

УДК 628.316:658.18:504.064

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ СХЕМЫ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЦЕХА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Никулина С.Н., Морозенко М.И., Шуберт В.В., Черняев С.И.

Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана» (национальный исследовательский университет), Калуга, e-mail: fn2kf@bk.ru

В настоящей статье рассмотрены проблемы, связанные с опасностью загрязнения водных объектов стоками машиностроительных предприятий. Проведено исследование технологической схемы очистки сточных вод гальванического цеха действующего машиностроительного предприятия в г. Калуге. Проанализированы недостатки существующей схемы очистки сточных вод, станции реагентной нейтрализации хромсодержащих и кислотно-щелочных стоков гальванического цеха машиностроительного предприятия. Предложена схема модернизации технологии локальной очистки сточных вод с учётом требований для очищаемых сточных вод при дальнейшем их использовании в целях применения наилучших доступных технологий. Результаты модернизации предполагают возможность включения очищенных стоков в систему оборотного водоснабжения, что позволит исключить сброс загрязнённых сточных вод в окружающую среду. Приведены расчетные технико-экономические показатели, позволяющие оценить эффективность предлагаемых мероприятий.

Ключевые слова: тяжелые металлы, модернизация, технологическая схема, наилучшие доступные технологии, машиностроительное предприятие, сточные воды

THE FEASIBILITY STATEMENT OF SEWAGE NEUTRALIZATION UPGRADED SCHEME OF GALVANIC SHOP OF MACHINE-BUILDING ENTERPRISE

Nikulina S.N., Morozenko M.I., Shubert V.V., Chernyaev S.I.

*Kaluga Branch of «Moscow State Technical University named after N.E. Bauman»,
Kaluga, e-mail: shubert.valeria@yandex.ru*

The problems associated with the risk of water pollution wastewater engineering enterprises. A study of the technological wastewater treatment schemes existing galvanizing plant engineering enterprise in Kaluga. Analyzed the shortcomings of the current scheme of wastewater treatment plant reagent neutralization chromium and acid-alkaline waste galvanizing plant engineering enterprise. A rough upgraded technological scheme of sewage treatment, taking into account the requirements for cleaning the wastewater from their further use in order to apply the best available technologies. The results suggest the possibility of including the modernization of effluent in water recycling that would eliminate the discharge of contaminated wastewater into the environment. Calculated technical and economic parameters, to assess the effectiveness of the proposed measures.

Keywords: heavy metals, modernization, technological scheme, the best available technology, machine-building enterprise, sewage

В последние десятилетия невозможно использовать пресную воду без очистки и обеззараживания. Поэтому повсеместно ведутся интенсивные исследования по созданию новых, эффективных способов очистки и диагностики водной среды, в том числе по глубокой очистке и доочистке сточных вод перед сбросом их в поверхностные водоемы. Промышленные сточные воды загрязнены в основном отходами и выбросами производства, многие из которых относятся к техногенным ресурсам и материалам, одновременно являясь серьезным источником загрязнения грунтовых вод [2, 7].

Качественный и качественный состав их разнообразен и зависит от отрасли промышленности, ее технологических процессов. Требования к качеству сточных вод также различны и зависят от того, что произойдет с ними дальше, будут ли они использованы повторно, предназначаются ли

они для сброса в городские очистные сооружения или поверхностные водоемы [5, 6].

Машиностроение имеет многоотраслевую структуру (тяжелое, электротехническое, радиоэлектронное, транспортное машиностроение), и каждой из отраслей присущи свои экологические особенности: состав и количество отходов, токсичность загрязнений, режим их сбросов, выбросов и т.п. [1].

Ключевыми и крайне опасными источниками загрязнения окружающей среды являются сточные воды гальванических цехов машиностроительных предприятий. Гальваническое производство – одно из самых опасных производств, использующее такие технологические процессы, как никелирование, цинкование, хромирование, серебрение, меднение и другие [13].

В гальванических процессах для обработки и промывания деталей используется большой объем воды. Если рабочие растворы (электролиты), после окончания техно-

логического процесса, сбрасывать в виде неочищенных стоков, то в окружающую среду попадут опаснейшие вещества – ртуть, свинец, кадмий, висмут, никель, цинк, медь, хром, кобальт и др. В районе рек, на берегу которых расположены большие машиностроительные предприятия, можно обнаружить ионы тяжелых металлов. Упомянутые загрязняющие вещества признаны сильными экотоксикантами, что обуславливает недопустимость превышения установленных значений предельно допустимых концентраций их содержания, в сточных водах предприятий [3, 8, 13].

К наиболее приемлемым способам обеспечения защиты окружающей природной среды от негативного воздействия гальванических производств является очистка сточных вод от взвешенных и растворимых химических вредных веществ, а также внедрение бессточных схем оборотного водоснабжения, позволяющих обеспечить локальную очистку промывных вод с последующим их возвратом в технологический процесс [3].

В настоящее время в г. Калуге функционирует около двух десятков предприятий отрасли машиностроения. Большинство очистных сооружений сточных вод, действующих на данных объектах, были построены в 1960–1980 гг. Так как модернизация очистных сооружений не проводилась, их потенциал значительно понизился. Например, на исследуемом предприятии, построенном в 1966 г., используется схема очистки сточных вод, представленная на рис. 1.

Из гальванического цеха хромосодержащие и кислотно-щелочные сточные воды по

двум трубопроводам самотёком направляются в колодцы, после чего смешиваются в трубопроводе, идущем к станции нейтрализации, и образуют общий поток.

Достигнув помещения станции нейтрализации, общий поток, содержащий тяжёлые металлы, такие как медь, цинк, никель, железо и хром, направляется в реакторы-нейтрализаторы, в которых одновременно происходит реагентная обработка. В качестве реактивов на станции используются гашёная известь ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), сульфат натрия (Na_2SO_4) и серная кислота (H_2SO_4).

Пройдя обработку в реакторах-нейтрализаторах, очищенная вода поступает в отстойник, откуда собирается желобом и отправляется на городские очистные сооружения, а шлам, появившийся в результате отстаивания, поступает в шламоуплотнитель.

Когда обработка в шламоуплотнителе финализируется, шлам перекачивают на вакуум-фильтрацию для дальнейшего обезвоживания, после чего он упаковывается в полиэтиленовые пакеты и вывозится в ОАО «Регионцентрэкология».

В табл. 1 приведены проектные нормативы на сброс гальванического стока, прошедшего станцию нейтрализации, установленные при запуске предприятия в эксплуатацию, предельные нормативы концентраций некоторых тяжёлых металлов в стоках, сбрасываемых предприятиями в городскую канализацию, установленные в 2015–2016 гг., а также концентрации каждого компонента стока от очистных сооружений станции нейтрализации [9].

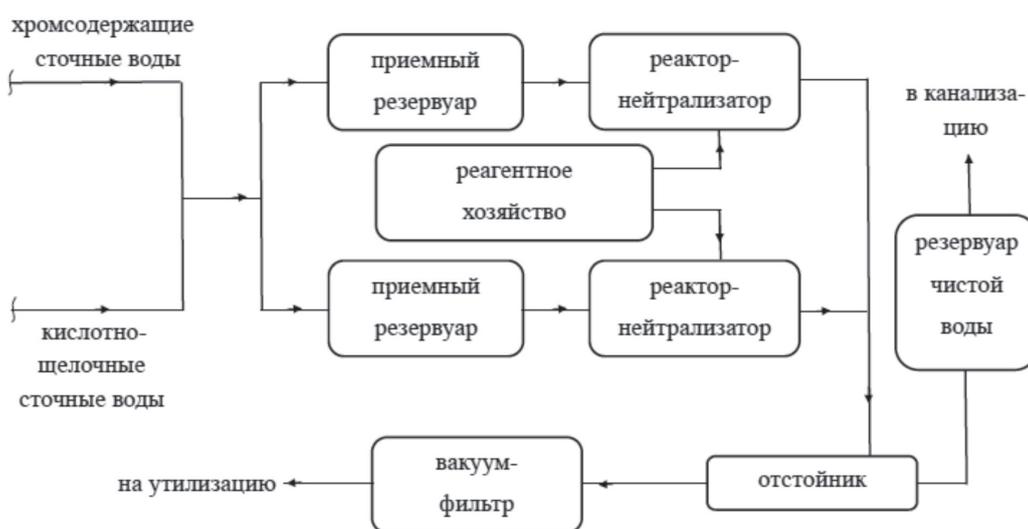


Рис. 1. Действующая технологическая схема

Таблица 1

Сравнительная таблица концентраций тяжёлых металлов в сточных водах, сбрасываемых в городскую канализацию [13]

Вещество, мг/л	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Ni ²⁺	Cr ³⁺	Fe (общ)
Проектные нормативы на сброс	0,5	1,0	0,5	2,5	1,98
Действующие нормативы на сброс	0,0026	0,0036	0,012	0,029	1,98
Концентрация загрязняющих веществ в стоке перед сбросом в городскую канализацию	0,015	0,258	0,012	0,245	0,339

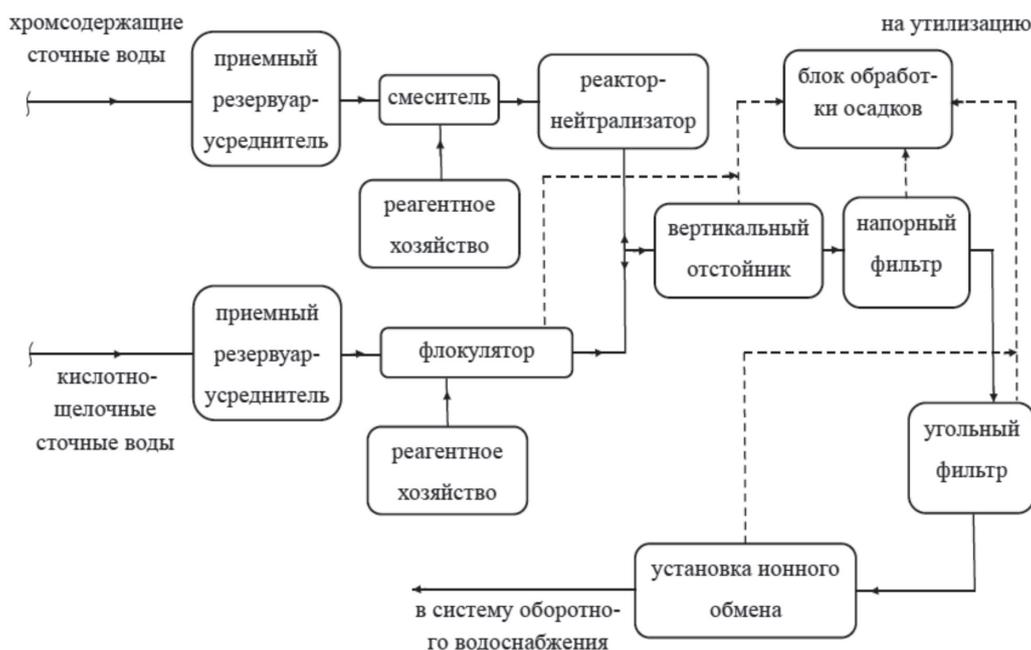


Рис. 2. Принципиальная (модернизированная) схема очистки сточных вод

Сравнив показатели в табл. 1, можно сделать вывод, что по некоторым веществам, таким как медь, цинк, никель и хром, имеется существенное превышение допустимых концентраций.

Одним из путей решения данной проблемы является модернизация станции нейтрализации гальванического цеха путём внедрения новой схемы очистки сточных вод с применением системы оборотного водоснабжения, согласно НДТ.

Для модернизации действующей технологической схемы условно разделим сточные воды предприятия на 2 потока: хромсодержащие и кислотно-щелочные сточные воды с производительностью 80 м³/сут и 120 м³/сут, соответственно.

Хромсодержащие сточные воды включают в себя Cr(VI) в количестве 46,395 мг/л, который необходимо нейтрализовать до Cr(III).

Кислотно-щелочной сток содержит тяжёлые металлы в следующих концентраци-

ях: Cu – 0,22 мг/л, Zn – 50,75 мг/л, Fe(III) – 7,22 мг/л, Ni – 0,17 мг/л. Также в стоке присутствуют взвешенные вещества.

Принципиальная (модернизированная) схема очистки сточных вод представлена на рис. 2.

Хромсодержащие сточные воды поступают в приёмный резервуар-усреднитель, где накапливаются в течение некоторого времени. Далее они направляются в смеситель, куда в то же время добавляется Na₂SO₃ и Ca(OH)₂. В реакторе-нейтрализаторе происходит нейтрализация шестивалентного хрома до трёхвалентного.

Кислотно-щелочной поток поступает в приёмный резервуар-усреднитель, где накапливается в течение того же времени, что и хромсодержащие сточные воды. Далее поток направляется во флокулятор, куда также подаётся CaO.

Далее первый и второй потоки смешиваются, образуя третий поток, который

направляется в вертикальный отстойник. После отстойника очищаемый поток поступает в напорный фильтр, а после него – в угольный.

Завершающим этапом очистки является ионообменная установка, после которой степень очистки исследуемого потока удовлетворяет требованиям, предъявляемым к оборотному водоснабжению.

В табл. 2 представлена степень очистки в процентах для каждого аппарата по каждому загрязняющему веществу II (кислотно-щелочного) и III (общего) потоков.

Предлагаемые аппараты высокоэффективны и концентрации всех загрязняющих веществ на выходе не превышают установленных ПДК. В табл. 3 представлены концентрации загрязняющих веществ в мг/л для каждого аппарата и по каждому загряз-

няющему веществу после очистки на модернизированной станции нейтрализации.

Проанализировав исходные значения концентраций загрязняющих веществ и данные, полученные в результате расчёта эффективности очистки воды посредством указанных в схеме аппаратов, было установлено, что концентрации загрязняющих веществ в выходе удовлетворяют требованиям, предъявляемым к воде, выпускаемой в систему оборотного водоснабжения (табл. 4).

Экологизация хозяйственной деятельности – это процесс постоянного и неуклонного внедрения систем управленческих, технологических и других решений, позволяющих повышать эффективность использования природных ресурсов при улучшении или хотя бы при неизменности качества природной среды [12].

Таблица 2

Степень очистки (в %) для каждого аппарата по каждому загрязняющему веществу

Аппараты	Степень очистки от заданных веществ, %					
	Взвешенные в-ва	Медь	Цинк	Железо	Никель	Хром (III)
Флокулятор	80	60	80	80	80	–
Фильтр напорный	70	70	70	70	70	70
Фильтр угольный	75	75	75	75	75	75
Отстойник вертикальный	70	30	30	30	30	30
Ионообменная установка	99	99	99	99	99	99

Таблица 3

Концентрации загрязняющих веществ в воде после очистки

Аппараты	Концентрация вещества, мг/л.					
	Взвешенные в-ва	Медь	Цинк	Железо	Никель	Хром (III)
Флокулятор	67,4	0,04	10,29	1,42	0,03	–
Фильтр напорный	14,15	0,008	2,16	0,297	0,006	9,74
Фильтр угольный	3,6	0,002	0,54	0,07	0,0015	2,43
Отстойник вертикальный	47,18	0,028	7,2	0,99	0,02	32,48
Ионообменная установка	0,036	0,00002	0,0054	0,0007	0,00001	0,02

Таблица 4

Концентрации загрязняющих веществ на выходе из системы

Загрязняющее в-во	Норматив на подачу в систему оборотного водоснабжения, мг/л	Содержание, мг/л
Цинк	1,0	0,02
Никель	0,12	0,00006
Медь	0,3	0,00007
Железо	0,02	0,003
Взвесь	8,0	2,7
Хром (III)	0,5	0,097
Хром (VI)	0	0

Внедрение предлагаемой схемы, благодаря введению системы оборотного водоснабжения, позволит:

- исключить сброс загрязнённых сточных вод в окружающую среду;
- повысить эффективность очистки сточных вод;
- привести систему очистки в соответствие с требованиями НДТ [11];
- уменьшить экологические платежи, предусмотренные за негативное воздействие на окружающую среду [10];
- обеспечит более рациональное использование производственных площадей предприятия.

Для оценки экономической привлекательности модернизации были приняты следующие условия [4]:

- производственная мощность очистных сооружений 200000 м³/год;
- капитальные затраты составляют 1872407,6 руб. и включают в себя общую стоимость оборудования (1337434 руб.), затраты на доставку составят (133743,4 руб.), затраты на монтаж составят (401230,2 руб.);
- общая заработная плата составляет 759855,6 руб.;
- стоимость потребляемой электроэнергии составляет 82080 руб/год;
- цена за сброс каждого из загрязняющих веществ в концентрациях, превышающих предельно допустимые, соответственно: цинк – 4350 руб/т, медь – 12100 руб/т, взвешенные вещества – 1830 руб/т, хром трёхвалентный – 19675 руб/т.;
- индекс-дефлятор составляет 1,073;
- предотвращённый эколого-экономический ущерб составляет 1437889 руб.;
- срок окупаемости проекта – 1,3 года.

Таким образом, рассмотренный вариант реализации проекта с учётом сделанных при выполнении расчётов предположений можно считать умеренно-пессимистическим. Проведённый анализ денежных потоков по проекту свидетельствует о реальности его финансовой реализуемости. Проект имеет высокие значения показателей коммерческой эффективности и приемлемый срок окупаемости. Значения показателей текущей деятельности высоки.

Преимуществом разработанной схемы является то, что вследствие подбора аппаратов похожей конфигурации удалось обеспечить унификацию производства

и экономии площади, занимаемую сооружениями очистки. Реагенты, предложенные для очистки сточных вод предприятия, имеют приемлемую стоимость и доступность.

Список литературы

1. Бескоровайный А.И. Влияние промышленных предприятий на эколого-экономическую безопасность региона // Российский академический журнал. – 2014. – № 3. – С. 23–25.
2. Доможир В.В., Жукова Ю.М., Никулина С.Н., Николаева Т.С. Новые методы обработки и диагностики пресной воды после ее промышленного использования // Научные технологии. – 2014. – Т. 15. – С. 36–40.
3. Машиностроение в России и его вредные производства, влияющие на экологию [Электронный ресурс]. – Проект «Greenologia.ru»: сайт. – URL: <http://greenologia.ru/ekoproblemy/mashinostroenie/mashinostroenie-v-rossii.html> (дата обращения: 20.02.2017).
4. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. – М.: Экономика, 2000. – 421 с.
5. Морозенко М.И., Никулина С.Н., Черняев С.И. Исследование концентраций загрязняющих веществ в сточных водах металлургического предприятия // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 10–2. – С. 271–278.
6. Морозенко М.И., Никулина С.Н., Черняев С.И. Коагуляционная очистка сточных вод металлургического предприятия // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 12–2. – С. 318–323.
7. Морозенко М.И., Черняев С.И., Попова Е.В., Морозенко Д.Н., Карева Е.О. Исследование характеристик генераторного газа при пароплазменной газификации ТБО // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 5–1. – С. 141–147.
8. Очистка промышленных сточных вод [Электронный ресурс]. – Портал PromPortal.ru – Промышленность и производство: сайт. – Режим доступа: <http://promportal.ru/articles/347/ochistka-promishlennih-stochnih-vod.htm> (дата обращения: 26.02.2017).
9. Очистка сточных вод [Электронный ресурс]. – Портал «ГК ТрансЭкоПроект»: сайт. – URL: <http://enviropark.ru> (дата обращения: 20.02.2017).
10. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ [Электронный ресурс]: Официальный сайт компании «КонсультантПлюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 26.02.2017).
11. Федеральный закон от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» [Электронный ресурс]: 25 июля 2014 г. Российская газета – Федеральный выпуск № 6438 (166). – Режим доступа: <https://rg.ru/2014/07/25/eco-dok.html> (дата обращения: 26.02.2017).
12. Черняев С.И. Развитие экологического маркетинга в России и за рубежом [Текст] / С.И. Черняев // Экономика. Управление. Право. – М., 2013. – № 5. – С. 3–6.
13. Шуберт В.В., Карева Е.О., Никулина С.Н. Некоторые аспекты состояния сооружений очистки сточных вод на машиностроительных предприятиях, построенных в советское время / Сб. статей МНПК «Роль технических наук в развитии общества». – Уфа: АЭТЕРНА, 2016. – С. 55–59.