В. В. Лабусова, А.А. Хрипович,
*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь*

# ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Galvanic production is characterized not only by significant water consumption, but also by the formation of a large amount of wastewater. The electroplating process is accompanied by the entry of a variety of pollutants into the water, primarily heavy metal ions. This article discusses the electrocoagulation method of wastewater treatment, which is mainly used to treat wastewater containing chromium. The advantages of the method and its disadvantages are also described.

Нанесение гальванических покрытий на металлическую поверхность является самым распространенным защитным методом и основным источником загрязнения гидросферы.

Сточные воды гальванического производства содержат не только тяжелые металлы, но и большое количество щелочей и неорганических кислот.

Сточные воды гальванического производства по степени опасности для окружающей среды делят на 3 группы:

– цианистые, которые образуются при промывке деталей в результате нанесения покрытий из растворов, содержащих цианиды;

– хромосодержащие, образованные при промывке деталей после нанесения хрома;

– кислотно-щелочные, образованные при промывке деталей после обезжиривания или травления.

В зависимости от состояния вещества в растворе, загрязняющие вещества разделяют на четыре вида: тонкодисперсные суспензии и эмульсии, высокомолекулярные соединения и коллоиды, соли, кислоты, основания, которые растворены в воде, а также электролиты [1].

Электрокоагуляционный метод широко применяют для очистки хромсодержащих сточных вод.

Электрокоагуляционная очистка сточных вод заключается в пропускании воды сквозь электрическое поле, создаваемое электродами. При этом в электролизере могут происходить такие процессы, как электролиз воды,

поляризация частиц, электрофорез, окислительно-восстановительные процессы, взаимодействие процессов электролиза друг с другом. Процесс проводят как с использованием растворимых (железо, алюминий), так и нерастворимых электродов (титан, двуокись свинца и т. д.).

Выбор материала электрода обусловлен агрегативной устойчивостью образующихся поллютантов. Нерастворимые электроды используют в случае образования не устойчивых агломератов и низком содержании коллоидной фазы. Высокоустойчивые загрязнения требуют для очистки высокого расхода коагулянта и использования растворимых электродов. В качестве растворимых анодов в промышленных электролизерах чаще всего используют сталь и алюминий [2].

В результате электролитического растворения стальных анодов при *p*H > 2 образуются ионы $Fe^{2+}$. В присутствии хрома в сточных водах одновременно с этими процессами ионы $Fe^{2+}$, а также гидроксид железа (II) способствуют химическому восстановлению $Cr^{6+}$ до $Cr^{3+}$, то есть до менее токсичной и безопасной для окружающей среды формы хрома.

Катионы железа и алюминия, переходящие в раствор под действием электрического поля, реагируют с гидроксильными группами, образуя гидроксиды металлов, что способствует процессу коагуляции. Одновременно возможен разряд гидроксильных ионов или разряд молекул воды.

Образующийся на аноде кислород участвует в окислении ионов двухвалентного железа, а ионы железа соединяются с анионами, при этом образуя в слабокислой и щелочной среде труднорастворимые основные соли и гидраты окислов железа. На катоде протекает электрохимическая реакция образования газообразного водорода.

Данный способ наиболее целесообразно применять при исходной концентрации $Cr^{6+}$ в сточных водах менее 150 мг/л и исходном солесодержании более 300 мг/л.

При обработке общего стока гальванического цеха, в котором содержание $Cr^{6+}$ значительно превышает содержание ионов других тяжелых металлов, как

правило, достигается высокая степень очистки и от ионов этих металлов при расходе электроэнергии, и металлического железа в количествах, необходимых только для удаления из сточных вод $Cr^{6+}$. При этом нет необходимости предварительно доводить *p*H стоков до *p*H гидроксидообразования тяжелых металлов. В тех случаях, когда в общем стоке гальванического цеха соединения шестивалентного хрома не преобладают, достаточно высокая степень очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов достигается при исходной величине *p*H сточных вод, близкой к величине *p*H начала образования соответствующих гидроксидов металлов, а также при условии перевода в раствор определенного количества железа [3].

На процесс электрокоагуляции влияет материал электродов, расстояние между ними, скорость движения сточной воды, ее температура и состав, напряжение и плотность тока. С повышением концентрации взвешенных веществ более 100 мг/л эффективность электрокоагуляции снижается. Уменьшение расстояния между электродами приводит к снижению расхода энергии на анодное растворение металла. Теоретический расход энергии для растворения 1 г железа составляет 2,9 Вт·ч, на 1 г алюминия 12 Вт·ч. Процесс рекомендуют проводить в нейтральной и слабощелочной среде при плотности тока не более 10 А/м$^2$ и расстоянии между электродами не более 20 мм.

Достоинства метода электрокоагуляции:

– компактность установки и простота управления;

– отсутствие расхода химических реагентов;

– широкий диапазон условий проведения процесса очистки;

– получение шлама с хорошими структурно-механическими свойствами.

Недостатком метода является значительный расход металла и электроэнергии.

На практике широко используют безнапорные пластинчатые электрокоагуляторы, направление движения жидкости в которых может быть горизонтальным и вертикальным. Электрокоагуляторы изготавливаются однотопочными и смешанными.

При многотопочной схеме движения вода проходит одновременно через промежутки между всеми электродами. При однотопочной схеме вода проходит между электродами последовательно, что уменьшает пассивацию электродов. Скорость движения воды у однотопочных электрокоагуляторов в ($n$-1) раз больше, чем у многотопочных ($n$ – число электродов), при одной и той же производительности.

На рисунке представлена принципиальная схема электрокоагуляционной очистки. Электрокоагулятор включает в себя две секции: пластинчатый электролизер вертикального исполнения с подводом очищаемой воды снизу вверх и осветлитель [4].

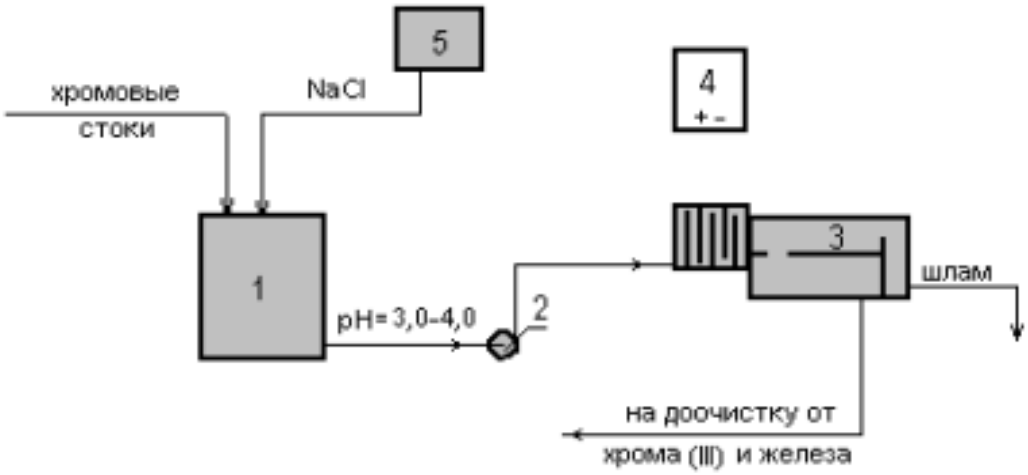


Рис. Принципиальная схема электрокоагуляционной очистки.
1 – накопитель хромсодержащих стоков; 2 – насос; 3 – электрокоагулятор; 4 – выпрямитель; 5 – дозатор раствора хлорида натрия

Таким образом, электрокоагуляционым методом возможно получать воду достаточно высокой степени очистки, что позволяет возвращать ее в цикл для нанесения гальванического покрытия и не только экономить чистую воду, но и предотвращать загрязнение гидросферы токсичным тяжелым металлом хромом.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Виноградов, С. С. Организация гальванического производства / С.С. Виноградов – Минск, 2015. – 478 с.

2. Когановский, А. М. Очистка и использование промышленных сточных вод в промышленном водоснабжении / А. М. Когановский, Н. А. Клименко. М. : Химия. – 2017. – 287 с.

3. Колесников, В. А. Экология и ресурсосбережение в электрохимических производствах. Механические и физико-химические методы очистки сточных вод / В. А. Колесников, В. И. Ильин. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2015. – 220 с.

4. Колесников, В. А. Ресурсосбережение и экологическая безопасность электрохимических производств. Очистка промывных и сточных вод в гальванотехнике и производстве печатных плат / В. А. Колесников, В. И. Ильин, В. А. Бродский. — М. : ИЦ РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2015. – 172 с.

V. V. Labusova, H. A. Khrypovich,
*Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus*

## WASTEWATER TREATMENT FROM HEAVY METAL IONS BY ELECTROCOAGULATION METHOD