

4. Худяков С.А. Показатели надежности судовых малооборотных дизелей с электронным управлением / С.А. Худяков, А.В. Игнатенко// Материалы Междунар. НТК «Комплексные проблемы текущего состояния транспортного комплекса», – Новороссийск: ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова. 2020.
5. Худяков С.А. Современные судовые малооборотные дизельные двигатели: состояние, перспективы и проблемы / С.А. Худяков, А.В. Игнатенко// Эксплуатация морского транспорта, №1(94), 2020. – Новороссийск, ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова. – С. 143-154.
6. Худяков С.А. Усталостная прочность деталей судовых технических средств: монография / С.А. Худяков, Н.А. Тарануха, М.М. Фролов// – Новороссийск: РИО ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2019. – 196 с. ISBN 978-5-89426-160-7.
7. Леонтьев Л.Б. Повышение надёжности судового оборудования технологическими методами. В 3 т. Том 3. Восстановление и упрочнение деталей / Л.Б. Леонтьев, В.Б. Хмелевская. – Владивосток: Морской государственный университет; Дальнаука, 2005. – 356 с.
8. Худяков С.А. Технологические методы восстановления и повышения износостойкости деталей машин: учеб. пособие / С.А. Худяков, Л.Б. Леонтьев.– Новороссийск: ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2018. – 176 с.
9. Худяков С.А. Усталостная прочность деталей судовых технических средств: монография / С.А. Худяков, Н.А. Тарануха, М.М. Фролов. – Новороссийск: РИО ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2019. – 196 с. ISBN 978-5-89426-160-7.
10. Худяков С.А. Анализ причин повреждений и отказов судовых технических средств: учеб. пособие / С.А. Худяков, А.В. Струтынский. – Новороссийск: ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2020. –173 с.
11. Service Experience – Two-stroke engines. MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, 2012. – 25 p. 2014. – 33 p.
2. ME Exhaust Valve/0602: MAN B&W Diesel A/S, 2006. – 129 p.
3. Exhaust Valve: PrimeServ Academy. MAN B&W Diesel A/S, 2014. – 19 p.
4. Hudyakov S.A. Pokazateli nadezhnosti sudovyh malooborotnyh dizelej s elektronnyim upravleniem / S.A. Hudyakov, A.V. Ignatenko// Materialy Mezhdunar. NTK «Kompleksnyye problemy tekushchego sostoyaniya transportnogo kompleksa», 2020. – Novorossiysk, GMU im. adm. F.F. Ushakova.
5. Hudyakov S.A. Sovremennyye sudovyye malooborotnyye dizel'nyye dvigateli: sostoyanie, perspektivy i problemy / S.A. Hudyakov, A.V. Ignatenko// Eksplyuatsiya morskogo transporta, №1(94) , 2020. – Novorossiysk, GMU im. adm. F.F. Ushakova. – S. 143-154.
- 6 Hudyakov S.A. Ustalostnaya prochnost' detalej sudovyh tekhnicheskikh sredstv: monografiya / S.A. Hudyakov, N.A. Taranuha, M.M. Frolov// – Novorossiysk: RIO GMU im. adm. F.F. Ushakova, 2019. – 196 s. ISBN 978-5-89426-160-7.
7. Leont'ev L.B. Povyshenie nadyozhnosti sudovogo oborudovaniya tekhnologicheskimi metodami. V 3 t. Tom 3. Vosstanovlenie i uprochnenie detalej / L.B. Leont'ev, V.B. Hmelevskaya // – Vladivostok: Morskoy gosudarstvennyj universitet; Dal'nauka, 2005. – 356 s.
8. Hudyakov S.A. Tekhnologicheskie metody vossstanovleniya i povysheniya iznoso-stojkosti detalej mashin: ucheb. posobie / S.A. Hudyakov, L.B. Leont'ev//– Novorossiysk: Izd-vo GMU im. adm. F.F. Ushakova, 2018. – 176 s.
9. Hudyakov S.A. Ustalostnaya prochnost' detalej sudovyh tekhnicheskikh sredstv: monografiya / S.A. Hudyakov, N.A. Taranuha, M.M. Frolov// – Novorossiysk: RIO GMU im. adm. F.F. Ushakova, 2019. – 196 s. ISBN 978-5-89426-160-7.
10. Hudyakov S.A. Analiz prichin povrezhdenij i otkazov sudovyh tekhnicheskikh sredstv: ucheb. posobie / S.A. Hudyakov, A.V. Strutyinskij// – Novorossiysk: Izd-vo GMU im. adm. F.F. Ushakova, 2020. –173 s.
11. Service Experience – Two-stroke engines. MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, 2012. – 25 p. 2014. – 33 p.

REFERENCES

УДК 330.4:574

DOI: 10.34046/aumsuomt95/17

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОЧИСТКИ СУДОВЫХ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ВОД

С.С. Ходжаев, аспирант

Н.А. Страхова, доктор технических наук, профессор

В статье приводится расчет экономической эффективности систем очистки судовых нефтесодержащих вод по упрощенной модели экономического стимулирования, учитывающая такой показатель, как норма штрафа за загрязнение моря нефтью с судов. Оценка эффективности системы очистки основана

на определении оптимальных технико-экономических показателей (ТЭП) системы. Предложенная авторами система очистки НВС танкера имеет положительный эколого-экономический эффект, обеспечивая экологическую безопасность судна.

Ключевые слова: система очистки, математическая модель, технико-экономические показатели, стоимость очистки, экономический анализ, эксплуатационные затраты, глубокая очистка, эколого-экономический эффект.

The article provides a calculation of the economic efficiency of purification systems for ship-based oil-containing waters according to the simplified model of economic incentives, taking into account such an indicator as the rate of the fine for pollution of the sea with oil from ships. Evaluation of the effectiveness of the cleaning system is based on determining the optimal technical and economic indicators (TEC) of the system. The system for purification of the tanker internal combustion engine proposed by the authors has a positive environmental and economic effect, ensuring the ecological safety of the vessel.

Keywords: cleaning system, mathematical model, technical and economic indicators, cleaning cost, economic analysis, operating costs, deep cleaning, environmental and economic effect.

Реализация требований международных и национальных законодательных актов по предотвращению загрязнения морской среды определяет актуальность мероприятий, направленных на снижение вредных выбросов и повышение экологической безопасности судов [1]. В Российской Федерации законодательно предусмотрены меры экономического стимулирования, которые заключаются в предоставлении налоговых и иных льгот при внедрении инновационных технологий для осуществления эффективных мер по охране окружающей среды. Международная морская организация также материально поощряет судоходные компании, внедряющие на своих судах системы с более глубокой степенью очистки, и они получают прибыль.

В качестве упрощенной модели экономического стимулирования (поощрения судоходных компаний) предлагается формула расчета прибыли [2, 3] от внедрения систем более глубокой очистки судовых нефтесодержащих вод, учитывающая такой показатель, как норма штрафа за загрязнение моря нефтью с судов.

Оценка экономической эффективности систем очистки судовых нефтесодержащих вод выполнена по методике, предложенной авторами [3], которая базируется на определении оптимальных технико-экономических показателей (ТЭП) системы.

В условия рыночных отношений главной задачей транспортных судов является своевременное и полное удовлетворение потребностей предприятий и населения в перевозках и получение на этой основе прибыли в сложившихся условиях экологизации экономики. Для этого необходимо обеспечить качественное техническое состояние и экологическую безопасность флота, которая определяется состоянием и эффективностью системы очистки судовых нефтесодержащих вод. Поэтому эксплуатационные затраты си-

стемы очистки НВС являются неотъемлемой частью определения эколого-экономической эффективности судовых систем очистки нефтесодержащих вод.

В соответствии с рекомендациями (Руководящие материалы технического регулирования в судостроении НИИ стандартизации и сертификации «ЛОТ» ФГУП «ЦНИИ им. А.Н. Крылова») производительность системы очистки НВС должна определяться нормативными документами «Нормы суточного накопления НВС в машинных помещениях судов и методика расчета пропускной способности судовых систем очистки» и СОУ МПП 47.020-65:2005 «Суда морские. Предотвращение загрязнения моря» [4].

Производительность системы очистки является неотъемлемой и необходимой составляющей экономической эффективности системы очистки судовых НВС, следовательно, для ее повышения важным условием является оптимальное сочетание производительности очистного оборудования и его стоимости.

Исходные данные для экономического анализа различных типов очистных установок [3] приведены в таблицах 1 и 2.

Как видно из приведенных данных, при увеличении производительности установок их стоимость резко возрастает. Это можно проследить на примере установок YWC: при увеличении производительности установки от 0,5 до 2,5 м³/ч стоимость увеличилась в 1,7; от 2,0 до 4 м³/ч в 2,2; от 3,0 до 5 м³/ч в 2,6 раз.

На рис. 1 [3] графически представлены данные таблиц 1 и 2 в виде зависимости стоимости систем очистки от их производительности, из которого видно, что при максимальной производительности системы очистки стоимость системы максимальна, однако, это не свидетельствует о высоких экономических показателях систем.

Таблица 1 – Стоимость установок очистки НСВ

Тип очистной установки	Производительность установки (Q, м³/ч)	Стоимость установки, тыс. долл.	
ОНВ	0,5	15	
	1,0	16	
	1,6	17,5	
	2,5	20,7	
	3,5	24,0	
СКМ (Украина)	0,6	7,5	
	1,0	8,5	
	1,6	12,0	
	2,5	15,8	
	4,0	27,0	
ТАИКО (Япония)	0,5	14,0	
	1,0	15,0	
	2,0	16,0	
	3,0	20,0	
	4,5	39,0	
ТАИКО (Япония)	5,0	54,0	
	TURBULO (Германия)	0,5	12,0
		1,0	13,0
		2,0	16,5
		3,0	22,0
4,0		32,0	
TURBULO (Германия)	5,0	52,0	
	YWC (Китай)	0,5	9,0
		1,0	11,5
		1,5	12,5
		2,0	14,0
2,5		16,0	
YWC (Китай)	3,0	19,0	
	4,0	31,0	
	5,0	50,0	

Таблица 2 — Показатели стоимости и производительности систем очистки НСВ

Экономические показатели	Усредненные показатели стоимости и производительности систем очистки										
	Q, м³/ч	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Cs, тыс. долл. США		11,5	12,8	14,0	15,5	17,5	20,3	24,0	30,0	39,0	50,5

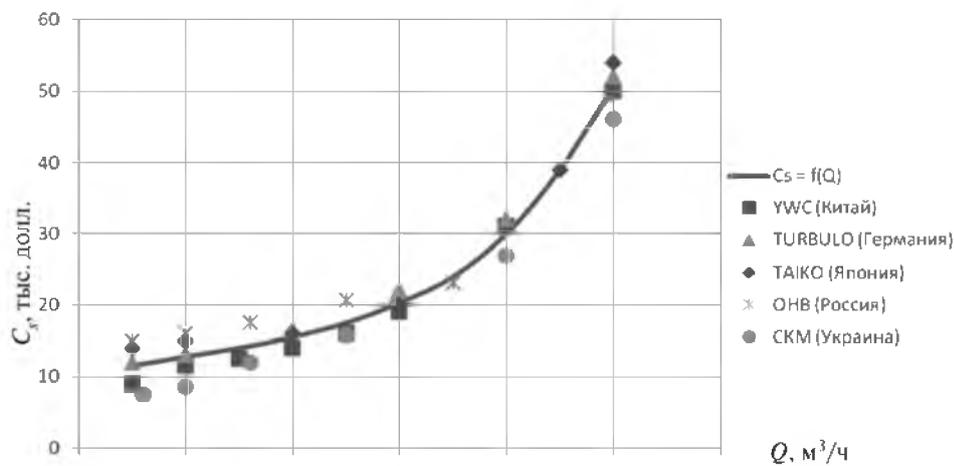


Рисунок 1 – Зависимость стоимости систем очистки НСВ от их производительности

Так, при увеличении производительности более 3,5 м³/ч повышение стоимости системы

происходит более быстрыми темпами, так как при этом существенно увеличиваются масса, габариты и металлоемкость конструкции (увеличивается толщина стенки корпуса) фильтрующей установки, кроме того, требуется применение дополнительного фундамента и креплений фильтрующей установки.

Эксплуатационные затраты зависят от типа системы и степени очистки НСВ.

Эксплуатационные расходы системы очистки складываются из следующих статей затрат:

- зарплата механиков по техническому обслуживанию и ремонту системы очистки судовых НСВ;
- стоимость сменного фильтроэлемента;
- стоимость электроэнергии.

Как правило, в состав эксплуатационных затрат включают амортизационные отчисления, однако в нашем случае в формуле определения экономического эффекта присутствует другой элемент, характеризующий амортизационные отчисления — E , нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных вложений, в судостроительной промышленности. $E = 0,15$. Исходя из специфики эксплуатации судовых систем очистки нефтесодержащих вод эксплуатационные затраты на обслуживание системы можно записать в следующем виде (1):

$$C_{\text{э}} = C_{\text{ТО}} + C_{\text{фэ}} + C_{\text{эл}} \quad (1)$$

где $C_{\text{ТО}}$ – стоимость технического обслуживания и ремонта, долл. США; $C_{\text{фэ}}$ – стоимость сменного фильтроэлемента, долл. США; $C_{\text{эл}}$ – стоимость электроэнергии, долл. США.

Стоимость технического обслуживания и частота смены фильтроэлемента существенно зависят от степени очистки и типа системы очистки НСВ. С увеличением количества ступеней системы очистки НСВ степень очистки повышается. В настоящее время наибольшее распространение на судах получили три типа систем:

- с коалесцирующим фильтроэлементом, которая состоит из одной ступени очистки;
- с коалесцирующе-фильтрующим фильтроэлементом — состоит из двух ступеней очистки;
- с коалесцирующе-фильтрующе-адсорбционным фильтроэлементом — состоит из трех ступеней очистки.

Учитывая то, что техническое обслуживание в соответствии с правилами технической эксплуатации необходимо производить не реже одного раза в месяц, его годовую стоимость (12 месяцев) для одно-, двух- и трехступенчатой систем очистки НС В, стоимость технического обслужи-

вания будет рассчитываться по следующим формулам (2; 3; 4) [3]:

$$C_{\text{ТО}} = 12 * T_{\text{ТО}} * C_{\text{ч}}; \quad (2)$$

$$C_{\text{ТО}} = 12 * (2 * T_{\text{ТО}}) * C_{\text{ч}} \quad (3)$$

$$C_{\text{ТО}} = 12 * (3 * T_{\text{ТО}}) * C_{\text{ч}} \quad (4)$$

где $T_{\text{ТО}}$ — время технического обслуживания в месяц, ч; $C_{\text{ч}}$ — стоимость 1 ч технического обслуживания, долл. США.

В обобщенном виде формулы (2)-(4) можно записать (5)

$$C_{\text{ТО}} = 12 * (n * T_{\text{ТО}}) * C_{\text{ч}} \quad (5)$$

где n — число ступеней системы очистки НСВ.

Кроме того, для трехступенчатой системы очистки НСВ раз в месяц во время ТО требуется замена адсорбционного фильтроэлемента, так как его промывка и регенерация невозможны. Стоимость адсорбционного фильтроэлемента $C_{\text{фэ}}$ в среднем составляет 1000-1500 долл. США [3]. Коалесцирующие и коалесцирующе-фильтрующие фильтроэлементы способны к регенерации своих очистных свойств при промывке во время ТО, поэтому замена их не требуется в течение года и более. Поэтому время на техническое обслуживание (ТО) систем и его стоимость увеличиваются пропорционально количеству ступеней очистки.

Исходя из того, что техническое обслуживание системы очистки НСВ занимает 1 рабочий день, то есть 8 часов, а стоимость 1 часа ТО составляет 10 долл. США, можно рассчитать стоимость $C_{\text{ТО}}$ различных типов систем очистки по формуле (5).

Определим стоимость электроэнергии, которую потребляет система очистки НСВ во время ее эксплуатации. Исходя из требований нормативных документов система очистки НСВ должна обеспечивать обработку скопившихся за сутки нефтесодержащих вод в течение 1 ч. Время эксплуатации судна в течение года составляет $T_{\text{в}} = 300$ сут, тогда время эксплуатации системы очистки НСВ в течение года равно $T = 300$ ч. Основным потребителем электроэнергии системы очистки НСВ является электродвигатель насоса, перекачивающего НСВ. Тогда стоимость электроэнергии, потребляемой системой, можно определить следующим образом (6) [3]:

$$C_{\text{эл}} = T_{\text{эс}} * N_{\text{эд}} * C_{\text{квт}} \quad (6)$$

где $T_{\text{эс}}$ — время эксплуатации системы очистки в течение года, ч; $N_{\text{эд}}$ — мощность электродвигателя насоса, перекачивающего НСВ, кВт; $C_{\text{квт}}$ — стоимость 1 кВт электроэнергии, долл. США/кВт ч.

Таким образом, эксплуатационные затраты на обслуживание системы очистки судовых НСВ рассчитываются по следующей формуле (7) [3]:

$$C_3 = 12 * (n * T_{ТО}) * C_ч + C_{ФЭ} + T_{Эс} * N_{Эд} * C_{квт}, \text{ долл. США} \quad (7)$$

Эксплуатационные показатели работы системы очистки НСВ отражают качество и эффективность ее использования. Эти показатели служат для планирования, анализа и оценки работы судовой системы очистки НСВ.

Для расчета суммарной прибыли от внедрения систем очистки судовых нефтесодержащих вод необходимо определить прибыль от введения более глубокой очистки - $У_3$. Как ранее отмечалось, система очистки НСВ предусматривает 2 стадии очистки. Первая стадия осуществляется на одноступенчатой установке ОНВ до глубины очистки до 15-20 ppm, вторая стадия – доочистка до 0-5 ppm (биохимическая) совмещенная с очисткой СВ. Примем концентрацию НП в очищенной воде равной 2,0 ppm.

C_p , тыс. долл. США

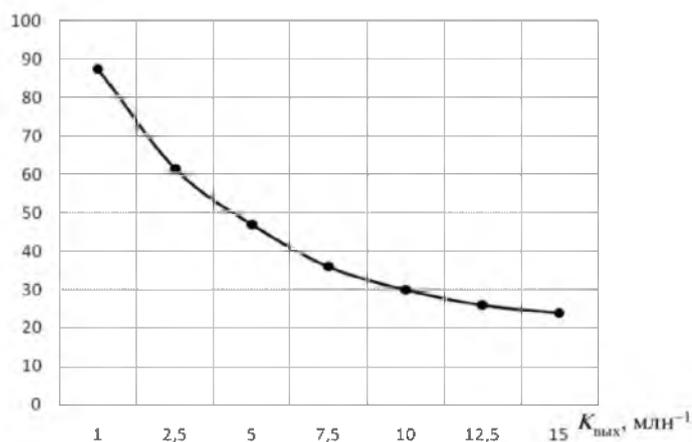


Рисунок 2 –Зависимость стоимости системы очистки судовых нефтесодержащих вод от ее очистной способности

При увеличении очистной способности и уменьшении $K_{\text{вых}} \leq 5$ ppm наблюдается резкое увеличение стоимости системы.

Таким образом, использование трех и более ступеней очистки НСВ приводит к повышению стоимости установки и росту, как отмечалось выше, эксплуатационных расходов, что подтверждает экономическую целесообразность двух стадийного процесса очистки судовых нефтесодержащих вод.

Так как глубокая доочистка нефтесодержащих вод представляет собой очень сложный и дорогостоящий процесс, должен приниматься коэффициент кратности улучшения очистки воды (k_y), который равен (8) [3,5]:

$$k_y = K_{\text{вых}} / K'_{\text{вых}} \quad (8)$$

где $K'_{\text{вых}}$ - концентрация нефтепродуктов в очищенной воде при более глубокой очистке воды от

На рис. 2 приведена зависимость стоимости системы очистки судовых НСВ от ее очистной способности.

Из рисунка видно, что при очистной способности равной 5 ppm соотношение стоимости системы и ее очистной способности имеет оптимальные значения, т.е. система имеет повышенную очистную способность при относительно малой стоимости. При снижении очистной способности и увеличении содержания НП до 15 ppm снижение стоимости системы происходит медленно вследствие того, что уменьшается стоимость самой фильтрующей установки, а стоимость вспомогательного оборудования (трубопроводы, устройства контроля концентрации, автоматика и прочее) снижается несущественно.

нефтепродуктов, млн^{-1} (ppm); $K_{\text{вых}}$ — концентрация нефтепродуктов в очищенной воде в соответствии с нормативами, млн^{-1} (ppm).

Таким образом, прибыль от внедрения более глубокой очистки НСВ можно рассчитать с учетом норм штрафов за загрязнение моря нефтью по следующей формуле:

$$У_3 = k_y * V_{\text{сут}} * \rho_n * T_{Э} * (K_{\text{вых}} - K'_{\text{вых}}) * N_{\text{ш}} * 10^{-6} \quad (9)$$

Автором [3] установлено, что при производительности системы $Q_0 = 3,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ соотношение стоимости системы и ее производительности система имеет повышенную производительность при относительно минимальной стоимости.

Рассчитаем экономическую эффективность предложенной технологии доочистки НСВ совместно с СВ. Определим эколого-экономическую эффективность систем очистки судовых нефтесодержащих вод на примере танкера «Анатолий Ко-

лодкин». Данные о судне и его технико-экономические характеристики приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Основные технико-экономические характеристики танкера «Анатолий Колодкин»

Тип и назначение судна	Танкер, нефтепродукты
Район плавания	Неограниченный
Год постройки	2013
Завод-изготовитель	Korea, DSMEshipyard
Валовая вместимость, брутто	66855т
Дедвейт (при осадке по летнюю грузовую марку)	118316 т
Водоизмещение в полном грузу (при осадке по летнюю грузовую марку)	131862 т
Марка ГД	DOOSAN 6S-60MC-C
Мощность ГД	13350 кВт
Мощность судового электрооборудования	4020 кВт

Определим по формуле (10) количество НП по норме штрафов за загрязнение моря (Уз), которые предотвращается к сбору в море:

$$M_H = V_{\text{сут}} * \rho_H * (K_{\text{вх}} - K_{\text{вых}}) * T_{\text{э}} * 10^{-6}, \text{ кг} \quad (10)$$

Суточное накопление НСВ на судне в зависимости от его водоизмещения и мощности ГЭУ приведены в таблицах 4 [6] и 5.

Таблица 4 – Суточное накопление НСВ, которое может стать источником загрязнения моря (ОСТ 5.5064)

Водоизмещение судна, т	Количество НСВ, м³/сутки
До 100	0,1
100-250	0,1-0,25
250-500	0,25-0,4
500-750	0,4-0,6
750-1000	0,6-0,8
1000-1250	0,8-1,0
1250-1500	1,0-2,0
1500-4000	2,0-4,0
4000-10000	4,0-7,0
10000-25000	7,0-12,0
25000 и выше	12,0 и выше

Таблица 5 – Нормы суточного накопления НСВ согласно нормативным документам в зависимости от водоизмещения и мощности главной энергетической установки (ГЭУ)

Водоизмещение, Д тыс. т	Мощность ГЭУ, Н тыс. кВт	Количество НСВ, м³/сутки
0,4-2,0	0,2-1,5	0,1-0,2
2,0-5,0	1,5-3,0	0,2-0,4
5,0-10,0	3,0-5,0	0,4-0,6
10,0-15,0	5,0-7,5	0,6-0,8
15,0-20,0	7,5-10,0	0,8-1,0
20,0-30,0	10,0-12,5	1,0-1,4
30,0-40,0	12,5-15,0	1,4-1,8
40,0-50,0	15,0-17,5	1,8-2,2
50,0-60,0	17,5-20,0	2,2-2,6
60,0-70,0	20,0-22,5	2,6-3,0
70,0-80,0	22,5-25,0	3,0-3,4
80,0-90,0	25,0-27,5	3,4-3,8
90,0-100,0	27,5-30,0	3,8-4,2
100,0-150,0	30,0-35,0	4,2-4,6
Более 150,0	Более 35,0	4,6-5,0

Для танкера «Анатолий Колодкин» водоизмещением выше 25000 тсуточный объем накопления НСВ примем равным $V_{25} = 12,0 \text{ м}^3$.

Определяем суточный объем накопления судовых нефтесодержащих вод в зависимости от водоизмещения судна или от мощности главной энергетической установки (ГЭУ) для танкера «Анатолий Колодкин»: для судов водоизмещением свыше 25 тыс. т по формуле:

$$V_{\text{сут}} = V_{10} + 0,04(D - 10), \quad (11)$$

где $V_{10} = 12 \text{ м}^3$ — суточный объем накопления НСВ на судах водоизмещением 25 тыс. т и выше.

$$V_{\text{сут}} = 12 + 0,04(131,86 - 10) = 16,87 \text{ м}^3$$

Затем определим суточный объем накопления НСВ в зависимости от ГЭУ, которая равна 13350 кВт по формуле:

$$V_{\text{сут}} = V_{7,5} + 0,15 * (Ne - 7,5); \quad (12)$$

где Ne принимаем равным 131,9, а $V_{7,5} = 1,5 \text{ м}^3/\text{сутки}$ (табл.4)

$$V_{\text{сут}} = 1,5 + 0,15 (131,9 - 7,5) = 20,16 \text{ м}^3$$

Для расчетов принимаем большее значение $V_{\text{сут}} = 20,16 \text{ м}^3$.

Суточный объем НСВ зависит и от возраста судна. Для учета этого влияния введем коэффициент K_v , зависимость которого от возраста судна представлена в таблице 6.

По уравнению 13 определяем K_1 :

$$K_1 = 1 + 0,0028 * T^{1,76}, \quad (13)$$

где T возраст судна ($T=7$ лет)

$$K_1 = 1,09$$

Для учета влияния типа судна на объем суточного накопления НСВ введем коэффициент K_2 , значения которого приведены в табл.7.

Таблица 6 – Зависимость коэффициента K_v от возраста судна

Возраст судна, лет	K_v
Менее 5 лет	1,0
5...10	1,1
10...15	1,2
15...20	1,4
Более 20	1,8

Для учета влияния типа судна на объем суточного накопления НСВ введем коэффициент K_2 , значения которого приведены в таблице 7. Таблица 7 - Зависимость коэффициента K_2 от типа судна

Тип судна	K_2
Сухогрузы, балкеры, ролкеры	1,0
Спец. суда, пассажирские	1,2
Рыболовные, рефрижераторы, танкеры	1,4

Тогда общий объем суточного накопления НСВ с учетом таких показателей, как водоизмещение, возраст и тип судна, определяется следующим образом (14):

$$V_{\text{сут}}^* = V_{\text{сут}} * K_1 * K_2, \quad (14)$$

Подставляем значение K_1 и K_2 получаем

$$V_{\text{сут}}^* = 20,16 \cdot 1,09 \cdot 1,4 = 29,9 \text{ м}^3$$

Согласно требованиям РД5.5270-85 «Системы трюмные и балластные судовые. Правила проектирования» суточный объем накопления нефтесодержащих вод с учетом водоизмещения, возраста и типа судна должен удаляться из машинного отделения в течение 1 ч, поэтому производительность системы очистки судовых НСВ (Q) должна быть равна $V_{\text{сут}}^*$.

Концентрация нефтепродуктов в очищаемой воде на входе системы очистки НСВ ($K_{\text{вх}}$) по результатам исследований, накопленных статистических данных, опыта эксплуатации, после предварительного отделения нефтепродуктов в сборной отстойной емкости в среднем составляет 1000 ppm.

Концентрация нефтепродуктов в очищенной воде на выходе системы очистки НСВ ($K_{\text{вых}}$) за пределами территориальных вод государств, т.е. за 12 миль от ближайшего берега, в соответствии с требованиями Международной конвенции по предотвращению с загрязнения с судов MARPOL 73/78, где действуют международные требования, должна быть равна 15 ppm. В территориальных водах государств, в 12-мильной зоне, действуют национальные требования по нормам степени очистки судовых НСВ, которые ужесточаются по степени приближения к берегу, а также зависят от особенностей водного района.

Эксплуатационное время судна в течение года (T_3) с учетом технического обслуживания, ремонта судов в соответствии с рекомендациями принимается равным 300 сут.

Исходя из вышеизложенного и норм штрафов ($H_{\text{ш}}$) за загрязнение моря нефтью определим

величину предотвращаемого годового экологического ущерба от загрязнения моря нефтью по следующей формуле 15 [3]:

$$Y_1 = M_{\text{н}} * H_{\text{ш}} = V_{\text{сут}}^* * \rho_{\text{н}} * (K_{\text{вх}} - K_{\text{вых}}) * T_3 * 10^{-6}, \$ \quad (15)$$

где $H_{\text{ш}} = 329$ \$/кг (долл. США/кг) – норма штрафа за загрязнение моря нефтью.

Таким образом, подставляя рассчитанные ранее значения технико-экономических параметров в формулу (15), получим:

$$Y_1 = 29,9 \cdot 960 (1000 - 15) \cdot 300 \cdot 329 \cdot 10^{-6} = 2\,790\,249 \$$$

Расчет предотвращенного экономического ущерба показал, что при наличии систем очистки судовых нефтесодержащих вод судно предотвращает сброс НСВ на сумму 2 790 249 \$.

Расчет и определение стоимости собранных нефтепродуктов, предотвращенных к сбросу в море (Y_2) проведем по формуле (16):

$$Y_2 = V_{\text{сут}}^* * \rho_{\text{н}} * T_3 * C_{\text{н}} * (K_{\text{вх}} - K_{\text{вых}}) * 10^{-6}, \text{ долл. США}, \quad (16)$$

где $C_{\text{н}}$ — стоимость топлива, \$/кг. Примем стоимость тяжелого топлива IFO-380 равной 800 \$/т/

$$Y_2 = 29,9 \cdot 960 (1000 - 15) \cdot 300 \cdot 0,8 \cdot 10^{-6} = 6785 \$$$

Таким образом, на судне собираются нефтепродукты, которые могут вторично использоваться при эксплуатации судна, на сумму 6785 \$.

Прибыль от внедрения более глубокой очистки рассчитаем по формуле (17):

$$Y_3 = k_y * V_{\text{сут}}^* * \rho_{\text{н}} * T_3 * (K_{\text{вх}} - K'_{\text{вых}}) * H_{\text{ш}} * 10^{-6}, \quad (17)$$

где $k_y = 7,5$ т.к. концентрация НП в очищенной воде после биологической очистке составляет 1 ppm.

$$Y_3 = 7,5 \cdot 29,9 \cdot 960 (1000 - 15) \cdot 300 \cdot 329 \cdot 10^{-6} = 20\,926\,867,5 \$$$

Эксплуатационные затраты на обслуживание системы очистки судовых НСВ в зависимости от степени очистки и типа системы рассчитаем по следующей формуле (1).

Исходя из того, что техническое обслуживание системы очистки НСВ занимает 1 рабочий день, т.е. 8 ч, а стоимость 1 ч T_0 составляет 10 долл. США, можно рассчитать стоимость T_0 различных типов систем очистки по формуле (4.4). Результаты расчета представлены в табл. 8.

Таблица 8 – Стоимость технического обслуживания систем очистки НСВ в зависимости от количества ступеней и степени очистки

Тип установки	Стоимость технического обслуживания, $C_{\text{то}}$, \$	$K_{\text{вых}}$, ppm
Коалесцирующая	960	15
Коалесцирующе-фильтрующая	1920	5
Коалесцирующе-фильтрующе-адсорбционная	2880+1000	1

Система очистки НСВ танкера «Анатолий Колодкин» имеет две ступени очистки, поэтому стоимость технического обслуживания системы очистки в данном случае составляет $C_{To} = 3920$ долл. США/год. Замена фильтроэлемента в данном случае требуется.

Затем рассчитаем стоимость электроэнергии, которую потребляет система очистки НСВ во время ее эксплуатации по формуле 4.6. Мощность электродвигателя насоса танкера «Анатолий Колодкин» составляет $N_{эд} = 2$ кВт. Стоимость 1 кВт электроэнергии разная и постоянно меняется, примем равной 0,20 долл. США.

$$C_{эл} = 300 \cdot 2 \cdot 0,20 = 120\$$$

Тогда эксплуатационные затраты системы очистки НСВ судна будут равны:

$$C_3 = 3920 + 120 = 4040 \$$$

Рассчитаем эколого-экономический эффект для систем очистки судовых нефтесодержащих вод по формуле 18 [3]:

$$\Delta = V_{сут} \cdot \rho_n \cdot T_3 \cdot 10^{-6} \cdot [N_{ш} \cdot (K_{вх} - K_{вых}) + C_n \cdot (K_n - K'_{вых}) + k_y \cdot N_{ш} \cdot (K_{вх} - K'_{вых})] - (12 \cdot n \cdot T_{то} \cdot C_ч + C_{фэ} + T_{эс} \cdot N_{эд} \cdot C_{квт} + E \cdot 1,2C_s), \quad (18)$$

где K_n - суточный объем накопления нефтесодержащих вод с учетом возраста и типа судна, м³/сут; ρ_n - плотность нефтепродуктов, кг/м³; T_3 - эксплуатационное время судна в течение года, сут.; $N_{ш} = 329$ долл. США/кг - норма штрафа за загрязнение моря нефтью; $K_{вх}$ - концентрация НП в очищаемой воде на входе системы очистки НСВ, млн⁻¹; содержание нефтепродуктов в нефтесодержащих водах составляет $K_n = 0,5\% = 5000$ млн⁻¹; K' - концентрация нефтепродуктов в очищенной воде в соответствии с нормативами, млн⁻¹; $K'_{вых}$ - концентрация нефтепродуктов в очищенной вод при более глубокой очистке воды от нефтепродуктов, млн⁻¹; $C_{фэ}$ - стоимость сменного фильтроэлемента; $T_{то}$ - время технического обслуживания в месяц, час; $C_ч$ - стоимость 1 ч технического обслуживания, долл. США; n - число ступеней системы очистки НСВ; $T_{эс}$ - время эксплуатации системы очистки в течение года, час; $N_{эд}$ - мощность электродвигателя насоса, перекачивающего НСВ, кВт; $C_{квт}$ - стоимость 1 кВт электроэнергии, долл. США/кВтч; E - нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных вложений, в судостроительной промышленности $E = 0,15$; C_s - стоимость системы очистки судовых нефтесодержащих вод.

Для этого необходимо знать стоимость очистки НСВ типа TURBULO (табл. 1) на судне производительностью 5,0 м³/ч. На момент ее установки стоимость составляла $C_s = 52,0$ тыс. долл.

США. Стоимость монтажа системы на судне согласно статистическим данным судостроения равна 20% от стоимости системы.

Подставляя полученные данные в уравнение, получим значение эколого-экономического эффекта:

$$\Delta = 2790249 + 20926867,5 + 6785 - (4040 + 0,15 \cdot 1,2 \cdot 52000) = 23657461,5\$$$

Таким образом, предложенная система очистки НСВ имеет положительный эколого-экономический эффект в размере 23657461,5 долл. США, обеспечивая экологическую безопасность судна.

Литература

1. Зубрилов С.П., Ишук Ю.Г., Косовский В.И. Охрана окружающей среды при эксплуатации судов/С.П. Зубрилов, Ю.Г. Ишук, В.И. Косовский.- Л.: Судостроение, 1989. - 256с.
2. Истомин В. И. Комплексная очистка судовых нефтесодержащих вод: монография.- Севастополь: СевНТУ, 2004.- 202 с.
3. Истомин В.И., Кот В.П. Комплексный критерий оценки эффективности систем очистки нефтесодержащих вод СЭУ. //Судовые энергетические установки: научно-технический сборник. Вып. 20. - Одесса: ОНМА, 2007. - С. 39-43.
4. СОУ МПП 47.020-65:2005 «Суда морские. Предотвращение загрязнения моря нефтью. Нормы суточного накопления нефтесодержащих вод машинных помещений судов и методика расчета пропускной способности систем очистки».- Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2006.- 15 с.
5. Истомин В.И., Капустин В.В., Истомин М.В. Дополнения в Международную Конвенцию MARPOL-73/78 по терминологии и определению пропускной способности систем очистки судовых нефтесодержащих вод //Вісник СевДТУ. Вип. 97: Механіка, енергетика, екологія: зб. наук. пр. — Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2009.- с.154-159.
6. Нормы суточного накопления НСВ в машинных помещениях судов и методика расчета пропускной способности судовых систем очистки // Руководящие материалы технического регулирования в судостроении в НИИ стандартизации и сертификации «ЛОТ» ФГУП «ЦНИИ им. А.Н. Крылова».- СПб.: НИИ «Лот» ФГУП «ЦНИИ им. А.Н. Крылова». 2008.РМ 9. С. 17-24.

REFERENCES

1. Zubrilov S.P., Ishchuk YU.G., Kosovskij V.I. Ohrana okruzhayushchej sredy pri eks-pluatacii sudov/S.P. Zubrilov, YU.G. Ishchuk, V.I. Kosovskij. L.: Sudostroenie, -1989. - 256s.
2. Istomin V. I. Kompleksnaya ochistka sudovyh neftesoderzhashchih vod: monografiya. Sevastopol': Izd-vo SevNTU, 2004. 202 s.

3. Istomin V.I., Kot V.P. Kompleksnyj kriterij ocenki effektivnosti sistem oчитки нефтесодержащих вод SEU. /Sudovye energeticheskie ustanovki: nauchno-tehnicheskij sbornik. Vyp. 20. – Odessa: ONMA, 2007. – s. 39–43.
4. SOU MPP 47.020-65:2005 «Suda morskije. Predotvrashchenie zagryazneniya morya neft'yu. Normy sutochnogo nakopleniya nefтесoderzhashchih vod mashinnyh pomeshchenij sudov i metodika rascheta propusknnoj sposobnosti sistem oчитки». Sevastopol': Izd-vo SevNTU, 2006. 15 s.
5. Istomin V.I., Kapustin V.V., Istomin M.V. Dopolneniya v Mezhdunarodnuyu Konvenciyu MARPOL 73/78 po terminologii i opredeleniyu propusknnoj sposobnosti sistem oчитки sudovyh нефтесoderzhashchih vod //Visnik SevDTU. Vip. 97: Mekhanika, energetika, ekologiya: zb. nauk. pr. — Sevastopol': Vid-vo SevNTU, 2009.- s.154-159.
6. Normy sutochnogo nakopleniya NSV v mashinnyh pomeshcheniyah sudov i metodika rascheta propusknnoj sposobnosti sudovyh sistem oчитки // Rukovodyashchie materialy tekhnicheskogo regulirovaniya v sudostroenii v NII standartizacii i sertifikacii «LOT» FGUP «CNII im. A.N. Krylova». SPb.: NII «Lot» FGUP «CNII im. A.N. Krylova». 2008.RM 9. S. 17-24.

УДК 628384:622.629

DOI: 10.34046/aumsuomt95/18

СИСТЕМЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ НЕФТЕСОДЕРЖАНИЯ В ОЧИЩЕННЫХ СУДОВЫХ ВОДАХ

С.С. Ходжаев, аспирант

Н.А. Страхова, доктор технических наук, профессор

В статье рассматриваются технические средства для предупреждения загрязнения морской среды с судов - системы автоматического замера, регистрации и управления сбросом нефти (САЗРИУС). Приведена сравнительная характеристика сигнализаторов нефтесодержания, их технических параметров и принципов действия. Рассмотрено новое поколение датчиков EnviroFlu-HC (Компания "TriOS Mess- und Datentechnik GmbH", Германия) для определения в воде различных нефтепродуктов, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), бензола и его производных (BTX), углеводородного топлива и других органических веществ в очищенных судовых водах.

Ключевые слова: нефтесодержащие воды, льельные воды, САЗРИУС, приборы для контроля, сигнализаторы нефтесодержания.

The article discusses technical means for preventing pollution of the marine environment from ships - automatic measurement, registration and management of oil discharges (SAZRIUS), signaling devices, automatic express analyzers. A comparative characteristic of oil detectors, their technical parameters and principles of operation is given. A new generation of EnviroFlu-HC sensors (TriOS Mess- und Datentechnik GmbH, Germany) for the determination of various oil products, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), benzene and its derivatives (BTX), hydrocarbon fuels and other organic substances in purified ship waters.

Key words: oil-containing water, bilge water, SAZRIUS, monitoring devices, oil-containing signaling devices.

Автоматизированные системы контроля и управления процессом очистки нефтесодержащих вод (НСВ) используются для анализа протекания технологического процесса. При этом, как в любой автоматической системе управления, используются четыре основные функции:

- измерение;
- комбинация;
- компенсация;
- коррекция.

Также в системе есть три функциональных элемента, необходимых для выполнения функций системы автоматического управления: элемент измерения, элемент обнаружения ошибки, конечный элемент управления.

На судах устанавливаются автоматические системы и устройства следующего назначения:

– САЗРИУС для балластных и промывочных вод с танкеров;

– САЗРИУС для судов, оборудованных сепараторами, обеспечивающими очистку нефтесодержащих вод до 100 ppm;

– системы, контролирующие сброс нефтесодержащих вод с судов, оборудованных сепараторами и фильтрующими устройствами, обеспечивающими очистку нефтесодержащих вод до 15 ppm;

– устройства для определения границы раздела «нефть-вода» в отстойных танках танкеров.

При включении в состав оборудования для очистки нефтесодержащих вод системы САЗРИУС обеспечивается:

– непрерывное измерение нефтесодержания в сбрасываемой за борт очищенной воды;