

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 628.349.08

О. Р. Каратаев, З. Р. Шамсутдинова, И. И. Хафизов

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Ключевые слова: сточные воды, очистка, электрохимические методы очистки, электрокоагуляция, промышленные предприятия.

В работе исследуется проблема очистки сточных вод электрохимическими методами, и предлагаются пути ее усовершенствования. Рассматривается электрокоагуляция в процессе очистки сточных вод предприятий нефтеперерабатывающей промышленности.

Key words: wastewater, disinfection, electrochemical cleaning methods, electrocoagulation, industrial enterprises.

The problem of wastewater treatment by electrochemical methods is discussed and the ways of its solution are offered in the given work. We consider electrocoagulation in wastewater treatment businesses refining industry.

Основой электрохимических методов очистки сточных вод является электролиз веществ, который представляет собой химические реакции с использованием электрической энергии. Эти превращения протекают в растворах электролитов, электропроводность которых связана с наличием ионов, которые передвигаются под воздействием электрического поля.

Скорость электрохимической реакции зависит от состава сточных вод, их температуры, гидродинамических условий, материала электродов, наличия примесей, отлагающихся на электроде и других факторов.

Электрокоагуляция является одним из основных методов очистки нефтесодержащих сточных вод. При электрохимической коагуляции гидроокиси металлов образуются за счет растворения анода и последующего гидролиза перешедших в раствор ионов металлов. Образующимся в процессе гидролиза гидроокисям свойственны повышенная активность и сорбционная способность, в результате чего достигается эффективная коагуляция дисперсных загрязнителей с участием продуктов электролиза. Появляющиеся хлопьевидные структуры флоатируются на поверхность воды пузырьками образовавшегося при электролизе газа или выносятся из электрокоагуляционного аппарата потоком обрабатываемой сточной воды с дальнейшим отстаиванием или фильтрованием [1].

Метод электрохимической коагуляции состоит из последовательности следующих операций: электрофоретическое концентрирование, то есть направленное движение заряженных частиц примесей и концентрирование их у поверхности электродов; растворение электрода и образование гидроокисей металлов; поляризационная коагуляция дисперсных частиц; упаковка первичных агрегатов по мере накопления частиц гидроокисей и флокуляционная; флотация образовавшихся агрегатов пузырьками газов.

На результативность электрохимической коагуляции влияют такие факторы, как материал, из которого изготовлены электроды, анодная плотность тока, состав и скорость движения обрабатываемой жидкости в межэлектродном пространстве. Отрицательным фактором эффективности электрокоагуля-

ции служит появление на поверхности электродов окисных пленок, то есть анодная пассивация.

Применение алюминия или железа для изготовления анодов позволяют применять электрохимическую коагуляцию сточных вод. Расход электроэнергии N для анодного растворения металла находится

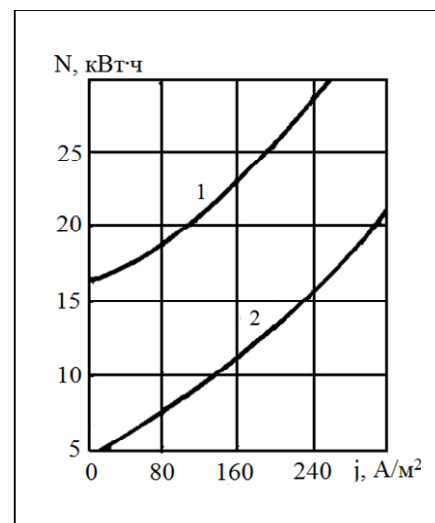


Рис. 1 - Расход электроэнергии N при анодном растворении 1 кг алюминия (1) и 1 кг железа (2) в зависимости от плотности тока



в зависимости от показателей плотности j (рис.1) и межэлектродного пространства [2].

Рис.1 показывает, что уменьшение зазора между электродами приводит к снижению расхода электроэнергии. Обычно плотность тока принимают до 200-300 А/м², расстояние между электродами 10-20 мм, скорость движения воды между электродами должна быть не менее 0,03-0,05 м/с. Теоретический расход электроэнергии при рекомендуемом напряжении 3-12 В при растворении 1 г железа составляет 2,9 Вт·ч, при растворении 1 г алюминия – 12 Вт·ч. Растворение в воде 1 г железа можно приравнять к вводу в сточную воду 3,58 г сульфата железа

$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, а растворение 1 г алюминия – 6,33 г сульфата алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Очистка воды методом электрохимической коагуляции проводится в электролизерах преимущественно с вертикально установленными электродами, располагаемых чаще в форме блока прямоугольных пластин толщиной 5-10 мм.

Присоединение электродов реализуется по монополярной схеме (рис. 2). Также предусмотрено подсоединение их по биполярной и комбинированным схемам. В случаях, когда нет источника постоянного тока питание электролизеров осуществляется выпрямленным током, для чего в составе установки

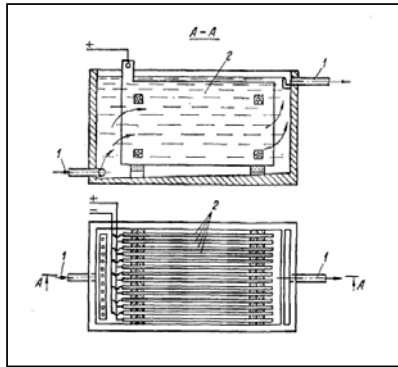


Рис. 2 - Устройство электролизера для электрохимической коагуляции: 1 - вода; 2 - электроды

предусматриваются выпускаемые промышленностью выпрямители. Для обеспечения безопасности работников на одну электролитическую ячейку не должно подаваться напряжение более 36 В [3].

Потоки воды в электролизерах подразделяются на однопоточные, многопоточные и смешанные с горизонтальным или вертикальным направлением движения жидкости. Существует множество конструктивных модификаций электрокоагуляционных установок. Промышленная электрокоагуляционная установка для очистки нефтесодержащих сточных вод приведена на рисунке 3 [4].

Электродная камера, имеющая сменный набор стальных или алюминиевых (дюралюминиевых) электродов, является основным элементом электрохимического коагулятора. Электродам свойственна чередующаяся полярность, в промежутках пространства шириной от 5 до 20 мм между которыми проходит требующая очистки вода со скоростью 0,5 м/с и более. Как и в электролизерах, в аппаратах для электрохимической коагуляции электроды могут устанавливаться горизонтально или вертикально с расстоянием 10-16 мм, в зависимости от требований по размещению и монтажу, а также от расходов обрабатываемой воды. В аппаратах с более маленькими показателями плотности электрического тока из-за меньшего пенообразования можно устанавливать расстояние между электродами менее 15 мм, и при расчетах не предусматривать устройств для удаления пены. При больших плотностях электрического тока ширина межэлектродных каналов должна при-

нимается не менее 15-20 мм. Для извлечения образовавшейся пены в зазорах разрабатываются различные установки, например, продувка сжатым воздухом [5].

Для изготовления анодов и катодов используют алюминий и его сплавы без содержания меди и стали, их приводят в форму пластин. Пластины подключают к гальваническому элементу параллельно или последовательно. В случае параллельного подсоединения все электроды работают монополярно, в другом случае промежуточные пластины действуют биполярно. Таким образом, последовательное подсоединение может обеспечить работу с меньшими значениями электрического тока. Также возможно применение засыпных электродов, сделанных из стальной стружки. Засыпные электроды используются реже, даже учитывая такие их преимущества, как большая поверхность, низкая стоимость. Это связано с их засорением гидроксидами металлов и

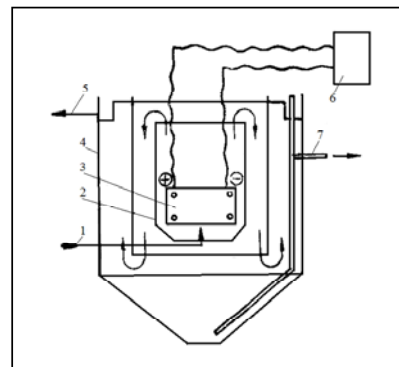


Рис. 3 - Электрокоагуляционная установка для очистки нефтесодержащих вод: 1 - трубопровод подачи сточных вод; 2 - резервуар электрокоагулятора; 3 - пакет плоских стальных электродов; 4 - отстойник; 5 - выпуск очищенных вод; 6 - выпрямитель электрического тока; 7 - выпуск сточных вод

неспособностью к регенерации. В зависимости от технологических особенностей процесса очистки выбирается материал для электродов.

Работы по эксплуатации предполагают: усреднение таких параметров как расход воды и некоторых его свойств в аппарате электрохимической коагуляции; регулирование качества воды извлечением крупнодисперсных загрязнителей, корректировкой состава солей и pH; обеспечение регламентной циркуляции воды в контуре аппарата, как это предполагается технологической схемой; проверка величин и доведение до необходимого значения электрических показателей (напряжение, сила тока); контроль за равномерностью растворения всех электродов; извлечение продуктов электрокоагуляции между электродами; очистка от появляющейся в процессе электролиза пены; смена электродов в соответствующий момент; контроль за состоянием газовой фазы и поддержание системы вентиляции в режиме эффективного использования; подготовка отстойников,

флотаторов, фильтров к предстоящего процесса очистки воды [6].

В процессе электрохимической коагуляции появляется слабо трамбуемый осадок достаточно неплотной структуры. Чтобы обезвожить образовавшийся осадок, можно его отстаивать, подвергнуть центрифугированию, флотации или сушить при высоких температурах. Отсутствие необходимости в применении реагентов, сохранение на начальном уровне состава солей в воде, простота технологии очистки, улучшение условий использования оборудования, возможность упрощенного регулирования проблем автоматизации – основные преимущества электрокоагуляции как одного из важнейших методов электрохимической очистки. В то же время электрокоагуляция имеет и ряд недостатков: высокий уровень потребления электроэнергии, в сравнении с остальными методами очистки воды, данный метод требует значительных расходов на листовую металл, на электродах образуются окисные пленки, расстояние между двумя электродами засоряется пеной и отложениями. Уменьшаются скорость и действенность электрохимической коагуляции в связи с появлением отложений на поверхности электродов в результате электрофоретического концентрирования дисперсной фазы и гидроокисей [7].

С целью снижения отрицательных последствий вышеуказанного недостатка используется барботаж воздуха через пространство между электродами, приспособляются вращающиеся щетки или вращение самих электродов в форме дисков и др. Также проводится переплюсовка электродов, в раствор добавляются для борьбы с пассивацией электродов анионы способные вытеснять кислород из пассивирующих соединений и образовывать растворимые соединения, такие как Cl^- .

Процесс электрокоагуляции можно интенсифицировать использованием виброэлектрокоагулятора. Вибрационные колебания частот среднего диапазона максимально снижают пассивацию электродов, снимают диффузионные ограничения в рабочем объеме, облегчают извлечение газов и формирующихся осадков, удаляемых через определенные промежутки времени периодически по специальному клапану, не останавливая при этом аппарат.

Для интенсификации процесса очистки воды с применением электролизеров предлагаются разные сочетания электролизеров с другими аппаратами для очистки воды:

- электролизер-отстойник;
- гальванокоагулятор-электролизер;
- электролизер-флотатор.

Эффективность очистки воды и электролизере-отстойнике по взвешенным веществам составляет 95,5 %, а по нефтепродуктам – 83 %, в электролизере-флотаторе по нефтепродуктам – 95,5 %.

Литература

1. Г.И. Воловник, М.И. Коробко, *Электрохимическая очистка воды*. Изд-во ДВГУПС, Хабаровск, 2002, 350 с.
2. О.Р. Каратаев, В.Ф. Новиков, З.Р. Шамсутдинова, *Вестн. Казан. технол. ун-та*, 52-54 (2013).
3. О.В. Мосин, *Журнал С.О.К.*, 1, 56-61 (2014)
4. Л.Ф. Ерусалимская, А.В. Сметченко, *Гигиена и санитария*, 11, 73-75 (1989).
5. В.И. Смола, *Поглощение двуокиси серы природными цеолитами*. Полиграф сервис, Москва, 2009, 319 с.
6. В.Д. Назаров, Л.М. Гурвич, А.А. Русакович, *Водоснабжение в нефтедобыче: Учебное пособие*. ООО «Виртуал», Уфа, 2003. 163 с.
7. И.М. Вахидова, И.Г. Шайхиев, Р.З. Гильманов, Р.М. Вахидов, Р.З. Мусин, *Вестн. Казан. технол. ун-та*, 16, 19, 49-52 (2013).

© **О.Р. Каратаев** - к.т.н., доцент кафедры машиноведения Казанского национального исследовательского технологического университета (КНИТУ), oskar_karataev@mail.ru; **З. Р. Шамсутдинова** - студентка Института управления экономики и финансов Казанского федерального университета (КФУ), **И. И. Хафизов** - кандидат технических наук, заместитель директора по образовательной деятельности, Инженерный институт Казанского (Приволжского) федерального университета.

© **O. R. Karataev** – c.t.s., associate professor of the department of mechanical engineering of Kazan National Research Technological University (KNRTU), oskar_karataev@mail.ru, **Z. R. Shamsutdinova** – student of the institute of management, economics and finance, Kazan Federal University (KFU), **I. I. Hafizov** – c.t.s., deputy director of educational activities, the Engineering Institute of the Kazan (Volga) Federal University.