

УДК 628.316.13

Е.В. ЯКОВЛЕВА

аспирант, ассистент кафедры водоснабжения и водоотведения
Ростовский государственный строительный университет

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И ГИДРОДИНАМИКИ ПРИМЕНЕНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ И АЛЮМИНИЙСОДЕРЖАЩИХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

COMPARATIVE EVALUATION OF EFFICIENCY AND HYDRODYNAMICS APPLICATION OF THE WASTE OF THE PRODUCTION OF ALUMINIUM AND ALUMINIUMCONTAINED REAGENTS FOR WASTEWATER TREATMENT

Представлен сравнительный анализ применения шлама гидроалюмината натрия и известных коагулянтов для очистки и проведено пробное коагулирование химически загрязненных сточных вод завода «Ростсельмаш», произведен сравнительный выбор типа коагулянта ранжированием по эквивалентным процентам рабочих параметров, по критерию Кэмпна проверено соответствие гидродинамических и конструктивных параметров работы камер хлопьеобразования с лопастными мешалками требуемым.

Ключевые слова: утилизация отходов, реагенты, гидроалюминат натрия, пробное коагулирование, критерий Кэмпна, ранжирование.

Утилизация отходов является одной из важнейших проблем промышленных производств. Из множества потенциальных вариантов утилизации представляет интерес возможность применения отходов производств в качестве реагентов для очистки сточных вод.

На ОАО «Белокалитвенское металлургическое производственное объединение» (г. Белая Калитва Ростовской области) из производственных сточных вод (расход около 1000 м³/сут) выделяется более 1 т алюминийсодержащего шлама (по сухому веществу) [1].

Алюминийсодержащий шлам при pH около 9-10 в основном представлен алюминатами, которые находятся в виде гидратированных твердых частиц, что позволяет говорить о возможности получения из этого шлама гидроалюмината натрия (ГАН) и использования его для очистки сточных вод [2].

Цель исследований: сравнительный анализ применения шлама гидроалюмината натрия и известных алюминийсодержащих коагулянтов для очистки химически загрязненных сточных вод завода «Ростсельмаш».

The article shows the comparative analysis of the application of sludge hydroaluminat of sodium and famous coagulants for purification of chemical contaminated wastewater, trial coagulating chemical contaminated wastewater plant «Rostselmash», comparative selection of the type coagulant ranking on equivalent per cent of operating parameters, according to the Kamp's criterion checking hydrodynamic and structural parameters of the cameras flocculation with the paddle mixers required.

Key words: waste disposal, reagents, hydroaluminat of sodium, trial coagulation, Kamp's criterion, ranking.

Методика проведения активации шлама состояла в следующем:

- 1) навеска шлама по 50 г в три мерных цилиндра;
- 2) введение в первый цилиндр 100 мл 0,1 н раствора H₂SO₄, во второй – тот же объем 1,1 н раствора HCl, в третий – H₂O;
- 3) перемешивание в течение 10 мин;
- 4) отстаивание 30 мин;
- 5) измерение процентного соотношения осветленной воды и осадка в отстаившемся растворе.

Эффективность способа активации шлама, содержащего ГАН, определяли по прозрачности (табл. 1).

С активированным таким образом шламом проводили пробное коагулирование химически загрязненных сточных вод завода «Ростсельмаш», по среднестатистическим данным анализов лаборатории и за I-III кварталы 2013 г., содержащих взвешенные вещества - 200 мг/л, сухой остаток - 1455 мг/л, хлориды - 160 мг/л, сульфаты - 502 мг/л, нефтепродукты - 96 мг/л, железо общее - 5,88 мг/л, цинк - 0,24 мг/л, медь - 0,034 мг/л, алюминий - 0,24 мг/л; pH - 8,52.

Таблица 1

Подготовка ГАН к использованию в качестве коагулянта

№ п/п	Способ активации рабочего раствора	Содержание осветленной воды/осадка в растворе, %	Прозрачность по кольцу, см
1	ГАН, активированный H_2SO_4 (рН = 5)	17/83	2,8
2	ГАН, активированный HCl (рН = 5)	21/79	3,8
3	ГАН + H_2O (рН = 7)	11/89	2,5
4	ГАН исходный	0/100	0

Примечание. Влажность исходного ГАН, отобранного из отстойника, – 97,5%, концентрация Al в ГАН – 23 г/л.

При проведении пробной коагуляции обеспечивались все необходимые условия [2].

Для быстрого объемного распределения коагулянта использовали лабораторный флокулятор марки ПЭ-8800, который обеспечивал возможность регулирования частоты вращения и время перемешивания.

Для перемешивания применяли следующий режим:

1) холостое перемешивание (без добавления коагулянта) - 2 мин;

2) введение коагулянта, при необходимости введение флокулянта в течение 30 с;

3) 2 мин быстрое перемешивание – 200 $мин^{-1}$;

4) 10 мин медленное перемешивание – около 40 $мин^{-1}$.

После перемешивания вынимали мешалки и отстаивали воду в течение 20-30 мин.

Температура воды на протяжении всего периода проведения пробной коагуляции поддерживали постоянной ($t = 19 \pm 22$ °С): разница между начальным и конечным значением температур воды не превышала 2-3 °С; рН воды колебалось в пределах 5-7.

Результаты пробного коагулирования отражены на диаграммах (рис. 1-3).

По полученным результатам можно сделать следующие выводы:

1) оптическая плотность воды с добавлением ГАН, активированного соляной кислотой, меньше, чем оптическая плотность воды с добавлением ГАН, активированного серной кислотой;

2) фильтрат раствора ГАН, активированного кислотой, предпочтительней использовать в качестве коагулянта, чем непосредственно сам раствор;

3) показатели эффективности «Аква-АуратаTM30», применяемого для очистки сточных вод завода «Ростсельмаш», и ГАН, активированного соляной кислотой, в сравниваемых условиях весьма близки.

Стоимость «Аква-АуратаTM30», при содержании в товарном продукте активной части Al_2O_3 30% – 29 000 р./т, а стоимость доставки шлама ГАН –

3860 р./т (по состоянию цен на сентябрь 2013 г.), что указывает на принципиальную применимость ГАН для очистки сточных вод данного состава. Однако это требует совокупной оценки технологических и экономических показателей различных способов активации ГАН и товарных алюминийсодержащих коагулянтов, что может быть выполнено по методике эквивалентирования [1] (табл. 2).

Технический выбор коагулянтов для последующего экономического сравнения ведется в ряду оптической плотности осветленной воды - D , стоимости коагулянта - S , р./кг, содержания осветленной воды и осадка в растворе, %, при этом технологически лучшему значению параметра присваивается 100 %, а последующим - рассчитывается удельный процент (табл. 2). Далее по строкам проценты суммируются, и максимальный процент принимается за 100 %, а последующие - вычисляются, на основе чего получаем ранжировочный ряд.

Ранжирование коагулянтов по эквивалентным процентам (табл. 2) позволило установить, что близкие по эффективности обобщенные показатели имеют такие коагулянты, как ГАН + H_2SO_4 (фильтрат) и ГАН + HCl (фильтрат), они и рекомендуются к опытно-промышленной проверке.

По критерию Кэмпга [4] проверили соответствие гидродинамических и конструктивных параметров работы камер хлопьеобразования с лопастными мешалками и действительно требуемых для активированного ГАН:

$$G = 10 \sqrt{\frac{W}{\mu}}, c^{-1}, \quad (1)$$

где W – энергия, затрачиваемая на перемешивание воды, отнесенная к единице объема воды в камере хлопьеобразования, $кг \cdot м / м^3 \cdot с$;

μ – абсолютная вязкость воды в пуазах, $\mu = 0,01004$ пуаз (при $t = 20$ °С).

Общая площадь лопасти в данной вертикальной плоскости не должна превышать 15-20 % пло-

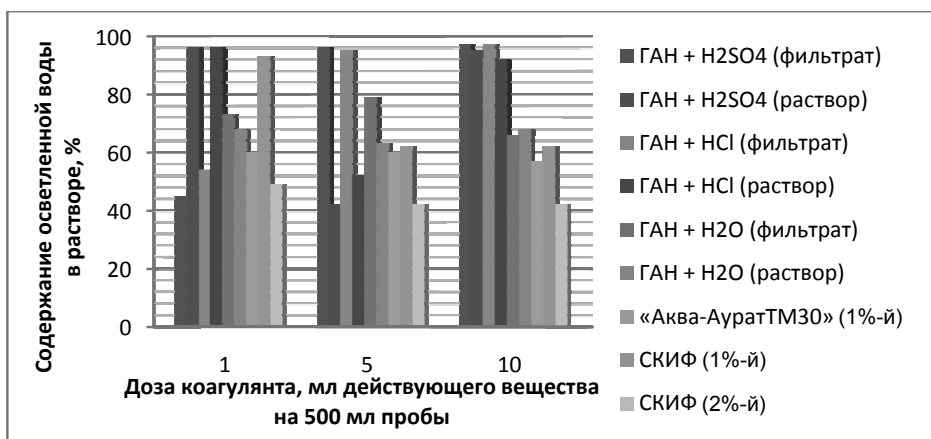


Рис. 1. Содержание осветленной воды в растворе в зависимости от дозы коагулянта

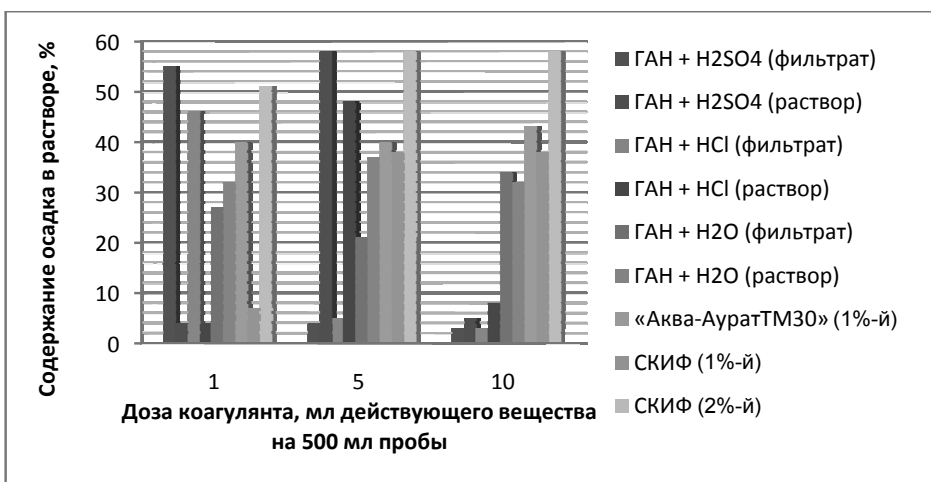


Рис. 2. Содержание осадка в растворе в зависимости от дозы коагулянта

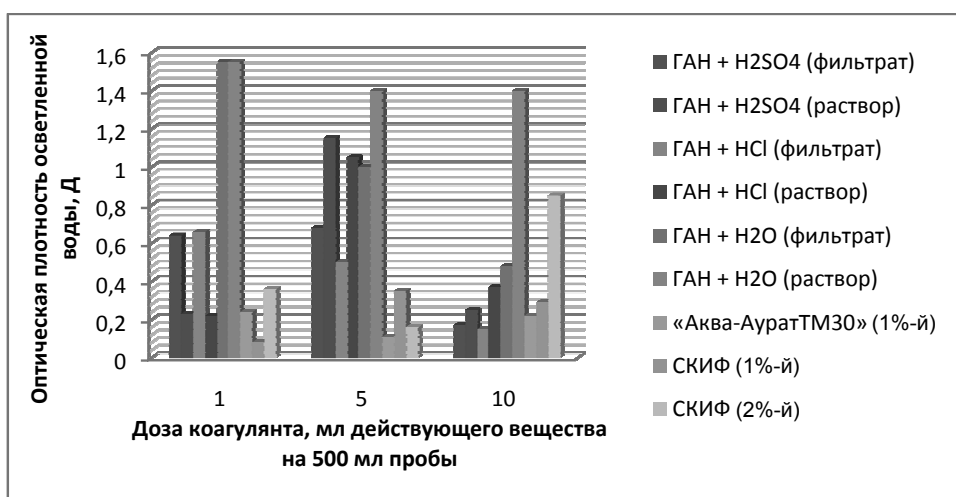


Рис. 3. Оптическая плотность осветленной воды в зависимости от дозы коагулянта.

Примечание. На диаграммах приведены средние данные из трех измерений

Таблица 2

Ранжирование коагулянтов по эквивалентным процентам

Вид коагулянта	Δ / %	S , р./кг/ %	Содержание осветленной воды в растворе, %	Содержание осадка в растворе, %	Σ , %	Ранг, %	Ранг
ГАН + H ₂ SO ₄ (фильтрат)	$\frac{0,68}{51}$	$\frac{18,86}{76}$	$\frac{96}{100}$	$\frac{4}{93}$	320	100	1
ГАН + H ₂ SO ₄ (раствор)	$\frac{1,15}{18}$	$\frac{18,86}{76}$	$\frac{42}{44}$	$\frac{58}{0,1}$	138	43	8
ГАН + HCl (фильтрат)	$\frac{0,5}{64}$	$\frac{28,86}{63}$	$\frac{95}{99}$	$\frac{5}{91}$	317	99	2
ГАН + HCl (раствор)	$\frac{1,05}{25}$	$\frac{28,86}{63}$	$\frac{52}{54}$	$\frac{48}{17}$	159	50	7
ГАН + H ₂ O (фильтрат)	$\frac{1,0}{29}$	$\frac{3,86}{95}$	$\frac{79}{82}$	$\frac{21}{64}$	270	84	3
ГАН + H ₂ O (раствор)	$\frac{1,4}{0,1}$	$\frac{3,86}{95}$	$\frac{63}{66}$	$\frac{37}{36}$	197	62	5
«Аква-Аурата™30»(1%-й)	$\frac{0,11}{92}$	$\frac{29,0}{63}$	$\frac{60}{62}$	$\frac{40}{31}$	248	78	4
СКИФ (1%-й)	$\frac{0,35}{75}$	$\frac{78,2}{0,1}$	$\frac{62}{65}$	$\frac{38}{34}$	174	54	6
СКИФ (2%-й)	$\frac{0,16}{89}$	$\frac{78,2}{0,1}$	$\frac{42}{44}$	$\frac{58}{0,1}$	133	42	9

Примечание. Стоимость H₂SO₄ (технической 35%) - 15 р./кг; стоимость HCl (технической 35%) - 25 р./кг, СКИФа - 78,2 р./кг, ГАНа - 3,86 р./кг.

щади поперечного сечения камеры, иначе может возникнуть вращение всей массы воды без нужных градиентов скоростей [4].

Отношение площади лопастей f , м², к площади поперечного сечения камеры F , м², в нашем случае составляет:

$$\frac{f}{F} 100 = \frac{0,0012}{0,00605} 100 = 19,8\% , \quad (2)$$

т. е. менее предельной величины 15÷20 %.

По Кэмпбу [4], средняя линейная скорость движения воды возле вращающейся лопасти V_1 составляет около $\frac{1}{4}$ скорости движения лопасти V .

Разность скоростей движения лопасти и воды ΔV :

$$\Delta V = V - V_1 = 4V_1 - V_1 = 3V_1, \quad (3)$$

а отношение разности скоростей к скорости движения лопасти:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{3V_1}{4V_1} = 0,75 . \quad (4)$$

Относительная скорость движения лопасти с учетом формулы (4):

$$V = \frac{n \cdot 2\pi r}{60} \frac{\Delta V}{V}, \frac{M}{c}; \quad (5)$$

при радиусе вращения $r = 0,04$ м и частоты вращения $n_1 = 20$ мин⁻¹ в эксперименте:

$$V_1 = \frac{20 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,04 \cdot 0,75}{60} = 0,063 \frac{M}{c} .$$

Мощность N , необходимая для перемещения в воде одной лопасти, определяется по формуле

$$N = 51 C_D f V^3, \text{кГ} \cdot \frac{M}{c}, \quad (6)$$

где C_D - коэффициент сопротивления воды; зависит от отношения длины лопасти l к ее ширине b и равен: 1,2 при $l/b = 5$;

f - площадь лопастей, м²;

V - скорость движения лопасти относительно воды, м/с.

$$N_1 = 51 \cdot 1,2 \cdot 0,0012 \cdot 0,063^3 = 0,000018 \text{кГ} \cdot \frac{M}{c} .$$

Удельный расход мощности на 1 м³ емкости камеры хлопьеобразования:

$$W = \frac{N}{\pi R^2 H}, \text{кГ} \cdot \frac{M}{M^3} \cdot c, \quad (7)$$

где R - радиус камеры хлопьеобразования, м;

H - высота камеры хлопьеобразования, м.

$$W_1 = \frac{0,000018}{3,14 \cdot (0,055)^2 \cdot 0,055} = 0,03, \text{кГ} \cdot \frac{M}{M^3} \cdot c .$$

Тогда для условий применения ГАН в качестве коагулянта:

$$G_1 = 10 \sqrt{\frac{0,03}{0,01004}} = 17,28 \text{с}^{-1} .$$

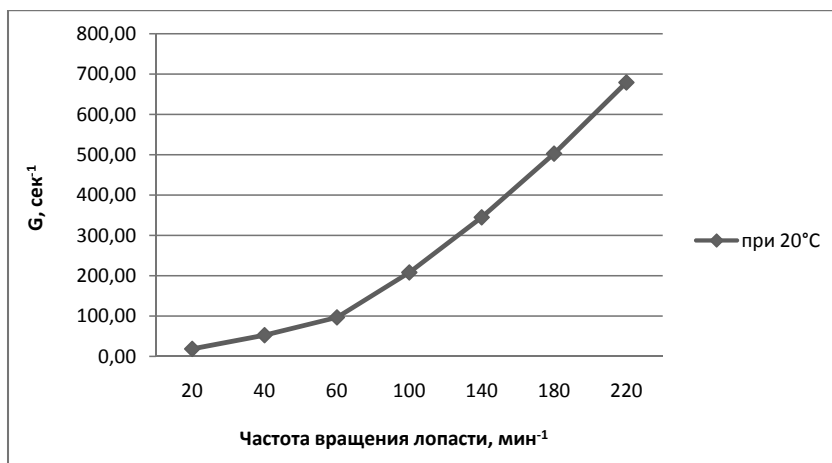


Рис. 4. Зависимость критерия G от частоты вращения лопасти n при 20 °C

Согласно Кэмпу [4], скорость формирования хлопьев пропорциональна величине G: чем больше величина этого критерия, тем меньше требуется времени для формирования хлопьев, поэтому Кэмп ввел безразмерный критерий данного процесса Ke, определяемый выражением

$$Ke = GT, \quad (8)$$

где T – время пребывания воды в камере хлопьеобразования, с:

$$T = \frac{\pi R^2 H}{Q}, \quad (9)$$

где Q – расход сточных вод, м³/с, $Q = 6,67 \cdot 10^{-7}$ м³/с.

$$T = \frac{3,14 \cdot (0,055)^2 \cdot 0,055}{6,67 \cdot 10^{-7}} = 783 \text{ с, или } 13 \text{ мин.}$$

$$Ke_1 = G_1 T = 17,28 \cdot 783 = 14586.$$

Аналогично получили параметры для частоты вращения $n_{2,3,\dots,7} = 40, 60, 100, 140, 180, 220$ мин⁻¹ и график зависимости критерия G от частоты вращения лопасти n для активированного ГАН (рис. 4).

По Кэмпу [4], оптимальная величина G лопастных мешалок составляет от 25 до 65 с⁻¹, а безразмерный критерий Ke - от 40 000 до 210 000 (при температуре воды 10 °C).

Для определения оптимальных границ критерия Ke и величины G при температуре воды 20 °C применили формулу Стриттера:

$$n1 = 1 + 0,02 (t - 20), \quad (10)$$

$$Ke_{20} = Ke_t / n1, \quad (11)$$

$$G_{20} = G_t / n1, \text{ с}^{-1}, \quad (12)$$

где t – температура исследуемой воды.

$$n1 = 1 + 0,02 \cdot (10 - 20) = 0,8;$$

$$Ke_{20}^1 = 40\,000 / 0,8 = 50\,000 \text{ и}$$

$$Ke_{20}^2 = 210\,000 / 0,8 = 262\,500;$$

$$G_{20}^1 = 25 / 0,8 = 31,3 \text{ с}^{-1} \text{ и } G_{20}^2 = 65 / 0,8 = 81,3 \text{ с}^{-1}.$$

То есть при температуре воды 20 °C оптимальная величина G составляет от 31,3 до 81,3 с⁻¹, а критерия Ke – от 50 000 до 262500.

Судя по представленному графику и исходя из оптимальных величин критериев G и Ke, можно сделать следующие **выводы**:

1. Только при частоте вращения лопасти, равной 40 мин⁻¹, наблюдается соответствие гидродинамических и конструктивных параметров работы камеры хлопьеобразования действительно требуемым.
2. При применении ГАН в практике очистки химически загрязненных сточных вод завода «Ростсельмаш» рекомендуется соблюдать критерий Кэмп, равный Ke~14586.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Спиридонова, Л.Г. Региональные реагенты для очистки сточных вод [Текст] / Л.Г. Спиридонова, Н.Н. Гризодуб, Е.В. Вильсон, Н.С. Серпокрылов // Водоснабжение и канализация. - 2013. - №1-2.
2. Вильсон, Е.В. Аналитические методы определения составов продуктов гидролиза коагулянта [Текст] / Е.В. Вильсон // Известия РГСУ. - Ростов-на-Дону, 2003. - №7. - С. 134-141.
3. Ляшук, И.Л. Лабораторные исследования процесса физико-химической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод [Текст] / И.Л. Ляшук, Л.Д. Субботкин // Строительство и техногенная безопасность. - Вып. 15-16. - 2006.
4. Клячко, В.А. Очистка природных вод [Текст] / В.А. Клячко, И.Э. Апельцин // Издательство литературы по строительству. - М., 1971. - С. 101-104.

© Яковлева Е.В., 2013