

УДК 629.12.03: 628.33

В.И. Истомин, канд. техн. наук, доцент;

С.Е. Тверская, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ВОД ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СУДОВЫХ СИСТЕМ

Разработаны мероприятия по оптимизации и повышению эффективности процесса очистки нефтесодержащих вод путем совершенствования функциональных свойств судовых систем.

Общая постановка проблемы и ее связь с научно-техническими задачами. В настоящее время вопросы охраны окружающей среды настоятельно требуют своего решения. Особенно остро стоит проблема оптимизации процесса 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 очистки судовых нефтесодержащих вод.

Обзор публикаций и анализ нерешенных проблем. В связи с ужесточившимися требованиями в области охраны окружающей среды при эксплуатации судов Международная морская организация ИМО предъявляет повышенные требования к судовым системам для очистки нефтесодержащих вод [1], согласно которым они должны обеспечивать высокое качество очистки, надежность и стабильность работы продолжительное время, не допускать сброс нефтесодержащих вод с концентрацией более 15 млн^{-1} и обеспечивать требуемое качество очистки, даже в экстремальных условиях при аварийных протечках нефтепродуктов и воды в МКО.

Кроме конструкции самой сепарационной установки на качество очистки судовых нефтесодержащих вод оказывает существенное влияние тип перекачивающего устройства, наличие отстойной емкости, взаимное расположение элементов в системе, поэтому является актуальным и своевременным проведение исследований в области разработки принципов оптимальной компоновки систем для очистки судовых нефтесодержащих вод.

Цель исследований. Для оптимизации и повышения эффективности очистки нефтесодержащих вод необходимо разработать мероприятия по совершенствованию компоновки и функциональных свойств судовых систем.

Результаты исследований. Чтобы оптимизировать и повысить эффективность процесса очистки нефтесодержащих вод, необходимо правильно выбрать пропускную способность системы, которая зависит от суточного объема накопления нефтесодержащих вод СЭУ. С целью определения реального суточного объема накопления нефтесодержащих вод в зависимости от водоизмещения судна и мощности главной энергетической установки произведены эксплуатационные исследования на 73 судах. Рекомендации по выбору оптимальной пропускной способности фильтрующего оборудования в зависимости от водоизмещения судна, мощности главной энергетической установки и суточного объема накопления нефтесодержащих вод представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Оптимальная пропускная способность фильтрующего оборудования в зависимости от водоизмещения судна и мощности ГЭУ

Водоизмещение, тыс. т	Мощности ГЭУ, тыс. кВт	Суточное накопление НСВ, м ³	Пропускная способность фильтрующего оборудования, м ³ /ч
0,4 ... 10	0,2 ... 5	0,1 ... 0,6	0,6
10 ... 20	5 ... 10	0,6 ... 1,0	1,0
20 ... 50	10 ... 17,5	1,0 ... 2,2	2,0
50 ... 70	17,5 ... 22,5	2,2 ... 3,0	3,0
70 ... 100	22,5 ... 30	3,0 ... 4,2	4,0
более 100	более 30	4,2 ... 5,0	5,0

Анализируя результаты проведенных эксплуатационных исследований суточного объема накопления нефтесодержащих вод СЭУ, можно сделать вывод о том, что оптимальная производительность сепарационных установок нефтесодержащих вод может быть существенно уменьшена (примерно в 2...4 раза). В свою очередь, уменьшение производительности сепаратора позволяет значительно повысить степень очистки нефтесодержащих вод, а также уменьшить стоимость, габариты и вес сепаратора и является одним из простых и эффективных способов повышения эффективности капитальных затрат на внедрение и использование средств предотвращения загрязнения моря.

При выборе перекачивающего устройства для системы очистки нефтесодержащих вод необходимо учитывать его эмульгирующую способность, т.е. конструкция и основные эксплуатационные характеристики насоса должны обеспечивать минимальное эмульгирование нефтесодержащих вод.

На основе опыта эксплуатации, предварительных исследований, требований регрессионного анализа и, исходя из того, что в соответствии с требованиями ИМО испытания очистного оборудования должны прово-

даться с концентрацией нефтеводяной эмульсии от $10 \cdot 10^3$ до $250 \cdot 10^3$ млн⁻¹ с периодической прокачкой 100% нефтепродуктов, средний диаметр частиц дисперсной фазы нефтеводяной эмульсии, прошедшей через насос является функцией следующих факторов [3]

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

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 2.

Таблица 2 – 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
1	2	3	4	5	6
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

После реализации плана экспериментов, статистической обработки данных и расчета коэффициентов регрессии получим математическую модель эмульгирующей способности насосов винтового типа:

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

Полученная математическая модель позволяет производить выбор рациональных эксплуатационных и конструктивных параметров насосов, что уменьшает их эмульгирующую способность и оптимизирует процесс очистки судовых нефтесодержащих вод

На основе результатов исследований состава и объема накопления нефтесодержащих вод, конструктивных и эксплуатационных характеристик перекачивающих насосов, с целью оптимизации и повышения эффективности процесса очистки нефтесодержащих вод предлагаются следующие принципы оптимальной компоновки судовых систем с усовершенствованными функциональными свойствами [2-4].

1. Включение в состав системы одной или двух отстойных цистерн нефтесодержащих вод. При такой компоновке льяльные воды из колодцев машинно-котельного отделения перекачиваются в первую отстойную цистерну, где происходит их предварительное отстаивание в течение нескольких суток. В процессе отстаивания нефтесодержащие воды очищаются от большей части механических примесей и нефтепродуктов, концентрация которых в придонном слое цистерны составляет (100...200) млн⁻¹. Далее предварительно очищенная вода подается на сепаратор. В этом случае фильтрующий элемент меньше загрязняется, существенно увеличивается ресурс его работы, а также на выходе сепарационной установки гарантированно обеспечивается высокое качество очистки. Отделенные в отстойной цистерне нефтепродукты не подаются в сепаратор и не загрязняют его, а сохраняются в отстойной емкости в течение нескольких месяцев, затем они перекачиваются, минуя сепаратор, на приемные береговые сооружения или в другой отстойный танк с последующей отдачей на берег. Таким образом, наличие отстойной емкости позволяет существенно повысить качество очистки нефтесодержащих вод и значительно увеличить ресурс работы фильтроэлементов сепаратора, кроме того, это обеспечивает нормальную работу системы даже в экстремальных условиях при аварийных протечках нефтепродуктов и воды в МКО, так как можно оперативно откачать большое количество нефтесодержащих вод в сборную емкость, а затем произвести их постепенное отстаивание и очистку без перегрузки сепаратора.
2. Насосы, подающие нефтесодержащие воды в сепаратор должны быть тихоходные и объемного типа (винтовые, поршневые) для того, чтобы меньше дробить эмульсию, так как мелкие капли нефтепродуктов (менее 20 мкм) существенно хуже сепарируются из воды. Перекачивающие насосы также должны иметь большую высоту всасывания и быть способными перекачивать сильно загрязненную механическими примесями жидкость.
3. Сепарационная установка должна иметь как можно меньшее гидравлическое сопротивление (менее 0,05 МПа), так как в результате исследования влияния конструктивных и эксплуатационных характеристик насосов на дисперсный состав эмульсии установлено, что чем меньше противодавление на нагнетании насоса, тем крупнее диаметр частиц дисперсной фазы нефтеводяной эмульсии, следовательно, качество очистки нефтесодержащих вод будет выше. Кроме того, фильтроэлементы, обладающие малым гидравлическим сопротивлением, как правило, имеют значительно больший ресурс работы до его замены или регенерации.

4. Рекомендуется установка сепаратора на всасывании перекачивающего насоса при этом качество очистки нефтесодержащих вод повышается в 1,5...2 раза вследствие того, что исключается «вторичное» эмульгирование нефтесодержащих вод перекачивающим насосом. Однако такая компоновка системы имеет и некоторые недостатки: затруднен слив нефтепродуктов из-за вакуума в сепараторе; сепаратор должен иметь незначительное гидравлическое сопротивление; необходима тщательная герметизация трубопроводов.

5. В соответствии с результатами исследований суточного объема накопления нефтесодержащих вод современных судов производительность системы очистки может быть значительно уменьшена, что позволит без дополнительных капитальных затрат существенно повысить очистную способность сепаратора и ресурс работы фильтроэлемента.

Кроме указанных рекомендаций по проектированию и компоновке систем для очистки нефтесодержащих вод СЭУ они должны иметь в соответствии с требованиями Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов MARPOL-73/78 прибор контроля концентрации нефтепродуктов в очищенной воде и обеспечивать автоматическое прекращение слива за борт при превышении концентрации нефтепродуктов после сепаратора 15 мг/л¹.

На основании вышеизложенного разработана система для очистки нефтесодержащих вод, которая обеспечивает высокое качество очистки нефтесодержащих вод СЭУ и имеет длительный ресурс работы (рисунок 1).

Система работает следующим образом. Нефтесодержащие воды из всех льяльных колодцев машинно-котельного отделения перекачиваются в сборную цистерну 1, где могут отстаиваться в течение нескольких суток. В процессе отстаивания нефтесодержащие воды очищаются от большей части механических примесей и нефтепродуктов, концентрация которых в придонном слое цистерны составляет $(100...200)$ млн⁻¹. Затем предварительно очищенная вода через приемное устройство 3 и клапан 8 поступает в винтовой насос 9 и далее через клапан 10 подается в регенерируемый тканевый фильтр 11, где происходит окончательная очистка нефтесодержащих вод от механических примесей и коалесценция капелек нефти. Отфильтрованные механические примеси удаляются через клапан 12. Из тканевого фильтра 11 нефтесодержащие воды с укрупненными частицами дисперсной фазы через клапан 13 подаются в сепаратор 14, заполненный слоями гранул различного диаметра, где осуществляется окончательная доочистка нефтесодержащих вод до

1 – цистерна для сбора нефтесодержащих вод; 2, 15 – датчики уровня нефтепродуктов; 3 – приемное устройство; 4 – цистерна

концентрации нефтепродуктов менее 15 млн^{-1} . Очищенная вода через клапан 17 и электромагнитный клапан 22 сбрасывается за борт. Концентрация нефтепродуктов в очищенной воде контролируется блоком автоматики и контроля концентрации 21. Отсепарированные нефтепродукты периодически удаляются из сепаратора 14 через электромагнитный клапан 16 в цистерну 4 при срабатывании датчика уровня нефтепродуктов 15. В случае увеличения перепада давления на фильтре 11 срабатывает датчик 12, который передает сигнал на блок автоматики и контроля концентрации 21. Разработанные рекомендации для оптимизации процесса очистки судовых нефтесодержащих вод могут быть использованы для систем очистки нефтесодержащих вод береговых объектов.

Выводы. Предложенная компоновка системы для очистки нефтесодержащих вод СЭУ позволяет производить предварительное отстаивание большей части нефтепродуктов в цистерне 1 и затем удалять их в цистерну сбора отсепарированных нефтепродуктов 4 насосом 6. Это исключает попадание значительной части нефтепродуктов в тканевый фильтр 11 и сепаратор 14, что позволяет оптимизировать процесс очистки нефтесодержащих вод СЭУ и увеличить ресурс работы сепарационного оборудования.

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. Истомин В.И. Эксплуатационные исследования суточного объема накопления судовых нефтесодержащих вод / В.И. Истомин // Вестн. СевГТУ. Сер. Механика, энергетика, экология: Сб. науч. тр. — Севастополь, 2003. — Вып. 48. — С. 172–175.
3. Истомин В.И. Выбор оптимальной производительности нефтеводяных сепараторов / В.И. Истомин // Оптимизация произв. процессов: Сб. науч. тр. — Севастополь, 2003. — Вып. 6. — С. 100–103.
4. Истомин В.И. Требования, предъявляемые к насосам / В.И. Истомин // Сб. науч. работ Воен.-мор. ин-та им. П.С. Нахимова. — Севастополь, 2003. — Вып. 2. — С. 101–103.

Поступила в редакцию 24.12.2003 г.