

УДК 629.12.03

В.И. Истомин, д-р техн. наук, доцент*Севастопольский национальный технический университет**Студгородок, Севастополь, Украина, 99053**E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua***ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ГРАНУЛИРОВАННЫХ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТОВ**

Определено значение рационального удельного расхода гранулированных фильтроэлементов методом отыскания точки Лагранжа, которая наиболее удалена от прямой; это позволяет интенсифицировать процесс очистки судовых нефтесодержащих вод.

Постановка задачи и ее связь с практикой. Проблема предотвращения загрязнения моря нефтью выдвинулась в последнее десятилетие в число важнейших задач человечества. Особенно важна глубокая очистка судовых нефтесодержащих вод, что связано с необходимостью выполнения требований Международной конвенции по предотвращению загрязнения от судов MARPOL73/78, согласно которым содержание нефтепродуктов в очищенных нефтесодержащих водах, сбрасываемых с судов, не должно превышать 15 млн^{-1} [1].

Обзор публикаций и анализ нерешенных задач. 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]. Большими возможностями повышения эффективности работы обладают коалесцирующие элементы, имеющие нежесткую структуру, к которым можно отнести фильтры с гранулированной коалесцирующей загрузкой [3].

Цель исследований. Определение рационального удельного расхода нефтесодержащих вод через гранулированные фильтроэлементы методом нахождения точки Лагранжа.

Результаты исследований. Очистка нефтесодержащих вод, которые являются двухкомпонентной неоднородной жидкостью, сложный и многофакторный процесс, поэтому сомнительна возможность адекватного его описания уравнением первой степени. Уравнения более высших порядков не только оказываются слишком громоздкими, но и требуют постановки весьма большого числа опытов [4, 5].

В качестве математической модели процесса очистки нефтесодержащих вод СЭУ в объеме гранулированной коалесцирующей загрузки принят полином второй степени [5] вида

$$K_{\text{вых}} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{33}x_3^2 + a_{44}x_4^2 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{14}x_1x_4 + a_{23}x_2x_3 + a_{24}x_2x_4 + a_{34}x_3x_4. \quad (1)$$

Учитывая требования к регрессионному анализу, а также результаты теоретического исследования и предварительных однофакторных экспериментов, принимаем в качестве существенных следующие линейно-независимые факторы: $L(x_1)$ – высота слоя гранул, м; $q(x_2)$ – удельный расход эмульсии через слой гранул, м/ч; $d_c(x_3)$ – диаметр гранул, м; $K_{\text{ex}}(x_4)$ – объемная концентрация нефтепродуктов в исходной эмульсии, млн^{-1} ; x_1, x_2, x_3, x_4 – значения факторов в кодированной системе координат.

Для нахождения коэффициентов уравнения регрессии (1) воспользуемся планом второго порядка типа B_n . Общее число экспериментальных точек плана равно [4, 5]

$$N = 2^n + 2n = 24, \quad (2)$$

где n – число независимых факторов.

Выбор границ области факторного пространства осуществляется на основании опыта эксплуатации и данных предварительных экспериментов. Значения факторов в точках плана приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения факторов в точках плана экспериментов

Переменные	Значения факторов в кодированной системе координат	(x_1) L , м	(x_2) q , м/ч	(x_3) $d_c \cdot 10^3$, м	(x_4) $K_{\text{ex}} \cdot 10^{-3}$, млн^{-1}
Верхний уровень	+	1,0	4,0	4,0	250
Основной уровень	0	0,6	2,5	2,5	130
Нижний уровень	—	0,2	1,0	1,0	10
Интервал варьирования		0,4	1,5	1,5	120

При определении объема выборки необходимо учитывать то, что величина доверительного интервала наиболее резко падает при переходе от двух к трем параллельным опытам в точке плана, т.е. необходимо иметь не менее двух степеней свободы для дисперсии [4, 5].

В результате проведенных исследований получена математическая модель для расчета очистной способности гранулированных фильтроэлементов от их конструктивных и эксплуатационных параметров [3]:

$$K_{\text{вых}} = 139,7 - 91,5x_1 + 84,7x_2 + 78,6x_3 + 51,0x_4 + 50,3x_1^2 + 24,8x_2^2 + 29,3x_3^2 + 4,3x_4^2 - 1,2x_1x_2 - 4,1x_1x_3 - 2,3x_1x_4 + 34,3x_2x_3 + 11,6x_2x_4 + 7,9x_3x_4. \quad (3)$$

На основе полученного уравнения (3) построены графические зависимости $K_{\text{вых}}$ (концентрация нефтепродуктов в нефтесодержащих водах после гранулированного фильтроэлемента) от удельного расхода для сферических гранул различного размера (рисунок 1).

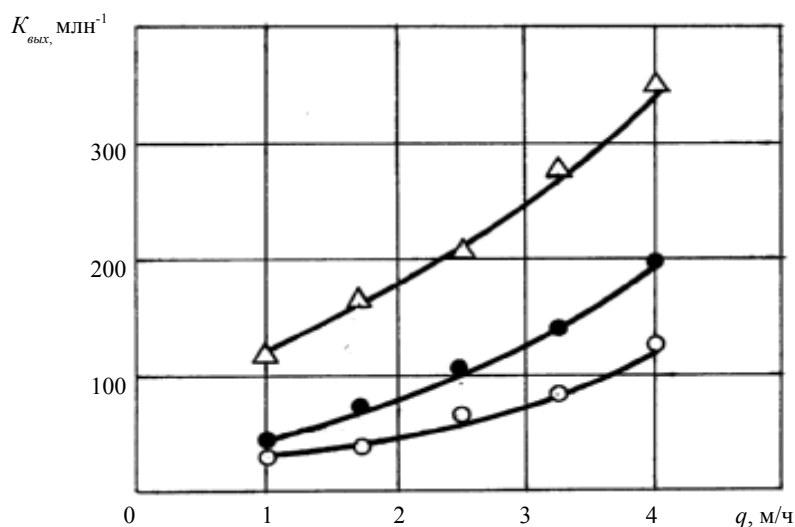


Рисунок 1 – Зависимость концентрации нефтепродуктов в очищенной воде после фильтроэлементов с гранулированной загрузкой от удельного расхода нефтесодержащих вод через слой гранул при следующих параметрах: $K_{\text{вх}} = 10 \cdot 10^3$ млн⁻¹; $l = 0,6$ м; $\circ - d = 1,0 \cdot 10^{-3}$ м; $\bullet - d = 2,5 \cdot 10^{-3}$ м; $\Delta - d = 4,0 \cdot 10^{-3}$ м

Если проанализировать изображенные на рисунке 1 зависимости, то можно установить, что при увеличении удельного расхода нефтесодержащих вод с 1,0 до 2,5 м³/ч концентрация нефтепродуктов в очищенной воде для гранул размером 1,0, 2,5 и 4,0 мм повышается соответственно на 14, 48 и 83 млн⁻¹, а при таком же увеличении q с 2,5 до 4,0 м³/ч $K_{\text{вых}}$ увеличивается соответственно на 63, 100 и 131 млн⁻¹ (рисунок 1); следовательно при удельном расходе нефтесодержащих вод через слой гранул более 2,5 м³/ч наблюдается более резкое падение очистной способности фильтроэлементов с гранулированной коалесцирующей загрузкой, что необходимо учитывать при проектировании нового фильтрующего оборудования.

Исходя из анализа рисунка 1, найдем рациональное значение удельного расхода нефтеводяной эмульсии через гранулированный фильтроэлемент.

Зависимости $K_{\text{вых}}$ от удельного расхода нелинейные и монотонно возрастающие. Достижение наибольшего или наименьшего значения монотонной функции возможно на границах исследуемого интервала. В данном случае минимальные значения $K_{\text{вых}}$ достигаются на нижней границе интервала при удельном расходе 1 м³/ч. При таком расходе фильтрующее оборудование имеет низкий коэффициент полезного действия и пропускную способность, а также увеличенные габариты. Найдем оптимум (в точке Лагранжа) в точке с наибольшим отклонением результирующей функции от прямой.

Для определения рационального значения удельного расхода соединим прямой начальные и конечные точки графиков рисунка 1. Значения удельного расхода, при котором графические зависимости $K_{\text{вых}}$ наиболее удалены в сторону уменьшения от прямой при повышенном значении удельного расхода, будем считать рациональным оптимумом.

Найден рациональный оптимум графиков рисунка 1. С этой целью сначала определено уравнение прямой для верхней зависимости (при диаметре гранул 4 мм), проходящей через начальную и конечную точки результирующей функции в кодированной системе координат, с учетом, что начальное значение удельного расхода $x_2(q) = -1$, а конечное $x_2(q) = 1$:

$$\frac{L_o - 115}{355 - 115} = \frac{x_2(q) + 1}{1 + 1}. \quad (4)$$

Из формулы (4) уравнение прямой примет следующий вид:

$$L_o = 235 + 120x_2(q). \quad (5)$$

Найдено максимальное отклонение искомой функции $K_{\text{вых}}$, определяемой по уравнению (3), от прямой (5). Производная $(L_o - K_{\text{вых}})'$ по удельному расходу равна:

$$(L_o - K_{\text{вых}})' = 120 - 84,7 - 49,6x_2(q) + 1,2 - 34,3 - 11,6 = 0. \quad (6)$$

Из уравнения (6) следует, что рациональное значение удельного расхода $x_2(q)$ в кодированной системе координат

$$X_2(q) = 0,17. \quad (7)$$

Зная нулевой уровень фактора $x_2(q)$, который равен 2,5, и интервал варьирования (1,5), и подставляя их в уравнение (7), найдем рациональное значение удельного расхода в объеме гранулированного фильтроэлемента

$$q_{\text{рац}} = 2,5 + 0,17 \cdot 1,5 = 2,7 \text{ м/ч}. \quad (8)$$

Аналогично найдено рациональное значение q для средней (диаметр гранул 2,5 мм) и нижней (диаметр гранул 1 мм) зависимостей рисунка 1, которые соответственно равны 2,5 и 2,4 м/ч.

Выводы. С использованием метода отыскания точки Лагранжа определено рациональное значение удельного расхода нефтеводяной эмульсии через гранулированные фильтроэлементы, которое лежит в пределах от 2,4 до 2,7 м/ч и уменьшается с уменьшением диаметра гранул. При данных значениях удельного расхода графические зависимости $K_{\text{вых}}$ наиболее удалены от прямой в сторону уменьшения при повышенном значении удельного расхода, что позволяет интенсифицировать процесс очистки судовых нефтесодержащих вод.

Перспективы дальнейших исследований. Предложенный метод может быть использован для отыскания рационального оптимума и других монотонных нелинейных функций с целью оптимизации исследуемых процессов.¹

Библиографический список

1. Нунупаров С.М. Предотвращение загрязнения моря судами / С.М. Нунупаров. — М.: Транспорт, 1979. — 336 с.
2. Роев Г.А. Очистка сточных вод и вторичное использование нефтепродуктов / Г.А. Роев, В.А. Юфин. — М.: Недра, 1987. — 224 с.
3. Истомин В.И. Комплексная очистка судовых нефтесодержащих вод / В.И. Истомин. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2004. — 202 с.
4. Асатурян В.И. Теория планирования эксперимента / В.И. Асатурян. — М.: Радио и связь, 1983. — 284 с.
5. Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шеффер. — М.: Мир, 1977. — 552 с.

Поступила в редакцию 22.01.2007 г.

¹ Примечание ред. Предметом пристального внимания может быть задача поиска экстремума критерия качества с учетом естественных ограничений.