



Применение полиэлектролитов в процессах кон- диционирования воды флотацией

Введение

Многочисленные исследования процессов кондиционирования воды с использованием коагулянтов, сорбентов и других препаратов, в результате взаимодействия которых с загрязняющими веществами образуются дисперсии, отмечают, что эффективность их применения во многом зависит от эффективности разделительного процесса [1–3]. При этом важна не только полнота разделения (эффективность очистки воды), но и количество отделённого субстрата.

Во всех процессах кондиционирования природных и сточных вод задачи отделения первичных или вторичных дисперсных примесей можно решать методами флотации [4]. В отличие от других известных процессов гравитационного разделения, флотация обладает рядом преимуществ — высокой скоростью целевого процесса, управляемостью, универсальностью в решении технологических задач, компактностью оборудования [5]. Важно также и то, что среди известных методов отделения дисперсных примесей при кондиционировании природных и сточных вод только флотационные процессы обес-

печивают наименьшую влажность и объём отводимых концентратов.

Эффективность флотационного разделения во многом зависит от структурно-механических и адсорбционных свойств флотокомплексов [6]. Условия их формирования и последующего движения во флотационной камере влияют на количество извлекаемых веществ, удерживаемых поверхностью микродисперсии газовой фазы, скорость её движения по направлению разделения, количество и концентрацию образующегося флотошлама. В практике кондиционирования воды нередки случаи, особенно при обработке вод небольшими дозами коагулянта, когда образующиеся флоккулы гидроокиси металла имеют непрочную структуру и при малейшем перемешивании раствора, что неизбежно при флотации, измельчаются и не флотируются.

Современные высокомолекулярные соединения (полиэлектролиты) широко представлены на рынке химических препаратов и реагентов для кондиционирования природных и сточных вод. Применительно к процессам флотационного разделения актуальной задачей является

Рецензия эксперта на статью получена
10.12.2019 [Expert review on the article
received on December 10, 2019].

УДК 628.316.13. Научная специальность: 05.23.04.

Применение полиэлектролитов в процессах кондиционирования воды флотацией

Е. В. Алексеев, д.т.н., профессор, кафедры «Водоснабжение и водоотведение», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Приведены результаты исследований, выполненных с целью определения типа полиэлектролитов, наилучшего для повышения структурно-механических свойств флотокомплексов. В качестве оценки эффективности действия полиэлектролитов принята линейная рейтинговая шкала, основанная на продолжительности разделения дисперсии гидроксида коагулянта во флотационной камере. Представлены результаты изучения влияния величины pH и дозы полиэлектролитов на эффективность флотационного отделения дисперсии гидроксидов. Установлено, что полиэлектролиты катионного типа на основе полиэтилениминов стабилизируют процесс флотационного отделения гидроксидов, однако дозы их велики. Значительно более высокой эффективностью обладают анионные полиэлектролиты на основе полиакрилатов. Применение эффективных полиэлектролитов позволяет значительно повысить качество очищенной воды, увеличить скорость разделительных процессов и уменьшить количество отходов.

Ключевые слова: кондиционирование воды, реагентные методы, флотационное разделение, полиэлектролиты, флотокомплексы.

UDC 628.316.13. Number of scientific specialty: 05.23.04.

The use of polyelectrolytes in the process water conditioning by flotation

E. V. Alekseev, Doctor of Technical Science, Professor, the Department of Water Supply and Water Disposal, Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU)

The results of studies carried out in order to determine the type of polyelectrolytes that are best for improving the structural and mechanical properties of flotation complexes are presented. A linear rating scale based on the duration of separation of the coagulant hydroxide dispersion in the flotation chamber was adopted as an assessment of the effectiveness of the action of polyelectrolytes. The results of studying the effect of pH and dose of polyelectrolytes on the efficiency of the flotation separation of a hydroxide dispersion are presented. It was found that cationic type polyelectrolytes based on polyethyleneimines stabilize the process of flotation separation of hydroxides, but their doses are high. Significantly higher efficiency have anionic polyelectrolytes based on polyacrylate. The use of effective polyelectrolytes can significantly improve the quality of purified water, increase the speed of separation processes and reduce the amount of waste.

Keywords: water conditioning, reagent methods, flotation separation, polyelectrolytes, flotation complexes.

правильный подбор вспомогательных препаратов для достижения наилучших результатов целевого процесса [7].

Вещества, предназначенные для стабилизации процесса флотационного разделения, должны соответствовать условиям:

- обеспечивать достаточную механическую прочность флотокомплексов;
- увеличивать адсорбцию газа на поверхности твёрдых частиц;
- не снижать сорбционных и коагулирующих свойств гидроксидов металла по отношению к извлекаемым веществам;
- обладать несложной технологией практического применения.

Цель исследований состояла в определении типа полиэлектролитов для повышения структурно-механических свойств флотокомплексов, содержащих дисперсию гидроксидов металлосодержащего коагулянта. Задачи эксперимента: сравнительная оценка эффективности полиэлектролитов анионного и катионного типов, сопоставление оптимальных значений доз и изучение влияния величины pH на процесс флотационного разделения.

Основной раздел

Исследования проводились на модели флотационной камеры высотой 0,8 м и сечением 0,01 м², оснащённой системой получения микродисперсии газовой фазы.

Экспериментальная часть выполнена по следующей методике проведения опытов. Водный раствор, содержащий поверхностно-активные вещества (ПАВ), коагулянт и определённую дозу полиэлектролита, перемешивался и помещался во флотационную камеру. В момент начала формирования флоккул гидроокиси на две минуты включалась система получения микродисперсии газовой фазы. После её выключения измерялась продолжительность полного отделения флотокомплексов на уровне фиксации 500 мм.

Для изучения были выбраны следующие полиэлектролиты катионного типа: ВА-2, полиэлектролиты на основе полиэтилениминов с молекулярными массами 10 тыс. и 40 тыс. ед. (условные названия ПЭИ-10 и ПЭИ-40), соответственно, и полиэлектролиты анионного типа на основе полиакрилатов: полиакриламид (ПАА) и высокомолекулярный анионный полиэлектролит (условное название Р-700) с молекулярной массой около 1 млн ед.

Для оценки эффективности действия полиэлектролитов на формирование и структуру флотокомплексов принята линейная пятибалльная шкала, основанная на продолжительности разделения дисперсии на уровне фиксации 500 мм (табл. 1).

Современные полиэлектролиты широко представлены на рынке химических препаратов и реагентов для кондиционирования природных и сточных вод. Применительно к процессам флотационного разделения актуальной задачей является правильный подбор вспомогательных препаратов для достижения наилучших результатов целевого процесса

Принимая во внимание влияние величины pH на структуру и состав гидроксильного комплекса, образующегося в результате гидролиза солей коагулянта, первоначально было изучено влияние активной реакции среды на эффективность действия полиэлектролитов. Поскольку поверхностно-активные вещества также оказывают влияние на свойства гидроксидов, при проведении опытов в исследуемые растворы вводилось определённое количество ПАВ [8].

Последующие этапы исследований состояли в сопоставлении доз катионных и анионных полиэлектролитов при решении целевой задачи — стабилизации флотокомплексов при соблюдении оптимальных значений pH.

Результаты изучения влияния величины pH на стабилизирующее действие полиэлектролитов приведены в табл. 2.

По результатам этой серии опытов были установлены значения активной реакции среды, при которых достигаются наилучшие результаты при использовании катионных полиэлектролитов:

- pH = 4,0 (ПЭИ-10);
- pH = 7,0 (ПЭИ-40);
- pH = 4–10 (ВА-2).

Влияние величины pH на уменьшение эффективности действия анионных полиэлектролитов не установлено.

На втором этапе исследования для выбранных значений pH определены дозы катионных полиэлектролитов с использованием прежнего критерия эффективности. Результаты этих исследований приведены на рис. 1.

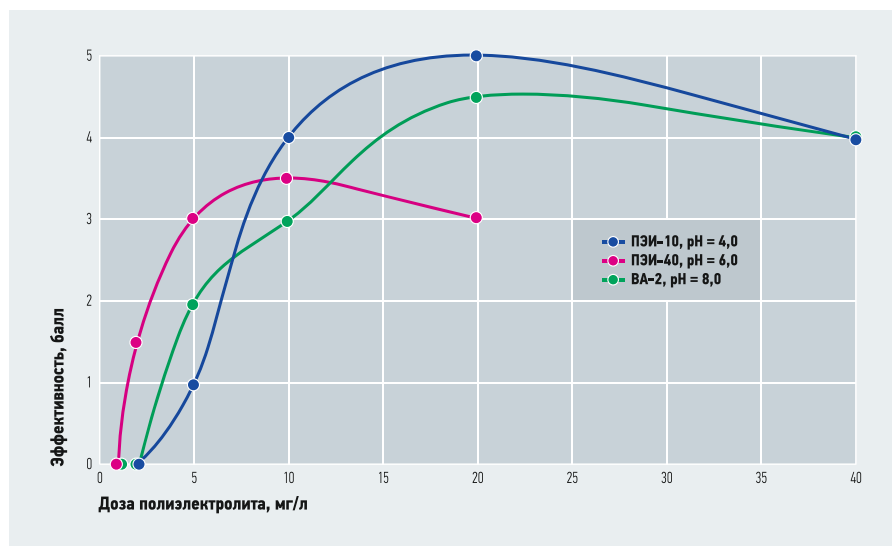
:: Рейтинговая шкала для оценки эффективности флотационного разделения дисперсии табл. 1

Период разделения на высоте 500 мм, мин.	2	4	6	8	10	более 10
Эффективность, балл	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0

:: Влияние активной реакции среды на эффективность действия полиэлектролитов* табл. 2

Полиэлектролит	Величина pH				
	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
ПЭИ-10	3,5	4,5	4,0	3,0	2,0
ПЭИ-40	3,5	4,0	4,5	3,5	0
ВА-2	3,0	4,0	4,0	4,0	4,0
ПАА	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Р-700	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Смесь (1:1) ПЭИ-10 и ПЭИ-40	4,0	4,0	4,5	3,5	1,0

* По рейтинговой шкале. Примечания: концентрация ПАВ — 20 мг/л; дробный балл соответствует промежуточной величине продолжительности разделения.



:: Рис. 1. Влияние дозы катионных полиэлектролитов на эффективность разделения при оптимальных значениях pH



Установка кондиционирования воды (80 м³/ч) методом компрессионной флотации

По результатам опытов было установлено, что полиэлектролиты на основе полиэтилениминов принципиально могут быть использованы для стабилизации процесса флотационного разделения. При этом интервал доз, при котором достигаются наилучшие целевые результаты, составляет приблизительно 10–20 мг/л. Катионный флокулянт ВА-2 обладает высокой эффективностью формирования флоккул гидроксидов. Однако образующиеся флоккулы обладают очень неустойчивой

тролитов анионного типа на стабилизацию флотокомплексов в процессе флотации при разных дозах железосодержащего коагулянта. Результаты этого этапа представлены в табл. 3.

Установлено, что значительно более высокой эффективностью по сравнению с катионными полиэлектролитами обладают полиакриламид и анионный полиэлектролит Р-700. Оба полиэлектролита оказались малочувствительными к изменению рН среды.

Влияние полиакриламида на продолжительность флотационного разделения* табл. 3

Доза коагулянта по иону железа, мг/л	Доза ПАА, мг/л	рН	Период разделения, мин.
54	0,2	6,95	4,0
54	0,4	6,95	2,0
54	1,0	6,95	3,5
94	0,2	7,10	4,0
94	0,4	7,10	2,0
94	1,0	7,10	3,0
202	0,2	7,20	4,5
202	0,4	7,20	3,5
202	1,0	7,20	4,0

* Суспензии гидроксида железа в присутствии ПАВ. Примечание: концентрация ПАВ — 50 мг/л.

структурой и полностью разрушаются в гидродинамических условиях работающей флотационной камеры. Кроме этого, ВА-2 не увеличивает адсорбцию микродисперсии газа на поверхности твёрдых частиц. По этой причине данный препарат не может быть рекомендован для повышения эффективности процесса флотационного разделения.

Синтетические полиэлектролиты на основе полиэтилениминов достаточно хорошо стабилизируют процесс флотационного отделения гидроксидов, однако эффективные дозы их слишком велики.

Исследования заключительного этапа позволили оценить влияние полиэлек-

Оптимальная доза полиакриламида составляет 0,4–0,6 мг/л. Характерно, что при её увеличении показатели очистки воды ухудшаются. Это обусловлено изменением физико-химической структуры флоккул гидроокиси. Под действием больших доз полиэлектролита они «сминаются», образуя плотные структуры с низкой адсорбцией газовой микродисперсии. Оптимальная доза флокулянта Р-700 существенно ниже и находится в пределах 0,024–0,10 мг/л.

По приведённым результатам видно, что эффективное действие полиэлектролитов сохраняется даже при четырёхкратном увеличении дозы коагулянта.

Кроме исследования доз полиэлектролитов, было изучено влияние их добавки на увеличение вторичной загрязнённости воды по показателю ХПК. Установлено, что значения ХПК для ПАА и Р-700 в области рекомендованных доз лежат за пределами чувствительности метода определения этого показателя. Следовательно, применение данных полиэлектролитов в пределах установленных доз не приводит к вторичному загрязнению воды.

Заключение

Установлено, что полиэлектролиты на основе полиэтилениминов стабилизируют процесс флотационного отделения гидроксидных флотокомплексов. При этом следует учитывать необходимость использования их с большими дозами.

Анионные полиэлектролиты (полиакриламид и его аналоги) полностью удовлетворяют требованиям к реагентам для стабилизации отделения флотокомплексов в процессах реагентной флотации. Рекомендуемые дозы полиакриламида не должны выходить за пределы 0,4–0,6 мг/л. Увеличение или уменьшение доз приводит к резкому снижению эффективности извлечения загрязняющих веществ.

Применение современных, эффективных полиэлектролитов позволяет значительно повысить качество и увеличить скорость разделительных процессов в технологии кондиционирования воды.

В условиях большого выбора и доступности полиэлектролитов следует отдавать предпочтение веществам с высокой эффективностью комплексообразования и биоразлагаемостью. ●

1. Tharapiwattananon N., Scamehorn J.F., Osuwan S., Harwell J.H., Haller K.J. Surfactant recovery from water using foam fractionation. Separation Science and Technology. 1996. No. 31. Pp. 1233–1258.
2. Henderson R.K., Parsons S.A., Jefferson B. The potential for using bubble modification chemicals in dissolved air flotation for algae removal. Separation Science and Technology. 2009. No. 44. Pp. 1923–1940.
3. Варюшина Г.П. Защита водных объектов от техногенных загрязнений при отведении поверхностных сточных вод с территорий городов и поселений // Журнал С.О.К., №10. 2019. С. 17–21.
4. Пономарев В.Г. Процессы разделения суспензий сточных вод. Конструкции сооружений. — М.: Союз Дизайн, 2014. 228 с.
5. Ксенофонтов Б.С. Очистка сточных вод: кинетика флотации и флотокомбайны: монография. — М.: Форум; НИЦ «Инфра-М», 2015. 256 с.
6. Алексеев Е.В. Очистка сточных вод флотацией. Основы технологии и применение: монография. — М.: Изд-во АСВ, 2015. 160 с.
7. Gray S.R., Harbour P.J., Dixon D.R. Effect of polyelectrolyte charge density and molecular weight on the flotation of oil in water emulsions. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 1997. Vol. 126. Issues 2–3. Pp. 85–95.
8. Алексеев Е.В. О применении показателя «удельная флотосорбция» в технологических расчётах флоторов // Водоснабжение и санитарная техника, 2013. №6. С. 39–42.

References — see page 94.

The use of polyelectrolytes in the process water conditioning by flotation. Pp. 24–26.

Evgeny V. Alekseev, Professor, the Department of Water Supply and Water Disposal, Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU)

1. N. Tharapiwattananon, J.F. Scamehorn, S. Osuwan, J.H. Harwell, K.J. Haller. Surfactant recovery from water using foam fractionation. *Separation Science and Technology*. 1996. No. 31. Pp. 1233–1258.
2. R.K. Henderson, S.A. Parsons, B. Jefferson. The potential for using bubble modification chemicals in dissolved air flotation for algae removal. *Separation Science and Technology*. 2009. No. 44. Pp. 1923–1940.
3. G.P. Varjushina. *Zashhita vodnykh ob'ektov ot tekhnoyemnykh zagryaznenij pri otkloneanii poverkhnostnykh stochnykh vod s territorij gorodov i poselenij* [Protection of water bodies from industrial pollution during the removal of surface wastewater from the territories of cities and settlements]. *Zhurnal Santehnika, otopenie, kondicionirovanie (S.O.K.)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. No. 10. 2019. Pp. 17–21. [In Russian]
4. V.G. Ponomarev. *Processy razdeleniya suspenzij stochnykh vod. Konstrukcii sooruzhenij* [Processes for the separation of wastewater suspensions. Construction structures]. Moscow. Sojuz Dizajn [“Union-Design” Publishing House]. 2014. 228 p. [In Russian]
5. B.S. Ksenofontov. *Ochistka stochnykh vod: kinetika flotacii i flotokombajny: monografiya* [Wastewater treatment: flotation kinetics and flotation combines: A monograph]. Moscow. ID “Forum”; NIC “Infra-M” [“Forum” Publishing House; “Infra-M” Scientific Research Center]. 2015. 256 p. [In Russian]
6. E.V. Alekseev. *Ochistka stochnykh vod flotaciej. Osnovy tehnologii i primenenie: monografiya* [Wastewater treatment by flotation. Fundamentals of technology and application: A monograph]. Moscow. Izd-vo ASV [Publishing House of the Association of Construction Universities]. 2015. 160 p. [In Russian]
7. S.R. Gray, P.J. Harbour, D.R. Dixon. Effect of polyelectrolyte charge density and molecular weight on the flotation of oil in water emulsions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 1997. Vol. 126. Issues 2–3. Pp. 85–95.
8. E.V. Alekseev. *O primenenii pokazatelya “udel'naja flotosorbicija” v tehnologicheskikh raschetah flotatorov* [On the use of the indicator “specific flotosorption” in technological calculations of floatators]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika* [“Water supply and sanitary equipment” Magazine]. 2013. No. 6. Pp. 39–42. [In Russian]