

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НАСОСОВ СИСТЕМ
ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ВОД**

Оптимизированы режимы работы насосов систем очистки нефтесодержащих вод путем определения рациональных значений перепада давления и частоты вращения насоса.

Общая постановка проблемы ее связь с научно-техническими задачами. В настоящее время вопросы охраны окружающей среды настоятельно требуют своего решения. Особенно остро стоит проблема глубокой очистки судовых нефтесодержащих вод, что связано с необходимостью выполнения требований Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов MARPOL – 73/78, согласно которым содержание нефтепродуктов в очищенных нефтесодержащих водах, сбрасываемых с судов не должно превышать 15 млн^{-1} [1], поэтому являются актуальными исследования в области повышения эффективности работы сепараторов для очистки судовых нефтесодержащих вод (НСВ).

Обзор публикаций и анализ нерешенных проблем. Кроме конструкции самой сепарационной установки на эффективность процесса очистки нефтесодержащих вод существенное влияние оказывает тип перекачивающего насоса [2]. При прохождении нефтесодержащих вод через насосы происходит их "вторичное" эмульгирование. Поэтому при выборе перекачивающего устройства для системы очистки нефтесодержащих вод необходимо учитывать его эмульгирующую способность, то есть конструкция и основные эксплуатационные характеристики насоса должны обеспечивать минимальное эмульгирование нефтесодержащих вод.

Цель исследований Определить оптимальные значения перепада давления и частоты вращения насосов систем очистки НСВ.

Результаты исследований Средний диаметр частиц дисперсной фазы нефтеводной эмульсии, прошедшей через насос, исходя из опыта эксплуатации, предварительных исследований и требований регрессионного анализа будет являться функцией следующих факторов [3]

$$d_{cp} = f(n, \Delta P, \rho_n, K_{ex}), \quad (1)$$

где n – число оборотов насоса; ΔP – перепад давления на насосе; ρ_n – плотность нефтепродуктов; K_{ex} – концентрация нефтепродуктов в эмульсии.

Выбор границ факторного пространства осуществляется на основании априорной информации 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) n , мин^{-1}	(x_2) ΔP , МПа	(x_3) ρ_n , кг/м^3	(x_4) $K_{ex} \cdot 10^{-3}$, млн^{-1}
Верхний уровень	+	1000	0,4	960	250
Основной уровень	0	600	0,21	900	130
Нижний уровень	–	200	0,02	840	10
Интервал варьирования		400	0,19	60	120

В процессе дисперсионного анализа в одной точке плана эксперимента производится отбор трех проб нефтеводной эмульсии для микрофотографирования подсчета количества и размера частиц дисперсной фазы [4].

После реализации плана экспериментов статистической обработки данных и расчета коэффициентов регрессии получена математическая модель эмульгирующей способности насосов винтового типа [3]:

$$d_{cp} = 40,8 - 12,8x_1 - 29x_2 + 3,6x_3 + 8,9x_4 - 5,2x_1^2 + 12,6x_2^2 + 5,2x_3^2 - 0,1x_4^2 + \\ + 2,8x_1x_2 - 0,3x_1x_3 - 0,1x_1x_4 - 1,9x_2x_3 - 1,1x_2x_4 + 0,9x_3x_4. \quad (2)$$

С помощью математической модели процесса эмульгирования нефтесодержащих вод в винтовых насосах (2) построены расчетные графические зависимости среднего диаметра частиц дисперсной фазы нефтеводной эмульсии от частоты вращения насоса, перепада давления на нем (рисунки 1, 2). Экспериментальные значения среднего диаметра частиц дисперсной фазы нефтеводной эмульсии обозначены на рисунках точками. Сравнение расчетных и экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, что уравнение регрессии (2) адекватно описывает процесс эмульгирования нефтесодержащих вод в винтовых насосах.

Из анализа уравнения регрессии (2) следует, что наибольшее влияние на средний диаметр частиц дисперсной фазы нефтеводяной эмульсии оказывает перепад давления на насосе ΔP (рисунок 1). С увеличением перепада давления на насосе наблюдается резкое увеличение эмульгирующей способности насоса и, следовательно, уменьшение среднего диаметра частиц дисперсной фазы нефтеводяной эмульсии, вследствие значительного увеличения касательных напряжений в потоке эмульсии. Причем более резкое уменьшение d_{cp} наблюдается при увеличении перепада давления от 0,02 до 0,21 МПа (d_{cp} уменьшается на 40 мкм), чем при увеличении ΔP на ту же величину от 0,21 до 0,4 МПа (d_{cp} уменьшается на 18 мкм). Поэтому для увеличения среднего диаметра частиц дисперсной фазы нефтеводяной эмульсии и повышения эффективности работы системы, она должна иметь как можно меньшее гидравлическое сопротивление, которое должно превышать 0,1 МПа, так как выше этого значения наступает интенсивное эмульгирование нефтесодержащих вод и ухудшение качества очистки.

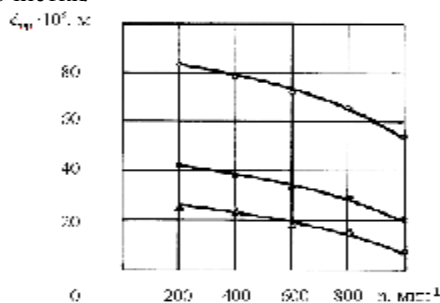


Рисунок 2 – Зависимость среднего диаметра частиц дисперсной фазы нефтеводяной эмульсии от частоты вращения насоса при: $K_{ex} = 10 \cdot 10^3 \text{ млн}^{-1}$; $\rho_n = 840 \text{ кг/м}^3$; о – $\Delta P = 0,02 \text{ МПа}$; ● – $\Delta P = 0,21 \text{ МПа}$; ▲ – $\Delta P = 0,4 \text{ МПа}$

максимальные значения d_{cp} достигаются на нижней границе интервала при частоте вращения 200 мин^{-1} . Однако, при такой частоте вращения насос имеет низкие коэффициент полезного действия и пропускную способность, поэтому найдем рациональный оптимум, который будет находиться в точке Лагранжа, т.е. в точке с наибольшим отклонением результирующей функции d_{cp} от прямой в сторону увеличения при повышенной частоте вращения. Для определения рационального значения частоты вращения насоса соединим прямой начальные и конечные точки графиков рисунка 2. Значения частоты вращения, при которой графические зависимости наиболее удалены от прямой в сторону увеличения будем считать рациональным оптимумом.

Найдем рациональный оптимум графиков рисунка 2. С этой целью сначала определим уравнение прямой для верхней зависимости рисунка 2 (при $\Delta P = 0,02 \text{ МПа}$), проходящей через начальную и конечную точки результирующей функции в кодированной системе координат, учитывая, что начальное значение частоты вращения $x_1(n) = -1$, а конечное – $x_1(n) = 1$:

$$\frac{L_0 - 83}{51 - 83} = \frac{x_1(n) + 1}{1 + 1}. \quad (3)$$

Отсюда уравнение прямой примет следующий вид

$$L_0 = 75 - 16x_1(n). \quad (4)$$

Затем найдем максимальное отклонение искомой функции, определяемой по уравнению (2), от прямой. Для этого найдем производную $(L_0 - d_{cp})'$ по частоте вращения и приравняем ее нулю:

$$(L_0 - d_{cp})' = -16 + 12,8 + 5,2x_1(n) + 2,8 - 0,3 = 0. \quad (5)$$

Из уравнения (5) найдем рациональное значение числа оборотов насоса $x_1(n)$ в кодированной системе координат

$$x_1(n) = 0,13. \quad (6)$$

Зная нулевой уровень и интервал варьирования фактора $x_1(n)$, найдем абсолютное рациональное значение частоты вращения насоса

$$n_{\text{рац}} = 600 + 0,13 \cdot 400 = 650 \text{ мин}^{-1}. \quad (7)$$

Аналогично находим рациональное значение $n_{\text{рац}}$ для средней (при $\Delta P = 0,21 \text{ МПа}$) и нижней (при $\Delta P = 0,4 \text{ МПа}$) зависимостей рисунка 2, которые соответственно равны 600 мин^{-1} и 550 мин^{-1} .

Используя метод отыскания точки Лагранжа и выражение (1 – 7), определен рациональный оптимум для частоты вращения насоса с точки зрения его эмульгирующей способности, который уменьшается с увеличением перепада давления ΔP и лежит в пределах от 550 до 650 мин^{-1} , среднее – 600 мин^{-1} .

Перспективы дальнейших исследований Результаты исследований могут быть использованы при проектировании систем для очистки судовых нефтесодержащих вод.

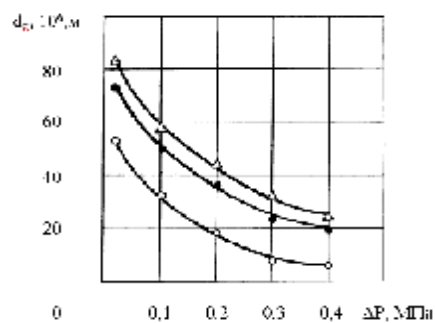


Рисунок 1 – Зависимость среднего диаметра частиц дисперсной фазы нефтеводяной эмульсии от перепада давления на насосе при: $\rho_n = 840 \text{ кг/м}^3$; $K_{ex} = 10 \cdot 10^3 \text{ млн}^{-1}$; $\Delta - n = 200 \text{ мин}^{-1}$; ● – $n = 600 \text{ мин}^{-1}$; ○ – 1000 мин^{-1}

Выводы. Таким образом, установлено, что перепад давления является определяющим фактором и оказывает наиболее существенное влияние на эмульгирующую способность насосов, также определен рациональный оптимум для частоты вращения насоса. Поэтому фильтрующее оборудование и система в целом должны обладать стабильно минимальным гидравлическим сопротивлением (не более 0,1 МПа) при оптимальной частоте вращения насоса 600 мин⁻¹, рациональное значение критерия подобия режимов работы насосов Зоммерфельда-Мишке, в этом случае, лежит в пределах $(6,7 \dots 10) \cdot 10^6$.

Библиографический список

1. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 года и Протокол 1978 года. — М.: Изд-во ЦРИА «Морфлот», 1980. — 364 с.
2. Нунупаров С.М. Предотвращение загрязнения моря судами/ С.М. Нунупаров — М.: Транспорт, 1979. — 336 с.
3. Истомин В. И. Комплексная очистка судовых нефтесодержащих вод/ В. И. Истомин — Севастополь, Изд-во СевНТУ, 2004. — 219 с.
4. Градус Л.Я. Руководство по дисперсионному анализу методом микроскопии/ Л.Я. Градус. — М.: Химия, 1979. — 232 с.
5. Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шеффер. — М.: Мир, 1977. — 552 с.

Поступила в редакцию 28.11.2006 г