

УДК 677.027

**АППАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ И РАСЧЕТ ПРОЦЕССА
УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ГАЛЬВАНОКОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД
ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ**

**HARDWARE AND TECHNOLOGICAL REGISTRATION AND CALCULATION
OF THE PROCESS OF SEWAGE TREATMENT
BY ULTRASONIC GALVANOCOAGULATION FROM ORGANIC POLLUTION**

*М.К. КОШЕЛЕВА., П.П. КЕРЕМЕТИН, Г.Б. ВЕКСЛЕР, В.О. АБРАМОВ
M.K. KOSHELEVA, P.P. KEREMETIN, G.B. VEKSLER, V.O. ABRAMOVA*

**(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина,
Институт общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова РАН,
Московский государственный университет инженерной экологии)**

Предложено защищенное патентом РФ устройство для очистки сточных вод от органических загрязнений методом гальванокоагуляции с использованием ультразвукового воздействия на гальванокоагулянт для повышения эффективности процесса коагуляции. Определены рациональные параметры процесса очистки и ультразвукового воздействия. Разработана программа расчета степени очистки сточных вод от нефтепродуктов.

The device protected by the Russian Federation patent for sewage treatment from organic pollution by a galvanocoagulation method with use of ultrasonic influence on galvanocoagulant for increase of efficiency of the coagulation process has been offered. Rational parameters of the process of treatment and ultrasonic influence have been defined. The program of calculation of extent of sewage treatment from oil products has been developed.

Ключевые слова: сточные воды, процесс очистки, органические загрязнения, устройство гальванокоагуляционной очистки, расчет степени очистки.

Keywords: sewage treatment, organic pollution, device of galvanocoagulation, calculation of treatment extent.

В стоках разных текстильных предприятий в значительном количестве содержатся органические вещества, в том числе нефтепродукты. Количество органических веществ, как и удельное количество сточных вод, существенно зависит от ассортимента и технологии получения текстильного материала. Так, например, в стоках отделочных производств тонкосуконных фабрик содержится от 40 до 80 мг/л нефтепродуктов, а в стоках фабрик первичной переработки шерсти – более 7000 мг/л. При этом на тонкосуконной фабрике производительностью 3000 т/год расход воды составляет 109270 м³/год, а количество сточных вод отделочного производства – 76000 м³/год.

Для очистки сточных вод от органических загрязнений выбран гальванокоагуляционный метод [1]. Механизм гальванохимической очистки сточных вод сложен и определяется процессами, возникающими во время взаимодействия гальванопары с водой и кислородом. В качестве элементов гальванопары в исследованиях использовались кокс и железо, при их контакте об-

разуется магнетит, который в дальнейшем используется в качестве реагента. Установлено, что существенное повышение активности гальванокоагулянта происходит при его диспергировании, а одним из эффективных способов повышения интенсивности процесса коагуляции органического загрязнения является предварительная ультразвуковая обработка суспензии магнетита [1, 2]. На основании литературного обзора, патентного и экспериментального исследования предложено расположение аппаратов в устройстве для гальванокоагуляционной очистки сточных вод от органических загрязнений [3].

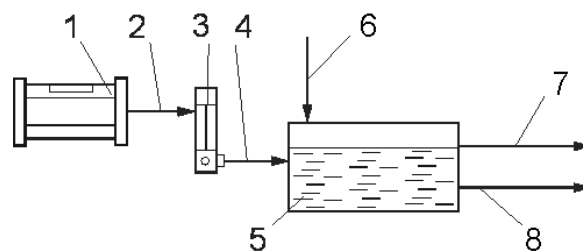


Рис. 1

Схема предлагаемого устройства представлена на рис. 1, где 1 – гальванокоагулятор, 2, 4 – патрубки, 3 – ультразвуковой возбудитель колебаний, 5 – реактор, 6 – патрубок для подвода сточной воды, 7 – патрубок для отвода очищенной воды, 8 – патрубок для отвода отработанного магнетита.

Устройство содержит гальванокоагулятор, который является наработчиком магнетита, и соединенный с ним ультразвуковой УЗ возбудитель колебаний, из которого суспензия магнетита поступает в реактор, через который проходит загрязненная вода. В соответствии со схемой, представленной на рис. 1, в гальванокоагулятор 1 загружаются элементы гальванопары, например, железная стружка и кокс, при взаимодействии которых образуется магнетит, который по патрубку 2 транспортируется самотеком или принудительным потоком воздуха в ультразвуковой возбудитель колебаний 3, включающий типовые ультразвуковой генератор, преобразователь и волновод. Ультразвуковое воздействие на магнетит способствует его измельчению, активирует его поверхность,

повышает сорбционную способность за счет кавитации. Из ультразвукового возбудителя колебаний 3 магнетит по патрубку 4 транспортируется в реактор 5, в который через патрубок 6 поступает сточная вода, предназначенная для очистки. В реакторе 5 происходит сорбция нефтепродуктов на поверхности магнетита, очищенная вода удаляется через патрубок 7, а отработанный магнетит – через патрубок 8. Предлагаемое устройство позволяет решить задачу повышения степени очистки промышленных сточных вод при экономии элементов гальванопары и повышении производительности очистного оборудования. На основе предложенного и защищенного патентом устройства разработана аппаратно-технологическая схема очистки воды от органических загрязнений с использованием активированного в УЗ поле гальванокоагулянта ГК [2].

В основе разработанного метода расчета процесса очистки сточных вод от органических загрязнений с помощью реагента-магнетита при интенсификации его ультразвуком лежит кинетическое уравнение процесса реагентной коагуляции:

$$\frac{\partial f(v, \theta)}{\partial \theta} = \beta_0 \left[\int_0^{\frac{v}{2}} f(v_1, \theta) f(v - v_1, \theta) dv_1 - f(v, \theta) \int_0^{\infty} f(v_1, \theta) dv_1 \right], \quad (1)$$

а также найденное решение этого уравнения в условиях принятых допущений

и предположений:

$$\phi(v, \theta) = \frac{1}{1 + \frac{\beta_0 n_0 \theta}{2}} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\phi(\omega, 0)}{1 - \left(n_0 - \frac{\phi(\omega, 0) \beta_0 \theta}{2} \right)} d\omega, \quad (2)$$

где $f(v, \theta)$ – распределение частиц загрязнения по их объему в момент времени θ , $\beta_0 = \beta(v_1, v - v_1, \tau) = \beta(v - v_1, v_1, \tau) = \text{const}$, v, v_1 – объемы частиц при парном столкновении, $\phi(\omega, 0) = \int_0^{\infty} e^{i\omega v} f_0(v) dv$, $n_0 = n(\theta=0)$.

Исходными данными для расчета являются характеристики магнетита (распределение его частиц по размерам, количество магнетита, вводимое в очищаемую воду), характеристики загрязненной воды (распределение дисперсной фазы по размерам, плотность загрязнения, концентрация загрязнения, количество очищаемой воды), время процесса очистки, параметры ультразвукового воздействия на магнетит

(мощность и продолжительность воздействия ультразвука), а также требуемая степень очистки. В зависимости от условий перед инженером может стоять следующая задача: или на основе количества магнетита, вводимого в очищаемую воду, требуется рассчитать степень очистки воды, или на основе требований к очищенной воде рассчитать необходимое количество магнетита. Последняя задача является обратной к первой и реализуется с использованием численных методов решения задачи оптимизации. Алгоритм расчета прямой задачи включает: расчет распределения частиц магнетита по размерам на основе параметров ультразвукового воздействия, расчет характеристик логнормального распределения частиц магнетита, расчет кинетического коэффициента, расчет степени очистки воды от органических загрязнений.

Полученные опытные данные позволили выявить среди технологических параметров процесса те, которые одновременно, без каких-либо технологических затруднений, могут варьироваться в достаточно широком диапазоне и существенным образом влияют на эффективность процесса. Такими параметрами являются доза добавляемого магнетита и его фракционный состав. Указанный вывод подтверждается результатами теоретических

исследований [1], [2]. Изменение характеристик магнетита отражается на кинетическом коэффициенте K , который непосредственно входит в расчетные соотношения разработанных математических моделей изучаемого процесса.

Экспериментальные кривые удовлетворительно согласуются с расчетами степени очистки по уравнению:

$$\eta = \frac{K\tau}{\rho v_0 + K\tau}, \quad (3)$$

где K – обобщенный кинетический коэффициент, характеризующий скорость процесса; τ – время от начала процесса коагуляции; ρ – плотность загрязнения; v_0 – средний объем частиц загрязнения до процесса очистки. Средняя погрешность не превышает 5...7%. Обработка этих кривых

в координатах $\frac{1}{\eta} - \frac{1}{\tau}$ позволила получить

оценку для кинетического коэффициента K (рис. 2 – очистка эмульсии с $c_0=26$ мг/л ГК, $D=600$ мг/л без УЗ обработки), которая в исследованном диапазоне технологических параметров процесса составила $4,03 \cdot 10^{-10}$ мг/с. Полученная оценка необходима для практического использования расчетной формулы (3).

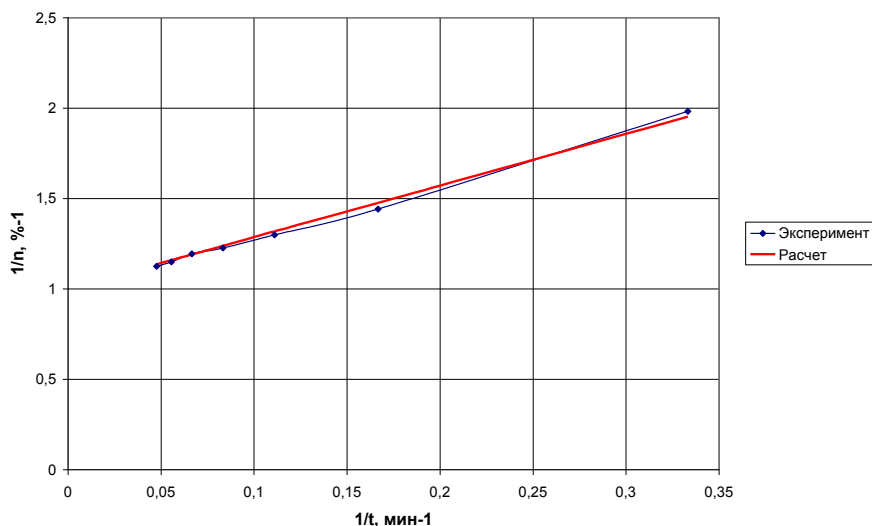


Рис. 2

Алгоритм расчета процесса очистки сточных вод от органических загрязнений с помощью реагента-магнетита (ГК) реализован в виде готового программного продукта и зарегистрирован в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам [4].

Экспериментальная проверка метода расчета степени очистки модельной эмульсии от нефтепродуктов ГК без воздействия УЗ проводилась для заданных степеней очистки $\eta = 81\%$ и $\eta = 91\%$, с УЗ воздействием (при его интенсивности

$I = 36,9 \text{ Вт/см}^2$ и времени обработки 60 с) на ГК для степеней очистки $\eta = 81\%$ и $\eta = 95\%$.

Расчетные концентрации ГК составили соответственно 680 и 1000 мг/л (при концентрации эмульсии 43,7 мг/л, без УЗ обработки ГК) и 250 и 460 мг/л (при концентрации эмульсии 33,92 мг/л, с УЗ обработкой ГК).

В табл. 1 представлены результаты экспериментальной проверки расчета степени очистки по отработанной на предварительных этапах методике.

Т а б л и ц а 1

Расчетная доза ГК, мг/л	C_0 , мг/л	C , мг/л	$\eta_{\text{расч.}}$, %	$\eta_{\text{эксп.}}$, %	УЗ воздействие
680	43,7	6,925	81	84	—
1000	43,7	2,23	91	94	—
250	33,92	6,24	81	81,60	+
460	33,92	2,9184	95	91,40	+

П р и м е ч а н и е. C_0 и C – начальная и конечная концентрация загрязнений в очищаемой воде.

Экспериментальные исследования и проверка предлагаемого метода расчета проводились на примере воды, отобранной в отделочном производстве одной из тонкосуконных фабрик, поскольку в процессе валки тонкосуконных шерстяных тканей используется керосин. Вода, содержащая керосин, поступает в сток после стадии "большая вода" процесса промывки, следующего за процессом валки. Начальная концентрация нефтепродуктов, определенная методом ИК-фотометрии на концентратометре КН-2м по стандартной методике, составила 11,04 мг/л. Расчеты показали, что для очистки воды с данной концентрацией нефтепродуктов до норм ПДК (0,7 мг/л) потребуется 300 ± 40 мг/л гальванокоагулянта, необработанного ультразвуком, и 130 ± 20 мг/л гальванокоагулянта, предварительно обработанного ультразвуком в течение 60 секунд с интенсивностью УЗ воздействия 37 Вт/см^2 .

Предложенный метод расчета целесообразно использовать на стадии проектирования, анализа, сопоставления способов организации процесса очистки воды, загрязненной органическими веществами.

В процессе очистки сточных вод магнетитом образуется шлам, в результате че-

го встает вопрос об его утилизации. В практике известны различные способы использования железосодержащего шлама, полученного при очистке вод, дающие определенный экономический эффект, например, применение его для создания жаростойкого покрытия при изготовлении поддонов и изложниц, в качестве добавок при выпуске портландцемента, для получения охры [5], [6]. Возможно также использование шлама при производстве строительных материалов, например, керамзита [5...7]. Шлам может использоваться для очистки газов от сероводорода [5], [7]. После обработки Fe-содержащего шлама серной либо соляной кислотой можно получить коагулянт $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ или FeCl_3 [5], [6]. Использование образовавшегося хлорида железа уже более разнообразно: в радиотехнической промышленности – для травления печатных плат, в коммунальном хозяйстве – для очистки сточных вод, на станциях обезжелезивания – для повышения эффективности и скорости окисления ионов двухвалентного железа. Особенно перспективно применение Fe-содержащего осадка подземных вод в производстве пигментов для лаков и красок на

масляной основе, например, красящего пигмента – сурика.

ВЫВОДЫ

1. Предложено устройство для очистки промышленных стоков от органических загрязнений, в частности, от нефтепродуктов, обеспечивающее 90...95%-ную степень очистки, защищенное патентом.

2. Разработаны метод и программа расчета степени очистки и количества гальванокоагулянта, обеспечивающего требуемую степень очистки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булеков А.П., Кошелева М.К., Кереметин П.П. и др. Математическое описание и расчет процесса очистки сточных вод // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №1. С. 116..121.

2. Кошелева М.К., Булеков А.П., Кереметин П.П. и др. Оценка эффективности ультразвуковой обработки реагента при очистке сточных вод от органических загрязнений // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №5. С. 125..129.

3. Патент – 94967 РФ, Устройство для гальванокоагуляционной очистки сточных вод / М.К. Кошелева, П.П. Кереметин и др.; Мос. гос. текстильн. ун-т им. А.Н. Косыгина.- №2010104940/22(006948); Заяв. 10.03.2010; Оpubл. 10.06.2010, Бюл. N 16.

4. Кереметин П.П., Кошелева М.К. и др. Расчет процесса очистки сточных вод от нефтепродуктов с помощью гальванокоагулянта, предварительно облученного ультразвуком. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009616630 от 30.11.2009. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.

5. Янин Е.П. Осадок железосодержащих подземных питьевых вод (образование, особенности, проблемы утилизации)//Научные и технические аспекты охраны окружающей среды // Обзорная информация. – 2008, №4. С.26..57.

6. Алферова Л.И., Курочкин Е.Ю., Дзюбо В.В. Повторное использование промывных вод и утилизация осадка на станциях очистки подземных вод // [http:// www. abok.ru/for _ spec/articles. php?nid=3169](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3169).

7. Золотова Е. Ф., Асе Г. Ю. Очистка воды от железа, фтора, марганца и сероводорода. – М.: Стройиздат, 1975.

Рекомендована кафедрой процессов и аппаратов химической технологии и безопасности жизнедеятельности МГТУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 21.01.13.