

Ф.Ю. Ибадуллаев, Н.Д. Меликов

ЭЛЕКТРО СЕПАРАЦИЯ ПАВ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД

Рассмотрены особенности извлечения ПАВ из сточных вод методом электрической флотации. Изучено влияние основных факторов на степень очистки сточных вод от ПАВ (продолжительность обработки, плотность тока, величина газонаполнения, форма камеры флотации). Установлены оптимальные параметры флотационного процесса, получены зависимости для проведения инженерных расчетов.

Сточные воды предприятий многих отраслей промышленности содержат в своем составе ПАВ [1 – 9], являющиеся химически стойкими соединениями, что обусловлено их строением и коллоидно-химическими свойствами. К одним из наиболее эффективных методов извлечения ПАВ из сточных вод относятся методы адсорбционно-пузырьковой сепарации: пневматический, компрессионный и электрический [10 – 23]. Методы пневматической и компрессионной флотации достаточно подробно изучены в [10, 24], а в представленной нами работе показаны результаты исследований по очистке сточных вод от ПАВ электрической флотацией.

В литературе приводятся многочисленные данные по очистке воды с помощью электрической флотации [3, 6, 9, 15 – 18, 20 – 21, 25 – 27], однако они, как правило, противоречивы, так как не объединены единой методикой исследований и технологического контроля. Особенно это относится к оценке количества растворенных газов и их влиянию на эффективность работы электрофлотационных аппаратов.

Экспериментальные исследования по изучению условий образования газовой фазы проводили на лабораторной установке, в которой в качестве анодного материала был использован окисно-рутениевый титановый анод, а катодом служила сетка из нержавеющей стали с ячейками 2х2 мм. Диаметр прутка, согласно [3, 16, 25 – 27], равен 2 мм, а межэлектродное расстояние – 10 мм. Активная поверхность электродной системы составила 0,1 м². Величину рабочего тока изменяли в интервале 5 – 25 А.

Для определения степени извлечения неионогенных и анионоактивных ПАВ из растворов в течение одних и тех же промежутков времени (до 60 мин) растворы ПАВ с разной концентрацией подвергали обработке. Концентрацию ПАВ в растворах контролировали по общепринятым

методикам [28]. Объемная плотность тока (P) была постоянной и составляла 800 А/м^3 . На рис.1 показаны концентрационные зависимости адсорбции неионогенных ($A_{\text{НПАВ}}$) и анионактивных ($A_{\text{АПАВ}}$) ПАВ в газовой фазе, которые можно описать уравнением Лэнгмюра в виде

$$A_{\text{НПАВ}} = 234,6 \frac{0,052 C_{\text{исх}}}{1 + 0,052 C_{\text{исх}}}, \quad (1)$$

$$A_{\text{АПАВ}} = 287,6 \frac{0,018 C_{\text{исх}}}{1 + 0,018 C_{\text{исх}}}. \quad (2)$$

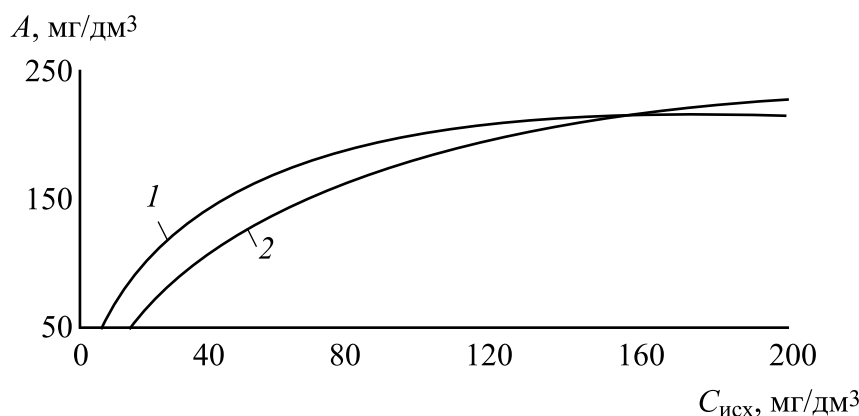


Рис. 1. Влияние начальной концентрации ПАВ на величину адсорбции в газовой фазе: 1 – неионогенные, 2 – анионактивные ПАВ

Зависимости построены для начальных концентраций ПАВ ($C_{\text{исх}} = 25; 50; 100$ и 200 мг/дм^3). Здесь отчетливо видно насыщение поверхности газовой фазы при концентрации ПАВ в растворах $> 150 - 200 \text{ мг/дм}^3$, что соответствует величине адсорбции $210 - 230 \text{ мг/дм}^3$, а также значительное уменьшение степени использования газовой фазы при низкой концентрации ПАВ. Поэтому метод электрической флотации целесообразно использовать для растворов с концентрацией ПАВ до 200 мг/дм^3 .

Влияние катодной (анодной) плотности тока на затраты электроэнергии при одинаковой степени очистки приведены в таблице, данные которой свидетельствуют об оптимальном значении плотности тока в интервале $2 - 3 \text{ А/дм}^2$. Уменьшение или увеличение плотности тока от указанной величины приводит к возрастанию затрат электроэнергии.

*Влияние катодной (анодной) плотности тока на затраты
электроэнергии (N)*

Катодная (анодная) плотность тока, А/дм ²	N, Вт·ч/дм ³	
	в среде НП АВ	в среде АП АВ
0,5	1,4	1
1	1,25	0,9
2	1,05	0,75
3	1,15	0,85
4	1,5	1,25

Кинетика извлечения ПАВ при различных значениях плотности тока показана на рис. 2. В течение 30 мин обработки степень извлечения (S) составила 50%, расход электроэнергии не превышал 2,4 Вт·ч/дм³. Увеличение продолжительности обработки до 60 мин позволило повысить степень очистки лишь на 8–10 %, а расход электроэнергии возрос в два раза. Увеличение анодной плотности тока (I_a) > 3 А/дм² оказалось энергетически невыгодным. Таким образом, наиболее целесообразно проводить процесс электрофлотации в течение 20–30 мин при $I_a = 2–3$ А/дм².

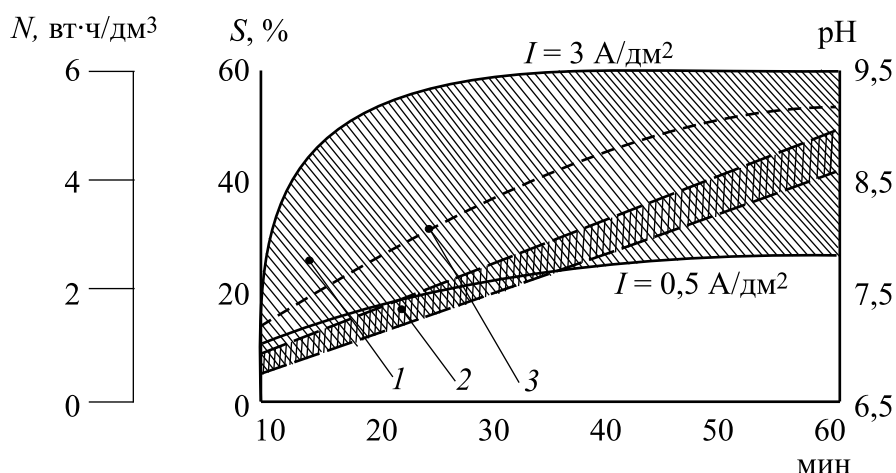


Рис. 2. Влияние продолжительности электрофлотации и анодной плотности тока (I_a) на степень извлечения ПАВ (S) (1), расход электроэнергии (2), pH среды (3)

Если анодная плотность тока выражает скорость электрохимической реакции и показывает качество химических превращений на границе электрод – раствор, то объемная плотность тока характеризует количество электричества, приходящегося на единицу объема обрабатываемой жидкости, и, таким образом, пропорциональна объему (количеству) диспергированной газовой фазы или газонаполнению.

При исследовании объемную плотность тока изменяли в интервале 100 – 1000 А/м³ путем изменения объема электрофлотатора при постоянных величинах анодной плотности тока и коэффициента формы камеры флотации (K_{ϕ}) (рис. 3). Данные указанного рисунка позволяют считать, что увеличение объемной плотности тока > 600 – 800 А/м³ приводит к значительному увеличению газового потока в жидкости, а это, в свою очередь, ведет к интенсивному перемешиванию системы и возврату части пенного продукта обратно в жидкость. В то же время увеличение объемной плотности тока приводит к дополнительному росту расхода электроэнергии.

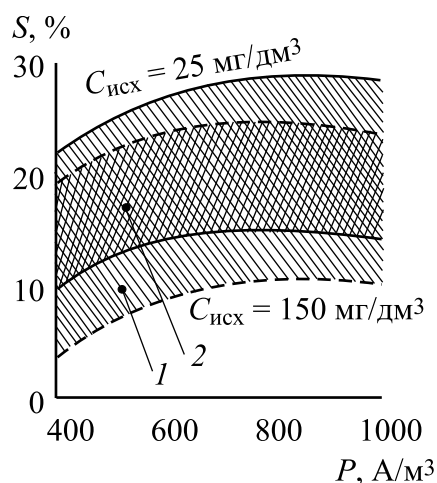


Рис. 3. Влияние объемной плотности тока (P) на степень извлечения ПАВ (S) при продолжительности обработки 10 (1); 20 мин (2)

При электрофлотационном методе обработки сточных вод изучено влияние объемной плотности тока и коэффициента формы камеры флотации на газонаполнение (G , дм³/м³) [29]. Установлено, что величину G можно рассчитать по уравнению

$$G = 0,022 P - 0,267 K_{\phi} - 0,011 P K_{\phi} - 0,1, \quad (3)$$

которое применимо в области значений $P = 400 - 1000$ А/м³ и $K_{\phi} = 0,5 - 1,5$.

Зависимость степени очистки сточных вод от продолжительности обработки (t , мин) и объемной плотности тока показана на рис. 4. На основании проведенных экспериментов можно определить продолжительность обработки в зависимости от объемной плотности тока и степени извлечения ПАВ из раствора:

$$t = 307,05 \cdot S^{1,2} \cdot P^{-1,04} \quad (4)$$

при $P = 400 - 1000 \text{ А/м}^3$, $S = 20 - 70\%$.

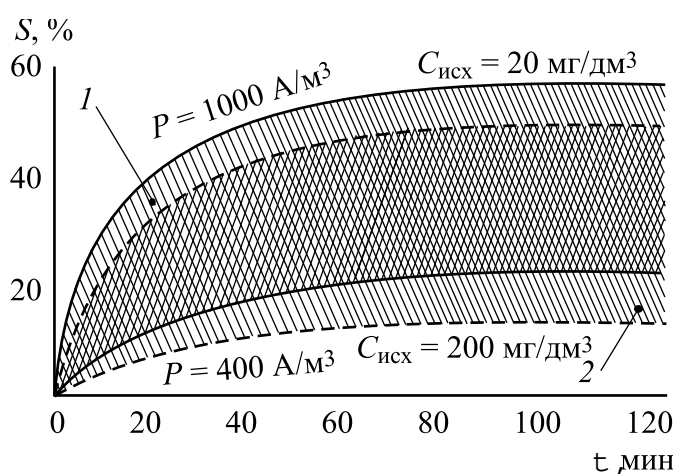


Рис. 4. Влияние продолжительности обработки на степень извлечения неионогенных (1) и анионоактивных (2) ПАВ

Изучено влияние формы флотационной камеры на степень извлечения ПАВ. Эксперименты проводили на лабораторных электрофлотационных установках при следующих параметрах: $K_{\phi} - 0,5 - 1,5$; $t - 30$ мин; $P - 700 \text{ А/м}^3$, $C_{\text{исх}}$ ПАВ — $25 - 200 \text{ мг/дм}^3$. Данные рис. 5 свидетельствуют о целесообразности применения флотационных камер с $K_{\phi} \leq 1$.

Исследовано также влияние объемной плотности тока на условия образования конденсата пены: объемный фактор (F) и коэффициент распределения (E) (рис. 6). Объем образующегося конденсата пены составил $1 - 2\%$ от объема обрабатываемой воды.

На основе полученных данных разработана методика технологического расчета электрофлотационных аппаратов [30].

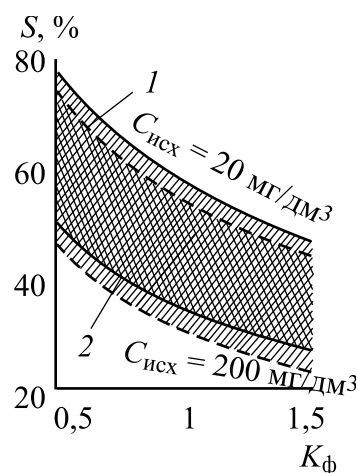


Рис. 5. Влияние коэффициента формы камеры флотации на степень извлечения неионогенных (1) и анионоактивных (2) ПАВ

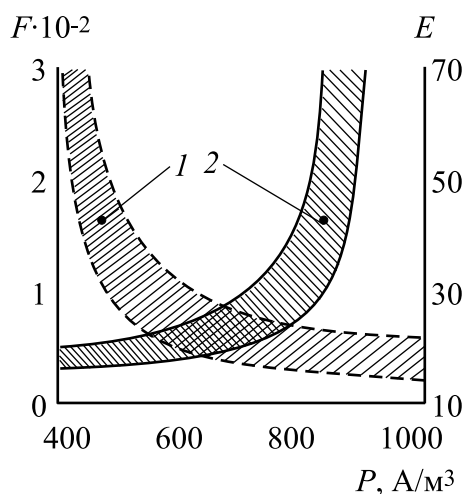


Рис. 6. Влияние плотности тока на объемный фактор (1) и коэффициент распределения (2) при продолжительности обработки 20 мин и начальной концентрации ПАВ 150 мг/дм³

Нормируемые параметры управления электрофлотационным аппаратом следующие:

- Концентрация ПАВ в исходной воде, мг/дм³. < 200
- То же в обработанной воде, мг/дм³. 60 – 80
- Анодная плотность тока, А/м². 200 – 300
- Газонаполнение, дм³/м³. 2 – 10
- Коэффициент формы камеры. 0,5 – 1
- Объем конденсата пены, % от объема воды 1 – 2

Выводы. Таким образом, получены оптимальные параметры управления электрической флотацией и соответствующие зависимости для проведения инженерных расчетов.

Резюме. Розглянуто особливості вилучення ПАВ зі стічних вод методом електричної флотації. Вивчено вплив основних факторів на ступінь очищення стічних вод від ПАВ (тривалість обробки, щільність струму, величина газонаповнення, форма камери флотації). Встановлено оптимальні параметри флотаціонного процесу, отримані залежності для проведення інженерних розрахунків.

F.Y. Ibadullayev, N.D. Melikov

ELECTRICAL SEPARATION SURFACE ACTIVE AGENT FROM SEWAGE

Summary

There were considered features of extraction surface active agent from sewage by a method electrical flotations. Influence of general quantities on efficiency of sewage treatment from surface active agent is investigated: duration of processing, current strength, size gas content, the form of the chamber of flotation. Optimum parameters floatation process are established, functional dependences are received for carrying out of engineering calculations.

1. *Васильев Г.В., Ласков Ю.М., Васильева Е.Г.* Водное хозяйство и очистка сточных вод предприятий текстильной промышленности. – М.: Лег. индустрия, 1976. – 224 с.
2. *Васильев Г.В., Ласков Ю.М., Васильева Е.Г.* Очистка сточных вод красильно-отделочных фабрик. – М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1972. – 43 с.
3. *Канализация населенных мест и промышленных предприятий: Справочник проектировщика / Под ред. В.Н. Самохина.* – М.: Стройиздат, 1981. – 638 с.
4. *Когановский А.М., Клименко Н.А.* Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении. – М.: Химия, 1983. – 288 с.
5. *Кульский Л.А.* Основы химии и технологии воды. – Киев: Наук. думка, 1991. – 568 с.
6. *Ласков Ю.М., Васильев В.Г.* Глубокая очистка и повторное использование сточных вод предприятий текстильной промышленности. – М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1980. – 37 с.
7. *Родионов А.И., Клушин В.Н., Торочешников Н.С.* Техника защиты окружающей среды. – М.: Химия, 1989. – 512 с.
8. *Яковлев С.В., Карелин Я.А., Ласков Ю.М., Воронов Ю.В.* Очистка производственных сточных вод. – М.: Стройиздат, 1979. – 222 с.

9. *Яковлев С.В., Ласков Ю.М.* Очистка сточных вод предприятий легкой промышленности. – М.: Стройиздат, 1972. – 113 с.
10. *Ибадуллаев Ф.Ю.* // Химия и технология воды. – 2004. – **26**, № 1. – С. 50 – 59.
11. *Алексеев Е.В.* // Водоснабжение и сан.техника. – 2001. – № 2. – С. 30 – 32.
12. *Глембоцкий В.А.* Основы физико-химии флотационных процессов. – М.: Недра, 1980. – 471 с.
13. *Ибадуллаев Ф.Ю.* // Изв. вузов, Стр-во. – 2000. – № 12. – С. 83 – 87.
14. *Ибадуллаев Ф.Ю., Ласков Ю.М.* // Физико-химическая очистка промышленных сточных вод и их анализ / Тр. ин-та ВОДГЕО.– М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1986. – С. 64 – 65.
15. *Ибадуллаев Ф.Ю.* Физико-химические методы очистки сточных вод красильно-отделочных предприятий //Обзорн. информ., Сер. Химия и нефтепереработка. – Баку: АзНИИНТИ, 1991. – 20 с.
16. *Ибадуллаев Ф.Ю.* Флотационные методы в технологии очистки воды и опыт их применения //Обзорн. информ., Сер. Химия и нефтепереработка. – Баку: АзНИИНТИ, 1990. – 24 с.
17. *Когановский А.М., Клименко Н.А.* Физико-химические методы очистки промышленных сточных вод от ПАВ. – Киев: Наук. думка, 1974. – 157 с.
18. *Когановский А.М., Клименко Н.А.* Физико-химические основы извлечения ПАВ из водных растворов и сточных вод. – Киев: Наук. думка, 1978. – 176 с.
19. *Кузьмин С.Ф., Гольман А.М.* Флотация ионов и молекул. – М.: Недра, 1971. – 136 с.
20. *Мещеряков Н.Ф., Филиппова П.С.* Новые конструкции флотационных машин и опыт их применения. – М.: Химия, 1977. – 44 с.
21. *Пушкарев В.В., Трофимов Д.И.* Физико-химические особенности очистки сточных вод от поверхностно-активных веществ. – М.: Химия, 1975. – 144 с.
22. *Ребиндер П.А.* Физико-химия флотационных процессов. – М.: Наука, 1953. – 230 с.
23. *Русанов А.И., Левичев С.А., Жаров В.Т.* Поверхностное разделение веществ: Теория и методы. – Л.: Химия, 1981. – 184 с.
24. *Ибадуллаев Ф.Ю.* // Химия и технология воды. – 2006. – **28**, № 2. – С. 152 – 161.
25. *Краснобородько И.Г., Светашова Е.С.* Электрохимическая очистка сточных вод /Учеб. пособие. – Л.: ЛИСИ, 1978. – 89 с.
26. *Матов Б.М.* Электрофлотационная очистка сточных вод. – Кишинев, 1982. – 170 с.
27. *Яковлев С.В., Краснобородько И.Г., Rogov В.М.* Технология электрохимической очистки воды. – Л.: Стройиздат, 1987. – 312 с.
28. *Лурье Ю.Ю., Рыбникова А.И.* Химический анализ производственных сточных вод. – М.: Химия, 1974. – 336 с.
29. *Алексеев Е.В.* //Дис. ... канд. техн. наук. – М., 1979. – 218 с.
30. *Ибадуллаев Ф.Ю.* // Изв. вузов, Стр-во. – 2001. – №12. – С. 76 – 79.

Ун-т архитект. и стр-ва,
г. Баку, Азербайджан

Поступила 05.04.2006