

УДК 677.027

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД  
МЕТОДОМ ГАЛЬВАНОКОАГУЛЯЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА***П.П. КЕРЕМЕТИН, М.К. КОШЕЛЕВА, М.С. МУЛЛАКАЕВ*

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина,  
Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН)  
E-mail: office@msta.ac.ru

*Проведены экспериментальное исследование и расчет процесса очистки сточных вод от нефтепродуктов методом гальванокоагуляции. Предложено устройство для очистки сточных вод гальванокоагуляционным методом с использованием ультразвука.*

*The experimental research and calculation of the process of wastewater cleaning from oil products by the galvanocoagulation method are carried out. The cleaner of wastewater by the galvanocoagulation method using ultrasound is offered.*

**Ключевые слова:** процесс очистки сточных вод, гальванокоагуляция, ультразвук, программа расчета степени очистки сточных вод, дисперсная фаза, концентрация.

В отделочном производстве тонкосуконных фабрик в процессе валки используется керосин для удаления гудронных и жировых пятен преимущественно с тканей светлых тонов, который попадает в сточные воды. Результаты анализа сточных вод одной из тонкосуконных фабрик показывают, что они содержат нефтепродукты, концентрация которых в промывных стоках 490 мг/л, а в общем стоке 95 мг/л [1], [2].

Одним из эффективных и современных методов очистки сточных вод от нефтепродуктов является гальванокоагуляционный метод. Этот метод относится к числу перспективных безреагентных методов и, что очень важно, гальванокоагуляция

включена в реестр ЮНЕСКО в качестве рекомендуемого новейшего метода очистки сточных вод.

В ИОНХ РАН экспериментально выявлено, что ультразвуковое (УЗ) воздействие существенно повышает активность нарабатываемых гальванохимическим способом кристаллов оксидных форм железа-гальванокоагулянта ГК (большую часть которого составляет магнетит  $Fe_3O_4$ ) [3...5]. УЗ активация ГК позволяет интенсифицировать технологию очистки значительных объемов загрязненных вод в специальных реакционных аппаратах. При этом гальванокоагулятор является исключительно наработчиком этого реагента [3...5].

Исследование процесса очистки сточных вод от нефтепродуктов проводилось на модельных эмульсиях в лаборатории ультразвуковой техники и технологии ИОНХ РАН. В качестве источника ультразвуковых колебаний применялся ультразвуковой генератор TS4M1, соединенный с магнестрикционным преобразователем ультразвуковых колебаний, снабженный волноводом. Амплитуда колебаний торца волновода при ультразвуковой обработке варьировали от 6 до 21 мкм при частоте колебаний излучателя 24,4 кГц. Концентрация нефтепродуктов определялась с помощью ИК-фотометрического метода на концентратомере КН-2м по стандартной методике. Для фракционного анализа воды, загрязненной нефтепродуктами, использовался микроскоп Laboval 4 Carlzeiss Jena с фотоаппаратом Nikon Coolpix 4500. Фракционный анализ магнетита проводился на лазерном дифракционном микроанализаторе Analysette 22.

Для расчета степени очистки воды необходимы коэффициенты, характеризующие поглотительную способность ГК в зависимости от гранулометрического состава

дисперсной фазы на основе полученных экспериментальных данных и последующего вычисления необходимой концентрации ГК. Для анализа распределения дисперсной фазы эмульсии по диаметрам использованы фотографии, полученные с помощью микроскопа, обработанные программой по анализу изображений VisualAge, которая формирует массив  $N(\delta)$ , показывающий число частиц дисперсной фазы  $N$ , заключенных в определенном диапазоне со средним диаметром  $\delta$  (мкм). Для анализа поглотительной способности частиц нефтепродуктов различного размера магнетитом необходимо построить гистограмму дифференциального распределения размеров частиц дисперсной фазы (нефтепродуктов), например, как это показано на рис.1 (гистограмма дифференциального распределения размеров частиц дисперсной фазы), применительно к значению  $C_0 = 46,47$  мг/л. Для расчета необходимой концентрации ГК необходимо получить распределение частиц дисперсной фазы по их диаметрам  $s(\delta)$  на основе массива  $N(\delta)$ .

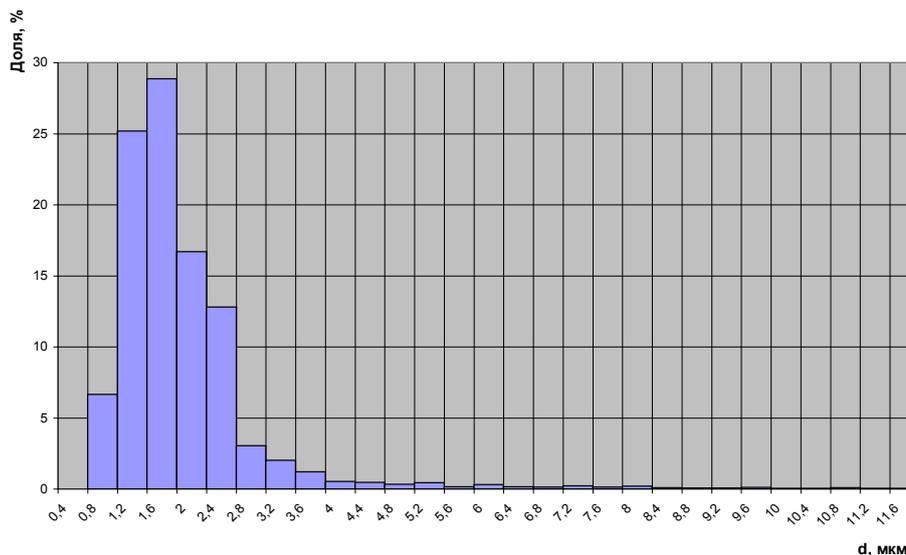


Рис. 1

Концентрация нефтепродуктов  $c_i$  (в мг/л) в  $i$ -м диапазоне равна:

$$c_i = N_i \cdot \ell \cdot \rho V_i \cdot 10^{-9}, \quad (1)$$

где  $N_i$  – число частиц дисперсной фазы эмульсии, диаметры которых входят в  $i$ -й диапазон;  $\ell$  – масштабный коэффициент;  $\rho$  – плотность нефтепродуктов,  $\text{г/см}^3$ ;

$V_i = \pi \delta_i^3 / 6$  – средний объем частиц дисперсной фазы эмульсии в  $i$ -м диапазоне, мкм<sup>3</sup>;  $\delta_i$  – средний диаметр частиц дисперсной фазы в  $i$ -м диапазоне, мкм.

Масштабный коэффициент  $\ell$  представляет собой соотношение:

$$\ell = V_{\text{нп}} / V'_{\text{нп}}, \quad (2)$$

где  $V_{\text{нп}}$  – объем нефтепродуктов, содержащихся в литре эмульсии, л;  $V'_{\text{нп}}$  – объем нефтепродуктов, содержащихся в  $N$  каплях ( $N = \sum_{i=1}^n N_i$ ) – общее количество частиц дисперсной фазы, посчитанных программой VisualAge), л;  $n$  – число интервалов, выделенных программой VisualAge.

На основе предположения об экспоненциальном характере изменения концентрации нефтепродуктов определяются коэффициенты, характеризующие поглонительную способность ГК по размерам частиц дисперсной фазы. Коэффициенты, характеризующие поглонительную способность ГК,  $k_i$  будут изменяться при различных параметрах УЗ обработки ГК вследствие изменения его удельной площади поверхности. Зависимости удельной площади поверхности от мощности и времени определяются экспериментально. Расчет концентрации ГК, необходимой для достижения требуемой степени очистки  $v$  модельной эмульсии от нефтепродуктов, определяется по расчетному графику.

Расчетный график зависимости степени очистки от концентрации ГК строится для произвольных значений дозы ГК в соответствии с выражением:

$$v = \frac{\sum_{i=1}^n c_{0i} - \sum_{i=1}^n c_i}{\sum_{i=1}^n c_{0i}}, \quad (3)$$

принимая во внимание, что  $b = \frac{D}{\sum_{i=1}^n c_{0i}}$ , с

учетом уравнения (1),  $c_i = c_{0i} \exp(-k_i b)$ , где  $D$  – доза добавляемого в воду магнетита, мг/л.

Экспериментальная проверка расчета степени очистки модельной эмульсии от нефтепродуктов ГК без воздействия УЗ на ГК проводилась для заданных степеней очистки 81 и 91%, с УЗ воздействием (при интенсивности  $I = 36,9$  Вт/см<sup>2</sup> и времени обработки  $t = 60$  с) на ГК для степеней очистки 81 и 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 по отработанной на предварительных этапах методике.

Таблица 1

Расчетная доза ГК, мг/л	$C_0$ , мг/л	$C$ , мг/л	$v$ расч., %	$v$ 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	+

Разработана программа расчета степени очистки воды от нефтепродуктов, зарегистрированная в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.

Для повышения сорбционной способности ГК при УЗ воздействии на него разработано устройство, защищенное патен-

том [6].

Устройство является промышленно применимым и может быть использовано для очистки промышленных сточных вод от нефтепродуктов, например, сточных вод отделочного производства текстильных фабрик от керосина.

Предлагаемое устройство решает поставленную задачу повышения степени очистки промышленных сточных вод, при этом позволяет экономить элементы гальванической пары за счет повышения сорбционной способности магнетита, повышает производительность процесса очистки сточных вод, например, предприятий нефтеперерабатывающей, текстильной и химической промышленности, что имеет большое экономическое значение в современных условиях.

Экспериментальные исследования и проверка предлагаемого метода расчета проводились на примере воды, отобранной в отделочном производстве одной из московских тонкосуконных фабрик. 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 методике ФР.1.31.2001.00261, 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.

## ВЫВОДЫ

1. Проведены экспериментальные исследования процесса гальванокоагуляционной очистки сточных вод от нефтепродуктов с использованием ультразвукового воздействия при рациональных параметрах.

2. Разработана программа расчета степени очистки сточных вод от нефтепродуктов с использованием гальванокоагулянта, зарегистрированная в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.

3. Предложено устройство для очистки сточных вод гальванокоагуляционным методом с использованием ультразвука, защищенное патентом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Артемов А.В., Платова Т.Е., Павлов Н.Н. и др.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1995, №1. С.108...111.
  2. *Сосновская А.А., Власова В.И., Герасимович О.А. и др.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1992, №6. С.80...86.
  3. *Кереметин П.П., Парилов П.С., Муллакаев М.С. и др.* Определение режимных и технологических параметров сонохимической очистки нефтезагрязненных вод // Химическая технология. – 2010. Том 11, № 1. С.56...62.
  4. *Кереметин П.П., Муллакаев М.С., Векслер Г.Б., Кручинина Н.Е.* К расчету процесса сорбционной очистки нефтезагрязненных вод при использовании гальванокоагулянта// Тр. XXII Междунар. науч. конф.: Математические методы в технике и технологиях. – Псков, 2009.
  5. *Абрамов О.В., Кошелева М.К., Кереметин П.П., Муллакаев М.С.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009, №3. С.107...110.
  6. *Кошелева М.К., Кереметин П.П., Булеков А.П., Муллакаев М.С., Солдатова Н.А.* Устройство для гальванокоагуляционной очистки сточных вод. Заявление о выдаче патента Российской Федерации на полезную модель. Рег. №2010104940, приоритет от 12.02.2010, положительное решение от 17.03.2010.
- Рекомендована кафедрой процессов и аппаратов химической технологии и безопасности жизнедеятельности МГТУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 09.04.10.