

УДК 66.061

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ РЕАГЕНТА
ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ**

**ESTIMATION OF EFFICIENCY OF ULTRASONIC PROCESSING OF A REAGENT
UNDER EFFLUENT TREATMENT FROM ORGANIC POLLUTION**

*М.К. КОШЕЛЕВА, А.П. БУЛЕКОВ, П.П. КЕРЕМЕТИН,
Ю.А. ЧАБАЕВА, М.С. МУЛЛАКАЕВ, Г.Б. ВЕКСЛЕР
M.K. KOSHELEVA, A.P. BULEKOV, P. P. KEREMETIN,
J.U.A. CHABAIEVA, M. S. MULLAKAEV, G.B. VEKSLER*

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина,
Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН,
Московский государственный университет инженерной экологии)
(Moscow State Textile University "A.N. Kosygin",
Moscow State University of Engineering Ecology)
E-mail: oxtpaxt@ya.ru

Установлено, что предварительная ультразвуковая обработка магнетита при реагентной очистке сточных вод от органических, в том числе нефтяных загрязнений, позволяет на $20\pm 25\%$ сократить длительность технологического процесса и на $10\pm 15\%$ повысить чистоту готового продукта. Представлена математическая модель исследуемого процесса реагентной очистки сточных вод и получены расчетные соотношения, необходимые для выбора оптимальных параметров ультразвукового воздействия.

It is established that preliminary ultrasonic processing of magnetite at reagent effluent treatment from organic pollution, including oil pollution, allows to reduce duration of a technological process for $20\pm 25\%$ and to raise purity of a product for $10\pm 15\%$. The mathematical model of the researched process of reagent effluent treatments is presented and the settlement ratios necessary for a choice of optimum parameters of ultrasonic influence are received herein.

Ключевые слова: очистка сточных вод, ультразвуковая обработка, магнетит, математическая модель, метод Фурье, чистота готового продукта.

Keywords: an effluent treatment, ultrasonic processing, magnetite, a mathematical model, a Furie method, purity of a fully processed product.

В сточных водах хлопчатобумажных и тонкосуконных фабрик содержатся органические загрязнения [1], [2]. Нефтепродукты, в частности керосин, который используется в процессе валки, содержится в стоках тонкосуконных фабрик. При этом содержание керосина в сточных водах при промывке тканей в конце размыла изменяется в интервале от 200 до 7500 мг/л, при промывке в течение 1,5 часа концентрация снижается в 10...30 раз, а в конце промывки на 2...3 порядка ниже, чем в размыле [1]. По данным [1] в общем стоке фабрики содержание нефтепродуктов составляет 95,0 мг/л.

Целью проведенных исследований являлись выбор и реализация методов интенсификации процесса очистки воды от органических загрязнений, в частности нефтепродуктов. Одним из наиболее доступных и эффективных способов повышения эффективности процесса коагуляции капель нефтепродуктов является предварительная ультразвуковая обработка суспензии магнетита, вводимой в очищаемую воду. В процессе такой обработки уменьшаются размеры частиц магнетита, растет их удельная поверхность, что положительно сказывается на их сорбционной емкости по отношению к каплям нефтепродуктов. Все это в совокупности обуславливает рост коэффициента скорости коагуляции и в соответствии с математическим описанием этого процесса способствует увеличению показателя эффективности η . Указанный вывод основан как на результатах предварительных исследований изучаемого процесса, так и на успешном применении ультразвука в процессах очистки воды от механических и органических примесей в различных технологиях.

Реализация ультразвуковой обработки суспензии магнетита, связанная с выбором ее режимно-конструкторских параметров,

возможна на основе соответствующего математического описания. В работе представлена математическая модель процесса изменения характерного размера (эквивалентного радиуса) частиц магнетита в ходе их ультразвуковой обработки. Кинетика этого процесса описывается уравнением:

$$\frac{dr}{dt} = -K_u \left(r - \frac{r_{кр}^2}{r} \right) + \chi(r), \quad (1)$$

где K_u – кинетический коэффициент (константа скорости), 1/с; $r_{кр}$ – критический размер частиц (мкм), с которого начинается обратный процесс их укрупнения; $\chi(r)$ – случайная составляющая скорости процесса, обусловленная его стохастической природой (мкм/с).

Константа скорости K зависит от физических свойств обрабатываемого материала, мощности воздействия, гидродинамической обстановки в рабочей зоне аппарата.

Так же, как и при описании процесса коагуляции, основные характеристики процесса ультразвуковой обработки суспензии магнетита определяются через функцию распределения $\phi(r, \tau)$ частиц магнетита по размерам. Дифференциальное уравнение для нее имеет вид:

$$\frac{d\phi}{d\tau} = K_u \frac{\partial}{\partial r} \left[\left(r - \frac{r_{кр}^2}{r} \right) f \right] + \varepsilon \frac{\partial^2 f}{\partial r^2}. \quad (2)$$

Переход от кинетического уравнения (1) к дифференциальному уравнению (2) для функции распределения частиц по размерам осуществлен на основе обобщенного уравнения Фоккера-Планка. Параметр ε в уравнении (2) характеризует интенсивность случайных воздействий,

обусловленных стохастической природой описываемого процесса.

Решение уравнения (2) в работе найдено методом разделения переменных, в соответствии с которым искомая функция $\phi(r, \tau)$ преобразована в произведение двух неизвестных функций $F(r)$ и $T(\tau)$, каждая из которых зависит только от одной переменной. Введенные функции удовлетворяют следующей системе обыкновенных дифференциальных уравнений и условию нормировки для искомой функции:

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda T, \\ \frac{\partial}{\partial r} \left[K_u \left(r - \frac{r_{кр}^2}{r} \right) F + \varepsilon \frac{\partial F}{\partial r} \right] = \lambda F, \\ \int_0^{\infty} \phi(r, \tau) dr = 1, \quad 0 \leq \tau < \infty. \end{cases} \quad (3)$$

Общее решение уравнения (2) может быть представлено в виде ряда:

$$\phi(r, \tau) = r^{\frac{K_u r_{кр}^2}{\varepsilon}} e^{-\frac{K_u r^2}{2\varepsilon}} \sum_{i=0}^{\infty} C_i L_i \left(\frac{K_u r^2}{2\varepsilon} \right) e^{-\frac{2K_u}{\tau}}. \quad (4)$$

Решение (4) содержит полиномы Лагерра и константы C_i , определяемые из условия нормировки искомой функции в начальный момент времени.

Общее решение задачи (4) позволяет найти зависимость распределения частиц по размерам от внешних параметров процесса ($r_{кр}$, K_u , ε) от продолжительности ультразвукового воздействия и от параметров начального распределения. Реализация таких расчетов является трудоемкой процедурой. В то же время анализ ряда (4) показывает, что для практических расчетов можно ограничиться первыми членами ряда. В этом случае оценка результатов ультразвукового воздействия определяется по функции распределения, являющейся асимптотикой решения (4):

$$\begin{cases} \phi(r) = C_0 r^{\frac{K_u r_{кр}^2}{\varepsilon}} e^{-\frac{K_u r^2}{2\varepsilon}}, \\ C_0 = 2 \left(\frac{K_u \varepsilon}{2} \right) \frac{K_u r_{кр}^2}{2\varepsilon} + \frac{1}{2}. \end{cases} \quad (5)$$

Соотношение (5) позволяет получить целевую интегральную оценку результатов ультразвукового воздействия, а именно средний размер частиц.

Важнейшую часть экспериментальных исследований составляют опыты по изучению ультразвукового воздействия на процесс очистки воды от загрязнений. В качестве источника ультразвуковых колебаний в опытах использовался магнитострикционный преобразователь, снабженный волноводом стержневого типа с площадью рабочей поверхности $1,75 \text{ см}^2$. Интенсивность колебаний при ультразвуковой обработке суспензии магнетита изменялась в пределах $6 \dots 27 \text{ Вт/см}^2$ при частоте колебаний излучателя 24 кГц . Результатом ультразвуковой обработки суспензии магнетита является уменьшение размеров его частиц.

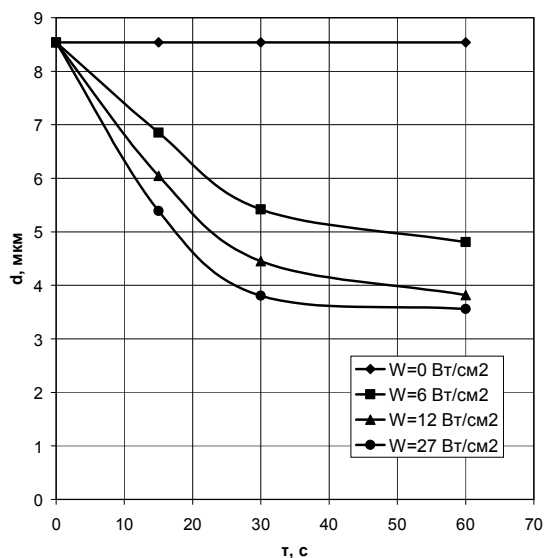


Рис. 1

На рис. 1 (зависимость среднего размера (диаметра) частиц магнетита от параметров ультразвукового воздействия; концентрация суспензии магнетита 2 г/л ; начальное распределение логарифмически

нормальное: $a_{in}=1,46$ мкм; $\sigma_{in}=0,66$ мкм) представлены результаты опытов по ультразвуковой обработке суспензии магнетита, которые свидетельствуют о возможности уменьшения среднего диаметра частиц в 1,5...2 раза в исследованных диапазонах изменения параметров ультразвукового воздействия. При этом результаты экспериментов подтверждают наличие асимптотического предельного распределения, которое зависит от интенсивности ультразвукового воздействия. Указанный вывод следует из разработанной теоретической модели этого процесса.

Возможность достижения требуемого эффекта (среднего размера частиц) при разных сочетаниях длительности ультразвуковой обработки и его мощности позволяет определить их оптимальное сочетание. Оно определяется из условия минимальных энергозатрат и длительности обработки, удовлетворяющей технологическому регламенту (производительности очистной установки, ее конструктивными

размерами и скоростью движения материальных потоков). Такими параметрами применительно к очистке загрязненной нефтепродуктами воды являются: интенсивность ультразвукового воздействия 27 Вт/см², длительность обработки 30 с.

Важными с практической точки зрения результатами выполненных исследований являются их успешная апробация в промышленных очистных установках, позволившая разработать типовую технологическую схему, а также ее аппаратное оформление для очистки сточных вод от нефтепродуктов гальванокоагуляционным методом на основе магнетита.

В табл. 1 приведены основные технико-экономические показатели работы промышленных очистных установок, в которых был апробирован гальванокоагуляционный метод очистки сточных вод от органических загрязнений, в частности нефтепродуктов. Параметры проведенного процесса очистки сведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 1

Вид загрязнения	Результаты анализа сточных вод до очистки, мг/л	Результаты анализа сточных вод после очистки, мг/л	Степень очистки, %
Нефтепродукты	223,5±22,35	0,10±0,04	99,95
Железо общее	1326±198	7,69±1,69	99,42
Медь	0,5240±0,1468	0,0206±0,0059	96,07
Цинк	25,58±3,58	<0,004	>99,98
Марганец	7,60±1,29	0,405±0,101	94,67

Т а б л и ц а 2

Концентрация магнетита, мг/л	500
Интенсивность УЗ воздействия, Вт/см ²	20-30
Время ультразвуковой активации, с	60
Время контакта магнетита с загрязненной водой, мин	10

Приведенные в табл. 1 данные подтверждают результаты лабораторных и теоретических исследований процесса гальванокоагуляционной очистки воды от нефтяных загрязнений.

В соответствии с разработанной схемой (рис. 2 – аппаратно-технологическая схема установки ультразвуковой гальванокоагуляционной очистки воды от нефтепродуктов и других органических загрязнений: 1 – гальванокоагулятор, 2 – скрапуловитель, 3 – насосный блок, 4 – ультразвуковой реактор, 5 – реакционная камера,

6 – гидроциклон, 7 – рамный фильтр-пресс, 8 – регулировочный клапан) очистка воды от нефтепродуктов и других органических загрязнений осуществляется в реакционной камере 5, в которую одновременно с водой поступает суспензия магнетита, наработанная гальванокоагулятором 1 и активированная в ультразвуковом реакторе 4. Время активации регулируется изменением скорости циркуляции суспензии в замкнутом контуре, включающем скрапуловитель 2 и насосный блок 3. Очищенная в результате контакта с магнетитом вода из реакционной

камеры 5 насосом подается на рамный фильтр-пресс 7, где осуществляется сепарация из нее образовавшихся агломератов из магнетита и частиц нефтепродуктов. Циркуляционный контур с входящими в

его состав гидроциклоном 6 и системой регулировочных клапанов и насосным блоком, а также барботаж сжатым воздухом обеспечивают интенсификацию процесса в реакционной камере.

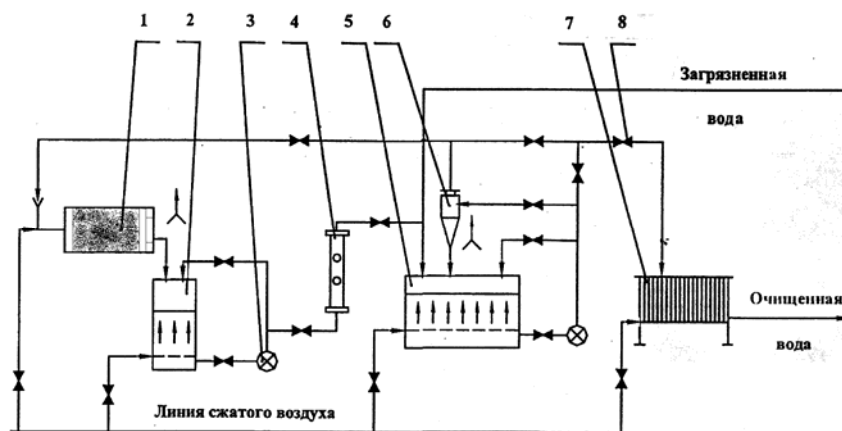


Рис. 2

Очищенная вода подается на повторное использование, что позволяет снизить общее водопотребление не менее чем в 6...8 раз.

ВЫВОДЫ

1. Установлена целесообразность и эффективность предварительной ультразвуковой обработки реагента (магнетита) при реализации процесса очистки сточных вод от органических загрязнений, позволяющая на 20...25% сократить длительность процесса и повысить на 10...15% степень очистки.

2. Предложена математическая модель ультразвуковой обработки реагента (магнетита) в процессе очистки сточных вод. В основе модели лежит краевая задача для функции распределения частиц магнетита по размерам. Полученное методом Фурье решение позволяет рассчитать количественную оценку эффективности ультразвукового воздействия на характерный размер частиц магнетита и связанного с ним кинетического коэффициента.

3. Рекомендуемый реагентный, на основе магнетита, способ очистки загрязненной воды от нефтепродуктов апробирован в промышленных условиях. Результаты испытаний подтвердили его эффективность и соответствие опытных значений показателей расчетным по предложенной инженерной методике. Средняя погрешность не превышает 10...13%.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сосновская А.А., Власова В.И. и др.* Сорбционно-коагуляционная очистка высокозагрязненного потока сточных вод отделочного производства тонкосуконного комбината // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1992, №6. С.82...86.

2. *Артемов А.В., Платова Т.Е. и др.* Анализ технологических сточных вод текстильных предприятий // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1995, №1. С. 108...111.

Рекомендована кафедрой процессов и аппаратов химической технологии и безопасности жизнедеятельности. Поступила 03.06.11.