

МНОГОКАМЕРНЫЙ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯТОР ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА ОТ СЕРОВОДОРОДА

Петрова К.И., бакалавр

Научный руководитель Желовицкая А.В.

***Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева, Российская Федерация, Республика Татарстан***

В данной статье приводится сравнение аппаратов для очистки сероводородсодержащих сточных вод, образующихся в процессе каталитического крекинга нефтепереработки, также рассчитаны конструктивные параметры многокамерного электрокоагулятора.

Ключевые слова: каталитический крекинг, конструктивные параметры, многокамерный электрокоагулятор, сточные воды, сероводород.

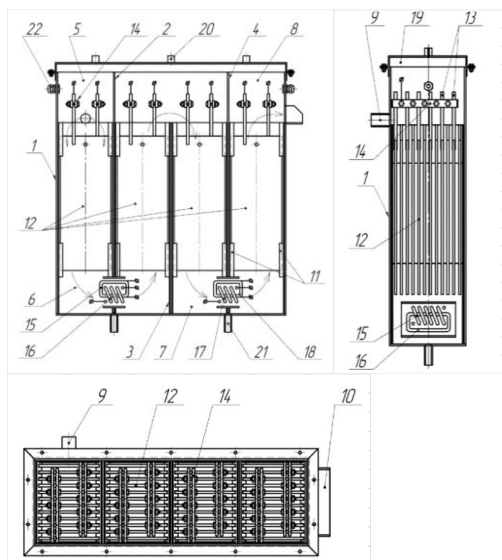
Введение

К основным экологическим проблемам нефтеперерабатывающей отрасли относятся антропогенное загрязнение окружающей среды и нерациональное использование природных ресурсов на предприятиях. Нефтеперерабатывающие заводы оказывают значительное негативное воздействие на общее состояние окружающей среды. Так ежегодно при переработке нефти в Российской Федерации ежегодно в гидросферу поступают тысячи тонн загрязняющих веществ. Наибольший вклад в общее загрязнение сточных вод сероводородами вносят установки первичной переработки нефти, каталитического крекинга, установки очистки сернисто-щелочных стоков и технологического конденсата. Сточные воды процесса каталитического крекинга содержат сероводород в концентрациях 300 мг/л, такое значение концентраций в значительной степени превышает ПДК для рыбохозяйственных водных объектов [1]. Следовательно, требуется разработка мероприятий (инженерных решений) по очистке сточных вод с целью минимизации негативного воздействия на гидросферу.

Методы исследования

Для решения данной проблемы был выполнен анализ современных технологий обработки сточных вод, содержащих сероводород [2-3] и патентно-реферативный поиск аппаратов электрокоагуляционной очистки [4-5].

На основе сравнительных технико-экономических характеристик, конструктивных особенностей электрокоагуляционных аппаратов и высокой эффективности очистки предложен аппарат на основе патента RU 2 747 770 C1 [5].



1 – корпус; 2 – перегородки для отвода газа; 3, 4 – перегородки; 5, 6, 7, 8 – камеры; 9 – подводящий патрубок; 10 – отводящий лоток; 11 – электроизолирующий материал; 12 – растворимые электроды; 13 – токопроводы; 14 – шины; 15, 16, 17, 18 – катушки электромагнитной системы в виде соленоидов; 19 – крышка; 20 – штуцер; 21 – вводные клеммы; 22, 23 – сальники

Рисунок 1 – Электрокоагулятор многокамерный

Предлагаемым аппаратом для электрокоагуляционной очистки выбран многокамерный электрокоагулятор (рис. 1) ввиду того, что при устройстве многокамерного коагулятора совместно с электромагнитной системой устраняются негативные процессы, присутствующие при обработке в однокамерном электрокоагуляторе. К таким процессам относятся затруднительное достижение результатов по коагуляционной очистке, неоправданно быстрое растворение электродов при повышении тока, а также зарастание электродов оксидным слоем, блокирующим процесс растворения. При использовании выбранного многокамерного коагулятора процесс коагуляции и удаление растворимых веществ возрастает, как и срок службы растворимых электродов, который увеличивается в 4–7 раз. При этом электрод практически не обрастает оксидным слоем. Также многокамерный коагулятор отличается тем, что витки плеча катушки перпендикулярны виткам плеча другой катушки за счет чего образуют при своей работе два взаимосвязанных перпендикулярных друг к другу электромагнитных полей и приложенный

потенциал к растворимым электродам идентичен потенциалу, приложенному к катушкам соленоидов электромагнитной системы. Конструктивные исполнения камер и катушек соленоида электромагнитной системы в едином корпусе многокамерного электрокоагулятора позволяют оказывать воздействие на водные системы в непрерывном процессе электрообработки. За счет всех перечисленных особенностей скорость осаждения крупных хлопьев взвеси, резко возрастает по сравнению с классической, традиционной схемой электрокоагуляционной обработки, что позволяет достичь глубокой очистки стоков от трудноудаляемых, хорошо растворимых веществ.

Следующим этапом на основе анализа литературных данных была выбрана методика расчета конструктивных параметров многокамерного электрокоагулятора. Для расчета габаритов электрокоагулятора с железными электродами были рассчитаны длина, ширина и высота аппарата.

$$V_{\text{ж}} = n \cdot q_{\text{ап}} \cdot \tau_{\text{эк}} = 1 \cdot 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ м}^3 \quad (1)$$

где $V_{\text{ж}}$ – полезный объем электрокоагуляционной установки, м^3 ;

n – число электрокоагуляторов, шт;

$q_{\text{ап}}$ – производительность аппарата, $\text{м}^3/\text{ч}$, принимаемая равной $2 \text{ м}^3/\text{ч}$;

$\tau_{\text{эк}}$ – продолжительность цикла очистки, ч, принимаемая $0,5 \text{ ч}$.

$$Q_{\text{эл}} = V_{\text{ж}} \cdot q_{\text{эл}} = 1 \cdot 500 = 500 \text{ А} \cdot \text{ч} \quad (2)$$

где $Q_{\text{эл}}$ – расход электричества на обработку СВ, $\text{А} \cdot \text{ч}$;

$q_{\text{эл}}$ – удельный расход электричества на обработку СВ, $\text{А} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$.

$$J = Q_{\text{эл}}/\tau_1 = 500/0,25 = 2000 \text{ А} \quad (3)$$

где J – величина тока в электрической цепи, А;

τ_1 – продолжительность электрокоагуляционной обработки, ч, принимаемая $0,25 \text{ ч}$.

$$S_{\text{эл}} = J/i_a = 2000/120 = 16,6 \text{ м}^2 \quad (4)$$

где $S_{\text{эл}}$ – рабочая поверхность анодов (площадь электродов), м^2 ;

i_a – анодная плотность тока, $\text{А}/\text{м}^2$, принимаемая $120 \text{ А}/\text{м}^2$.

$$V_{\text{эл}} = S_{\text{эл}} \cdot \delta = 16,6 \cdot 0,005 = 0,083 \text{ м}^3 \quad (5)$$

где $V_{\text{эл}}$ – общий объем электродов, м^3 ;

δ – толщина электродных пластин, принимаемая равной $0,005 \text{ м}$.

$$M_{\text{эл}} = V_{\text{эл}} \cdot \rho_{\text{м}} = 0,083 \cdot 7800 = 647 \text{ кг} \quad (6)$$

$M_{\text{эл}}$ – общая масса электродной системы, кг;

ρ_m – плотность материала электродов, кг/м³, для железа 7800 кг/м³.
 Так как масса одного электродного блока не должна превышать 50 кг, принимаем число блоков 13.

$$V_{мэ} = S_{эл} \cdot b = 16,6 \cdot 0,012 = 0,199 \text{ м}^3 \quad (7)$$

где $V_{мэ}$ – общий объем жидкости в межэлектродном пространстве, м³;
 b – межэлектродное расстояние, м, принятое 0,012 м.

$$V_{бл} = (V_{эл} + V_{мл})/13 = \frac{0,083 + 0,199}{13} = 0,022 \text{ м}^3 \quad (8)$$

где $V_{бл}$ – объем одного электродного блока, м³.

$$l_{бл} = \sqrt[3]{V_{бл}} = \sqrt[3]{0,022} = 0,28 \text{ м} \quad (9)$$

где $l_{бл}$ – длина ребра электродного блока, м.

$$m = l_{бл}/(\delta + b) = 0,28/(0,005 + 0,012) = 16,5 \approx 18 \text{ шт} \quad (10)$$

где m – число электродов в одном электродном блоке, шт (т.е. блок состоит из 9 катодов и 9 анодов).

$$L_{эл} = 6l_{бл} + 7l_3 = 6 \cdot 0,28 + 7 \cdot 0,07 = 2,17 \approx 2 \text{ м} \quad (11)$$

где $L_{эл}$ – длина электрокоагулятора, м;
 l_3 – учет установочных зазоров, м, принимаемый равным 0,07 м.

$$B_{эл} = l_{бл} + 2l_3 = 0,28 + 2 \cdot 0,07 = 0,42 \approx 0,5 \text{ м} \quad (12)$$

где $B_{эл}$ – ширина электрокоагулятора, м.

$$V_{ж1} = L_{эл} \cdot B_{эл} \cdot (l_{бл} + l_3) - V_{эл} = 2,17 \cdot 0,42 \cdot (0,28 + 0,07) - 0,083 = 0,236 \text{ м}^3 \quad (13)$$

где $V_{ж1}$ – объем жидкости в электрокоагуляторе, м³.

$$h_1 = l_{бл} + l_3 = 0,28 + 0,07 = 0,35 \text{ м} \quad (14)$$

где h_1 – высота верхний кромки электрокоагулятора, м.

$$h_2 = \frac{(V_{ж} - V_{ж1})}{(L_{эл} \cdot B_{эл})} = \frac{1 - 0,236}{2,17 \cdot 0,42} = 0,84 \text{ м} \quad (15)$$

где h_2 – высота слоя жидкости над электродами, м.

$$h_{ж} = h_1 + h_2 = 0,35 + 0,84 = 1,19 \text{ м} \quad (16)$$

где $h_{\text{ж}}$ – высота слоя жидкости в электрокоагуляторе, м.

Высота аппарат $H_{\text{эл}}$ с учетом установки зазоров равна 1 м.

Исходя из вышеперечисленных расчетов общие габариты электрокоагулятора равны:

$$L_{\text{эл}} \cdot B_{\text{эл}} \cdot H_{\text{эл}} = 2 \text{ м} \cdot 0,5 \text{ м} \cdot 1 \text{ м} \quad (17)$$

Выводы:

Исследование подтвердило, что наиболее эффективным аппаратом для электрокоагуляционной очистки сточных вод каталитического крекинга от сероводорода является многокамерный электрокоагулятор.

Литература:

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 30–2021 «Переработка нефти». – Москва: Бюро НДТ, 2021. – 512 с.

2. Бутенко Э.О. Разработка технических решений по удалению сероводорода и сульфидов из промышленных сточных вод // Перший Незалежний Науковий Вісник. – 2015. – №1-2. С. 31-36. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnicheskikh-resheniy-po-udaleniyu-serovodoroda-i-sulfidov-iz-promyshlennyh-stochnyh-vod> (дата обращения: 18.03.2026).

3. Feng Y. Electrochemical technologies for wastewater treatment and resource reclamation / Ю.Фэн. // Environmental Science: Water Research & Technology. 2016. – V. 2. – I. 5. – P. 800-831.

4. Патент № 2664918 Российская Федерация, МПК C02F 3/30 (2006.01), C02F3/34 (2006.01), C01B 17/04 (2006.01), C02F 101/10 (2006.01). Способ удаления сульфида из водного раствора: № 2016116027: заявл. 26.09.2014: опубл. 31.10.2017 / Эрик В.; заявитель [не указан]. - [б.и.]: ил. – Текст: электронный.

5. Патент № 2747770 Российская Федерация, МПК C02F 1/463 (2006.01). Многокамерный электрокоагулятор: № 2020130097: заявл. 14.09.2020: опубл. 13.05.2021 / Демидович Я.Н.; заявитель [не указан]. - [б.и.]: ил. – Текст: электронный.