

УДК 629.12.03

М.В. ИСТОМИН*Севастопольский национальный технический университет, Украина***МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ВОД ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТАХ С КВАРЦЕВЫМ ПЕСКОМ**

В результате проведенного исследования разработана математическая модель процесса очистки нефтесодержащих вод энергетических установок в фильтроэлементах с кварцевым песком, которая позволяет оптимизировать процесс очистки и рассчитать рациональные значения эксплуатационных и конструктивных параметров фильтроэлементов с кварцевым песком. Фильтроэлементы с кварцевым песком обладают простотой конструкции и эксплуатации, высокой очистной способностью и возможностью регенерации, что повышает эффективность использования средств предотвращения загрязнения окружающей среды.

математическая модель, энергетические установки, нефтесодержащие воды, фильтроэлемент**Общая постановка проблемы и ее связь с научно-практическими задачами**

Вопросы охраны окружающей среды в настоящее время выдвинулись в число первоочередных задач для человечества. Составной частью этой глобальной задачи является проблема предотвращения загрязнения моря нефтью в результате судоходства.

В последнее десятилетие существенно повысились требования очистки судовых нефтесодержащих вод (НСВ), что связано с необходимостью выполнения требований Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов MARPOL-73/78, согласно которым содержание нефтепродуктов в очищенных НСВ не должно превышать 15 млн^{-1} [1].

Обзор публикаций и анализ нерешенных проблем

Харьковским отделом ВНИИ ВОДГЕО разработаны фильтры «Полимер» [2] производительностью $25 \dots 500 \text{ м}^3/\text{ч}$ с пенополиуретановой измельченной загрузкой размером $15 \dots 20 \text{ мм}$. Недостатком таких фильтров является то, что концентрация нефтепродуктов на входе не должна быть более 150 млн^{-1} и в результате их регенерации образуются стойкие эмульсии, затрудняющие утилизацию нефтепродуктов.

Авторами ряда работ [2, 3] исследовано влияние скорости фильтрации, диаметра гранул и высоты загрузки фильтра на процессы коалесценции тонкодиспергированных нефтяных эмульсий. В качестве загрузки исследовали гранулированный полиэтилен и вспененный гранулированный полистирол. В исходной эмульсии частицы нефтепродуктов имели размеры $20 \dots 30 \text{ мкм}$, в профильтрованной – $40 \dots 55 \text{ мкм}$. Как видно из результатов этих исследований, разработанные коалесцирующие фильтры обладают невысокой эффективностью вследствие того, что увеличение диаметра нефтяных частиц происходит только в 2 – 2,5 раза. Существующие в настоящее время сепарационные установки для очистки нефтесодержащих вод, как правило, не удовлетворяют современным требованиям. Одни не обеспечивают необходимого качества очистки, другие имеют малый ресурс работы и большие габариты, третьи сложны в изготовлении и эксплуатации [2, 4, 5]. Большими возможностями повышения эффективности работы обладают коалесцирующие элементы, имеющие нежесткую структуру, к которым можно отнести фильтры с гидрофобизированным кварцевым песком, поэтому является актуальным исследование процесса очистки нефтесодержащих вод в таких фильтроэлементах.

Учитывая, что при фильтровании нефтеводной эмульсии с более легкой дисперсной фазой эффективнее работают фильтроэлементы с нисходящим потоком [4], то при математическом моделировании изучаемого процесса принимаем направление движения через фильтроэлемент сверху-вниз.

В качестве параметра, определяющего эффективность разделения нефтеводной эмульсии в объеме кварцевого песка, принята концентрация нефтепродуктов в эмульсии $K_{вых}$ после прохождения её через слой гранул песка.

После предварительной очистки перед доочистными фильтроэлементами концентрация нефтепродуктов в НСВ составляет менее 1000 млн^{-1} [4, 5], а содержание механических примесей менее 100 мг/л . Исходя из этого, примем концентрацию на входе в фильтроэлементы $K_{ex} = 1000 \text{ млн}^{-1}$ и будем считать нефтеводную эмульсию перед доочистными фильтроэлементами двухкомпонентной средой.

Для разработки математической модели процесса очистки нефтесодержащих вод в фильтроэлементе, состоящем из кварцевого гидрофобизированного песка необходимо определить существенные факторы исследуемого процесса и зависимость концентрации нефтепродуктов после слоя кварцевого песка от существенных факторов.

Исходя из анализа исследований ряда авторов [2 – 4], результатов предварительных экспериментов и исключая линейно-зависимые факторы и параметры, поддерживаемые постоянными в процессе экспериментов, зависимость концентрации нефтепродуктов после слоя кварцевого песка от существенных факторов можно записать в следующем виде.

$$K_{вых} = f(H, q, d), \quad (1)$$

где H – высота слоя гранул песка, м;

q – удельный расход эмульсии через слой гранул, м/ч;

d – средний диаметр гранул песка, м;

Аддитивные модели на основе уравнений регрессии даже более высоких порядков не позволяют с

достаточной точностью определить искомую функцию ($K_{вых}$), так как в зависимости от факторов исследуемого процесса она изменяется в самых широких пределах, но должна оставаться всегда положительной величиной, что при использовании уравнения регрессии обеспечить не всегда удается. Поэтому при математическом моделировании процесса очистки нефтесодержащих вод в фильтроэлементах с кварцевым песком является целесообразным и оправданным выбор математической модели на основе степенной функции в виде экспоненциальной зависимости.

Выбор границ области факторного пространства осуществляется на основании априорной информации и данных предварительных экспериментов. Значения факторов в точках плана экспериментов приведены в табл. 1.

Таблица 1
Значения факторов
в точках плана экспериментов

Переменные	(x_1) $H,$ м	(x_2) $q,$ м/ч	(x_3) $d \cdot 10^3,$ м
Верхний уровень	0,8	4,0	1,5
Основной уровень	0,5	2,5	1,0
Нижний уровень	0,2	1,0	0,5
Интервал варьирования	0,3	1,5	0,5

В результате статистической обработки данных экспериментов, расчета коэффициентов и определения их значимости получаем математическую модель процесса очистки нефтесодержащих вод в фильтроэлементах с кварцевым песком в виде следующего уравнения

$$K_{вых} = K_{ex} \cdot e^{\varphi(X)}, \quad (2)$$

где K_{ex} – концентрация исходной эмульсии;

$$\varphi(X) = 0,7 + 2,6 \cdot d - 2,9 \cdot H + 0,3 \cdot q - 0,4 \cdot d^2 - 1,7 \cdot H^2 + 0,4 \cdot d \cdot H - 0,2 \cdot d \cdot q + 0,3 \cdot H \cdot q.$$

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Разработана математическая модель процесса очистки нефтесодержащих вод энергетических установок в фильтроэлементах с кварцевым песком, которая позволяет оптимизировать процесс очистки и рассчитать рациональные значения эксплуатационных и конструктивных параметров фильтроэлементов с кварцевым песком.

Литература

1. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 года и Протокол 1978 года. – М.: ЦРИА «Морфлот», 1980. – 364 с.
2. Роев Г.А., Юфин В.А. Очистка сточных вод и вторичное использование нефтепродуктов. – М.: Недра, 1987. – 224 с.

3. Седлухо Ю.П. Механизм разделения эмульсии типа «масло в воде» методом контактной коалесценции // Вода и экология: проблемы и решения. – 2001. – № 1. – С. 24-32.

4. Истомин В.И. Комплексная очистка судовых нефтесодержащих вод. – Севастополь: СевНТУ, 2004. – 202 с.

5. Нунупаров С.М. Предотвращение загрязнения моря судами. – М.: Транспорт, 1979. – 336 с.

Поступила в редакцию 21.05.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Е.В. Никитин, Севастопольский военно-морской институт им. П.С. Нахимова, Севастополь.