, посвященного 175-летию со дня рождения Д.И. Менделеева.

Том 2. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2009. 179 с.

2. Аналитический бюллетень «Машиностроение: тенденции и прогнозы». // РИА-Аналитика. 2012, № 5, 45 с. [Электронный ресурс].

3. EIPPCB «Reference Document on Best Available Techniques for the Surface Treatment of Metals and Plastics», European IPPC Bureau, 2008. 582 с. [Электронный ресурс].

4. Колесников В.А., Меньшутина Н.В. Анализ, проектирование технологий и оборудования для очистки сточных вод. М.: ДеЛи принт, 2005. — 266 с..

5. Гогина Е.С., Гуринович А.Д., Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии промышленного водоснабжения и водоотведения: Справочное пособие. М.: АСВ, 2012. 312 с.

6. Колесников В.А., Капустин Ю.И. и др.; Под ред. д.т.н. В.А. Колесникова. Электрофлотационная технология очистки сточных вод промышленных предприятий. М.: Химия, 2007. — 304 с.

7. Павлов Д.В. Разработка новых технологий и оборудования для систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий. // Водоснабжение и канализация. 2011, № 1–2, с. 84–89.

8. Виноградов С.С., Кудрявцев В.Н. Обоснованность и необоснованность применения разных перечней ПДК для стоков гальванического производства. // Водоснабжение и канализация. 2010. №3. С. 113–118.

9. Павлов Д.В., Колесников В.А. Очистка сточных вод гальванического производства: новые решения. // Водоснабжение и санитарная техника. 2012, № 6, с. 66–69.

