

УДК 629.12.03: 628.33

**В.И. Истомин**, д-р техн. наук, доцент,

**М.В. Истомин**

*Севастопольский национальный технический университет*

*ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053*

*E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ СУДОВЫХ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ВОД НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

*Разработанный комплексный критерий оценки эффективности систем очистки судовых нефтесодержащих вод позволяет оптимизировать процесс очистки и оценить совершенство систем по основным эксплуатационным показателям: степени очистки, стоимости и пропускной способности.*

**Общая постановка проблемы ее связь с научно-техническими задачами.** В последние годы значительно повысились требования к качеству очистки судовых нефтесодержащих вод (НСВ), так как до 1998 года допускался сброс нефтесодержащих вод с концентрацией нефтепродуктов до 100 млн<sup>-1</sup>. Согласно Конвенции МАРПОЛ - 73/78 на сегодняшний день концентрация нефти в очищенных водах не должна превышать 15 млн<sup>-1</sup> при минимальных стоимости, энергопотреблении и повышенном ресурсе работы системы очистки НСВ, что составляет серьезную проблему [1].

Наиболее значительное влияние на загрязнение водных ресурсов планеты оказывает судоходство, что обусловлено быстрым ростом численности флота, увеличением количества морских грузоперевозок, повышением мощности судовых энергетических установок. По данным Международной морской организации (ИМО) интенсивность загрязнения Мирового океана вследствие эксплуатации судов за последнее десятилетие не снизилась и продолжает оставаться достаточно высокой. Все это приносит колоссальный экономический и экологический ущерб Мировому океану [2, 3].

Ужесточение требований международных и национальных законодательных актов по предотвращению загрязнения водоемов нефтью с судов вызвало необходимость комплексных исследований, направленных на повышение оптимальности и эффективности процесса очистки судовых НСВ.

**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 в автоматическом режиме, не допускать сброс нефтесодержащих вод с концентрацией более 15млн<sup>-1</sup> и обеспечивать требуемое качество очистки, даже в экстремальных условиях при аварийных протечках нефтепродуктов и воды в МКО [2].

В настоящее время отсутствует комплексная концепция оптимизации судовых систем очистки НСВ, основанная на системном подходе и повышении эффективности массопереноса в процессе очистки путем уменьшения внутренней энергии полидисперсной неоднородной двухкомпонентной среды – нефтеводяной эмульсии на всех стадиях очистки в многокаскадных судовых системах.

С точки зрения оптимизации процесса очистки НСВ до настоящего времени не разработаны обобщенные критерии эффективности систем очистки, позволяющие комплексно оценить оптимальность системы в целом по основным эксплуатационным показателям: степени очистки, стоимости, пропускной способности.

**Цель исследований.** На основе разработанного комплексного критерия оценки оптимальности и эффективности систем очистки нефтесодержащих вод СЭУ, оценить эффективность различных судовых систем очистки в целом по основным эксплуатационным показателям: степени очистки, стоимости, пропускной способности.

**Результаты исследований.** В процессе очистки нефтесодержащих вод происходит расслоение нефтеводяной эмульсии, сопровождающееся уменьшением ее внутренней энергии. Чтобы повысить эффективность очистки и наиболее полно отделить нефть от воды, необходимо нефтеводяную эмульсию полностью разделить на составляющие компоненты, то есть максимально уменьшить ее внутреннюю энергию.

Для повышения эффективности очистки нефтесодержащих вод и, следовательно, экологической безопасности судов современные судовые системы, как показывает опыт эксплуатации и предварительные исследования, должны обладать более широким диапазоном функциональных свойств, которые перечислены ниже.

1. Обеспечивать предварительную гравитационную очистку нефтесодержащих вод.
2. Производить промежуточное удаление отстоявшихся нефтепродуктов.

3. Обеспечивать высокое качество на каждой ступени очистки нефтесодержащих вод.
4. Иметь минимальные стоимость и энергопотребление.
5. Работать длительное время без разборки и замены фильтроэлементов.
6. Обеспечивать возможность регенерация фильтроэлементов.
7. Иметь минимальное гидравлическое сопротивление.
8. Обладать минимальной эмульгирующей способностью.
9. Сохранять требуемую степень очистки даже при аварийных протечках воды и нефтепродуктов.
10. Обладать простотой конструкции и эксплуатации.
11. Иметь рациональную пропускную способность.

В связи с тем, что главной задачей является совершенствование функциональных свойств судовых систем очистки нефтесодержащих вод, снижение их стоимости и эксплуатационных расходов, то оптимизационная задача в этом случае должна предусматривать минимизацию затрат на очистку воды с обязательным достижением заданного полезного эффекта.

С целью определения совершенства и оптимальности систем очистки НСВ вводится новый обобщенный критерий оценки эффективности системы

$$C_0 = \frac{K_{\text{вых}} \cdot C}{2Q} \left(1 + \frac{Q}{Q_0}\right) \rightarrow \min ,$$

где  $K_{\text{вых}}$  – концентрация нефтепродуктов в очищенной воде, млн<sup>-1</sup>;

$C$  – капитальные и эксплуатационные затраты на очистку воды, дол. США;

$Q$  – фактическая пропускная способность системы, м<sup>3</sup>/ч;

$Q_0$  – нормативная пропускная способность системы, определяемая по новым нормам [3] с учетом характеристик судна, м<sup>3</sup>/ч.

Сущность обобщенного критерия оценки эффективности системы очистки НСВ заключается в том, что система при высокой степени очистки должна иметь минимальную стоимость и оптимальную пропускную способность, определяемую с учетом характеристик судна. Более совершенные и эффективные системы имеют меньшее значение  $C_0$ .

С уменьшением  $K_{\text{вых}}$  повышаются стоимость системы и расходы на ее эксплуатацию. Для того, чтобы система была более совершенной и оптимальной, повышение степени очистки должно опережать увеличение ее стоимости.

Кроме требуемой степени очистки система должна иметь оптимальную пропускную способность, которая определяется исходя из существующих норм суточного объема  $V_{\text{сут}}$  накопления НСВ. Как установлено в ходе исследований существующие нормативы для определения  $V_{\text{сут}}$  сильно завышены (в 5...10 раз), поэтому системы очистки НСВ работают далеко не в оптимальных условиях. Отношение фактической пропускной способности  $Q$  к ее нормативному значению  $Q_0$ , определяемому по новым нормам  $V_{\text{сут}}$  с учетом характеристик судна позволяет оценить оптимальность системы с точки зрения пропускной способности.

На рисунке 1 изображены значения обобщенных критериев оценки эффективности некоторых наиболее распространенных (1...7) и разработанных авторами (8, 9) установок.

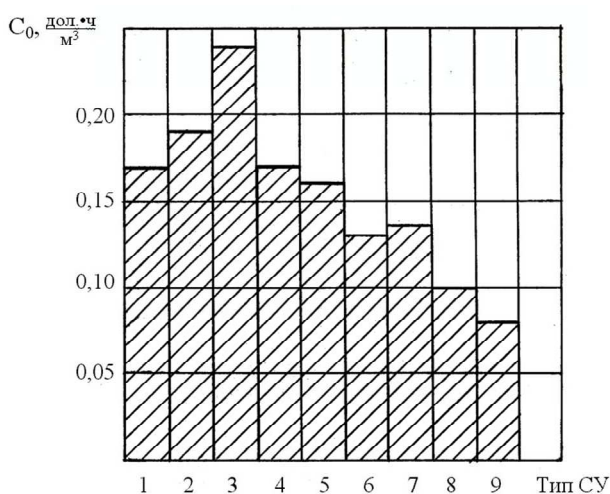


Рисунок 1 – Зависимость обобщенного критерия оценки эффективности от типа установки:  
 1 – «Фрамарин» (Голандия); 2 – «ПП Матик» (Швеция); 3 – «Сарекс» (США); 4 – «Турбуло» (Германия);  
 5 – СК (Украина); 6 – ОНВ (Россия); 7 – DVZ-VC-«OILMASTER» (Германия);  
 8 – установка с гранулированным фильтроэлементом (Украина);  
 9 – комбинированная установка «Виктория» (Украина)

Как следует из анализа рисунка 1, разработанные установки 8, 9 обладают наилучшими показателями относительной стоимости и степени очистки вследствие следующих причин:

- в результате проведенных исследований коалесцирующих элементов, имеющих нежесткую структуру, повышено качество очистки;
- благодаря новой оригинальной конструкции установок регенерация фильтроэлементов эффективно осуществляется в процессе эксплуатации без их разборки и замены, что существенно снижает эксплуатационные расходы на обслуживание и приобретение фильтроэлементов;
- установки имеют оптимальную пропускную способность, которая рассчитывается на основе новых норм суточного объема накопления НСВ и методике расчета пропускной способности систем очистки с учетом характеристик судна.

**Вывод.** Таким образом, предложенный новый обобщенный критерий эффективности  $C_0$  позволяет всесторонне оценить оптимальность и совершенство системы очистки НСВ по следующим основным эксплуатационным показателям: степени очистки; стоимости; пропускной способности, определяемой с учетом характеристик судна.

**Перспективы дальнейших исследований.** Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации процесса очистки нефтесодержащих вод промышленных предприятий.

#### **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. — 202 с.

*Поступила в редакцию 06.03.2007 г.*