

**РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
КОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ОТ ВЗВЕШЕННЫХ
ВЕЩЕСТВ**

Гилязова А.И., студент

Научный руководитель Шавалеева С.М.

***Казанский национальный исследовательский технический университет
им.А.Н.Туполева - КАИ***

В работе рассмотрена очистка сточных вод цеха горячей прокатки металлургического производства от мелкодисперсных взвешенных частиц. Проведен сравнительный анализ эффективности ряда коагулянтов и обоснован выбор оптимального реагента, а также выполнены расчеты порога коагуляции, рабочей дозы коагулянта, кинетических параметров процесса.

Ключевые слова: сточные воды, очистка сточных вод, металлургия, взвешенные вещества, коагуляция, коагулянт, взвешенные частицы.

Металлургический комплекс является одним из крупнейших источников антропогенной нагрузки на водные объекты. Сточные воды предприятий отрасли отличаются сложным многокомпонентным составом и содержат значительное количество взвешенных веществ, включая устойчивые коллоидные системы, окалину, частицы руды и шламов [1-3].

Традиционные методы механической очистки (отстаивание, фильтрация) не всегда способны обеспечить требуемую степень удаления тонкодисперсных примесей, что обуславливает необходимость применения физико-химических методов, в первую очередь коагуляции [4-8].

Выбор оптимального типа коагулянта и его дозы является ключевой задачей, позволяющей не только достичь нормативных показателей сброса, но и снизить эксплуатационные затраты за счет сокращения расхода реагентов и объема образующихся шламов. Цель настоящей работы - исследование и сравнительный анализ эффективности коагуляционной очистки сточных вод металлургического производства от взвешенных частиц с применением солей трехвалентных металлов (Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+}) и расчет основных технологических параметров процесса.

В качестве объекта исследования приняты сточные воды цеха горячей прокатки типичного металлургического предприятия. Характеристики стоков: концентрация взвешенных веществ 1500 мг/л, рН 7,0-8,5 (нейтрально-щелочная среда), температура 15-35 °С, наличие эмульгированных масел и следов тяжелых металлов.

Для сравнительного анализа выбраны три вида квасцов:

- алюмокалиевые ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$);
- железоаммонийные ($NH_4Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$);
- хромокалиевые ($KCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$).

Оценка проводилась по следующим критериям: оптимальный диапазон рН, скорость хлопьеобразования, способность удалять эмульгированные масла, совместимость с исходным рН, экологическая безопасность осадка.

Расчет порога коагуляции (минимальной концентрации электролита, вызывающей коагуляцию) выполнен по правилу Шульце-Гарди для иона-коагулянта с зарядом Z , кинетика процесса оценивалась с использованием теории быстрой коагуляции Смолуховского, часовые расходы реагентов определялись исходя из производительности установки $Q = 50 \text{ м}^3/\text{ч}$, расчетных доз и концентраций рабочих растворов.

Результаты сравнительной оценки исследуемых квасцов представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнительная характеристика коагулянтов

Параметр	Алюмокалиевые квасцы	Железоаммонийные квасцы	Хромокалиевые квасцы
Действующий ион	Al^{3+}	Fe^{3+}	Cr^{3+}
Оптимальный рН	6,5-7,5	4-11	7-9
Скорость хлопьеобразования	Средняя, хлопья легкие	Высокая, хлопья тяжелые, крупные	Высокая, хлопья прочные
Удаление эмульгированных масел	Удовлетворительное	Высокое	Удовлетворительное
Совместимость с рН=7-8,5	Несовместима, требует подкисления	Полная	Частичная
Экологическая безопасность осадка	Осадок $Al(OH)_3$ нетоксичен, но плохо обезвоживается	Осадок $Fe(OH)_3$ нетоксичен, хорошо обезвоживается	Ион Cr^{3+} токсичен, шлам требует специальной утилизации

На основании проведенного анализа в качестве основного коагулянта выбраны железоаммонийные квасцы. Они эффективно работают в широком

диапазоне рН (4-11), что полностью соответствует исходному значению рН стока (7,0-8,5) без необходимости дополнительной коррекции; образуют тяжелые, быстро осаждающиеся хлопья $\text{Fe}(\text{OH})_3$, обеспечивая высокую степень осветления (до 98,7%); образующийся шлам нетоксичен и хорошо обезвоживается, что упрощает его утилизацию.

Расчет технологических параметров показал, что порог коагуляции составляет 0,165 ммоль/л, а рабочая доза коагулянта - 79,5 мг/л.

Для обеспечения эффективного осаждения и компенсации кислотности, выделяющейся при гидролизе, рекомендуется использование флокулянта полиакриламид (ПАА) в дозе 1 г/м³ и подщелачивание известковым молоком $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Практическая доза извести, рассчитанная стехиометрически по количеству вносимого Fe^{3+} (8,12 г/м³) с коэффициентом запаса 1,3, составила 21 г/м³.

Кинетические расчеты показали, что начальная концентрация частиц в воде составляет $3 \cdot 10^6$ част/см³; теоретическая константа скорости быстрой коагуляции $1,08 \cdot 10^{-11}$ см³/с; число частиц через 20 мин (1200 с) перемешивания составило $2,89 \cdot 10^6$ част/см³.

На основе полученных доз определены часовые расходы реагентов для потока 50 м³/ч (таблица 2).

Таблица 2 - Часовые расходы реагентов

Реагент	Концентрация рабочего раствора, %	Расход, м ³ /ч
Коагулянт (железоаммонийные квасцы)	10,0	0,03
Флокулянт (ПАА)	0,1	0,05
Известковое молоко ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	10,0	0,0095

Проведенный сравнительный анализ показал, что для очистки сточных вод металлургического производства с нейтрально-щелочной средой и высоким содержанием мелкодисперсных взвесей наиболее эффективным и экологически безопасным коагулянтом являются железоаммонийные квасцы. Они обеспечивают высокую скорость хлопьеобразования, хорошее удаление эмульгированных масел и образуют нетоксичный, легко обезвоживаемый осадок. Рассчитанные основные технологические параметры процесса и часовые расходы реагентов для рассматриваемой установки могут быть использованы при проектировании или модернизации систем очистки сточных вод металлургических предприятий.

Литература

1. Жуков, А. И. Методы очистки производственных сточных вод: учебное пособие для вузов / А. И. Жуков, И. Л. Монгайт, И. Д. Родзиллер. - Москва: Стройиздат, 2014. - 336 с.
2. Воюцкий, С. С. Курс коллоидной химии: учебник для вузов / С. С. Воюцкий. - 2-е изд. - Москва: Химия, 1975. - 512 с.
3. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для вузов / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев. - Москва: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2018. - 728 с.
4. Жмур, Н. С. Технологические процессы экологической безопасности. Очистка сточных вод: учебник / Н. С. Жмур. - Москва: Изд-во АСВ, 2015. - 352 с.
5. Лапин, В. В. Очистка сточных вод металлургических предприятий / В. В. Лапин, В. А. Приходько // Экология и промышленность России. - 2020. - № 5. - С. 34-39.
6. Морева, Ю. Л. Теоретические основы очистки и обезвреживания выбросов и сбросов: учебное пособие. Ч. 1 / Ю. Л. Морева, Ю. М. Чернобережский, А. В. Лоренцсон. - СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2018. - 82 с.
7. Фролов, Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы: учебник для вузов / Ю. Г. Фролов. - 2-е изд. - Москва: Химия, 1989. - 464 с.
8. Щукин, Е. Д. Коллоидная химия: учебник для вузов / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина. - 4-е изд. - Москва: Высшая школа, 2006. - 444 с.