

**УДК 504.4.054**

## **ИЗВЛЕЧЕНИЕ ПАВ ИЗ ВОДНОГО РАСТВОРА**

***Жилякова В.В., студент***

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Экология и промышленная безопасность»*

*Научный руководитель: Козодаев А.С., к.т.н., доцент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*[bauman@bmstu.ru](mailto:bauman@bmstu.ru)*

Массовое производство поверхностно – активных веществ (далее по тексту ПАВ) началось в начале XX века. Существует огромное количество различных ПАВ. В 2001 году общий объем производства данных веществ составил 20 миллионов тонн без учета полимерных ПАВ. Что касается марок, предлагаемых на рынке ПАВ, только в мире их насчитывается более 2000. Однако следует отметить, что зачастую абсолютно идентичные составы продаются под разными наименованиями, поэтому реальное количество видов ПАВ несколько меньше. По прогнозам специалистов, объем производства ПАВ будет ежегодно увеличиваться на 6,1 %. Следовательно, объем загрязнения природных водных объектов будет увеличиваться.<sup>1</sup>

На сегодняшний день ПАВ различной химической природы обнаружены в природной воде практически во всех регионах мира. Значительную часть антропогенной нагрузки, приходящейся на поверхностные водные объекты, составляют сточные воды, содержащие ПАВ. Со сточными водами всех видов может выноситься до 70 – 80 % используемых в производстве ПАВ.<sup>2</sup>

Практикуемые в настоящее время методы извлечения ПАВ из водных растворов и сточных вод сводятся, в основном, к флотационной и сорбционной очистке. Достигаемая при этом степень очистки воды от ПАВ соответствует нормативам.

Объектами исследования служили модельные стоки. Для приготовления модельных стоков использовали мыло для мытья посуды «МиФ» (состав: 5 – 15 % анионные ПАВ; <5 % неионогенные ПАВ; консерванты; ароматизирующие вещества), и дистиллированную воду ( $C = 0,1$  мг/л).

---

<sup>1</sup> Журнал «Мир Гальваники» № 04 (4) 2007 г.

<sup>2</sup> Коллоидные поверхностно-активные вещества, пер. с англ. под ред. А. Б. Таубмана, З. Н. Маркиной, М., 1966

<http://sntbul.bmstu.ru/doc/634444.html>

До начала эксперимента осуществили отбор пробы №1 с целью определения начальной концентрации анеоногенных поверхностно-активных веществ (далее по тексту АПАВ) в модельном растворе.

На основании протоколов анализа пробы №1 (см. Приложение 1) концентрация ПАВ в модельном стоке составляет 6,24 мг/л, что превышает допустимое значение ( $C_{\text{ПДК}} = 2,5$  мг/л).

Состав модельных стоков и содержание АПАВ определили выбор двухступенчатой системы очистки, которая при определенных условиях позволяет достичь высокого эффекта очистки. Выбор системы также определен высокой скоростью очистки, отсутствием громоздкого, дорогостоящего оборудования, низкими энергозатратами.

На первом этапе очистки проводили флотационную обработку модельного стока. Флотационная обработка осуществлялась на установке - пневмогидравлическая система аэрации, основным элементом которой являлась стеклянная колонна высотой 1,5 м, диаметром 0,2 м. После флотации произвели отбор пробы №2, с целью определения концентрации ПАВ, после первой ступени очистки. Время проведения эксперимента составляет 20 мин.

На основании протоколов анализа пробы №2 (см. Приложение 1) концентрация ПАВ снизилась до значения 2,42 мг/л. Это число является пограничным.

Также в результате проведения эксперимента были произведены замеры скоростей всплытия пузырьков газа в водном растворе без добавления ПАВ, и в водном растворе с добавлением ПАВ. При статистической обработке данных были получены скорости, которые были использованы для расчета и построения графиков зависимости, изменения концентрации ПАВ в водном растворе от времени флотации (см. рис.3).

Первая стадия – образование комплекса частица: пузырек и его сохранение, связана с оптимизацией условий взаимодействия частиц с газовыми пузырьками и особенно с коалесценцией последних. При проведении статистической обработки экспериментальных данных (скоростей седиментации) было получено доказательство коалесценции пузырьков в ходе пневмогидравлической системы аэрации раствора. На рис. 1 представлены результаты статистического расчета в виде графика распределения скоростей всплытия пузырьков. На графике видно наличие двух пиковых точек: 150 мм/с и 230 мм/с, которые доказывают коалесценцию пузырьков.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Когановский А.М., Клименко Н.А., Левченко Т.М. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении.-М.: Химия, 1983.-288с., ил.

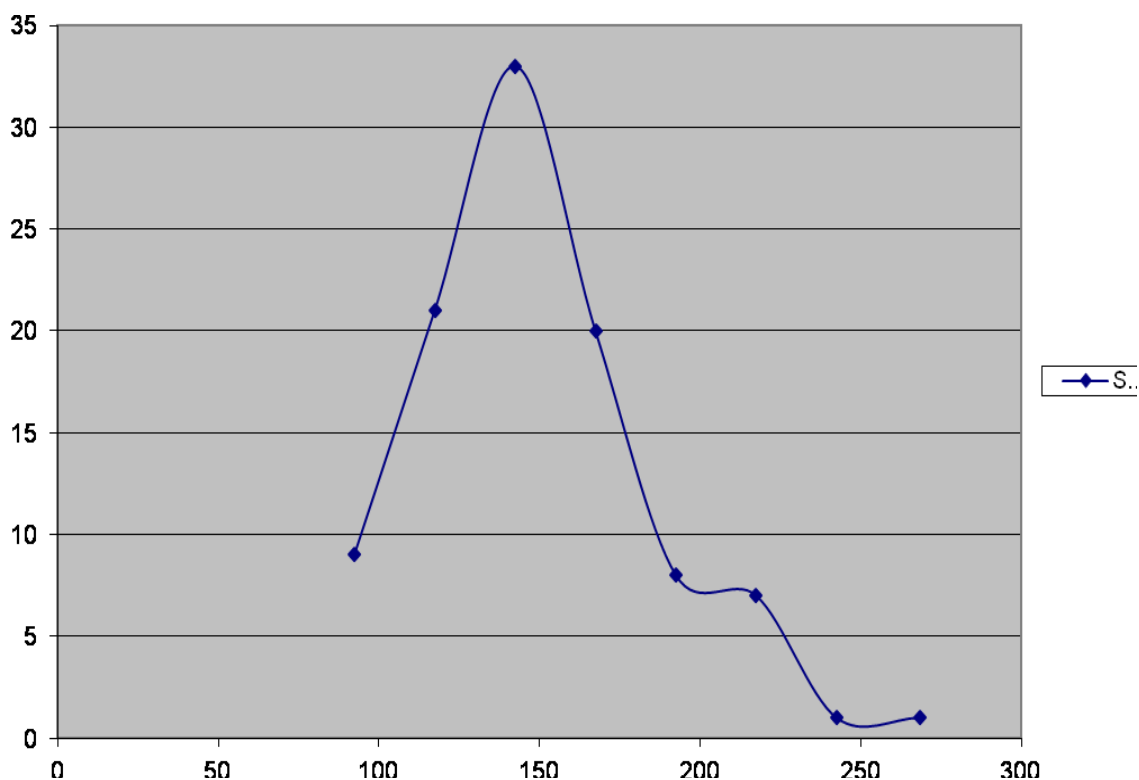


Рис.1. График распределения скоростей всплытия газовых пузырьков на флотационной установке

Вторая стадия – транспортировка комплекса частица: пузырек из жидкости в пенный слой. Один из важнейших факторов успешной флотации – создание благоприятных гидродинамических условий для сохранения комплексов частиц – пузырек газа. В случае использования пневмогидравлической системы аэрации, скорости всплывания пузырьков газа размером 0,5 – 1 мм равны 150 – 200 мм/с. Данные о скоростях были получены в результате проведения эксперимента и статистической обработки экспериментальных данных (см. Приложение 3). Такие значения скорости в большинстве случаев не являются критическими для разрушения комплексов частица – пузырек. Разрушение комплексов зависит от гидравлической обстановки во флотационной камере. На рис. 2 представлены результаты статистического расчета в виде графика распределения скоростей всплытия комплекса частица – пузырек.

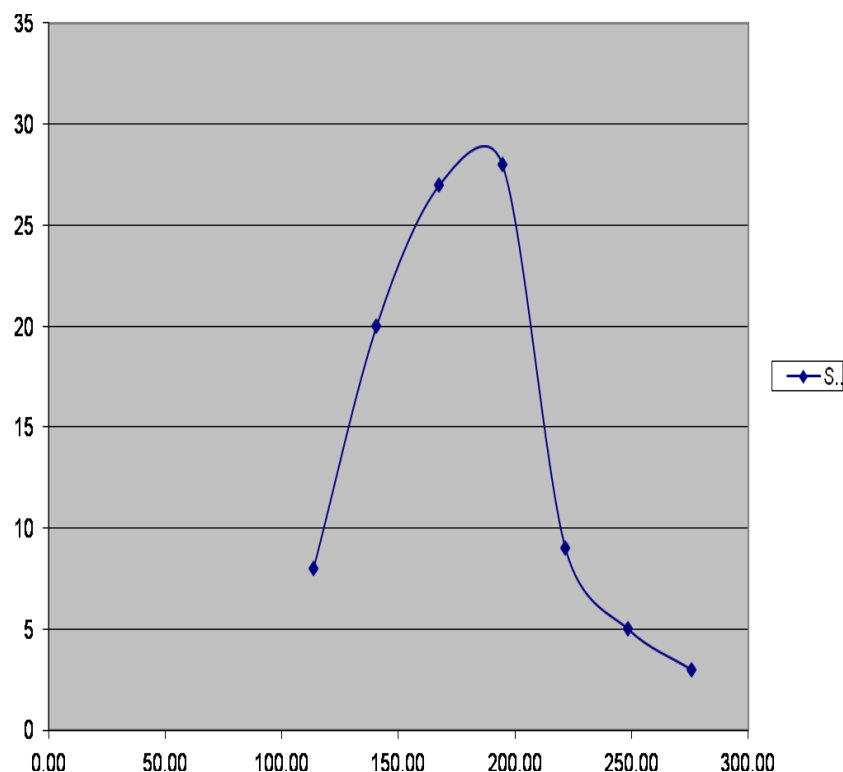


Рис. 2. График распределения скоростей всплытия частица – пузырек на флотационной установке

Третья стадия – уплотнение пенного слоя и его интенсификация. В случае пневмогидравлической системы аэрации переход ПАВ в пену практически невозможен. Как правило, не происходит и перехода из пены в жидкость.

Процесс флотации необходимо рассматривать, как многостадийный процесс<sup>4</sup>, описывающийся в общем случае следующей системой уравнений:

$$\frac{d}{dt}C_A = -K_1C_A + K_2C_B + K_5C_C - K_6C_A [1]$$

$$\frac{d}{dt}C_B = K_1C_A - K_2C_B - K_3C_B + K_4C_C [2]$$

$$\frac{d}{dt}C_C = K_3C_B - K_4C_C - K_5C_C + K_6C_A [3], \text{ где}$$

A – исходное состояние частиц;

B – состояние прилипания и закрепления частиц на пузырьках;

C – состояние частиц в пенном слое;

$C_A, C_B, C_C$  - концентрация частиц в состояниях A, B и C соответственно;

$K_1, K_2, K_3, K_4, K_5$  - константы переходов флотируемых веществ из одного состояния в другое.

<sup>4</sup> Ксенофонтов Б.С. Флотационная обработка воды, отходов и почвы. – М.: «Новые технологии» Москва, 2010г. – 272с.

В случае извлечения ПАВ из воды, с помощью метода пневмогидравлической системы аэрации, принимаем коэффициенты  $K_2$ ,  $K_4$ ,  $K_5$ , и  $K_6$  равными 0.

Тогда система уравнений [1]-[3] имеет вид:

$$\frac{d}{d\tau} C_A = -K_1 C_A, [4]$$

$$\frac{d}{d\tau} C_B = K_1 C_A - K_3 C_B, [5]$$

$$\frac{d}{d\tau} C_C = K_3 C_B, [6]$$

Уравнения [4] – [5] были рассчитаны в программе *Mathcad*. В результате этого были построены графики зависимости концентрации ПАВ в водном растворе от времени флотации. На рис. 3 представлен график зависимости изменения концентрации от времени флотации.

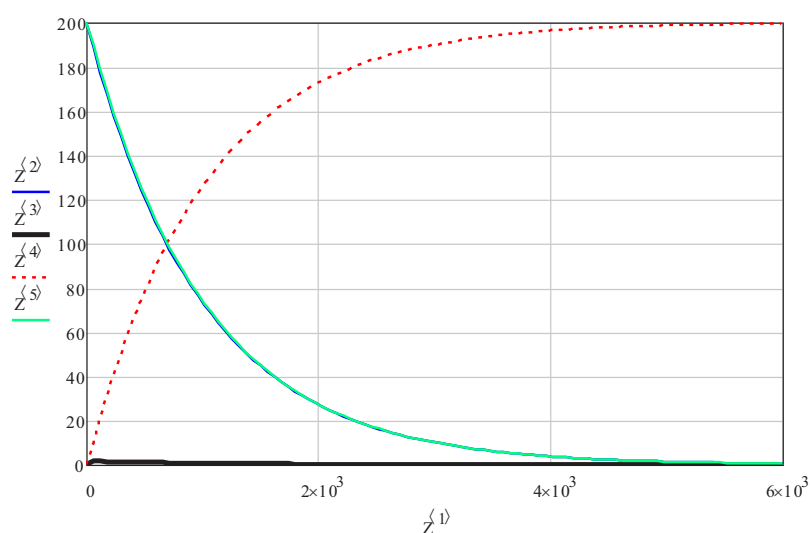


Рис. 3. Зависимость изменения концентрации от времени флотации

Кривая  $Z(2)$ ,  $Z(5)$  соответствуют теоретической кривой  $C_A$ , характеризующей концентрацию частиц в состоянии  $A$ , т.е. образование комплекса частица-пузырек и его сохранение. Кривая  $Z(3)$  соответствует теоретической кривой  $C_B$ , характеризующей концентрацию частиц в состоянии  $B$ , транспортировка комплекса частица-пузырек и его переход из жидкости в пену. Кривая  $Z(4)$  соответствует теоретической кривой  $C_C$ , характеризующей концентрацию частиц в состоянии  $C$ , состояние пенного слоя и возможности существования в нем комплексов частица-пузырек.

Анализируя кривую  $Z(2) = Z(5)$  (см. рис.3), можно определить концентрацию ПАВ в растворе в любой точке. Опираясь на графическое решение системы уравнений (4) – (6), можно определить, что при времени флотации равном 40 мин концентрация ПАВ в воде

снижается до 0,1 мг/л. В этом случае не требуется использование второй ступени очистки воды. Но оптимальное время флотации составляет 20 минут. При такой длительности работы установки содержание примесей в воде составляет 2,4-2,5 мг/л. Это пограничное значение и необходимо отправить воду на вторую стадию очистки.

На основании протокола анализа пробы №2 (см. Приложение 1) и теоретических вычислений, представленных на рис.3, можно сделать вывод о том, что теоретические исследования подкрепляются лабораторными испытаниями.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что применение метода пневмогидравлической системы аэрации является эффективным методом удаления примесей поверхностно активных веществ. Эффективность данного метода составляет 65%, что является достаточно хорошим показателем.

Перейдем ко второму этапу очистки воды. На втором этапе проводили сорбционную обработку модельного стока. Сорбционная очистка осуществлялась на установке - напорный фильтр. В качестве сорбента использовали активированный (активный) уголь на каменноугольной основе.

АГ – 3. После сорбции произвели отбор пробы №3, с целью определения остаточной концентрации ПАВ в водном растворе.

На основании протоколов анализа пробы №3 (после второй ступени очистки) остаточная концентрация ПАВ составляет меньше 0,1 мг/л (см. Приложение 1).

Пробы, отобранные после окончания эксперимента, были также отправлены на анализ. Протокол анализа № 3 приведен в Приложении 1. Концентрация ПАВ на выходе, составила менее 0,1 мг/л, что говорит о том, что эффективность сорбции составляет 95% и позволяет добиться почти полного удаления АПАВ из раствора.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что применение флотации и сорбции эффективно очищает воду от ПАВ. Таким образом, проведенные исследования позволяют рекомендовать предложенные способы для очистки сточных вод от ПАВ.

### Список литературы

1. Когановский А.М. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении-М.: Химия, 1983-228с.
2. Ксенофонов Б.С. Флотационная обработка воды, отходов и почвы. – М.: «Новые технологии» Москва, 2010 г. – 272с.
3. Пушкарев В.В., Трофимов Д.И. Физико-химические особенности очистки сточных вод от поверхностно-активных веществ. М., «Химия», 1975.

\*\*\* Стр. 1 / 1 \*\*\*

Аналитический Центр контроля качества воды ЗАО "РОСА" (119297, Москва, ул.Родниковая, 7, стр.35)

CZ\_A

Аттестат аккредитации N РОСС RU.0001.510078

Протокол анализа N 51708

ДАТА ОТБОРА пробы : 21.03.2013  
 ДАТА НАЧАЛА анализа : 22.03.2013  
 ДАТА ОКОНЧАНИЯ анализа : 26.03.2013  
 ТИП анализа : Дополнительный  
 ОБЪЕКТ :  
 АДРЕС объекта :  
 ЗАКАЗЧИК : Частное лицо - Жиликова В.В.  
 МЕСТО ОТБОРА пробы : Проба №1  
 УСЛОВИЯ отбора пробы :  
 КУДА сбрасывается :  
 ОБРАЗЕЦ (матрица пробы) : Вода  
 ОТВЕТСТВЕННЫЙ за отбор : Представитель зак-ка  
 Примечание 1 : Проба доставл. 22.03.13.  
 Примечание 2 :  
 Примечание 3 :

СПИСОК параметров : С Т О Ч Н Ы Е В О Д Ы

| ПАРАМЕТР пробы | ЗНАЧЕНИЕ | ЕДИНИЦА изм. | НОРМАТИВ от | НОРМАТИВ до |
|----------------|----------|--------------|-------------|-------------|
| с СПАВ анионн. | 6.24     | мг/л         | 0           | 2.5         |

Начальник отдела физ.-хим. методов анализа

Приведенные в протоколе результаты касаются только исследований проб

Частичная перепечатка документа без разрешения лаборатории запрещена



\*\*\* Стр. 1 / 1 \*\*\*

Аналитический Центр контроля качества воды ЗАО "РОСА" (119297, Москва, ул.Родниковая, 7, стр.35)

CZ\_A

Аттестат аккредитации N РОСС RU.0001.510078

Протокол анализа N 51710

ДАТА ОТБОРА пробы : 21.03.2013  
 ДАТА НАЧАЛА анализа : 22.03.2013  
 ДАТА ОКОНЧАНИЯ анализа : 26.03.2013  
 ТИП анализа : Дополнительный  
 ОБЪЕКТ :  
 АДРЕС объекта :  
 ЗАКАЗЧИК : Частное лицо - Жиликова В.В.  
 МЕСТО ОТБОРА пробы : Проба №3  
 УСЛОВИЯ отбора пробы :  
 КУДА сбрасывается :  
 ОБРАЗЕЦ (матрица пробы) : Вода  
 ОТВЕТСТВЕННЫЙ за отбор : Представитель зак-ка  
 Примечание 1 : Проба доставл. 22.03.13.  
 Примечание 2 :  
 Примечание 3 :

СПИСОК параметров : С Т О Ч Н Ы Е В О Д Ы

| ПАРАМЕТР пробы | ЗНАЧЕНИЕ | ЕДИНИЦА изм. | НОРМАТИВ от | НОРМАТИВ до |
|----------------|----------|--------------|-------------|-------------|
| с СПАВ анионн. | <0.1     | мг/л         | 0           |             |

Начальник отдела физ.-хим. методов анализа

Приведенные в протоколе результаты касаются только исследований проб

Частичная перепечатка документа без разрешения лаборатории запрещена



## Приложение 1.

\*\*\* Стр. 1 / 1 \*\*\*

Аналитический Центр контроля качества воды ЗАО "РОСА" (119297, Москва, ул.Родниковая, 7, стр.35)

CZ\_A

Аттестат аккредитации N РОСС RU.0001.510078

Протокол анализа N 51708

ДАТА ОТБОРА пробы : 21.03.2013  
ДАТА НАЧАЛА анализа : 22.03.2013  
ДАТА ОКОНЧАНИЯ анализа : 26.03.2013  
ТИП анализа : Дополнительный  
ОБЪЕКТ :  
АДРЕС объекта :  
ЗАКАЗЧИК : Частное лицо - Жиликова В.В.  
МЕСТО ОТБОРА пробы : Проба №1  
УСЛОВИЯ отбора пробы :  
КУДА сбрасывается :  
ОБРАЗЕЦ (матрица пробы) : Вода  
ОТВЕТСТВЕННЫЙ за отбор : Представитель зак-ка  
Примечание 1 : Проба доставл. 22.03.13.  
Примечание 2 :  
Примечание 3 :

СПИСОК параметров : С Т О Ч Н Ы Е   В О Д Ы

| ПАРАМЕТР пробы | ЗНАЧЕНИЕ | ЕДИНИЦА изм. | НОРМАТИВ от | НОРМАТИВ до |
|----------------|----------|--------------|-------------|-------------|
| с СПАВ анионн. | 6.24     | мг/л         | 0           | 2.5         |

Начальник отдела физ.-хим. методов анализа

Приведенные в протоколе результаты касаются только исследования проб

Частичная перепечатка документа без разрешения лаборатории запрещена

