

- Equipment for Electroplated Coating Application //Procedia Engineering. Vol.150,2016.Pp.742-745. [tps://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.097](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.097).
9. Valeriy Blumenstein, Maksim Mahalov, Oleg Ostannin. Simulation and Calculation of Residual Stresses in Mining Machines Components. E3S Web of Conferences 41, 03012 (2018) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184103012> IIIrd International Innovative Mining Symposium- <https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/abs/2018/16/contents/contents.html>.
 10. V.V. Ivanov., V. P. Smolentsev, A. I. Portnykh. Technology of combined chemical-mechanical fabrication of durable coatings. MEACS 2017 IOP Publishing. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 327 (2018) 042121 [doi:10.1088/1757-899X/327/4/042121](https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/4/042121)
 11. Ivanov V. Nikolay P. Pogorelov, Mikhail F. Selezmeney, Artem A. Sakunov Research of micro and nano profile surface morphology of vibrational mechanical and chemical zinc coating. MATEC Web of Conferences .Published online: 2018. DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201822601018>
 12. V.A. Lebedev, V.V. Ivanov, V.D. Sokolov i dr. Energeticheskaya model' formirovaniya vibracionnyh mekhanohimicheskikh pokrytij. // Nanoinzheneriya, 2013. №5 – S.11-17.
 13. Grilihes S.YA. Elektroliticheskie i himicheskie pokrytiya / S.YA. Grilihes, K.I. Tihonov. L.: Himiya, 1990.
 14. Ivanov V.V. Vibracionnye mekhanohimicheskie metody naneseniya pokrytij (cinkovanie) / V.V. Ivanov. – Rostov-na-Donu: Izdatel'skij centr DGTU, 2010. 8,9 p.l.
 15. Babichev A.P., Babichev I.A. Osnovy vibracionnoj tekhnologii. Izd. 2e, pererab. i dop. – Rostov n/D: Izdatel'skij centr DGTU, 2008g. – 694s.
 16. Karakaev A.B., Hekert E.V., Lukanin A.V. Razrabotka metodologii, metodov i modelej analiza vliyaniya razlichnyh variantov postroeniya struktury i rezhimov podderzhaniya i vostanovleniya rabotosposobnosti sudovyh elektroenergeticheskikh sistem (CHast' 2) / Ekspluatatsiya morskogo transporta. 2016. № 4 (81). S. 85-95.

УДК 629.123.06:665.6
DOI: 10.34046/aumsuomt93/16

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЧИСТКИ СУДОВЫХ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ВОД

С.С. Ходжаев, аспирант

Н.А. Страхова, доктор технических наук, профессор

В статье показано современное состояние проблемы очистки судовых нефтесодержащих вод (НСВ), приведены особенности состава и свойств льяльных вод, известных методов очистки НСВ, их преимущества и недостатки. Рассмотрены особенности конструкций и принципы действия наиболее широко распространённых судовых систем очистки нефтесодержащих вод (СОНВ). Особое внимание уделено разработкам и совершенствованию технологий биоремедиации загрязнённых нефтью и нефтепродуктами вод.

Ключевые слова: нефтесодержащие воды, льяльные воды, эффективность очистки, судовые системы очистки НСВ, биоремедиация.

The article shows the current state of the problem of purification of shipboard oil-containing water (NSW), presents the compositional features of bilge water, the known methods of purification of NSW, their advantages and disadvantages. Design features and operating principles of the most widespread shipboard systems for the treatment of oily water (SONV) are considered. Particular attention is paid to the development and improvement of bioremediation technologies for water contaminated with oil and oil products.

Key words: oily water, bilge water, cleaning efficiency, ship cleaning systems NSW, bioremediation.

Интенсивное развитие мирового судоходства привело к строительству современного качественно нового флота с мощными энергетическими установками, высокими грузоподъемностью, пассажировместимостью, скоростью, обеспеченного автоматизированными системами управления судовых установок и систем. Мировым трендом стало снижение энергетических, экономических затрат и вредных выбросов при эксплуатации судов. В связи с этим, произошли

существенные изменения в судоходстве в сторону существенного ужесточения требований к деятельности судоходных компаний и экипажей.

Экологический мониторинг морских акваторий с использованием спутниковых радиолокационных наблюдений, выявил нефтяные загрязнения, которые представляли собой утечки и сбросы с судов вод, содержащих нефтепродукты (НП) [1, 2]. По статистике судоходство является причиной 45% нефтяного загрязнения океана, в то

время как добыча нефти на шельфе – 2%, поэтому судоходство, включая транспортировку и перевалку нефти на терминалах, в основном оно оказывает негативное влияние на морскую окружающую среду и береговую зону [2].

Анализ причин загрязнения моря нефтью, приведенный в работах [3, 1], показал, что весьма существенная доля общего объема загрязнений приходится на сбрасываемые с судов нефтесодержащие промывочные, балластные, а также льяльные воды (ЛВ) из помещений грузовых насосов. В связи с вредоносным влиянием нефти и НП на экологическое состояние водной среды, Международная конвенция по предупреждению загрязнения с судов (МАРПОЛ) разрешает сбрасывать в международных водах за борт очищенные льяльные воды с концентрацией НП не более 15ppm. В будущем прогнозируется дальнейшее ужесточение законодательства и снижение допустимой концентрации НП в воде, сбрасываемой в море, до 5 ppm (в акватории Великих озер такое ограничение уже действует), и полное запрещение сброса в жизненно важные водоемы [4].

Льяльная вода – это общее название содержимого судовых сточных колодцев, располагающихся непосредственно над днищем корпуса в самой нижней части судна. Состав льяльной воды может быть достаточно разнообразен [4-6]. В колодцах собирается вода и жидкости от эксплуатирующихся систем, например, из технических помещений, силовых установок и прочего функционирующего на борту оборудования. Кроме того, там собираются жидкости из машинного отделения, систем дренажа, шламовых накопителей и других мест. Некоторые из этих стоков существуют постоянно и могут прогнозироваться, например, вода, поступающая при выгрузке шлама сепараторов топлива и масла или стекающая при мойке машинного отделения судна. Сажа, твердые частицы, протечки из сальников насосов, разлитые случайно или в результате аварий масла, топливо и другие жидкости – всё это собирается в колодцах. Постоянно меняющиеся источники поступающих протечек не позволяют судить о конкретном составе ЛВ на текущий момент. В отличие от сточных вод, суточные накопления НСВ трудно прогнозировать.

Накопление льяльных вод в соответствии с РД 5Р.5270 определяется водоизмещением судна, его возрастом, мощностью главного двигателя судовой энергетической установки (СЭУ), техническим состоянием используемого оборудования, соблюдением правил технической эксплуатации. Среднесуточное накопление нефтесодержащих

вод (НСВ) составляет от 5 до 30 м³ [7,8]. Содержание нефтепродуктов в льяльных водах в среднем составляет 2000-3000 объемных частей НП на миллион аналогичных частей воды (млн⁻¹ или ppm) [3,7], что превосходит верхний допустимый предел сброса НСВ за борт в открытом море (100 ppm).

Подсчет накопления НСВ производится исходя как из нормативов для различных групп судов, так и по зависимостям для оценки потерь нефти в НСВ на ходовом (Gн ход) и стояночном (Gн стоян) режимах [7], кг/сут.:

$$G_{\text{н ход}} \approx (55 \div 65) 10^{-3} N_e;$$

$$G_{\text{н стоян}} \approx (0,5 \div 0,7) 10^{-3} G_{\text{н ход}},$$

где N_e - мощность главного двигателя, кВт.

На судах объем накоплений НСВ составляет (0,01...0,05) объема сточных вод (СВ) [8]. Качество НСВ зависит от многих факторов, в том числе и марки топлива. Тяжелые высоковязкие топлива представляют собой сложную смесь высокомолекулярных углеводородов нефти и их гетеропроизводных, содержащих кислород, серу, азот и микроэлементы. Основную часть высокомолекулярных углеводородов, входящих в состав топлива составляют смешанные углеводороды, а именно: парафинонафтенные, парафиноароматические, парафиноциклоароматические углеводороды, смолисто-асфальтеновые вещества (природные эмульгаторы). Поэтому состав, используемых судовых высоковязких топлив (флотский мазут Ф-5 и Ф-12, моторное топливо ДТ ГОСТ 1667, судовое высоковязкое топливо по ТУ 38.1011314) с относительной плотностью до 980 кг/м³, способствует образованию стойких эмульсий. Накапливаясь в льяльных колодцах машинного отделения, НП отстаиваются, но при сильной качке и вибрации корпуса судна они образуют эмульсии. Кроме того, в секторе морских перевозок используется огромное количество различных веществ на основе ПАВ, что также влияет на образование нефтяных суспензий и эмульсий. Образованию стойких нефтяных эмульсий способствует и периодическое откачивание НСВ осушительными центробежными насосами в сборную цистерну. Стабилизаторами эмульсии в НСВ могут быть механические примеси. Образование эмульсий приводит к снижению эффективности сепарации и становится проблемой, когда стабилизация эмульсии вызвана ПАВ и твердыми частицами. Кроме того, образование устойчивых эмульсий приводит к увеличению эксплуатационных затрат на очистку НСВ.

Большинство применяемых на практике технологий очистки воды от нефтепродуктов

(НП) многостадийны, трудоемки и связаны с большими материальными затратами. В связи с этим, в настоящее время во многих странах в ряд наиболее приоритетных выдвигаются биотехнологические методы очистки загрязнённых НП вод.

В таблице 1 приведена классификация способов очистки и достигаемая эффективность с использованием различных методов очистки НСВ [10].

Таблица 1 – Эффективность способов очистки судовых НСВ

Способ очистки	Допустимая начальная концентрация НП в НСВ, млн-1	Достигаемая степень очистки НСВ, млн-1	Примечание
Механический: - отстаивание; - центрифугирование	более 1000	40...100 10...15	Не очищают от эмульгированных НП
Физико-химические: - флотация; - коалесценция; - адсорбция	более 200	20...60 10...15 1...3	Степень очистки зависит от флотации; Частично очищает от эмульгированных НП; Очищает от эмульгированных НП после предварительной очистки
Химический (озонирование)	50	1...10	Применяется в сочетании с фильтрацией или отстаиванием
Биохимический (с помощью микроорганизмов)	100	1...10	Обязательное предварительное отстаивание, очищает от эмульгированных НП

Среди всех известных биотехнологических методов очистки особое значение приобретает микробиологический способ.

Судовые системы очистки НСВ представляют собой совокупность различных функционально связанных элементов, подсистем, емкостей, насосов, теплообменных аппаратов, фильтров, арматуры, приборов управления, сигнализации, которые образуют сложную структуру и обеспечивают выполнение широкого спектра функций.

По международным требованиям в состав СОНВ входят: сборная цистерна НСВ; оборудование для перекачки и сбора НСВ; стандартные соединения для сдачи НСВ вовне судовые приемные устройства; система очистки НСВ, содержащая сепаратор, коалесцирующие и адсорбционные фильтры и пр. Суда мирового флота укомплектованы разнообразными конструкциями оборудования для очистки нефтесодержащих вод. Оборудование для фильтрации нефти должно иметь одобренную конструкцию в соответствии с положением применимых резолюций ИМО (А.393(Х), МЕРС.60(33), МЕРС.107(49)) и обеспечивать такую фильтрующую способность, чтобы после прохождения через это оборудова-

ние любой нефтесодержащей смеси, сбрасываемой в море, содержание нефти в ней не превышало 15 млн⁻¹.

Во многих работах [11-17, 6 и др.] приводятся описание современных судовых систем очистки НСВ, описаны принципиальные схемы, даны характеристики наиболее распространенных конструкций установок, показано взаимодействие отдельных её элементов системы.

На рисунке 1 приведена упрощенная схема работы сепаратора льяльных вод.

Схема очистки НСВ включает в себя: танк для сбора льяных вод, станцию сепарации, где посредством эффективной реализации всех стадий разрушения, очистки нефтяных эмульсий (методом отстаивания, усреднения, механической фильтрации и др.), происходит отделение НП; танк для сбора нефтяных отходов и выдача очищенной воды ($\rho_{\text{ртт}} < 15$) за борт. Предусмотрена рециркуляция очищенной воды с концентрацией НП ($\rho_{\text{ртт}} > 15$). Основным направлением в решении проблем интенсификации и совершенствования процессов очистки НСВ является создание новых аппаратов и установок, обеспечивающих наиболее полное и быстрое снижение агрегативной и кинетической устойчивости НСВ.

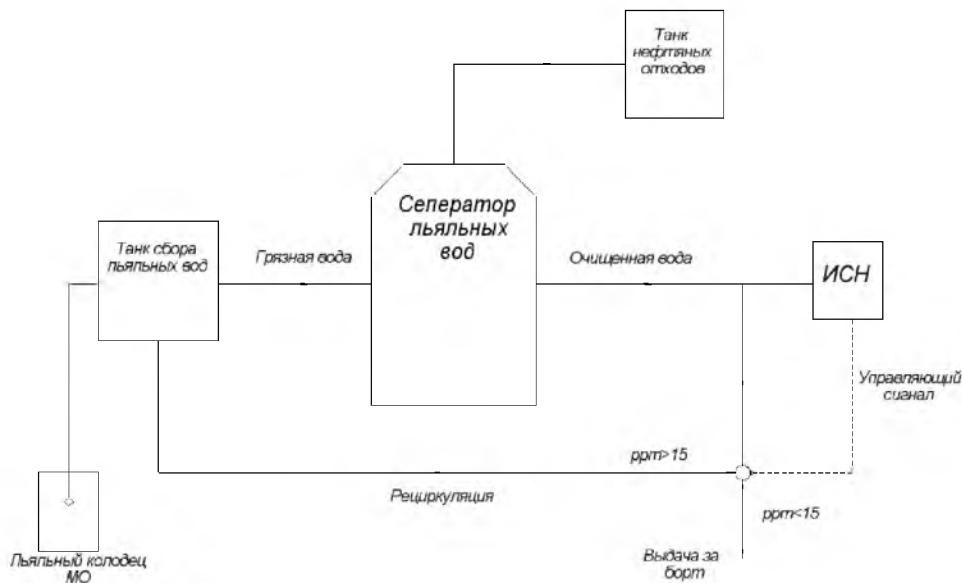


Рисунок 1 – Схема работы сепаратора льяльных вод

В работе [13] дан анализ эффективности очистки НСВ методами тонкослойного отстаивания, фильтрования, флотации, отстаивания с предварительной жидкостной фильтрацией, коалесценцией в насадках, обработкой в гидродинамических трубчатых и струйных каплеобразователях, гидроциклонах. Предложена новая технология очистки НСВ, заключающаяся в снижении агрегативной устойчивости капель нефти за счет обработки воды в гидроциклоне, оборудованном камерами сливов, обеспечивающими наиболее полное использование энергии закрученных потоков для коалесценции нефтяных потоков и увеличения эффекта последующего отстаивания НСВ.

Эффективным техническим решением очистки льяльных вод являются динамические системы, в которых используется метод центробежной сепарации, реализованный посредством высокоскоростных тарельчатых сепараторов. В работе [4] описана система PureVilge для очистки НСВ (рис.2). Эта полностью автоматизированная, функционально законченная система с насосной секцией, секцией предварительного подогрева, секцией центробежной сепарации и системой управления и контроля всего технологического процесса. Система состоит из высокоскоростного сепаратора BWPX 307, пульта управления с контроллером EPC 60 Vilge, рамы с клапанами и трубной обвязкой и модуля питающего насоса. При частоте вращения барабана 8000 об./мин. образуется сила тяжести в 6000g, что обеспечивает высокую эффективность сепарации твердых частиц и частиц нефтепродуктов. Степень очистки льяльных вод составляет 0-5 ppm.

Автором [14] предложена принципиальная схема судовой установки по очистке НСВ, предусматривающая использование эффекта холодного кипения жидкости за счет использования гидромеханического процесса суперкавитации внутри специально спрофилированной рабочей камеры, являющейся неотъемлемой частью судовой системы сепарации НСВ. При этом характер поведения потока судовых НСВ определяется условиями его движения внутри кавитационной камеры. Предложенный метод сепарации позволяет очищать судовые нефтесодержащие воды с выходной концентрацией воды менее 5 ppm.

Предложен эффективный способ очистки льяльных и сточных вод от НП и других загрязнений посредством пропускания фильтруемой смеси сквозь слой адсорбента, включающий сорбцию и флотацию, отличающийся тем, что фильтруемую смесь подают под давлением и осуществляют движение потока фильтруемой смеси снизу вверх, при этом на начальном участке движения потока сначала проводят флотацию, а на последующем одновременно с флотацией осуществляют адсорбцию [15]. Способ предусматривает, что после флотации и адсорбции фильтрацию смеси осуществляют через фильтр преимущественно мембранного типа.

Конструкция сепаратора "ОНВ" – двухкорпусная [16]. Сепаратор соответствует новой Резолюции МЕРС.107(49). В первом происходит первичная очистка, накапливание в верхней части нефтепродуктов и их автоматический сброс в судовую нефтешламную цистерну. Это процесс осуществляется при помощи специального датчика раздела сред, контролирующего количество

скапливающихся нефтепродуктов. Во втором корпусе находится фильтрующая загрузка, позволяющая удалить из воды любые нефтепродукты, включая эмульгированные. Ресурс загрузки - не

менее 700 часов работы. Сепарация нефтесодержащих вод осуществляется в 2 ступенях.

Характеристика сепаратора «ОНВ» приведена в таблице 2.

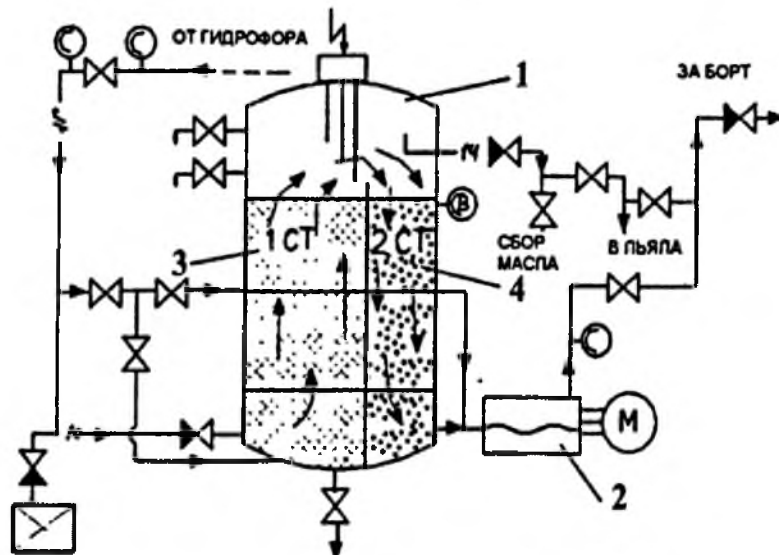


Рисунок 2 – Система PureVilge для очистки НСВ
1 — сепаратор льяльных вод; 2 — насос; 3 — гравитационная ступень; 4 — коалесцирующая ступень

Таблица 2 – Характеристика сепаратора «ОНВ»

Технические данные	ОНВ-0,5М	ОНВ-1М	ОНВ-1,6М	ОНВ-2,5М
Производительность, м ³ /час	0,5	1,0	1,6	2,5
Потребляемая Мощность, кВт	0,4	0,75	1,1	1,1
Габариты (L x B x H), м	1,7x0,7x1,7	1,8x0,8x1,8	2,2x0,9x1,9	2,6x1,0x2,0
Масса (в рабочем состоянии), кг	830	925	1170	2300

При помощи соответствующего насоса льяльные воды забираются из льяльных колодцев или танка сбора льяльных вод, соответственно, и пропускаются через сепаратор. Нефтесодержащие воды сначала проходят через ступень грубой очистки сепаратора, в которой чистое топливо отделяется посредством гравитации, и подается через датчик раздела сред и соответствующий сливной клапан в резервуар грязного топлива. Грубые частицы грязи оседают в нижней части сепараторной камеры и, если необходимо, их можно удалить с помощью клапана продувания.

Сепарационные установки типа УСФА (установка сепарационная фильтрующая автоматическая) обеспечивает качество очистки нефтесодержащей воды до нормы, установленной Международной конвенцией МАРПОЛ-73/78 для особых районов. Установка используется на морских и речных судах. Специфические свойства фильтрующего материала в совокупности с его периодической регенерацией (обратная промывка)

обеспечивают длительный срок службы и гарантируют стабильное качество очистки.

На рисунке 3 приведена принципиальная схема установки «УСФА».

Принципиальная схема установки «ПП МАТИК» (Швеция) представлена на рисунке 4 [17,12]. В ней используется два способа очистки – отстой и адсорбция. В установке использована вакуумная прокачка нефтесодержащих вод. При включении установки в работу, за счет разрежения создаваемого насосом 1, нефтесодержащие воды из судовой сборной цистерны начинают поступать в отстойное устройство 2, где отделяются пленочные и грубодисперсные нефтепродукты. Отстоявшиеся нефтепродукты накапливаются в верхней полости отстойника. Как только слой нефтепродуктов достигнет определенной величины, срабатывает датчик 4 и открывает клапан 3. При этом электродвигатель насоса 1 начинает вращаться в противоположную рабочему направлению сторону, и нефтепродукты вытесняются в шламовую цистерну.

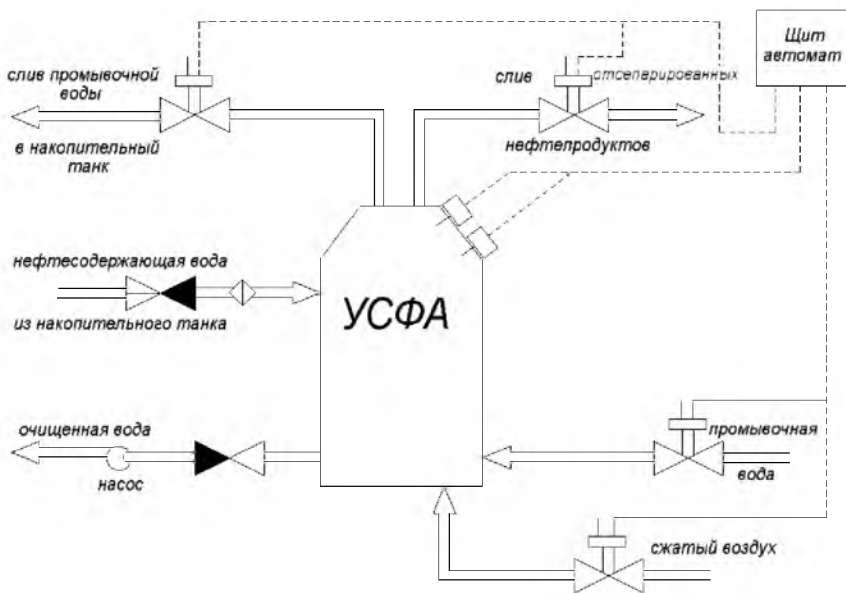


Рисунок 3 – Принципиальная схема сепарационной установки «УСФА»

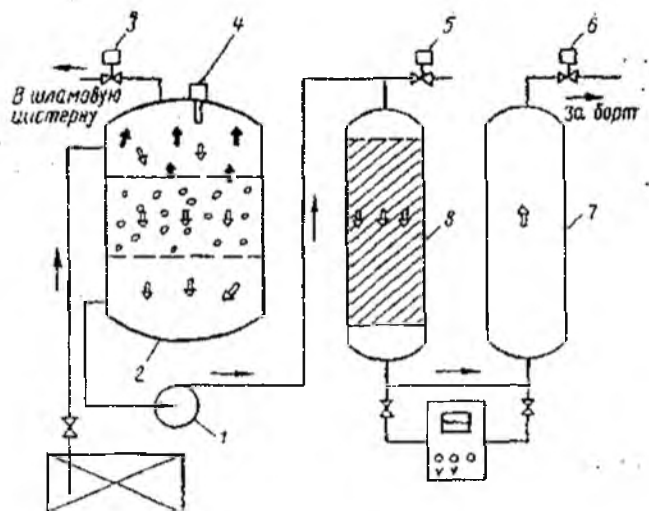


Рисунок 4 – Принципиальная схема установки «ПП МАТИК»

Сброс нефтепродуктов продолжается до тех пор, пока датчик уровня 4 не зафиксирует отсутствие нефтепродуктов. После этого установка снова начинает работать в режиме очистки. Из отстойного сепаратора 2 вода поступает в фильтр тонкой очистки 8, где происходит отделение эмульгированных нефтепродуктов в слое зернистой фильтрующей загрузки. Затем очищенная вода поступает в сборную емкость 7, откуда сбрасывается за борт. Если прибор контроля содержания нефтепродуктов в очищенной воде подает сигнал о неудовлетворительной очистке, то автоматически закрывается клапан 6, и открывается клапан 5. В результате слив за борт прекращается, и вода начинает сбрасываться в цистерну сбора нефтесодержащих вод или в льяла.

В промышленно развитых странах для очистки судовых НСВ используются методы биологической очистки. Принцип действия работы биомеханического сепаратора «ПЕТРОЛИМИНАТОР-630» (США) основан на использовании микроорганизмов для утилизации углеводородов. Содержание НП в очищенной воде составляет около 1 мл/л, что значительно ниже значения, требуемого Конвенцией.

На рисунке 5 приведена схема биомеханического сепаратора «ПЕТРОЛИМИНАТОР-630» [17,12].

Процесс сепарирования в сепараторе происходит при атмосферном давлении и состоит из трех фаз. Первая фаза - ступень сепарирования заключается в следующем: НСВ подаются в сбор-

ный танк, где осуществляется первоначальное отделение и удаление (отвод) НП в сборный танк нефти. В сборном танке НП отстаиваются и частично всплывают, шлам и находящиеся во взве-

шенном состоянии механические примеси оседают на дно танка. Затем НП насосом прокачиваются через соленоидный клапан в сборный танк НП, а нефтяная эмульсия подается другим насосом во вторую степень очистки.

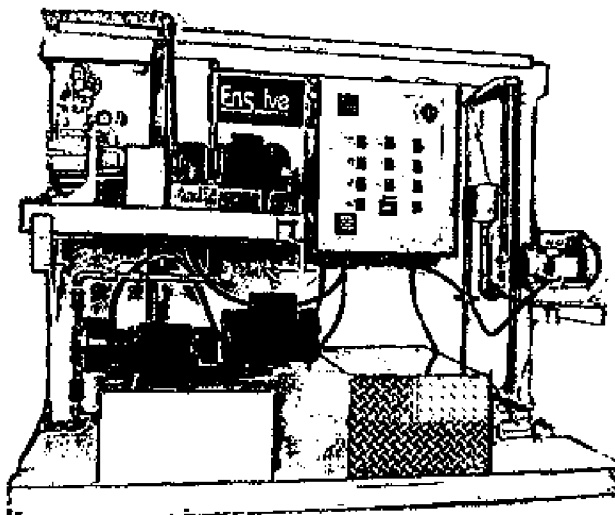


Рисунок 5 – Схема биомеханического сепаратора «ПЕТРОЛИМИНАТОР-630»

Во второй степени вступают в действие живые организмы (бактерии), и происходит деградация НП, содержащихся в воде. НСВ прокачивается через носитель катализатора, представляющий собой матрицу сотовой конструкции, на которой располагаются прикрепленные бактерии, способные разрушить углеводороды нефтепродуктов.

Бактерии выделяют полисахарид, так называемый «биологический клей», который прочно связывает бактерии с носителем катализатора, и изменяет скорость химических реакций, а сами бактерии остаются без изменения. Этот биологический процесс сводит до минимума унос бактерий потоком воды, проходящей через систему катализатора. НП и связанные с ними загрязняющие частицы разрушаются в этом биологическом слое, и в силу того, что бактерии фактически «съедают» нефтяные углеводороды. Дeterгенты и другие эмульгаторы ускоряют процесс, поскольку они разлагают нефтепродукты на более мелкие частицы.

Третья фаза или окончательная очистка НВ заключается в том, что продолжается дальнейшее воздействие бактерий на оставшиеся нефтепродукты и твердые частицы, перед тем, как очищенная вода будет удалена за борт. В отличие от некоторых традиционных систем, в этом сепараторе осуществляется непрерывный контроль содержания нефтепродуктов в очищенной воде.

Усовершенствование установок типа «Петролиминатор-630» происходит путем внесения

существенных изменений в конструкцию отдельных элементов и технологию очистки, что позволило обеспечить в установках последнего поколения непрерывную работу в полностью автоматическом режиме без участия обслуживающего персонала до 30 суток. При этом содержание нефти на выходе не превышало 5 мл/л, что подтверждено Береговой охраной США [17].

Автором [11], на основании концепции совершенствования судовых систем предложена технологическая схема очистки СВ и НСВ в объединенной системе (рис.6).

Все поступающие НСВ подлежат двухступенчатой очистке. Первая ступень осуществляется на станции сепарации, где посредством отстаивания, усреднения, механической фильтрации и двухступенчатого гидроциклонирования отделяется обезвоженный НП, который накапливается в нефтешламовой цистерне и далее сжигается в котлоагрегате. Слабозагрязненные НСВ направляются в отстойный танк сточных вод, смешиваются с ними и далее проходят весь цикл обработки сточных вод в биомеханическом сепараторе.

Активно ведутся работы в получении ассоциаций штаммов нефтеокисляющих бактерий. Обнаружены и описаны бактерии различных эволюционных групп, способные разлагать нафталин, фенантрен, антрацен [19], другие высокомолекулярные полиароматические углеводороды [20-23].

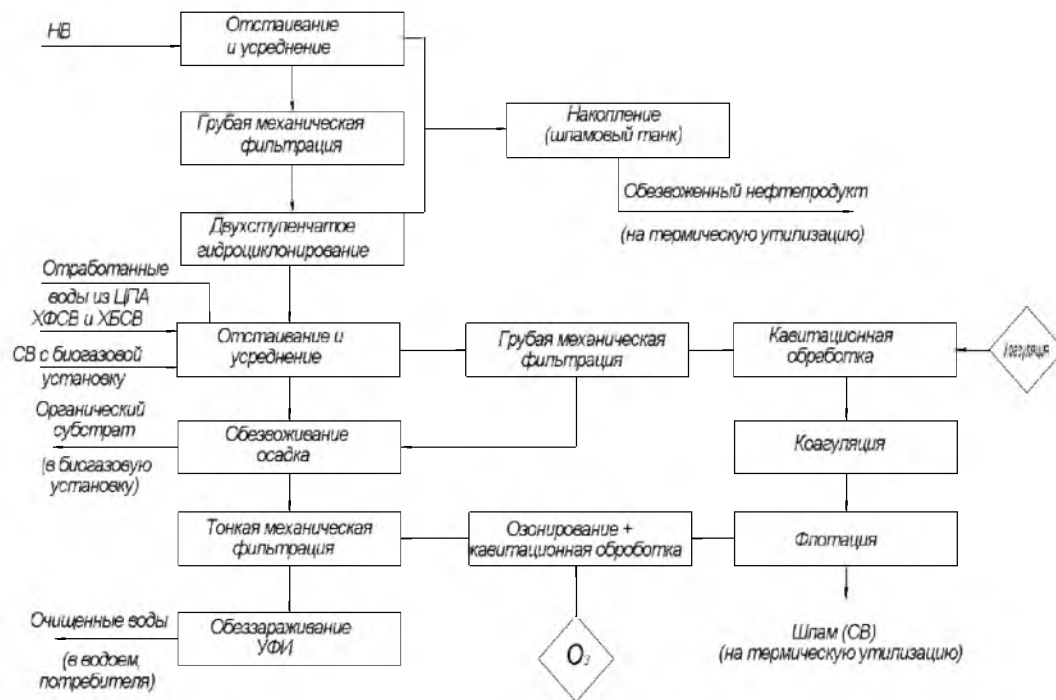


Рисунок 6 – Функциональная схема совместной очистки СВ и НС

Известна биологически активная композиция, включающая ассоциацию нефтеокисляющих бактериальных культур *Pseudoamycolata halophobica* ВСБ-753, *Kibdelos-porangium aridum* ВСБ-754, *Acinetobacter oleovorun* ВСБ-712, *Rhodococcus erythropolis* НХ7 в объемном соотношении 1:1:1:1, торф и комплексное минеральное удобрение [23], консорциум штаммов микроорганизмов *Acinetobacter* sp. ВКМ В-2753D и *Ochrobactrum* sp. ВКМ В-2754D [21], штамм *Rhodotorula* sp. ВКМ У-2993D [19], способные к очистке воды от нефти и нефтепродуктов.

Получена ассоциация штаммов бактерий *Pseudomonas hunanensis* ВСНН-ІВ-С7 и *Acinetobacter baumannii* ВСНН-ІВ-Р2, способная осуществлять эффективную очистку судовых льяльных вод от нефтепродуктов [21,23]. Штаммы бактерий выделены из образцов судовых НСВ, предоставленных ЗАО Судходная компания «БашВолготанкер» (*Pseudomonas hunanensis* ВСНН-ІВ-С7) и ПАО «Новороссийский морской торговый порт» (*Acinetobacter baumannii* ВСНН-ІВ-Р2) [23]. Для получения биомассы культур их выращивают на жидкой питательной среде определенного состава.

Ведутся также научные разработки в таких направлениях, как создание автоматизированных систем объединенной очистки сточных вод и НСВ, управление смешанными культурами микроорганизмов в условиях непрерывных процессов

биохимического окисления нефтяных углеводов. На основе гидравлических, массообменных, технологических и микробиологических данных разрабатываются математические модели, которые с высокой точностью позволят не только прогнозировать процессы в системах биологической очистки, но и управлять ими для получения высокого эффекта очистки вод.

Литература

1. Лаврова О.Ю. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий / О.Ю. Лаврова, М.И. Митягина, Костяной. – М.: ИКИ РАН, 2016. — 334 с.
2. Опыт проведения в мире спутникового мониторинга загрязнения морской среды. /ФГБУ "Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии "Планета". Интернет-ресурс. URL: https://planet.iitp.ru/sea_monitor/archive/2007/12/02.htm (дата обращения 20.07.19).
3. Тихомиров Г.И. Современное состояние проблемы очистки судовых нефтесодержащих вод и экологическая безопасность судовых энергетических установок / Г.И. Тихомиров Г.И. //Транспорт. – 2015. – №6. – С. 263-267.
4. Очистка льяльной воды, – какой способ сепарации лучше// Судходство.– 2010.– № 2(32), Интернет-ресурс. URL: <https://www.maritimemarket.ru/article.Phtml?id=1189> (дата обращения 19.08.19).
5. Касперович Е.В. Судовые нефтесодержащие (ляльные) воды, их физико-химические параметры и очистка /Е.В. Касперович //Вестник Камчатского

- государственного технического университета. – 2005.– №4.– С.63-66.
6. Мизгирев Д.С. Научное обоснование технических решений и разработка на их основе систем для судов комплексной переработки отходов: дисс. ... д-ра техн. наук.– Нижний Новгород, 2016.– 571 с.
 7. Карастелев Б. Я. Комплексная технология термического обезвреживания судовых сточных и нефтесодержащих вод: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. – Владивосток, 2000.– 40 с.
 8. Решняк В.И. Исследование процесса образования сточной воды на судах/ В. И. Решняк С. Е. Посашкова, К. В. Решняк// Журнал университета водных коммуникаций. — 2010. —№ 4 (1). — С. 97-103.
 9. Ермошкин Н.Г. Судовые установки очистки нефтесодержащих вод. Методы и схемы очистки, устройство и эксплуатация: справочное пособие / Н.Г. Ермошкин, В.Н. Калугин, Э.В. Корнилов, И.Н. Кулешов.– Одесса: Феникс, 2004.– 44 с.
 10. Кузубова Л.И., Морозов С.В. Очистка нефтесодержащих сточных вод: Аналит. обзор СО РАН. ГПНТБ, НИОХ. – Новосибирск, 1992. – 72 с.
 11. Писарев А. О. Методика проектирования объединенной системы очистки судовых сточных и нефтесодержащих вод: автореф. дисс. ... к.т.н.– Нижний Новгород, 2010.– 24 с.
 12. Евонов Ю.И. Зарубежные сепарационные установки для очистки льяльных вод.– М., 1980, вып.1. – С. 36.
 13. Адельшин А. А. Моделирование процессов и разработка установок очистки нефтесодержащих сточных вод на основе использования закрученных потоков: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Пенза, 2009. – 23 с.
 14. Ткаченко И.В. Очистка нефтесодержащих вод морских судов методом гидродинамической суперкавитации потока // Universum: Технические науки : электрон. научн. журн. 2018. № 3(48). Интернет-ресурс. URL: <http://universum.com/ru/tech/archive/item/5656> (дата обращения 01.07.19).
 15. Пат. РФ №2341407. Способ очистки льяльных и сточных вод от нефтепродуктов и других загрязнений и устройство для его осуществления./ Тунитовский В. В. Интернет- ресурс: URL: <http://www.freepatent.ru/patents/> (дата обращения 22.05.19).
 16. Уткин Е. Ю. Совершенствование технологии очистки судовых нефтесодержащих вод способом электрокоагуляции: дисс. ... канд. техн. наук.– СПб., 2003.–198 с.
 17. Судовые установки очистки нефтесодержащих вод. Особенности конструкции и принцип действия. / Интернет-ресурс.URL: <http://mirmarine.net/svm/541-sudovye-ustanovki-ochistki-neftesoderzhashchikh-vod-osobennosti-konstruksii-i-printsipa-dejstviya>.
 18. Установки ОНВ. / Интернет- ресурс. URL: <http://www.ekos.su/ohb.html> (дата обращения 17.08.19.).
 19. Плотникова Е. Г. Бактерии-деструкторы ароматических углеводородов и их хлорпроизводных: разнообразие, особенности метаболизма, функциональная геномика: автореф. дисс. д-ра биол. наук.– Пермь, 2010.– 49 с.
 20. Пат. РФ № 2412913. Способ очистки воды от нефти и нефтепродуктов /А.М. Нетрусов, А.И. Семенов, Е.В. Семенова и др. Опубл. 27.02.2011. Бюл. № 6.
 21. Ветрова А.А. Сравнительная эффективность деградации нефтепродуктов консорциумом плазмидосодержащих штаммов-деструкторов и биопрепаратами «МикроБак», «Биоойл»/ А.А. Ветрова А.Е. Иванова, В.А. Филонов, и др. // Известия Тульского государственного университета Естественные науки.– 2013.– Вып. 2.– Ч.1.– С. 258–272.
 22. Рябцева Н.Д. Способность культуры CANDIDA SP. к биодegradации нефтепродуктов./ Н.Д. Рябцева, В.С.Никитина, А.А.Кадиров, М.И. Абдуллин // Вестник Башкирского университета.– 2015.– Т. 20.– №4.– С. 1227-1229.
 23. Пат. РФ №2 674 893. Ассоциация штаммов микроорганизмов Pseudomonas humanensis и Acinetobacter baumannii для очистки судовых льяльных вод от нефтепродуктов./ Я. О. Логинов и др. Опубл.: 2018.12.13.

References

1. Lavrova O.YU. Sputnikovye metody vyyavleniya i monitoringa zon ekologicheskogo riska morskikh akvatorij /Lavrova O.YU., Mityagina M.I., Kostyanovj.— М.: IKI RAN, 2016.— 334 s.
2. Opyt provedeniya v mire sputnikovogo monitoringa zagryazneniya morskoy sredy. /FGBU "Nauchno-issledovatel'skij centr kosmicheskoy gidrometeorologii "Planeta". Internet-resurs. URL: https://planet.iitp.ru/sea_monitor/archive/2007/12/02.htm (data obrashcheniya 20.07.19).
3. Tihomirov G.I. Sovremennoe sostoyanie problemy ochistki sudovyh neftesoderzhashchih vod i ekologicheskaya bezopasnost' sudovyh energeticheskikh ustanovok/ G.I. Tihomirov G.I. //Transport. – 2015. - №6. -s. 263-267.
4. Ochistka l'yal'noj vody, – kakoj sposob separacii luchshe// Sudohodstvo.-№ 2(32), 2010. Internet-resurs. URL: <https://www.maritimemarket.ru/article.Phtml?id=1189> (data obrashcheniya 19.08.19).
5. Kasperovich E.V. Sudovye neftesoderzhashchie (l'yal'nye) vody, ih fiziko-himicheskie parametry i ochistka./E.V. Kasperovich //Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - 2005.- №4.- s.63-66.
6. Mizgirev D.S. Nauchnoe obosnovanie tekhnicheskikh reshenij i razrabotka na ih osnove sistem dlya sudov

- kompleksnoj pererabotki othodov. Diss. ...d-ra tekhn. nauk.- Nizhnij Novgorod, 2016.-571s.
7. Karastelev B. YA. Kompleksnaya tekhnologiya termicheskogo obezvrezhivaniya sudo-vyh stochnyh i neftesoderzhashchih vod./Avtoref. diss. ... d-ra tekhn. nauk. – Vladivostok.-2000. – 40s.
 8. Reshnyak V.I. Issledovanie processa obrazovaniya stochnoj vody na sudah/ V. I. Reshnyak S. E. Posashkova, K. V. Reshnyak// ZHurnal universiteta vodnyh kommunikacij. — 2010. —№ 4 (1). — S. 97-103.
 9. Ermoshkin N.G. Sudovye ustanovki oчитstki neftesoderzhashchih vod. Metody i skhemy oчитstki, ustrojstvo i ekspluatatsiya /Ermoshkin N.G. Kalugin V.N., Komilov E.V., Kuleshov I.N: spravochnoe posobie. Odessa: Feniks, 2004. 44 s.
 10. Kuzubova L.I., Morozov S.V. Oчитstka neftesoderzhashchih stochnyh vod: Analit. obzor SO RAN. GPNTB, NIOH. – Novosibirsk, 1992. – 72s.
 11. Pisarev A. O. Metodika proektirovaniya ob"edinennoj sistemy oчитstki sudovyh stochnyh i neftesoderzhashchih vod./ Avtoref. diss. ...k.t.n.- Nizhnij Novgorod, 2010.-24s.
 12. Evonov YU.I. Zarubezhnye separacionnye ustanovki dlya oчитstki l'yal'nyh vod. M., 1980, vyp.1, - s. 36.
 13. Adel'shin A. A. Modelirovanie processov i razrabotka ustanovok oчитstki neftesoderzhashchih stochnyh vod na osnove ispol'zovaniya zakruchennyh potokov./ Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. -Penza – 2009. -23s.
 14. Tkachenko I.V. Oчитstka neftesoderzhashchih vod morskikh sudov metodom gidro-dinamicheskoy superkavitatsii potoka // Universum: Tekhnicheskie nauki : elektron. nauchn. zhurn. 2018. № 3(48) . Internet-resurs. URL: <http://7universum.com/ru/tech/arc-hive/item/5656> (data obrashcheniya 01.07.19).
 15. Pat. RF №2341407. Sposob oчитstki l'yal'nyh i stochnyh vod ot nefteproduktov i drugih zagryaznenij i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya./ Tunitovskij V. V. In-ternet- resurs: URL: <http://www.freepatent.ru/patents/> (data obrashcheniya 22.05.19).
 16. Utkin E. YU. Sovershenstvovanie tekhnologii oчитstki sudovyh neftesoderzhashchih vod sposobom elektrokoagulyatsii//diss. ... kand. tekhn. nauk. SPb. 2003.- 198 s.
 17. Sudovye ustanovki oчитstki neftesoderzhashchih vod. Osobennosti konstrukcii i princip dejstviya. / Internet-resurs.URL: <http://mirmarine.net/svm/541-sudovye-ustanovki-oчитstki-neftesoderzhashchikh-vod-osobennosti-konstruktsii-i-printsipa-dejstviya>.
 18. Ustanovki ONV. / Internet- resurs. URL: <http://www.ekos.su/ohb.html> (data obrashcheniya 17.08.19.).
 19. Plotnikova E. G. Bakterii-destruktory aromatischeskikh uglevodorodov i ih hlорproizvodnyh: raznoobrazie, osobennosti metabolizma, funktsional'naya genomika. Avtoref. diss. d-ra biol. nauk.- Perm', 2010.- 49s.
 20. Pat. RF № 2412913. Sposob oчитstki vody ot nefti i nefteproduktov /A.M. Netrusov, A.I. Semenov, E.V. Semenova i dr. Opubl. 27.02.2011. Byul. № 6.
 21. A.A. Vetrova. Sravnitel'naya effektivnost' degradatsii nefteproduktov kon-sorciumom plazmidosoderzhashchih shtammov-destruktorov i biopreparatami «MikroBak», «Bioojl»/ Vetrova A.A. Ivanova, A.E. Filonov, V.A. i dr. // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta Estestvennye nauki. 2013. Vyp. 2. CH.1. S. 258–272.
 22. Ryabceva N.D. Sposobnost' kul'tury CANDIDA SP. k biodegradatsii nefte-produktov./ Ryabceva N.D., Nikitina V.S., Kadirov A.A., Abdullin M.I. // Vestnik Bash-kirskogo universiteta. 2015.- T. 20, №4-с.1227-1229.
 23. Pat. RF №2 674 893. Associatsiya shtammov mikroorganizmov Pseudomonas humanen-sis i Acinetobacter baumannii dlya oчитstki sudovyh l'yal'nyh vod ot nefteproduktov./Loginov YA. O. i dr. Opubl.: 2018.12.13.

УДК621.874

DOI: 10.34046/aumsuomt93/17

ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ИЗДЕЛИЙ И АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СУДОСТРОЕНИЯ

А.В.Гринек, кандидат технических наук, доцент

И.П. Бойчук, кандидат технических наук, доцент

Ю.Г.Косолап, кандидат технических наук

В статье рассмотрено сквозное численное моделирование и схема управления жизненным циклом судостроительных изделий, использующая комплекс моделей и связанных с ними инженерных методик. Решен ряд задач расчета, построения и экспериментальной проверки оптимальной геометрии поверхности изделий на примере винта; генерации управляющей траектории для станка; вибрационного моделирования оборудования. Выявлена связь точности механической обработки с упругими деформациями обрабатываемого винта. Разработаны динамические модели составляющих технологической системы, на основании которых возможна виртуальная их имитация, а, значит, оптимизация и адаптивное управление технологическими параметрами. Данный подход реа-