

УДК 542.06

Технологические подходы к очистке сернисто-щелочных сточных вод

Ксенофонтов Борис Семенович^(*) ksenofontov@bmstu.ru

Петрова Ксения Сергеевна petrovaks@bmstu.ru

Кочмарев Игорь Сергеевич kochmarev@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. *Сточные воды, образующиеся при пиролизе газа, требуют многоступенчатой очистки для удаления токсичных компонентов перед их повторным использованием или безопасным сбросом. Методы могут включать химическое осаждение, биологическую деструкцию и процессы окисления. Конкретный выбор зависит от состава стоков, целей извлечения ценных соединений и нормативных требований. В работе представлена технология очистки сернисто-щелочных стоков (СЩС), основанная на сочетании физико-химических и механических методов с применением полимерного неорганического коагулянта-флокулянта — полиэфирного хлорида железа (POFC/ПЭХЖ).*

Ключевые слова: *сернисто-щелочные стоки, сточные воды, очистка стоков, углеводороды, сульфиды*

Введение. Газовый пиролиз — это высокотемпературное термическое разложение сырья (например, природного газа, нефтепродуктов, отходов) без доступа или при ограниченном доступе кислорода. В результате процесса образуется широкий спектр побочных продуктов, среди которых значительную долю составляют токсичные газы, такие как диоксид серы (SO_2) и сероводород (H_2S), образующие кислоты в водных растворах.

Для удаления этих соединений и предотвращения ущерба окружающей среде отходящие газы пиролиза часто пропускают через щелочной раствор, содержащий, например, карбонат калия (K_2CO_3) или гидроксид калия (KOH). Образующиеся сточные воды включают остаточные щелочи, растворенные соли щелочных металлов, органические компоненты исходного сырья (фенолы, полициклические ароматические углеводороды, гетероциклические соединения), а также примеси тяжелых металлов и хлора. Все эти вещества присутствуют в сложной смеси, характерной для сточных вод нефтяной промышленности, которые прямо или косвенно наносят вред экологии [1].

Технологические решения очистки СЩС. Для решения поставленной задачи коллективом МГТУ им. Н.Э. Баумана разработана технология очистки сернисто-щелочных стоков (СЩС), основанная на сочетании физико-химических и механических методов с применением полимерного неорганического коагулянта-флокулянта — полиэфирного хлорида железа.

Эффективность технологии оценивали по следующим параметрам: водородный показатель (pH), содержание взвешенных веществ, концентрация

сульфид- и гидросульфид-ионов, хлоридов и сульфатов, химическое потребление кислорода, а также органолептические характеристики (запах, цветность, мутность) [1–3].

Технология делится на три стадии: первичная, вторичная и третичная очистка (см. рисунок).

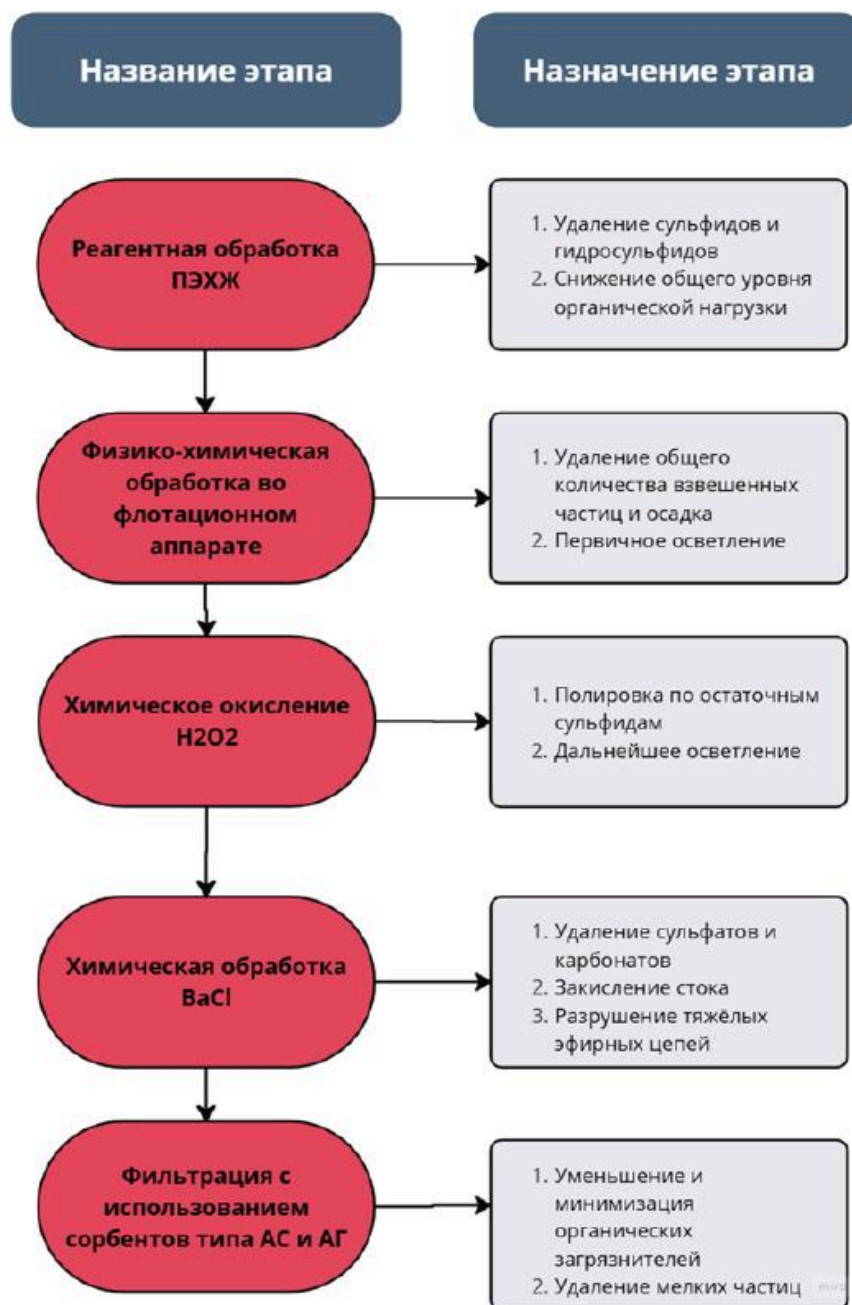


Схема комбинированной технологии очистки СЩС [3–5].

Первичная очистка включает обработку ПЭХЖ и удаление всплывающих и оседающих частиц во флотационном аппарате. Далее проводится химическое окисление перекисью водорода для удаления остаточных сульфидов, нейтрализации запаха сероводорода и нормализации цветности воды. На сле-

дующем этапе используют раствор хлорида бария, вступающий в реакцию с анионами (карбонатами, сульфатами и др.) [4].

Вторичная очистка предполагает фильтрование сточных вод через механическую и сорбционную загрузки [5–7].

Третичная очистка может включать использование ионообменных фильтров с комбинацией различных анионитов и катионитов, что позволяет максимально снизить токсичность [5–7].

Заключение. Предлагаемые в работе технологические решения показали хорошие результаты по очистке сернисто-щелочных сточных вод. Разработка опытно промышленной установки очистки СЩС на основе предложенных технологических решений позволит создать уникальный комплекс очистки СЩС и решить серьезную проблему в масштабах страны. Так как, на сегодняшний день, в мировой практике, отсутствуют эффективные методы очистки СЩС.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] Ali M.E.M., Abdel Moniem S.M., Hemdan B.A., Ammar N.S., Ibrahim H.S. Innovative polymeric inorganic coagulant-flocculant for wastewater purification with simultaneous microbial reduction in treated effluent and sludge. *South African Journal of Chemical Engineering*, 2022, vol. 42, pp. 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.08.005>
- [2] Deivayanai V.C., Karishma S., Thamarai P., Yaashikaa P.R., Saravanan A. A comprehensive review on electrodeionization techniques for removal of toxic chloride from wastewater: Recent advances and challenges. *Desalination*, 2024, vol. 570, art. no. 117098. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.117098>
- [3] Yuhuan Zhang, Yang Jin, Yanyu He, Chaohu Xiao, Lihua Chen. Polymers of intrinsic microporosity doped sodium alginate oriented channel aerogels for efficient desalination and wastewater purification by interfacial evaporation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2025, vol. 13, iss. 3, art. no. 116495. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.116495>
- [4] Jiahuan Guo, Yijie Chen, Zhangliang Li, Yong Shi, Xinyong Li, Wei Xiong. Accelerated H₂O₂ generation and chloride utilization in heterogeneous electro-Fenton process for mariculture wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 2025, vol. 366, art. no. 132754. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2025.132754>
- [5] Zhi-Lun Wu, Yu-Jen Shih, Dong-Ming Chao. Treatment of cosmetic wastewater containing N, N-dimethylformamide and high concentration of chloride salt by chemical precipitation and electrochemical method. *Chemosphere*, 2024, vol. 368, art. no. 143780. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143780>
- [6] Jie Li, Ye Du, En-Yu Zhao, Yanni Jiang, Zhongjuan Wang, Heng Zhang, Peng Zhou, ZhaoKun Xiong, Bo Lai. Enhanced purification of hospital wastewater by a novel ferrate(VI) flocs recycling process. *Chemical Engineering Journal*, 2023, vol. 461, art. no. 141832. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.141832>
- [7] Bing Zhang, Kangping Li, Xin Mao, Heli Tang, Bing Zhang, Wenxin Shi. Modified microbial flocculant-enhanced ferric chloride pre-coagulation for membrane fouling mitigation during the treatment of actual funeral wastewater: role and concentration effects of modified microbial flocculant. *Journal of Water Process Engineering*, 2025, vol. 70, art. no. 107120. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107120>