

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО ШЛАМА ВОДООБОРОТНОГО ЦИКЛА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Шкоп А. А., Брянкин А. С., Шестопалов А. В., Пономарева Н. Г.

1. Введение

По оценке различных источников на металлургических предприятиях Украины накоплено более 70 млн. тонн шламов, из которых приблизительно треть пригодны для повторного использования [1]. На предприятиях металлургической отрасли наибольшее количество воды используется в качестве охладителя сталеплавильных печей и конверторов, а также систем мокрой очистки газов. Сточные воды, которые образуются при этом, загрязнены твердыми взвешенными частицами и имеют растворенные химические вещества, например, соли жесткости. Например, объем сточных вод, сбрасываемых предприятиями черной и цветной металлургии Украины, достигает 500 млн. м³/год.

В промышленных процессах и технологиях наибольшее количество воды используется в качестве охладителя, растворителя, транспортирующего агента. В металлургии сточные воды образуются главным образом после охлаждения сталеплавильных конверторов и после мокрой очистки газов.

Количество сточных вод и шламов мокрой очистки газов составляет до 10 м³ на 1000 м³ газа, что соответствует примерно 4–5 м³ на 1 т выплавляемой стали.

Использование сточных вод в системе водооборотного цикла предприятий из-за высокого содержания химических соединений в концентрациях, недопустимых по существующим нормам для оборотных вод, нуждается в их очистке. В целях повторного использования шламов на газоочистке их необходимо осветлять до остаточного содержания взвешенных веществ в пределах 150–200 мг/дм³.

Сброс загрязненных сточных вод во внешние шламонакопители металлургических предприятий приводит ко вторичному загрязнению почв и грунтовых вод тяжелыми металлами, отчуждению и засолению земель, техногенной трансформации природного ландшафта [2]. Вокруг металлургических предприятий уже накоплено миллионы тонн железосодержащих шламов и их переработка осложняется трудностями сгущения до требуемой влажности для последующей утилизации [3].

Исходя из вышесказанного, исследование закономерностей процессов очистки и обезвоживания шламов металлургических предприятий, а также поиск путей интенсификации процессов и утилизации компонентов шламов является актуальной научно-технической задачей.

2. Объект исследования и его технологический аудит

Объектом данного исследования является процесс очистки сточных вод от взвешенных веществ, образующихся в результате мокрой газоочистки отходящих газов кислородно-конвертерного цеха одного из металлургических

предприятий. Действующая схема оборотного водоснабжения газоочисток представлена на рис. 1.

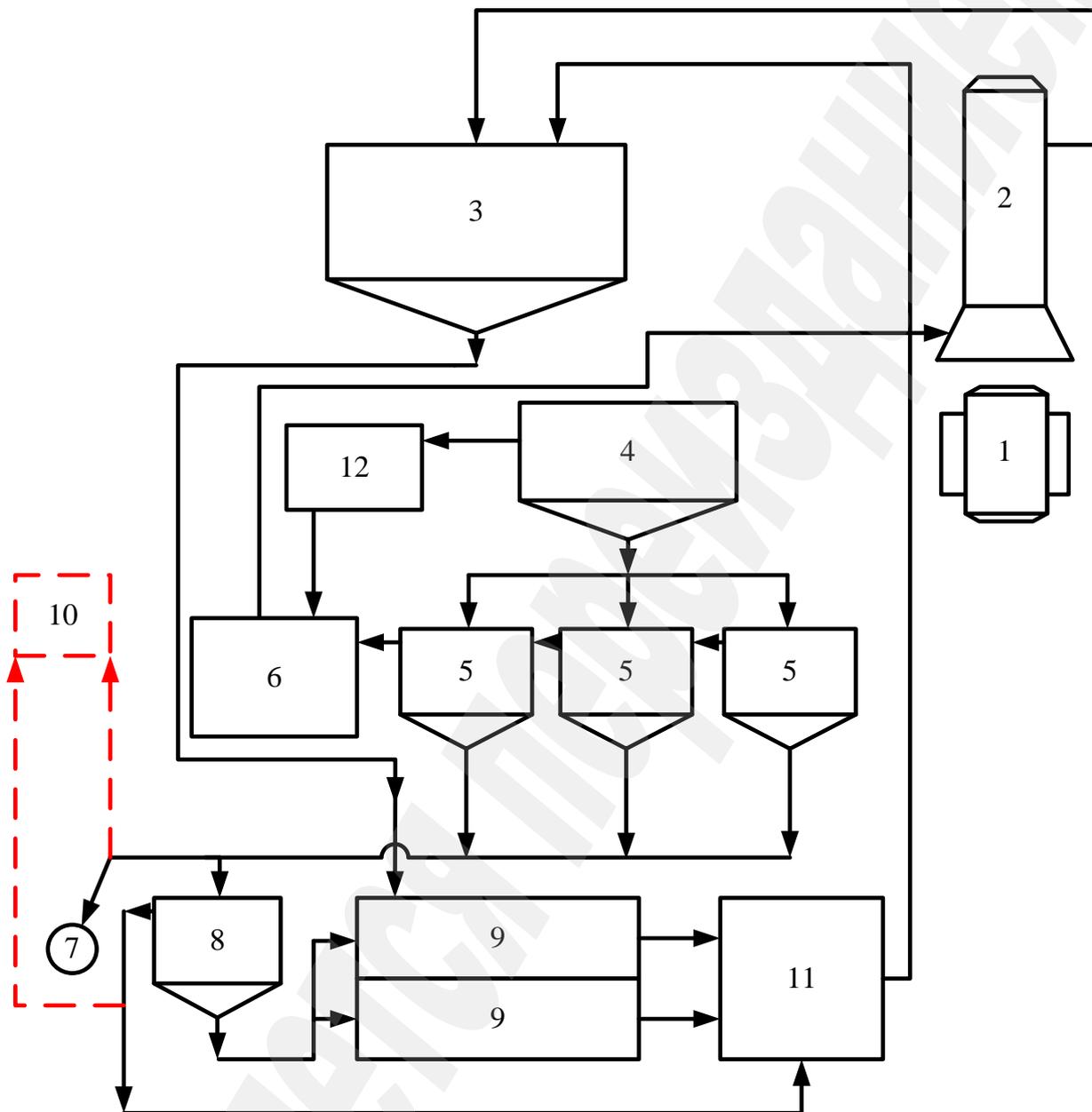


Рис. 1. Принципиальная схема работы действующей системы оборотного водоснабжения газоочисток кислородно-конвертерного цеха:

- 1 – конвертер; 2 – мокрая очистка газа; 3 – бункера-гидроклассификаторы; 4 – флокулятор; 5 – радиальные сгустители; 6 – резервуар осветленной воды; 7 – сброс на шламонакопитель; 8 – бункера-накопители мелкой фракции; 9 – горизонтальные отстойники; 10 – расположение модуля очистки в процессе испытаний; 11 – камера предосветленной воды; 12 – градирни

От газоочисток (2) конвертеров (1) образовавшаяся шламовая пульпа по самотечным шламопроводам поступает в приемные бункера-гидроклассификаторы (3) со взвешенными веществами до 12 г/л. В бункерах-гидроклассификаторах происходит

разделение шламовой пульпы по фракциям. Крупная фракция (частицы свыше 2 мм) отводится по вертикальному шламопроводу через регулируемую насадку в приемный лоток. Более мелкая фракция (частицы менее 2 мм) отводится по вертикальным шламопроводам в приемный лоток. Из приемного лотка от вертикальных шламопроводов крупная водоземulsionная фракция распределяется через маятниковые питатели по очистным сооружениям крупной фракции, а именно на «левую» или «правую» секцию горизонтального отстойника (9). Емкость секции горизонтального отстойника составляет по 250 м³, время заполнения шламом – 4–6 суток. Осадок грейферным краном выгружают из осадочной камеры отстойника в железнодорожные вагоны и направляют для повторного использования на аглофабрику.

Мелкодисперсная фракция, не осевшая в узлах гидроклассификации, распределяется по гидроциклонам-флокуляторам (4), где сгущается на днище, а осветленная горячая вода по трубопроводам подается на трехсекционные градирни и вентиляторную брызгального типа (12). Градирни осуществляют охлаждение оборотной воды с концентрацией взвешенных частиц до 200 мг/л.

Осажденная суспензия мелкой фракции под действием сил тяжести и центробежных сил в гидроциклоне-флокуляторе сгущается фермой, работающей в автоматическом режиме с помощью скребков и конусного днища флокулятора. Регулировка расхода шламовой суспензии по флокуляторам производится с помощью питательных задвижек.

Сгущенная шламовая суспензия отводится от конусного днища гидроциклона-флокулятора по шламопроводу в приемную камеру сгустителей. Из нее пульпа по шламопроводу равномерно распределяется с помощью питательных задвижек по радиальным сгустителям (5). Осветленная в радиальных сгустителях вода собирается в резервуаре осветленной воды (6), откуда подается на повторную мокрую очистку газа после конвертеров.

Сгущенная шламовая пульпа сгустителей откачивается поочередно одним из работающих шламовых насосов и подается на гидроклассификатор бункеров накопителей (8).

Переливы всех бункеров и секций горизонтального отстойника по самотечному лотку поступают в камеру предосветленной воды (11) с содержанием взвешенных веществ 20–35 г/л, из которой насосными агрегатами перекачиваются в бункер узла гидроклассификации (3) для повторного осаждения взвешенных частиц.

Одним из наиболее проблемных мест в данном процессе является низкая эффективность очистки высокодисперсного шлама, приводящая выносу мелкой фракции твердых частиц вместе с осветленной водой радиальных сгустителей. Это приводит к необходимости регулярной подпитки и разбавления осветленной воды, повторной очистки предосветленной воды и сбросу части потока в шламонакопители. Это связано с тем, что мелкодисперсная фаза не полностью оседает в радиальных сгустителях даже после флокуляции в гидроциклонах-флокуляторах, выносится из них и загрязняет оборотную воду. Причиной этого является тот факт, что при непрерывной работе водооборотного цикла мокрой газоочистки нагрузка на основные водоочистные аппараты (прежде всего флокуляторы) может превышать проектные значения. Указанное является следствием двух причин:

– увеличением нагрузки от газоочисток и переливами в магистраль предосветленной воды сгущённого шлама радиального сгустителя при перегрузке в бункера-накопители;

– снижение скоростей осаждения мелкодисперсных частиц вследствие передозировки химических реагентов (флокулянтов), что приводит к увеличению вязкости и стабилизации шламовой суспензии.

Вышеизложенные обстоятельства приводят к периодическому ухудшению качества очистки воды флокуляторами и радиальными сгустителями.

При достижении предельного загрязнения очищаемой воды флокуляторами для поддержания количества взвешенных веществ в оборотной воде в пределах установленной нормы 200 мг/л происходит «продувка системы» – сброс сгущённого продукта радиальных сгустителей во внешний шламонакопитель (7) и дозаправка чистой водой системы.

Отсутствие единого научно-обоснованного подхода к описанию специфики процессов, происходящих при флокуляции мелкодисперсных шламов и илов, приводит к необходимости дополнительных лабораторных исследований и промышленных испытаний оборудования по очистке реальных сточных вод в каждом конкретном случае. Поэтому, с целью выявления возможности улавливания мелких частиц и возврата очищенной воды в водооборот, были проведены промышленные испытания с использованием модуля очистки сточных вод БФЯИ 3400.00.00.000 (далее – Модуль) производства НТЦ «Экомаш» (г. Харьков, Украина).

При работе Модуля очистка от взвешенных веществ, производится методом отстаивания в тонкослойном отстойнике. Интенсификация процессов осаждения взвешенных веществ в отстойнике происходит за счет применения флокулянтов и предварительной подготовки шламовых вод по концентрации веществ путем разбавления. Сгущенный продукт тонкослойного отстойника обезвоживается в осадительной центрифуге типа ОГШ (осадительная горизонтальная центрифуга со шнековой выгрузкой осадка).

Наладке технологии Модуля предшествуют лабораторные исследования шламовых вод, по результатам которых настраивается режим работы аппаратов Модуля. Принципиальная схема цепи аппаратов Модуля более подробно описана в [4].

3. Цель и задачи исследования

Цель исследования – совершенствование системы очистки и разработка технических решений по реконструкции комплекса оборудования по улавливанию мелкодисперсного шлама газоочисток различными способами обезвоживания.

Для достижения поставленной цели необходимо:

1. Проанализировать особенности работы системы очистки шламовых вод водооборотного цикла мокрой газоочистки.
2. Провести лабораторные исследования состава и свойств реальных шламов водооборотного цикла мокрой газоочистки.

3. Провести промышленные испытания по очистке шлама металлургического производства и определить эффективность методики лабораторных тестов.

4. Исследование существующих решений проблемы

Основным методом использования шламов газоочисток конвертеров является добавка их к агломерационной шихте. Для утилизации шлама на аглофабрике конвертерный шлак должен быть предварительно обезвожен. Наиболее распространенной схемой обезвоживания шлама на металлургических предприятиях является схема, предусматривающая сгущение шламовой пульпы в радиальных сгустителях и отстойниках различной конструкции [5], фильтрование на фильтр-прессах или сушку в сушильных барабанах.

Сточные воды газоочисток кислородно-конверторных цехов, мартеновских и электросталеплавильных печей относятся к недостаточно изученным разновидностям сточных вод. Главной отличительной особенностью этих сточных вод является крайне неравномерный состав загрязнений в течение одного технологического цикла (плавки), зависящий от многих факторов, например, состава шихты.

Как правило, сточные воды системы газоочистки металлургического предприятия содержат большое количество мелкодисперсных частиц и являются сложными полидисперсными суспензиями [1]. Для очистки высокодисперсных шламов, содержащих сложный химический состав твердой фазы, применяют химическое усиление седиментационных процессов путем введения флокулянтов и коагулянтов [6, 7]. Общие рекомендации по применению реагентов при очистке шламовых вод сводятся к подбору типа и дозы реагентов для очистки конкретного вида шлама определенной концентрации и физико-химических свойств.

Среди методов интенсификации очистки шламов различных производств с полидисперсным составом применяют неионогенные флокулянты [8, 9], ионогенные (катионогенные и анионогенные) флокулянты [10], их сочетание между собой [11], коагулянты в сочетании с флокулянтами [12, 13].

Несмотря на обилие публикаций по флокуляции-коагуляции шламов различного происхождения в практике очистки воды приходится подбирать нужный реагент и оборудование, обеспечивающие в совокупности требуемую эффективность очистки, в зависимости от особенностей процесса в каждом конкретном случае. Это происходит вследствие многофакторности процесса агрегации частиц, который зависит от дисперсности и концентрации твердой фазы [14, 15], pH, содержания растворенных солей [16] и др.

Для этих целей необходимо проводить как лабораторные исследования, так и промышленные испытания на реальных шламах действующего производства.

5. Методы исследования

Исследование проводили в два этапа: в лабораторных и промышленных условиях.

Лабораторные исследования проб шламовых вод мокрой газоочистки кислородо-конвертерного цеха, взятые из различных мест водооборотного цикла, проводились на предмет:

- 1) определения гранулометрического состава и распределение массы шлама по классам с использованием виброанализатора ВА-В01 (Украина);
- 2) в пробах шламовых вод определялось содержание взвешенных веществ в 1 дм^3 по стандартной методике;
- 3) рассчитывалась плотность твердого продукта шламов, как средняя величина, так и плотность шламов в каждом отдельном классе.

Для определения плотности шлама разных фракций пробы шлама, отобранные в радиальном сгустители, просеивали через сита с прозорами 20, 40, 60, 100 мкм. Полученную твердую фазу по фракциям смешивали с осветленной водой, плотность которой составляла $1002,1 \text{ кг/м}^3$. Затем измеряли кинетику осаждения и рассчитывали плотность каждой фракции.

По результатам определения плотности шлама рассчитана плотность пульпы шламовых вод в зависимости от содержания твердой фазы. Материалы оформлены в виде графика зависимости веса 1 л пульпы от сухой массы твердой фазы. Результаты расчета сопоставляли с реальными пробами шлама.

С целью оценки эффективности применения химических реагентов, используемых в настоящее время для флокуляции шлама мокрой газоочистки, проводилось сравнение дозировки в тестовые пробы анионного флокулянта ТФК-19 и используемых на предприятии реагентов анионного флокулянта PuroFloc 1011 и коагулянта PuroTech RO510. Реагенты добавлялись в пробу шлама объемом 500 мл с концентрацией твердой фазы $1331,5 \text{ мг/л}$ в различном сочетании и количестве. После перемешивания проб определялась скорость осаждения флоккул шлама до и после механических воздействий по методике лабораторных тестов, подробно описанных в [14, 15].

В ходе промышленных испытаний шламовые воды с изменяющимся содержанием взвешенных веществ от 20 г/л до 280 г/л подавались в Модуль очистки. В ходе испытаний регистрировались показатели работы Модуля очистки шламовых вод и обезвоживания шламов. Для этого отбирались пробы исходного шлама, очищенной после Модуля воды (фугата центрифуг) и осадка.

6. Результаты исследования

6.1. Результаты исследования действующей водооборотной схемы

В ходе анализа действующей водооборотной схемы были проведены замеры содержания твердой фазы в сгущенном продукте радиальных сгустителей, который по коллектору (с общим расходом $\leq 85 \text{ м}^3/\text{час}$ по мере опорожнения радиального сгустителя) подается в бункера-накопители. Также проведены замеры содержания твердого в предосветленной воде, поступающей в бункера-гидроклассификаторы. Результаты данных замеров представлены на рис. 2.

Средняя величина содержания твердой фазы в шламе радиального сгустителя составляет 200 г/л , что соответствует нагрузке 17 т/час . Обращает на себя внимание тот факт, что в течение $8,5$ часов из 16 часов величина среднего содержания твердой фазы в коллекторе радиального сгустителя была ниже 200 г/л и составляла 88 г/л

(располагаемая средняя нагрузка в коллекторе – 7,5 т/час, при чём 4 часа из 16 часов располагаемая нагрузка фактически составляла ниже 4 т/час).



Рис. 2. График изменения содержания твёрдой фазы в шламе радиального сгустителя и предосветленной воде

Результаты лабораторных исследований гранулометрического состава и концентрации твердой фазы в пробах шлама, отобранных в разных точках водооборотной схемы представлены в табл. 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав и концентрация твердой фазы образцов шлама

Место отбора проб	Выход класса, мкм				Концентрация твердой фазы, г/л
	меньше 20	20...40	60...40	больше 60	
Шлам после мокрой газоочистки	92,98	3,51	3,51	0	2,28
Сгущенный продукт бункера-гидро-классификатора	86,45	10,24	3,31	0	26,56
Сгущенный продукт флокуляторов гидроциклонного типа	91,02	7,18	1,8	0	6,68
Сгущенный продукт радиального сгустителя	79,24	11,12	6,955	2,685	338,2
Проба предосветленной воды	50,76	44,61	4,63	0	84,56

Средняя величина содержания твёрдого в предосветленной воде составляла 35 г/л, что соответствует нагрузке 24 т/час, и при забросах содержания твердого до 85 г/л нагрузка увеличивалась до 59,5 т/час.

Средняя плотность твердого продукта шламов, плотность шламов по классам гранулометрического состава, гидравлическая крупность по классам гранулометрического состава представлено в табл. 2. Средняя плотность твердой фазы в шламе составила 3928,9 кг/м³.

Таблица 2

Зависимость плотности и кинетики осаждения твердой фазы от размера частиц

Размер частиц, мкм	Вес 1 л суспензии, г	Содержание твердой фазы, г/л	Плотность твердого, кг/м ³	Выход, %	Скорость осаждения частиц, мм/с
200...100	1006,1	10,15	1653,9	3,684	6,75...3,5
100...63	1006	8,85	1791,6	3,212	1,7
63...40	1004,5	7,95	1435,4	2,885	0,9...0,56
40...20	1007,75	10,4	2194,1	3,774	0,64...0,28
20...3	1032,7	40	4264,3	86,445	0,7...0,016

На рис. 3 представлен график зависимости веса 1 л пульпы шламовых вод от содержания в нем. Точками обозначены результаты взвешивания и определения содержания твердой фазы в литре шлама по данным лаборатории. Линия представляет собой результаты расчета концентрации твердой фазы в объеме шлама в зависимости от его веса при средней плотности твердого 3900 кг/м³. Эта зависимость позволяет определить приблизительную концентрацию твердой фазы в литре шлама путем взвешивания для оперативного контроля концентрации и отладки технологии очистки шлама, например, дозы химических реагентов.

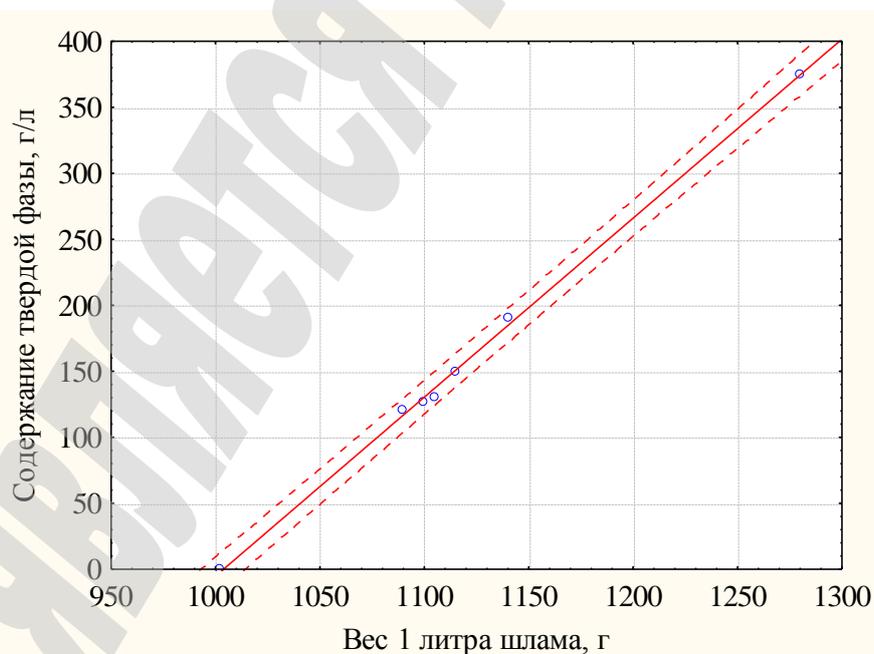


Рис. 3. Зависимости веса 1 л пульпы шламовых вод от содержания в нем твердой фазы

Сравнение дозировки в тестовые пробы анионного флокулянта ТФА-19 и используемых на предприятии реагентов: анионного флокулянта PuroFloc 1011 и коагулянта PuroTech RO510 (рис. 4).

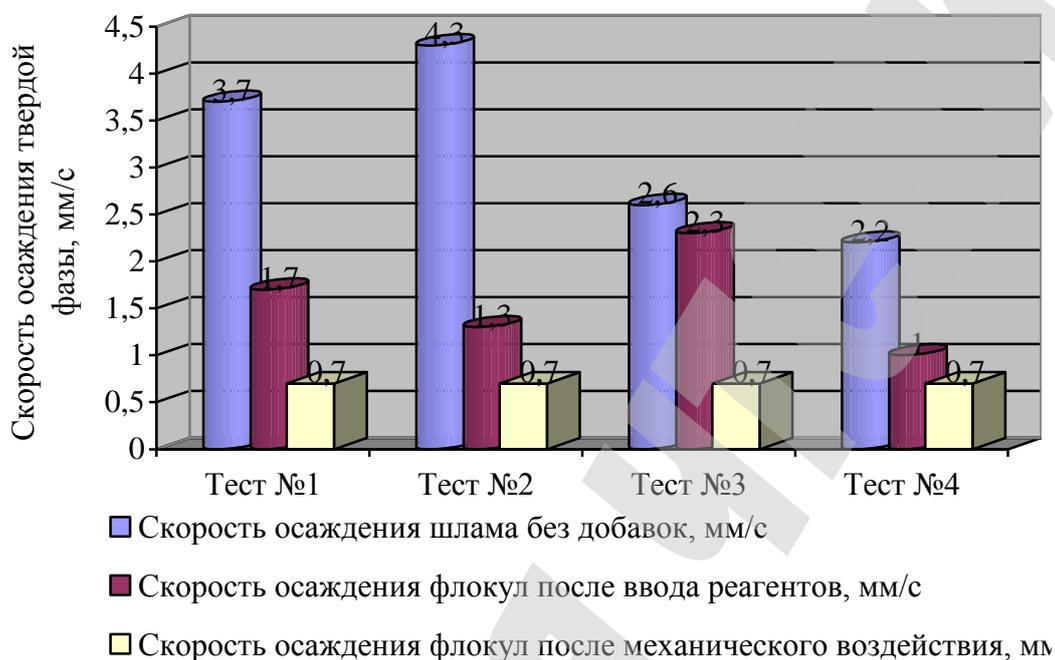


Рис. 4. Скорость осаждения твердой фазы в процессе технологических тестов: *тест № 1* – добавление анионного флокулянта ТФА-19 в количестве 37,57 г/т; *тест № 2* – добавление смеси коагулянт плюс флокулянт (PuroTech RO510 и PuroFloc 1011) в количестве 281+75,1=356,1 г/т; *тест № 3* – добавление флокулянта PuroFloc 1011 в количестве 75,1 г/т; *тест № 4* – добавление смеси коагулянт плюс флокулянт (PuroTech RO510 и ТФА-19) в количестве 37,57+281=318,57 г/т

В результате тестов установлено, что при использовании анионного флокулянта (тест № 1) получены достаточно высокие скорости осаждения с меньшими затратами реагентов (почти в 10 раз меньше по сравнению с тестом № 2). Это позволило рекомендовать применение анионного флокулянта для очистки шламов водооборотного цикла.

6.2. Результаты промышленных испытаний по очистке водооборотной воды

В ходе промышленных испытаний выявлено, что в предосветленной воде, поступающей на Модуль, присутствует избыточное количество химических реагентов (Purotech RO 510 и Puroflock 1011), добавляемых в шламовые воды на участках бункеров классификаторов и флокуляторов. Это приводит к нестабильной агрегации частиц и переменным скоростям осаждения в поле гравитационных сил. Осаждение поступающего шлама в лабораторных цилиндрах показало наличие мелких флокул со скоростью осаждения от 0,7 до 6 мм/с.

При минимальном остаточном содержании химических реагентов Purotech RO 510 и Puroflock 1011 в питании Модуля (когда скорость осаждения шлама без добавки реагентов менее 1 мм/с) достигнута стабильная эффективность

очистки предосветленной воды с использованием анионного флокулянта ТФА-19. Подача флокулянта в Модуль производилась, исходя из лабораторных тестов в химической посуде и тестов из аппаратов Модуля при работе. При этом результаты лабораторных тестов практически совпадали, что позволяет прогнозировать с высокой достоверностью результаты очистки шламовых вод в Модуле по предварительным тестам проб.

В процессе испытаний Модуля очистками с различными центрифугами типа ОГШ установлено, что дозирование флокулянта ТФА-19 в незначительных количествах (примерно 60-80 г/т) позволяет достигнуть степени очистки от взвешенных веществ 98...99 %.

6.3. Анализ результатов работы

В процессе изучения работы системы очистки шламовых вод водооборотного цикла мокрой газоочистки кислородо-конвертерного цеха установлены следующие особенности. При работе системы очистки мокрой газоочистки поступление взвешенных веществ в шламовые воды происходит периодически и неравномерно (рис. 2). Поступление взвешенных веществ зависит от цикличности работы конвертера, количества работающих конвертеров (один или два), типа шихты и других факторов.

Количество подаваемых химических реагентов, не регулируется в зависимости от количества взвешенных веществ в шламовых водах. В процессе работы системы мокрой газоочистки наблюдалась передозировка химических реагентов. Это происходит вследствие увеличения дозы реагентов в зависимости от чистоты осветленной воды. В результате поступления избытка флокулянтов, последующей флокуляции шлама и разрушения флокул в циркуляционной воде накапливается остаточный флокулянт, представляющий обрывки полимерной цепи. Наличие остаточного флокулянта в последующем цикле приводит к низкой эффективности работы новой порции реагентов, так как остатки уже не работающего флокулянта препятствуют адсорбции новой порции одноименного флокулянта (катионного). Таким образом, наблюдается снижение степени отстаивания в радиальных сгустителях и горизонтальных отстойниках, увеличения выноса мелкодисперсной твердой фазы и загрязнение ею оборотной воды. Это, в свою очередь, приводит к увеличению расхода реагентов без подбора новых (например, противоположно заряженных) с понижением качества очистки. Такая тенденция продолжается до сброса части оборотной воды и подпитки системы чистой водой.

Проведенным ситовым анализом (табл. 2) основных потоков шламов установлено, что в шламовых водах после мокрой газоочистки содержится 80–93 % мелкодисперсных частиц размером менее 20 мкм плотностью $\sim 4,3 \text{ г/см}^3$. Средняя плотность составила $3,9 \text{ г/см}^3$. Различная плотность в зависимости от размера твердой фазы может свидетельствовать о различном химическом составе частиц различного размера. Несмотря на высокую плотность, кинетика осаждения мелких частиц в поле земного тяготения без добавки реагентов очень мала.

При сравнении действия различных флокулянтов установлено, что рациональным является использование флокулянта ТФА-19 в количестве 38 г/т

(рис. 4, *тест 1*). Эффективность этого вида флокулянта будет не ниже, чем используемая на предприятии смесь коагулянт плюс флокулянт (рис. 4, *тест 2*). В то же время, дозировка флокулянта ТФА-19 будет существенно ниже (почти в 10 раз). Таким образом, использование существующей химической обработки шламов мокрой газоочистки малоэффективно. Применение анионного флокулянта, противоположно по заряду применяемому на производстве, нивелирует действие остаточного катионного флокулянта, накапливающегося в водооборотном цикле на поверхности мелкодисперсной фазы.

Кроме того, необходимо учитывать колебания концентрации твердой фазы в шламе, которые в течение суток могут изменяться в широких пределах (рис. 2). Для оперативного контроля концентрации твердой фазы в шламе возможно использование зависимости, изображенной на рис. 3. Такая зависимость может быть получена расчетным путем или статистической обработкой данных лаборатории. В результате анализа данных (точек на рис. 3) выведено уравнение зависимости концентрации твердой фазы C_T от веса литра шлама m с коэффициентом детерминации $r^2=0,9985$:

$$C_T = -1363,4612 + 1,3607 \cdot m. \quad (1)$$

Испытания на Модуле очистки подтвердили необходимость корректировки расхода флокулянта в процессе работы и возможность эффективной (98...99 %) очистки шлама при минимальном расходе флокулянта. Дозировка флокулянта оперативно менялась на основании определения концентрации твердой фазы в шламе по формуле (1) или рис. 3, а также определения скорости осаждения флоккул и сравнения ее с *тестом 1* (рис. 4). Таким образом, регулировка количества флокулянта, подаваемого для очистки шлама, должна основываться на лабораторных пробах шлама (определение концентрации твердой фазы) и тестах по флокуляции.

7. SWOT–анализ результатов исследований

Strengths. В результате проведенных экспериментов было установлено, что возможным путем снижения концентрации твердой фазы в водооборотном цикле металлургического производства может быть применение дополнительного модуля очистки, включающего этапы флокуляции, отстаивания и центрифугирования сгущенного в отстойнике шлама. Это позволяет снизить потери воды в результате предотвращения сброса части шлама во внешний шламонакопитель и уменьшить объемы подпиточной воды.

Weaknesses. Для поддержания эффективного режима очистки шламов необходимо постоянно проводить физико-химические исследования их свойств (изменение концентрации твердой фазы), эффективности флокуляции твердой фазы (скорость осаждения флоккул, корректировку дозы и типа реагентов) и качества очистки воды.

Opportunities. Следующим этапом исследований станет изучение факторов, влияющих на процессы флокуляции и осаждения высокодисперсных шламов. Это даст возможность регулировать степень очистки шлама за счет

интенсификации образования агрегатов без увеличения дозы реагентов путем улучшения качественной эффективности процесса.

Threats. Изменение водооборотной схемы и использование дополнительного оборудования и реагентов предусматривает дополнительные материальные затраты. Кроме того, эффективная очистка воды – это многофакторный процесс, так как изменение состава и свойств шлама требует оперативного управления технологией очистки в целом и процессами в отдельных аппаратах, иначе качество очищенной воды будет снижаться. Для этого требуются соответствующие специалисты и дополнительные теоретические и промышленные эксперименты.

8. Выводы

1. В результате анализа особенности работы системы очистки шламовых вод выявлено, что система водооборотного цикла мокрой газоочистки кислородо-конвертерного цеха имеет ряд недостатков, которые могут приводить к ухудшению очистки оборотной воды. Среди них можно выделить колебание концентрации твердой фазы в сгущенном шламе до 500 г/л и предосветленной воде до 85 г/л, а также перерасход химических реагентов.

2. Результаты лабораторных исследований показали высокую долю мелкодисперсной фракции твердой фазы в шламе до 93 % размером менее 20 мкм. Эффективная очистка такого шлама с переменной концентрацией возможна лишь на основании оперативных лабораторных тестов по флокуляции перед вводам реагентов. Для шлама данного производства высокую эффективность показал анионный флокулянт ТФА-19, снижающий негативные эффекты от накопления в системе остатков катионного флокулянта.

3. В результате промышленных испытаний установлено, что максимально эффективная (до 98...99 %) очистка предосветленной воды от взвешенных частиц до требуемых норм водооборотного цикла 200 мг/л обеспечивается Модулем очистки при дозировании анионного флокулянта в количестве 60–80 г/т. При этом технология обработки шламовых вод флокулянтам должна настраивается лабораторными тестами в зависимости от концентрации и свойств твердой фазы.

Література

1. Melnikov, I. T. Investigation of sludge thickening for mining and metallurgical production [Text] / I. T. Melnikov, I. M. Kutlubaev, I. A. Putalev, N. S. Shevtsov, K. P. Vasiluev // Scientific World. – 2013. – Vol. 14, No. 3. – P. 18–25.

2. Radovic, N. Cleaner metallurgical industry in Serbia: A road to the sustainable development [Text] / N. Radovic, Z. Kamberovic, D. Panias // Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly. – 2009. – Vol. 15, No. 1. – P. 1–4. doi:10.2298/ciceq0901001r

3. Kovalenko, A. About gas purification sludges of domain and steel-smelting manufactures [Text] / A. Kovalenko // Eastern-European Journal of Enterprise

Technologies. – 2012. – Vol. 2, No. 12 (56). – P. 4–8. – Available at: \www/URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/3919/3587>

4. Shkop, A. Research of ways to reduce mechanical influence on floccules in a centrifuge [Text] / A. Shkop, M. Tseitlin, O. Shestopalov, V. Raiko // Technology Audit and Production Reserves. – 2017. – Vol. 1, No. 3 (33). – P. 39–45. doi:10.15587/2312-8372.2017.93690

5. Atamaniuk, A. A. K voprosu sgushcheniia suspenzii zhelezosoderzhashchih vzvesei stochnyh vod metallurgicheskogo kombinata «Zaporozhstal» [Text] / A. A. Atamaniuk, A. M. Kasimov // Metallurgicheskaiia i gornorudnaia promyshlennost. – 2012. – No. 5 (227). – P. 95–97.

6. Sulimova, M. A. Metallurgical production waste treatment efficiency increase [Text] / M. A. Sulimova, T. E. Litvinova // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, Conference Proceedings. – 2016. – Vol. 2. – P. 569–576.

7. Sun, Y. Y. Application of Flocculant and Coagulant to Coal Slime Water [Text] / Y. Y. Sun, C. Y. Xu, R. C. Nie, J. H. Zheng // Advanced Materials Research. – 2013. – Vol. 781-784. – P. 2170–2173. doi:10.4028/www.scientific.net/amr.781-784.2170

8. Tripathy, T. Flocculation: A New Way to Treat the Waste Water [Text] / T. Tripathy, B. R. De // Journal of Physical Sciences. – 2006. – Vol. 10. – P. 93–127.

9. Bolto, B. Organic polyelectrolytes in water treatment [Text] / B. Bolto, J. Gregory // Water Research. – 2007. – Vol. 41, No. 11. – P. 2301–2324. doi:10.1016/j.watres.2007.03.012

10. Heller, H. Anionic Polyacrylamide Polymers Effect on Rheological Behavior of Sodium-Montmorillonite Suspensions [Text] / H. Heller, R. Keren // Soil Science Society of America Journal. – 2002. – Vol. 66, No. 1. – P. 19. doi:10.2136/sssaj2002.0019

11. Wang, W.-D. Experimental study on slime water flocculation sediment based on the montmorillonite hydration expansion inhibition [Text] / W.-D. Wang, H.-F. Wang, J.-T. Sun, Y. Sun // Journal of Coal Science and Engineering (China). – 2013. – Vol. 19, No. 3. – P. 530–534. doi:10.1007/s12404-013-0414-y

12. Lopez-Maldonado, E. A. Improving the Efficiency of a Coagulation-Flocculation Wastewater Treatment of the Semiconductor Industry through Zeta Potential Measurements [Text] / E. A. Lopez-Maldonado, M. T. Oropeza-Guzman, A. Ochoa-Teran // Journal of Chemistry. – 2014. – Vol. 2014. – P. 1–10. doi:10.1155/2014/969720

13. Petzold, G. Higher efficiency in the flocculation of clay suspensions by using combinations of oppositely charged polyelectrolytes [Text] / G. Petzold, M. Mende, K. Lunkwitz, S. Schwarz, H.-M. Buchhammer // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2003. – Vol. 218, No. 1-3. – P. 47–57. doi:10.1016/s0927-7757(02)00584-8

14. Shkop, A. Exploring the ways to intensify the dewatering process of polydisperse suspensions [Text] / A. Shkop, M. Tseitlin, O. Shestopalov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 6, No. 10 (84). – P. 35–40. doi:10.15587/1729-4061.2016.86085

15. Shkop, A. Study of the strength of flocculated structures of polydispersed coal suspensions [Text] / A. Shkop, M. Tseitlin, O. Shestopalov, V. Raiko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 1, No. 10 (85). – P. 20–26. doi:10.15587/1729-4061.2017.91031

16. Konduri, M. K. R. Influence of pH and ionic strength on flocculation of clay suspensions with cationic xylan copolymer [Text] / M. K. R. Konduri, P. Fatehi // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2017. – Vol. 530. – P. 20–32. doi:10.1016/j.colsurfa.2017.07.045

Не являється перевідом