

УДК 574.63:628.33

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИИ СТОЧНЫХ  
ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Е.С. Мельник, аспирант;*

*Л.Д. Пляцук, д-р техн. наук, профессор*

*Сумский государственный университет, г. Сумы*

*Проведен анализ проблем в области очистки сточных вод машиностроительного комплекса Украины. Определено, что наиболее прогрессивным направлением очистки гальваносток является метод электрокоагуляции. Разработана оптимизированная модель электрокоагулятора. Проведены экспериментальные исследования, подтверждающие эффективность модельной установки.*

*Зроблено аналіз проблем в області очистки стічних вод машинобудівного комплексу України. Виявлено, що найбільш прогресивним напрямком очистки гальваностоків є метод електрокоагуляції. Розроблена оптимізована модель електрокоагулятора. Проведено експериментальні дослідження, що підтверджують ефективність модельної установки.*

**ВСТУПЛЕНИЕ**

Анализ экологической ситуации последних лет в Украине свидетельствует о том, что загрязнение гидросферы остается недопустимо высоким. При этом, несмотря на спад темпов развития экономики, количество сбрасываемых сточных вод практически не уменьшается.

Значительное влияние на загрязнение поверхностных вод оказывают сточные воды машиностроительного профиля, которые относятся к группе наиболее опасных производственных стоков вследствие содержания широкого спектра ингредиентов различного класса. На сегодняшний день Украина имеет достаточно мощный промышленный потенциал, который насчитывает более 11200 предприятий по производству разнообразных машин и оборудования, приборов и аппаратуры, разных видов транспортных средств и т.п. [1], поэтому нельзя не отметить негативный вклад отрасли в загрязнение подземных и поверхностных водоемов. Ежегодно в поверхностные водоемы Украины происходит сброс более 9 млрд кубометров производственных стоков, из которых около 2,5 млрд – недостаточно очищенные, 1,5 млрд – без очистки.

Одними из наиболее водоемких являются операции электрохимического нанесения гальванических покрытий, применяемые в производственных циклах большинства машиностроительных предприятий. Достаточно отметить, что около 7 тыс. предприятий машиностроительного профиля имеют в своем составе гальванические цеха или участки, а сброс высококонцентрированных токсичных сточных вод гальванических отделений составляет до 50% от общего сброса предприятия.

Гальванические стоки содержат соли тяжелых металлов, кислоты, щелочи, поверхностно-активные вещества (ПАВ) и др. Ориентировочный

объем высококонцентрированных токсичных сточных вод гальванического производства в Украине достигает свыше 500 млн м<sup>3</sup> в год.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Несмотря на разработку новых, менее токсичных электролитов, новых приборов для регенерации растворов и новых способов промывки деталей, вопрос очистки сточных вод до сих пор остается на поверхности и требует решения. Перед гальваническим производством стоит одна из наиболее сложных проблем - разработать методы эффективной очистки сточных вод и утилизации отработанных осадков.

На наш взгляд, наиболее прогрессивным направлением в технологии водоочистки являются разработка и внедрение электрохимических методов. Характерной чертой современных технологий электрохимической обработки сточных вод являются оптимизация процессов очистки и стремление к получению воды, пригодной для повторного использования.

Одним из перспективных способов электрообработки является электрокоагуляция с применением растворимых электродов.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе анализа существующих установок электрокоагуляционной очистки стоков было определено, что к основным причинам, препятствующим широкому внедрению электрокоагуляторов в производство, относятся пассивация электродов, большой расход электроэнергии и значительные затраты на профильную сталь. Стружечные электроды, представляющие собой отходы металлообработки, в этом плане имеют ряд преимуществ.

В связи с этим нами была предложена конструкция электрокоагулятора [3] с засыпными растворимыми электродами, малым электрическим сопротивлением межэлектродного пространства и условиями работы, исключающими пассивацию электродов.

В основу разработки данной установки были положены следующие принципы:

1 Компактность - общее число единиц оборудования должно быть меньше, чем у используемых на практике электролизных установок.

2 Одновременное восстановление шестивалентного хрома до трехвалентного и очистка от трехвалентного хрома до уровня ПДК и ниже.

3 Использование воды в замкнутом цикле, т.е. пригодность для создания малоотходного гальванического процесса.

4 Экономичность - затраты на электроэнергию и дополнительные реагенты должны быть меньше, чем у используемых аналогичных установок.

Электролизер представлял собой проточную цилиндрическую емкость, выполненную из диэлектрического материала - полипропилена. Катодом служили две стальные пластины марки Ст.3, изогнутые по форме емкости. Анод был выполнен в виде цилиндрической перфорированной титановой ячейки, расположенной в центральной части электролизера и заполненной загрузкой из анодорастворимого материала. Выбор материала анодной ячейки был обусловлен особыми свойствами титана - хорошей токопроводящей способностью, слабой адгезией к нему металлических и неметаллических осадков, а также устойчивостью в большинстве сред [2].

В качестве анодорастворимой загрузки можно применять алюминиевую или железную стружку. Для очистки хромсодержащих

стоков нами была выбрана железная стружка марки Ст.3, так как она имеет ряд преимуществ:

- ионы  $\text{Fe}^{+2}$  способны восстанавливать шестивалентный хром до трёхвалентного, который потом выпадает в осадок в виде  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ;
- процесс гидратообразования для железа начинается при  $\text{pH}=2$ , а для алюминия  $\text{pH}=4$ , что является одним из определяющих критериев выбора при очистке сильноокислых хромсодержащих стоков;
- процесс электрокоагуляции ведется таким образом, что прирост величины  $\text{pH}$  обрабатываемой воды может составлять от 1 до 4 единиц, таким образом, амфотерные свойства гидроксида алюминия могут негативно сказываться на процессе гидратообразования.

В процессе очистки растворенные в сточной воде ионы железа  $\text{Fe}^{2+}$  взаимодействовали с ионами  $\text{Cr}^{6+}$ , восстанавливали  $\text{Cr}^{6+}$  до  $\text{Cr}^{3+}$  и способствовали выпадению их в виде гидроокисей  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ .

Таким образом, в реакторе протекало несколько основных процессов:

- на катоде  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$  ;
- на аноде  $\text{Fe}^0 = \text{Fe}^{+2} + 2\text{e}^-$  ;
- в объёме  $4\text{Fe}^{+2} + \text{O}_2 + 4\text{H}^+ = 4\text{Fe}^{+3} + 2\text{H}_2\text{O}$  ;  
 $\text{Fe}^{+3} + 3\text{OH}^- = \text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow$  ;  
 $\text{Cr}^{+6} + 3\text{OH}^- = \text{Cr}(\text{OH})_3 \downarrow$  .

Под действием силы тяжести  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  в виде взвесей оседал в нижней конусообразной части электрокоагулятора и далее направлялся в отстойник. При этом осадок получался значительно более дисперсным, чем в случае осаждения реагентами, а размер хлопьев находился в диапазоне 0,8 и 1,5 мкм.

Такой засыпной стружечный электрод характеризовался развитой поверхностью контакта фаз. Кроме того, в результате быстрого пропускания жидкости через объемный электрод создавалось турбулентное движение электролита, что способствовало значительному уменьшению толщины диффузионного слоя и увеличению коэффициента массопереноса. Таким образом, помимо химических и электрохимических реакций, в реакторе имели место диффузионные и миграционные потоки всех ионных компонентов, зависящие от концентрации и скорости переноса фильтрационного потока раствора через стружечную загрузку.

Кроме того, предлагаемая конструкция электрокоагулятора позволяет создать равный зазор между электродами по всей площади контакта, увеличить рабочую поверхность насыпного растворимого электрода и скорость его растворения. В конечном итоге мы получили результаты, свидетельствующие об увеличении производительности аппарата и снижении энергозатрат.

Электрокоагулятор работал в непрерывном режиме. По мере электрохимического растворения железной стружки в ячейку производилась догрузка новой порции в соответствии с заданным расходом.

Общая схема установки представлена на рис.1.

Лабораторные исследования проводили как с модельными растворами сточных вод, так и с реальными хромсодержащими стоками гальванического производства. Начальная концентрация ионов хрома (VI) во всех опытах составляла 100 мг/л. Анодная плотность тока изменялась от 1,78 А/м<sup>2</sup> до 7,14 А/м<sup>2</sup>, что соответствовало изменению токовой нагрузки на электролизере от 0,5 до 2 А.

В результате анализа проб, отобранных после процесса очистки на модельной установке, ионы  $\text{Cr}(\text{VI})$  обнаружены не были, таким образом,

мы сделали вывод о полном восстановлении хрома(VI) до трехвалентной формы. Вышесказанное подтверждает эффективность протекающих в электролизере процессов, так как перевод шестивалентного хрома в менее токсичную трехвалентную форму является одним из необходимых требований к качеству очистки.

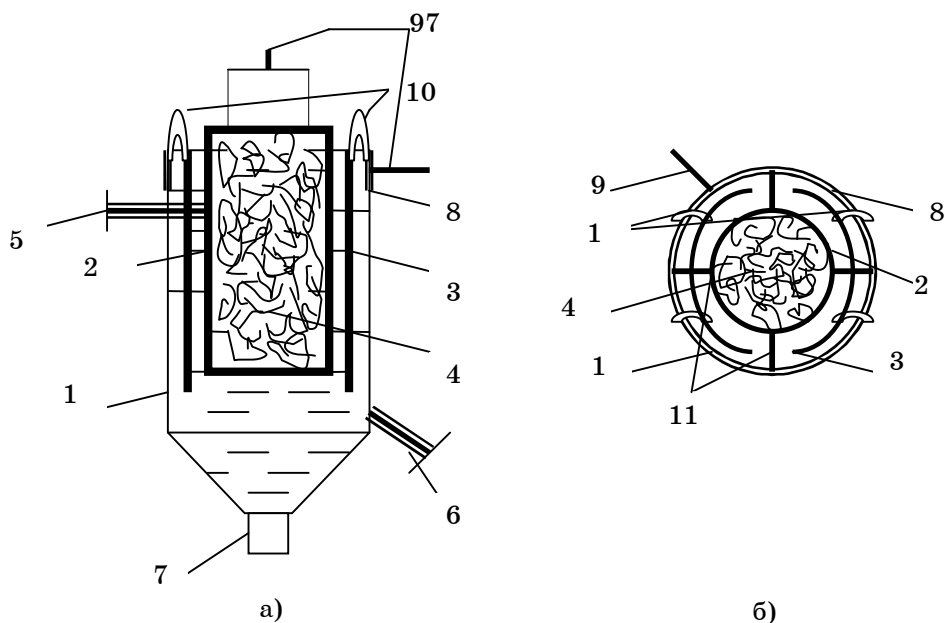


Рисунок 1 – Электрокоагулятор:

а) продольный разрез аппарата; б) вид сверху.

1- корпус электролизера; 2 – ячейка анода; 3 – катод; 4 – стружка;  
5 – патрубок ввода стоков; 6 – патрубок вывода стоков;  
7 – шламосборник; 8 – обруч для закрепления катода,  
9 – токоподводы, 10,11- штуцера для закрепления катода и анода

В дальнейшем наибольшая степень очистки от восстановленного трехвалентного хрома 97,7-99,96% достигалась в диапазоне плотностей анодного тока 1,25-1,5 А/м<sup>2</sup>. Причем процесс был энергетически более выгодным при расходе жидкости 3 л/ч. В данных условиях наиболее высокая степень извлечения ионов хрома, до 99,96%, достигалась при удельном расходе электроэнергии 8,5 Втч/л.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, разработка промышленных моделей предложенного аппарата позволит не только достигать ПДК и создавать замкнутые системы водооборота, но и оптимизировать энергетические потери, а замена листовых электродов отходами в виде стружек поможет существенно снизить затраты на изготовление и последующую замену изношенных электродов.

## SUMMARY

### OPTIMIZATION OF ELECTRO-COAGULATION PROCESSES OF GALVANIC PRODUCTION SEWAGES

*E.S. Melnik, L.D. Plyatsuk*  
Sumy State University

*The problems in area of sewages cleaning of machine-building complex in Ukraine are analysed. It was found out that the most progressive direction of sewages treatment of galvanic*

*productions is the method of electro-coagulation. The optimize model of electrocoagulator was developed. Experimental researches, confirming the efficiency of the model setting, have been conducted.*

#### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ**

1. *Машинобудування в Україні: тенденції, проблеми, перспективи / Під заг. ред. чл.-кор. НАН України Б.М. Данилишина. - Ніжин: ТОВ "Видавництво "Аспект-Поліграф", 2007. - 308 с.*
2. *Яковлев С.В., Краснобородько И.Г., Рогов В.М. Технология электрохимической очистки воды. - Л.: Стройиздат, Ленинград. отд-ние, 1987. - 312 с.*
3. *Заявка № а 2009 00337 України МПК (2006) С 02 F1/463 від 19.01.2009.*

*Поступила в редакцію 30 февраля 2009 г.*