



УДК 669.184.15:628.35

**С.И. ЭПШТЕЙН**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник,**З.С. МУЗЫКИНА**, канд. техн. наук, ученый секретарь, **А.Ю. КАПУСТЯК**, научный сотрудник,**Ю.А. ШЛЯХОВА**, младший научный сотрудник, **М.А. БЛАЖКО**, младший научный сотрудник

Государственное предприятие «Украинский научно-технический центр металлургической промышленности «Энергосталь» (ГП «УкрНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

## ПРИМЕНЕНИЕ ФЛОКУЛЯНТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ШЛАМОВОЙ ПУЛЬПЫ ОБОРОТНОГО ЦИКЛА ГАЗООЧИСТОК КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОГО ЦЕХА МЕТКОМБИНАТА «АЗОВСТАЛЬ»

Приведены результаты исследований по обработке оборотной воды газоочисток кислородно-конвертерного цеха ПАО «МК «Азовсталь» флокулянтами. Установлено, что при добавлении в шламовую пульпу флокулянтов скорость формирования осадка увеличивается вдвое. Рекомендовано вводить флокулянты в пульпу, подаваемую на сгустители.

**Ключевые слова:** карбонатные отложения, аппараты газоочистки, оборотный цикл, интенсивность отложений, реагенты-ингибиторы, флокулянты, коагулянты.

В оборотных циклах водоснабжения газоочисток кислородно-конвертерных цехов (ККЦ) имеют место карбонатные отложения в аппаратах газоочисток, трубопроводах и шламопроводах. Для предотвращения их образования на многих металлургических предприятиях применяют обработку воды реагентами-ингибиторами. Вместе с тем установлено [1], что применение таких реагентов может привести к ухудшению осветления воды в отстойных сооружениях. Для устранения негативного влияния стабилизационной обработки на осаждение взвеси и повышения эффективности отстойных сооружений оборотного цикла применяют флокулянты и коагулянты.

Весьма важным является решение вопроса о сгущении и обезвоживании шламов и улучшении работы сгустителей, что в итоге окажет положительное влияние на работу всего оборотного цикла. Авторами были проведены исследования по интенсификации процесса повышения концентрации твердой фазы в сгустителях оборотного цикла газоочисток ККЦ ПАО «МК «Азовсталь».

В настоящее время слив сгустителей направляется в камеру осветленной воды оборотного цикла газоочисток ККЦ. Ввиду неудовлетворительной работы сгустителей слив содержит значительное количество твердых компонентов, поэтому его добавление к осветленной воде повышает содержание в ней взвешенных веществ (т.е. увеличивает концентрацию взвеси в воде, подаваемой на газоочистку). В отчетах ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» [2] уже неоднократно отмечалось, что слив сгустителей следует направить на узел дегазации, откуда, смешавшись со шламовой водой, поступающей от газоочисток,

он будет подаваться на повторную очистку во флокуляторы. Однако и при такой схеме следует добиваться максимального сгущения осадка в сгустителях, чтобы повысить степень его дальнейшего уплотнения в бункерах.

Применение коагулянтов и флокулянтов с целью интенсификации процессов сгущения широко известно в практике обогащения руд и углей. В частности, в работе [3] отмечено, что для ускорения осаждения суспензий применяются различные реагенты, в т.ч. такой известный флокулянт, как полиакриламид (рекомендуемая доза – 0,15–2,0 г на 1 м<sup>3</sup> суспензии). Согласно [4] оптимальная доза флокулянта колеблется в пределах 50–100 г на 1 т твердого, или 50–100 мг/кг. В работе [5] указано, что расход флокулянта для улучшения сгущения составляет 0,1–1,0 г/м<sup>3</sup>.

В проведенных авторами исследованиях в качестве флокулянтов использовали реагенты PF-920 и PF-1011, производимые предприятием «Технохимреагент» (в последнее время флокулянт PF-1011 применяется для обработки циркуляционной воды оборотного цикла газоочисток ККЦ).

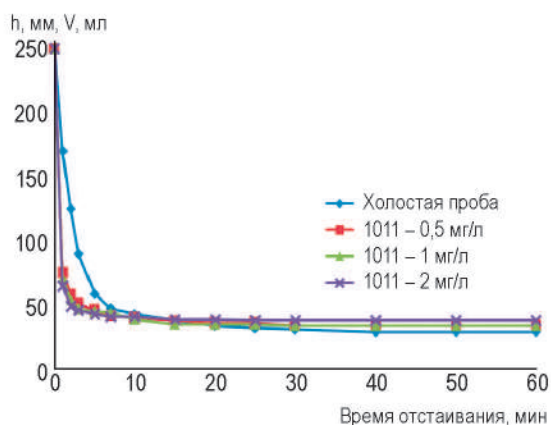
В ходе исследований в оборотную воду дозировали ингибитор накипеобразования PuroTech 110 в количестве 60 кг за 12 часов (т.е. 5 кг/час при 120 кг в сутки), хотя ранее было предусмотрено другое дозирование – 120 кг за 12 часов (10 кг/час) с одновременной подачей реагента на трубу Вентури в количестве 5 г/м<sup>3</sup>, причем только во время продувки, т.е. примерно в течение 15–18 мин за каждую плавку. В сутки производится около 45 плавков, а расход воды на трубу Вентури составляет около 400 м<sup>3</sup>/час (100 м<sup>3</sup> за одну плавку). Исходя из этого рас-

ход ингибитора, подаваемого на трубу Вентури, составляет  $G_{\text{прод}} = 5 \cdot 100 \cdot 45 = 22500$  (г/сут).

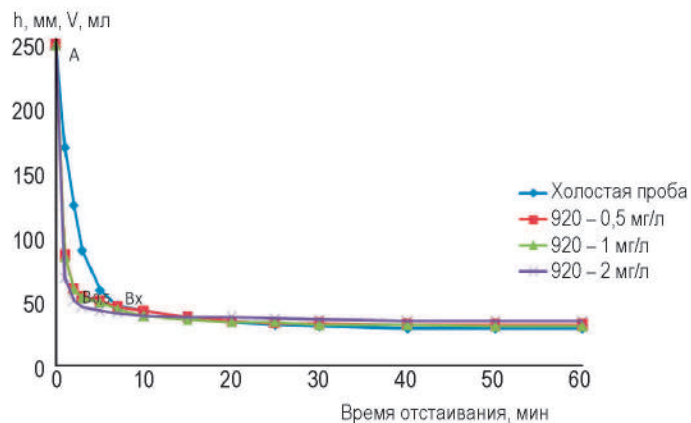
Таким образом, масса ингибитора, вводимого в оборотный цикл через трубу Вентури, составляет менее 20 % от того количества, которое постоянно поступает в воду через приемные камеры осветленной воды. То обстоятельство, что во время проведения исследований ингибитор на трубу Вентури не подавался, не могло существенно сказаться на результатах экспериментов.

Методика исследований заключалась в следующем. Шламовая пульпа, отобранная на выходе одного из флокуляторов (№ 7 или № 10), разливалась в семь мерных цилиндров емкостью 250 мл, куда добавлялись флокулянты (PF-920 или PF-1011) в дозах 0,5; 1,0; 2,0 мг/дм<sup>3</sup>. Пульпу перемешивали и фиксировали скорость опускания верхней границы слоя шлама. Исходная концентрация шлама составляла 24,5 г/дм<sup>3</sup> и 38 г/дм<sup>3</sup> (в среднем 31,25 г/дм<sup>3</sup>).

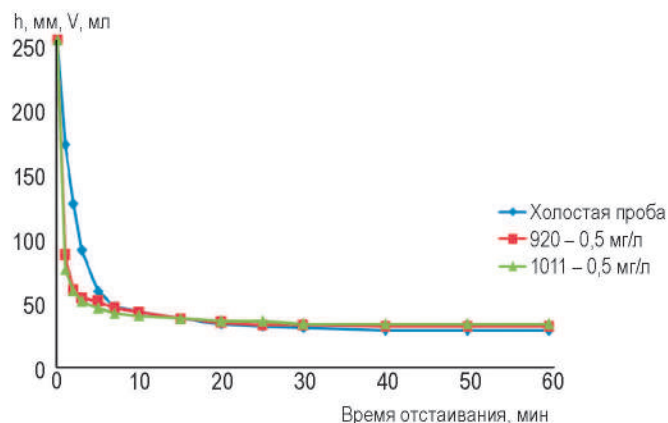
Результаты экспериментов приведены в табл. 1 и на рис. 1–5. На этих рисунках по осям отложены: время отстаивания в минутах (ось абсцисс); отметка уровня верхней границы осадка (в мм) и занимаемый им объем (в мл) (ось ординат), который в данных экспериментах был численно равен отметке уровня. Как следует из полученных результатов, применение флокулянтов на первых минутах отстаивания интенсифицирует процесс осаждения взвешенных веществ, но начиная с некоторого момента  $t_p$  (в данном случае для различных видов и доз флокулянтов  $10 \text{ мин} < t_p < 20 \text{ мин}$ ) уровень верхней границы для осадков, не обработанных флокулянтом, ниже, чем для осадков, содержащих их. Это означает, что концентрация твердого в осадках, полученных без применения флокулянтов, выше, чем в осадках с флокулянтами, причем, как это видно из табл. 1 и рис. 1–5, чем больше доза флокулянта, тем меньше концентрация осадка.



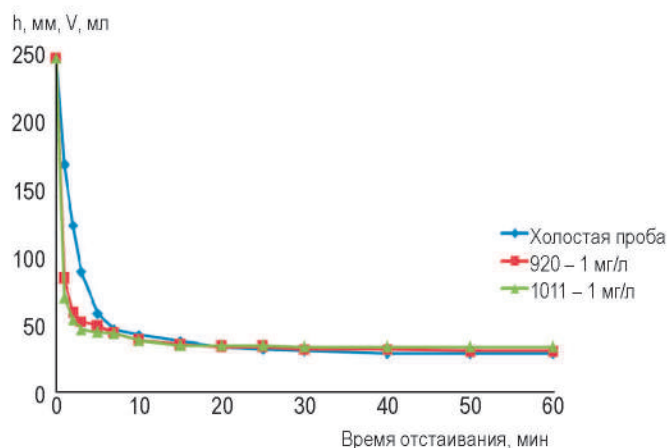
**Рисунок 1 – Графики изменения уровня верхней границы осадка при различных дозах флокулянта PF-1011 (усредненные значения)**



**Рисунок 2 – Графики изменения уровня верхней границы осадка при различных дозах флокулянта PF-920 (усредненные значения)**



**Рисунок 3 – Сопоставление графиков осаждения и уплотнения осадка при использовании флокулянтов PF-920 и PF-1011 в дозировке 0,5 мг/дм<sup>3</sup>**

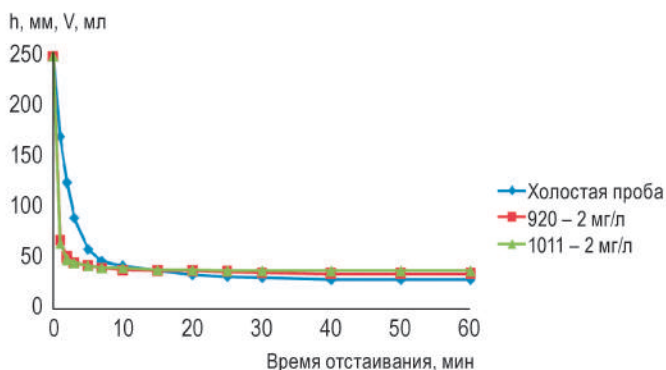


**Рисунок 4 – Сопоставление графиков осаждения и уплотнения осадка при использовании флокулянтов PF-920 и PF-1011 в дозировке 1 мг/дм<sup>3</sup>**



Таблица 1 – Уровень верхней границы осадка при различных видах и дозах флокулянтов ( $C_{\text{исх. ср}} = 31,2 \text{ г/дм}^3$ , доза ингибитора Rigotech 110–2 мг/дм<sup>3</sup> оборотной воды)

Время от- стаива- ния, мин	Без обработки			PF-920 0,5 мг/л			PF-1011 0,5 мг/л			PF-920 1мг/л			PF-1011 1 мг/л			PF-920 2 мг/л			PF-1011 2 мг/л		
	Номер эксперимента		Сред- нее	Номер эксперимента		Сред- нее	Номер эксперимента		Сред- нее	Номер эксперимента		Сред- нее	Номер эксперимента		Сред- нее	Номер эксперимента		Сред- нее	Номер эксперимента		Сред- нее
	1	2		1	2		1	2		1	2		1	2		1	2		1	2	
0	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
1	190	150	170	110	62	86	90	60	75	110	60	85	80	62	71	75	62	68,5	80	50	65
2	160	90	125	80	40	60	78	40	59	80	40	60	68	40	54	62	40	51	62	36	49
3	110	70	90	70	38	54	64	38	51	70	36	53	58	36	47	56	36	46	58	34	46
5	80	38	59	68	34	51	60	32	46	67	32	49,5	58	32	45	54	32	43	54	32	43
7	60	34	47	60	32	46	54	30	42	58	30	44	58	30	44	50	32	41	50	32	41
10	54	32	43	54	32	43	50	30	40	50	28	39	48	30	39	48	30	39	50	32	41
15	48	28	38	48	28	38	48	28	38	44	28	36	46	28	37	48	29	38	49	31	40
20	42	26	34	42	28	35	44	28	36	40	28	34	45	28	36,5	48	28	38	48	31	39,5
25	40	24	32	41	28	34,5	44	28	36	40	28	34	44	27	35,5	46	28	37	47	31	39
30	38	24	31	40	27	33,5	43	27	35	38	26	32	43	26	34,5	46	27	36,5	46	31	38,5
40	36	23	29,5	38	27	32,5	42	27	34,5	37	26	31,5	42	26	34	44	27	35,5	46	30	38
50	36	22	29	38	26	32	42	26	34	36	26	31	42	25	33,5	44	26	35	45	30	37,5
60	35	22	28,5	37	26	31,5	41	26	33,5	35	26	30,5	41	25	33	43	26	34,5	45	29	37



**Рисунок 5 – Сопоставление графиков осадения и уплотнения осадка при использовании флокулянтов PF-920 и PF-1011 в дозировке 2 мг/дм<sup>3</sup>**

В условиях ККЦ ПАО «МК «Азовсталь» шлам из сгустителей направляется на дальнейшее уплотнение в бункера и там доводится до концентрации около 1130 кг/м<sup>3</sup> (влажность 40 %). Поэтому некоторое снижение концентрации твердого в шламовой пульпе при использовании флокулянтов не должно сказаться отрицательно на процессе дальнейшей обработки осадка. Однако применение флокулянтов приведет к снижению концентрации взвешенных веществ в сливе сгустителей и (при существующей схеме оборотного цикла) получению более чистой воды, направляемой на газоочистку. Это можно показать исходя из следующих соображений. Рассмотрим рис. 6 [3].

Как известно, в процессе сгущения осадка различают несколько стадий [3]. На рис. 6 график понижения уровня осадка схематически представлен ломаной линией ABC, причем отрезок АВ описывает стадию формирования осадка, отрезок ВС – стадию его уплотнения, а горизонтальная линия после точки С – состояние уплотненного осадка, объем которого при отстаивании уже не изменяется. (Следует отметить, что время уплотнения осадка для разных материалов может колебаться от нескольких минут до нескольких суток.) В реальных условиях участки АВ и ВС – это не отрезки прямых, а кривые. Тем не менее на графике изменения толщины слоя осадка (например, на рис. 2) можно указать точку В, являющуюся границей между периодами формирования осадка и его дальнейшего уплотнения.

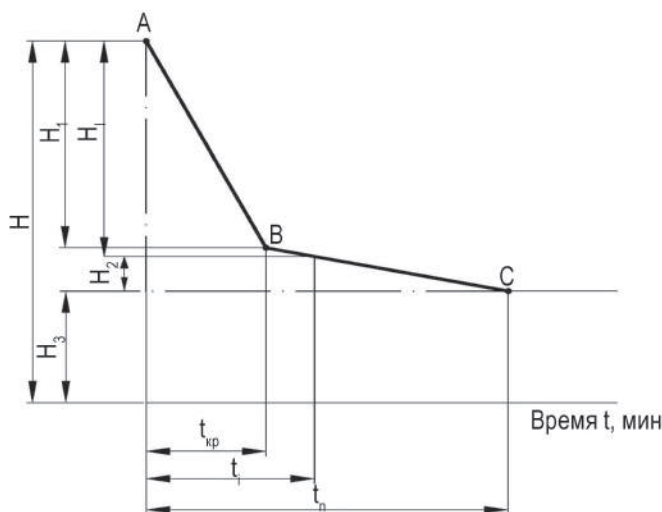
Скорость опускания верхней границы осадка в период его формирования определяется по формуле

$$V_{\text{форм}} = \frac{H_A - H_B}{t_B}, \tag{1}$$

где  $H_A$  – высота слоя пульпы перед началом осадения, т.е. при  $t = 0$ ;

$H_B$  – отметка точки В на графике опускания верхнего уровня осадка;

$t_B$  (абсцисса точки В) – время завершения формирования осадка.



**Рисунок 6 – Кривая процесса сгущения:**

$H$  – общая высота шлама в цилиндре;  $H_1$  – высота зоны свободного осадения;  $H_2$  – высота зоны уплотнения (сжатия) осадка;  $H_3$  – высота осадка;  $t_{кр}$  – время осадения частиц и уплотнения осадка;  $t_n$  – полное время осадения частиц и уплотнения осадка

В качестве примера рассмотрим результаты экспериментов по обработке флокулянтном PF-920 шламовой пульпы, подаваемой на сгустители (рис. 2). На кривых 1 и 2 нанесены точки  $B_x$  и  $B_{0,5}$ , которые можно считать границами между участком формирования осадка и участком уплотнения для случаев, когда реагент не применяется и когда применяется в дозе 0,5 мг/дм<sup>3</sup>. Точке  $B_x$  соответствуют значения  $H_B = 46$  мм и  $t_B = 7$  мин = 420 с. Скорость опускания верхней границы в период формирования осадка

$$V_{\text{форм}} = \frac{250 - 46}{420} = 0,48 \text{ мм/с.}$$

Точке  $B_{0,5}$  соответствуют  $H_B = 54$  мм и  $t_B = 3$  мин = 180 с. Отсюда

$$V_{\text{форм } 0,5} = \frac{250 - 54}{180} = 1,09 \text{ мм/с.}$$

В настоящее время на сгустители, согласно балансовой схеме оборотного цикла газоочистки ККЦ, подается 430 м<sup>3</sup> шламовой пульпы. Площадь одного радиального сгустителя – 256 м<sup>2</sup>. Средняя удельная гидравлическая нагрузка на сгустители составляет

$$q_{\text{сп}} = \frac{430}{3 \cdot 256} = 0,56 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{час}) \approx 0,16 \text{ мм/с.}$$

Учитывая, что коэффициент использования объема радиальных отстойников имеет значение 0,45 (а конструкция сгустителя совершенно идентична конструкции



радиального отстойника), фактическую рабочую нагрузку следует принять равной  $0,16:0,45=0,35$  (мм/с).

Таким образом, при отсутствии обработки флокулянтами шламовой пульпы, подаваемой на сгустители, скорость опускания верхней границы близка к фактической удельной нагрузке на сгустители, а при обработке воды флокулянтами скорость опускания верхней границы осадка в период его формирования в  $1,09:0,35=3$  раза больше фактической удельной нагрузки. Это говорит о том, что обработка флокулянтами шламовой пульпы, подаваемой на сгустители, значительно повысит степень осветления воды, т.е. приведет к снижению концентрации взвешенных веществ в сливах сгустителей.

Аналогичный вывод можно сделать и при рассмотрении целесообразности применения флокулянта PF-1011.

Возникает вопрос о том, какой реагент целесообразнее применять. Из приведенных данных (табл. 1 и рис. 1–5) следует, что в начальной стадии флокулянт PF-1011 оказывается эффективнее, чем PF-920, но в такой незначительной степени, что это практически не влияет на скорость формирования осадка (по сравнению со случаем, когда флокулянты не используются). Однако рассмотрение «хвостов» кривых уплотнения осадка показывает, что концентрация твердого в уплотненном шламе больше при использовании флокулянта PF-920. Поэтому для улучшения работы сгустителей рекомендуется использовать именно его.

Анализируя полученные данные, можно отметить, что повышение дозы флокулянта несколько ускоряет процесс формирования осадка (опять же – в весьма малой степени), но приводит к снижению концентрации твердого в уплотненном осадке. Поэтому целесообразно остановиться на дозе  $0,5$  мг товарного продукта на  $1$   $\text{дм}^3$  суспензии, т.е.  $0,5$   $\text{г/м}^3$ . Если концентрация реагента в нем составляет  $20$ – $25$  %, то  $0,5$   $\text{г/м}^3$  по товарному продукту соответствует  $0,1$ – $0,125$   $\text{г/м}^3$  по безводному веществу. Эти цифры близки к нижней границе диапазона доз полиакриламида ( $0,15$ – $2,0$   $\text{г/м}^3$ ), рекомендуемой в работе [4].

## ВЫВОДЫ

В промышленных условиях с использованием шламовой пульпы, поступающей из флокуляторов оборотного цикла газоочисток ККЦ, проведены исследования по

сгущению шлама, подаваемого на сгустители (для интенсификации процесса сгущения использованы флокулянты PF-1011 и PF-920). Они показали, что для улучшения работы сгустителей целесообразно добавлять в пульпу флокулянт PF-920 в количестве  $0,5$   $\text{г/м}^3$ .

Лабораторными исследованиями установлено, что при добавлении в шламовую пульпу флокулянтов скорость формирования осадка увеличивается в два раза. Из этого следует, что при введении флокулянтов в пульпу, подаваемую на сгустители, содержание твердого в сливе значительно уменьшится.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Эпштейн, С.И.** Исследования по флокуляционной обработке воды оборотного цикла газоочисток конвертеров / С.И. Эпштейн, А.Ю. Капустяк, Ю.А. Щербак, А.В. Прокопенко, А.С. Доброскок // Экология и промышленность. – 2012. – № 4. – С. 31–36.
2. Анализ действующих режимов работы газоотводящего тракта конвертеров № 1 и 2 конвертерного цеха ПАО «МК «Азовсталь» и разработка мероприятий по повышению интенсивности кислородной продувки и улучшению эксплуатационных характеристик оборудования газоотводящего тракта, в том числе увеличению межремонтного периода работы и его оборудования, при увеличении стойкости футеровки до  $7000$ – $9000$  плавов : отчет о НИР / ГП «УкрНТЦ «Энергосталь». – Х., 2012. – 183 с.
3. **Руденко, Н.Г.** Обезвоживание и пылеулавливание на обогатительных фабриках / Н.Г. Руденко, М.М. Шемаханов. – М.: Недра, 1967. – 372 с.
4. ВНТЦ 1-37-80. Указания и нормы технологического проектирования и технико-экономические показатели энергетического хозяйства предприятий черной металлургии. Металлургические заводы. Т. 14. Очистные сооружения и защита водоемов. – М.: Минчермет, 1981. – 131 с.
5. **Баттаглия, А.** Обезвоживание продуктов обогащения и циркуляции моечных вод : пер. с польского / А. Баттаглия. – М.: Недра, 1967. – 307 с.

*Поступила в редакцию 12.08.2013*

Наведено результати досліджень з обробки оборотної води газоочисток киснево-конвертерного цеху ПАТ «МК «Азовсталь» флокулянтами. Встановлено, що при додаванні в шламову пульпу флокулянтів швидкість формування осаду збільшується вдвічі. Рекомендовано вводити флокулянти в пульпу, що подається на згущувачі.

Results of investigation on treating with flocculants circulating water of gas purifications in oxygen-converter shop at PbjSC «Iron & Steel Works «Azovstal» are given. It is established that, when adding flocculants into slag pulp rate of precipitate formation is doubled. It is recommended to introduce flocculants into pulp delivered to thickeners.