

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И ОХРАНЫ МОРСКОЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЬЮ

В.И. Истомин¹, С.Е. Тверская²

¹ФГБНУ «Институт природно-технических систем»,
РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: v-istomina@mail.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
РФ, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
E-mail: svettverskaya@mail.ru

Приведены данные экологического мониторинга и загрязнения морской природной среды нефтью и разработаны новые высокоэффективные технические средства систем очистки нефтесодержащих вод, имеющих высокое качество очистки нефтесодержащих вод, большой ресурс работы фильтроэлементов и обладающих простотой конструкции и эксплуатации. Комбинированная сепарационная система обеспечивает очистку нефтесодержащих вод до концентрации нефтепродуктов менее 5 млн⁻¹. Конструкция регенерируемого фильтра и сепаратора с гранулированной загрузкой обеспечивает регенерацию фильтроэлементов без их разборки и замены.

Ключевые слова: экологический мониторинг; Мировой океан; нефтесодержащие воды; технические средства; системы очистки, эффективность, экологическая безопасность.

Поступила в редакцию: 22.09.2021. После доработки: 05.11.2021.

Введение. Развитие морской индустрии ставит задачу по удовлетворению требований Международной Конвенции по предотвращению загрязнения моря с судов MARPOL 73/78 и других основных международных и национальных документов с целью повышения экологической безопасности морских судов и сооружений [1].

Для этого необходимы проведение постоянного экологического мониторинга и тщательная всесторонняя оценка загрязнения морской природной среды нефтью в различных районах Мирового океана, а также разработка новых высокоэффективных технических средств систем контроля и очистки нефтесодержащих вод.

Основной экологической проблемой при эксплуатации судовых энергетических установок является загрязнение водоемов нефтепродуктами, которые используются в качестве основных видов топлива и смазочных масел в СЭУ и представляют наибольшую опасность для Мирового океана [2].

Об актуальности этой проблемы свидетельствует тот факт, что вопросы охраны окружающей среды отражены в

Конституции Российской Федерации, издан ряд правительственных постановлений, повышающих ответственность за соблюдение национальных и международных законов, направленных на предотвращение загрязнения водных акваторий.

Цель исследований. Оценка экологического мониторинга загрязнения морской природной среды нефтью и разработка новых высокоэффективных технических средств систем контроля и очистки нефтесодержащих вод, имеющих высокое качество очистки нефтесодержащих вод, большой ресурс работы фильтроэлементов и обладающих простотой конструкции и эксплуатации.

В настоящее время загрязнение Мирового океана нефтью и нефтепродуктами, достигло уже 1/5 его общей поверхности. Только 1 тонна нефти способна покрыть до 12 км² поверхности моря. Нефтяная плёнка нарушает все физико-химические процессы: повышается температура поверхностного слоя воды, ухудшается газообмен, рыба уходит или погибает, но и осевшая на дно нефть долгое время вредит всему живому. В верхних 5–10 см водной толщи развива-

ется богатейшее сообщество самых разнообразных организмов. На поверхности же накапливаются вещества - загрязнители, в том числе нефть и нефтепродукты.

Охарактеризовать географию загрязнения Мирового океана сложно, тем не менее, некоторые общие черты этого процесса проявляются достаточно отчетливо. Рассмотрим более подробно нефтяное загрязнение Мирового океана как наиболее распространенное и опасное.

Встречающиеся в литературе оценки общего количества нефти и нефтепродуктов, ежегодно попадающих в акватории Мирового океана, различаются

очень сильно: от 3–5 до 10–15 млн. и даже 25–30 млн. тонн. Видимо, наиболее достоверным надо считать показатель в пределах от 3 до 8 млн. тонн в год. Как свидетельствуют статистические данные, за последние 5–7 лет динамика объемов нефтяного загрязнения от морского транспорта как в мировом масштабе, так и от морского транспорта России несколько снизилась, но продолжает оставаться довольно высокой (3–5 млн. тонн в год).

Главные источники нефтяного загрязнения морской среды показаны в рис. 1, исходя из годового сброса нефтепродуктов в размере 3–3,5 млн. тонн.

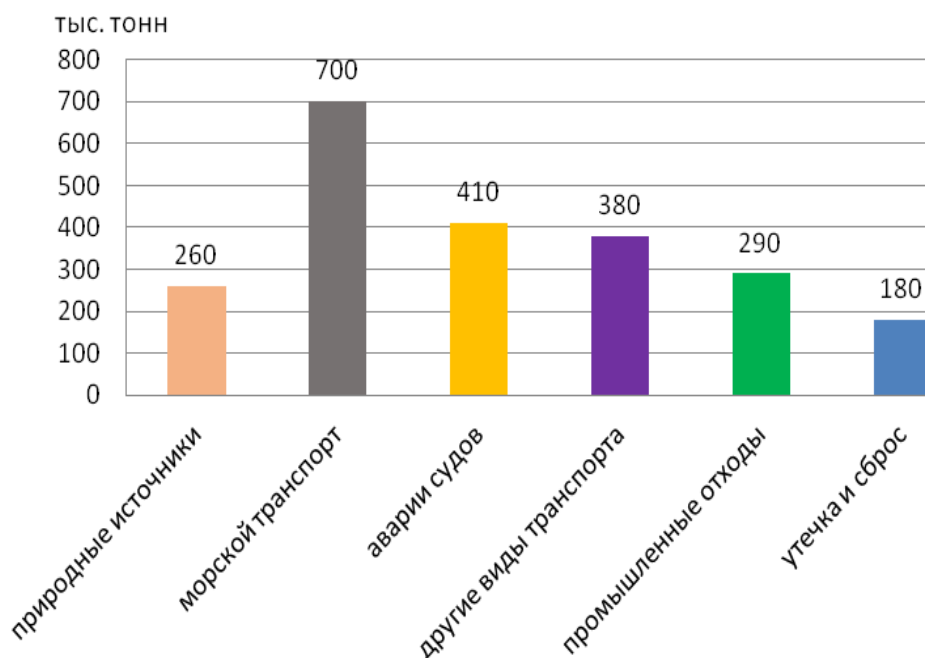


Рис. 1. Главные источники нефтяного загрязнения морской среды
 Fig. 1. The main sources of oil pollution of the marine environment

Согласно статистике, наибольший ущерб морской среде наносит морской транспорт, однако существование и эффективное функционирование современной цивилизации невозможно без судоходства. Современный морской транспорт - важная составная часть транспортной системы России. По величине грузооборота он занимает третье место, уступая железнодорожному и трубопроводному транспорту. Велико значение морского транспорта во внеш-

ней торговле России. На него приходится 73% в отправлении грузов и более 90% грузооборота в международном сообщении.

Около 7 тысяч морских транспортных судов ежегодно перевозят порядка 60% всей потребляемой в мире нефти (что составляет до 40% перевозимых морем грузов). В то же время с ростом интенсивности морских перевозок (только за последние 10 лет их объем

возрос на 80%) существенно повышается риск загрязнений морских акваторий.

Мировое потребление нефти и нефтепродуктов постоянно растет и составляет свыше 3150 млн. тонн в год. Объем международных перевозок нефти будет возрастать, по прогнозам, в среднем на 4,5% в год. Настолько же примерно будет расти и потребность в транспортных морских судах. Увеличилась и дальность перевозок сырой нефти с 6,4 тыс. до 10,5 тыс. т/км, а нефтепродуктов - с 1,6 тыс. т до 2,2 тыс. т/км. С ростом морского флота увеличивается и число загрязнений моря нефтью, в конечном счете, растут масштабы загрязнения моря.

Таким образом, интенсивность загрязнения и техногенная нагрузка на воды Мирового океана вследствие эксплуатации судов за последнее десятилетие продолжает оставаться достаточно высокой. За последние 100 лет загрязнение воды нефтепродуктами увеличилось в 3000 раз.

Применительно к судоходству следует говорить в первую очередь об эксплуатационном загрязнении.

Эксплуатационное загрязнение включает как автоматический сброс загрязняющих веществ в процессе работы судна, так и преднамеренные сбросы отходов, образующихся в процессе эксплуатации судна. Для уменьшения или полного предотвращения таких сбросов устанавливаются нормы и стандарты, относящиеся к конструкции судов и их оборудованию, а также санкции в отношении виновных лиц.

Касательно загрязнения Мирового океана неоднократно предпринимались попытки его картирования. Однако, как и оценки объема такого загрязнения, их карты различаются очень сильно. На рис. 2 представлен один из «максималистских» вариантов такого картирования, но в целом он дает более или менее правильное представление об этом явлении [3].

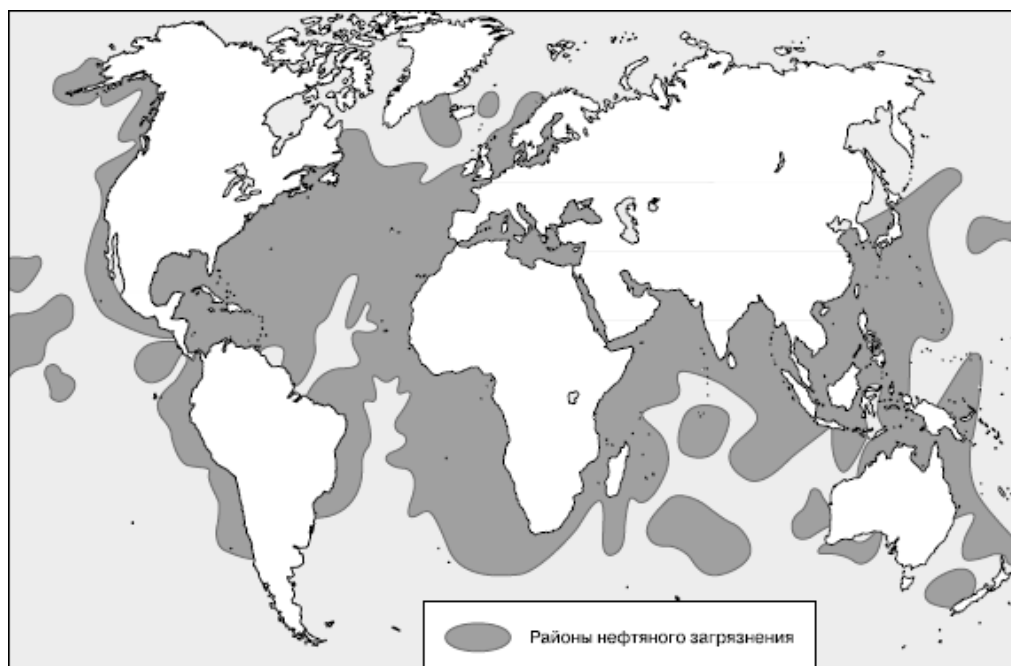


Рис. 2. Нефтяное загрязнение Мирового океана
Fig. 2. Oil pollution of the Oceans

Наиболее загрязнен нефтью и нефтепродуктами Атлантический океан. У берегов Европы это объясняется добычей нефти в Северном море и массовым

транспортированием нефти и нефтепродуктов по Средиземному, Северному и другим морям, а также по прилегающим акваториям Мирового океана. У побере-

жья Африки такое загрязнение связано, прежде всего, с прохождением там основных трасс супертанкеров и с добычей нефти в Гвинейском заливе. У берегов Северной и Центральной Америки также проходят крупные нефтяные грузопотоки, а в Мексиканском заливе и Карибском море, кроме того, ведут ее добычу на шельфе. В открытой части Атлантического океана загрязнение в целом имеет менее устойчивый характер, однако повышенные скопления нефтяных углеводородов встречаются и здесь – на трассах танкеров и там, где проходят Канарское, Пассатные и некоторые другие океанские течения. Значительную часть океана покрывает нефтяная пленка, широко распространено и загрязнение нефтяными комками.

В Тихом океане нефтяное загрязнение наиболее велико у азиатского побережья, где ведут добычу нефти на шельфе и проходят дороги супертанкеров. У побережья Северной и Южной Америки оно немного меньше, а в открытой части океана образует отдельные очаги. И в этом океане течения способствуют распространению нефтяной пленки на новые акватории.

В Индийском океане наиболее загрязнена нефтью и нефтепродуктами та его часть, которая прилегает к Персидскому заливу – району добычи «морской нефти» и главному во всем мире району зарождения морских нефтяных грузопотоков. Из-за этих грузопотоков получают свою долю загрязнения восточное побережье Африки и прибрежные районы Южной и Юго-Восточной Азии. В Северном Ледовитом океане нефтяное загрязнение значительно меньше, но тем не менее в некоторых морях (Гренландское, Бофорта) оно также имеет место.

Эксплуатируемые в настоящее время отечественные и зарубежные сепарационные системы для контроля и очистки нефтесодержащих вод не вполне отвечают современным требованиям, предъявляемым к ним Международной морской организацией ИМО, которые должны обеспечивать на выходе системы концентрацию нефтепродуктов в очищенной воде менее 15 частей на милли-

он (15 млн^{-1}) при широком диапазоне изменения концентраций нефтепродуктов в очищаемой воде на входе системы от 1000 до 250000 млн^{-1} (от 1 до 25%). Одни не обеспечивают требуемой степени очистки нефтесодержащих вод, другие имеют малый ресурс работы и большие габариты, третьи сложны в изготовлении и эксплуатации [4, 5]. Поэтому является актуальным и своевременным проведение исследований в области повышения эффективности очистки нефтесодержащих вод СЭУ и разработки нового сепарационного оборудования, обеспечивающего высокое качество очистки нефтесодержащих вод, имеющего большой ресурс работы фильтроэлементов и обладающего простотой конструкции и эксплуатации.

На основе результатов теоретического и экспериментального исследований процесса коалесценции нефтеводяной эмульсии в тканевом фильтре, процесса очистки нефтесодержащих вод в объеме гранулированной загрузки, при использовании методов и приборов контроля и управления концентрацией нефтепродуктов в очищенной воде в различных типах фильтроэлементов, а также устройств сигнализации и автоматического прекращения слива за борт разработана высокоэффективная сепарационная система, в которой в качестве первой ступени используется новый регенерируемый тканевый фильтр, а в качестве второй ступени применен фильтр с гранулированной загрузкой. Регенерируемый тканевый фильтр в данной системе служит для очистки нефтесодержащих вод от механических примесей и предварительной коалесценции диспергированных нефтепродуктов, а фильтр с гранулированной загрузкой предназначен для окончательной очистки и отделения укрупненных в тканевом фильтре нефтепродуктов. Предлагаемая комбинация тканевого фильтра и гранулированной загрузки позволяет увеличить ресурс работы гранулированной загрузки и повысить качество очистки нефтесодержащих вод.

Заполнение фильтра различными компонентами позволяет эффективно отделять нефтепродукты от воды раз-

личными физико-химическими способами (коалесценция, фильтрация, адсорбция).

Первый компонент фильтрующей загрузки – дважды просеянный песок с размером частиц $0,5 \div 1$ мм более эффективно «притягивает» капельки нефтепродуктов и обладает хорошими фильтрующими и коалесцирующими свойствами.

Второй компонент фильтрующей загрузки – древесные опилки из ели с размером частиц $0,5 \div 1$ мм обладают фильтрующими и адсорбционными свойствами. Благодаря наличию в структуре древесины из ели большого количества микропор, отделение нефтепродуктов во

второй ступени фильтра, заполненной древесными опилками, осуществляется не только фильтрованием, но и адсорбцией, что позволяет извлекать даже растворенные нефтепродукты и существенно повысить качество очистки.

Таким образом, варьируя составом компонентов фильтрующей загрузки, обладающей различными физико-химическими свойствами, можно значительно повысить качество очистки и существенно интенсифицировать процесс отделения нефтепродуктов от воды.

Комбинированная сепарационная система для глубокой очистки нефтесодержащих вод судовых энергетических установок представлена на рис. 3.

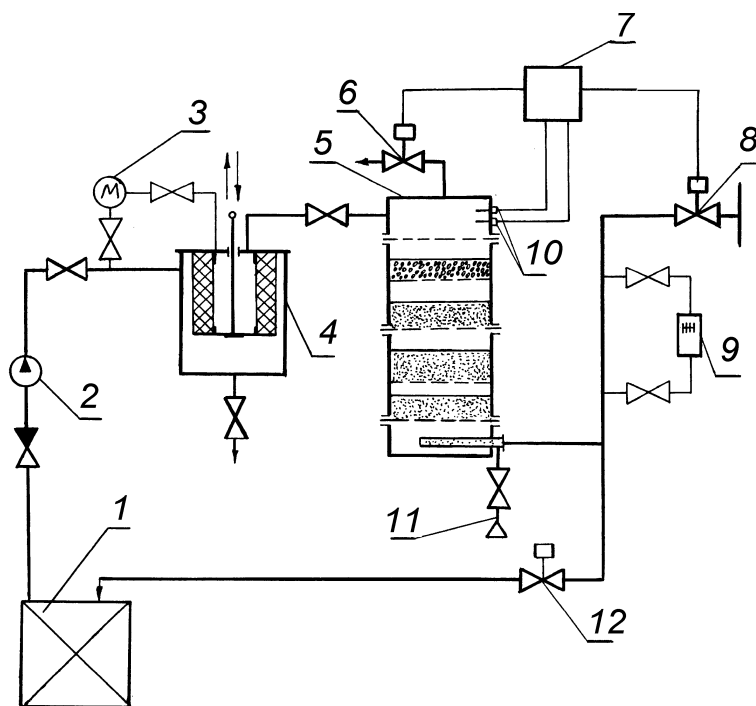


Рис. 3. Схема комбинированной сепарационной системы для глубокой очистки нефтесодержащих вод «Виктория»:

- 1 – сборная емкость; 2 – перекачивающий насос объемного типа; 3 – дифманометр; 4 – регенируемый фильтр; 5 – сепаратор с гранулированной загрузкой; 6 – клапан вывода нефтепродуктов; 7 – блок автоматики; 8 – клапан вывода очищенной воды; 9 – прибор контроля концентрации нефтепродуктов в очищенной воде; 10 – датчик уровня нефтепродуктов; 11 – подвод сжатого воздуха; 12 – клапан возврата воды в цистерну

Fig. 3. Scheme of combined separation system for deep cleaning oily waters "Victoria":

- 1 – prefabricated capacity; 2 – pumping pump of volumetric type; 3 – diffmanometer; 4 – regenerated filter; 5 – separator with granular loading; 6 – output valve petroleum products; 7 – automation unit; 8 – purified water output valve; 9 – device control of the concentration of petroleum products in purified water; 10 – level sensor petroleum products; 11 – compressed air supply; 12 – water return valve to the tank

Процесс очистки осуществляется следующим образом. Нефтедержащая вода из сборной емкости 1 забирается насосом 2 и подается в регенерируемый фильтр 4, где происходит предварительное укрупнение капелек нефти и отделение механических примесей. При достижении критического перепада на фильтре (около 0,05 МПа) осуществляется регенерация фильтра без его разборки путем периодического уменьшения объема фильтрованного патрона. Далее нефтедержащая вода подается в сепаратор с гранулированной загрузкой 5, где осуществляется доочистка нефтедержащих вод до концентрации нефтепродуктов 5 млн⁻¹. Очищенная вода сбрасывается за борт через клапан 8, а отсепарированные нефтепродукты через клапан 6 в емкость для сбора нефтепродуктов при наполнении их в сепараторе до датчиков уровня 10. В связи с требованиями Международной морской организации ИМО и Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов МАРПОЛ 73/78 прибор контроля концентрации нефтепродуктов в очищенной воде 9 должен быть проточного типа и обеспечивать непрерывное измерение концентрации нефтепродуктов в очищенной воде в процессе всего времени работы системы, что и на сегодняшний день является не простой задачей, так как на показания прибора может влиять мутность воды, поэтому периодически производят настройку и тарировку прибора относительно мутности

воды. При ухудшении качества очистки по сигналу от прибора контроля концентрации нефтепродуктов 9 клапан 12 откроется, а клапан 8 закроется и слив за борт воды прекратится. После этого производят регенерацию сепаратора 5 сжатым воздухом, или паром, для чего клапана 8 и 12 закрывают, а клапан 6 и 11 открывают и подают в сепаратор 5 сжатый воздух или пар. При этом происходит псевдооживление гранул и очистка их от нефтепродуктов и механических примесей. Далее процесс очистки возобновляется.

На основе проведенных исследований [3, 4] разработан следующий типоразмерный ряд производительностей сепарационных систем, обеспечивающий суда любого типа и водоизмещения: 0,6; 1,0; 2,5; 4,0 м³/ч. Исходя из вышеизложенного, рассчитаем основные размеры тканевых фильтроэлементов данных производительностей, приняв удельный расход нефтедержащих вод 2,5 м/ч, высоту фильтроэлемента $H = 0,5$ м для производительностей 0,6 и 1,0 м³/ч и $H = 1,0$ м для фильтроэлементов производительностью 2,5 и 4,0 м³/ч. Результаты расчета представлены в табл. 1.

Основные размеры типоразмерного ряда сепарационных установок с гранулированным фильтроэлементом представлены в табл. 2.

Диаметр гранул песка первой ступени равен 1 мм, древесные опилки из ели с размером частиц второй ступени 1 мм.

Таблица 1. Основные конструктивные размеры типоразмерного ряда регенерируемых тканевых фильтров

Производительность, Q, м ³ /ч	Высота фильтроэлемента, H, м	Диаметр фильтроэлемента, d _ф , м	Размер ячейки ткани, a · 10 ³ , м	Диаметр нити ткани, d _н · 10 ³ , м	Число слоев ткани, —	Удельный объем фильтроэлемента, $\frac{m^3 \cdot ч}{m^3}$
0,6	0,5	0,15	0,05	0,45	5	0,015
1,0	0,5	0,25	0,05	0,45	5	0,02
2,5	1,0	0,32	0,25	0,85	5	0,03
4,0	1,0	0,51	0,25	0,85	5	0,05

Таблица 2. Основные конструктивные размеры типоразмерного ряда сепарационных установок с гранулированным фильтроэлементом

Производительность, Q, м ³ /ч	Суммарная высота слоев гранул, H, м	Удельный расход НСВ q, м/ч	Площадь гранулированной загрузки F _г , м ²	Внутренний диаметр сепаратора d _с , м	Удельный объем сепаратора $\frac{м^3}{м^3 \cdot ч}$
1	2	3	4	5	6
0,6	1,2	2,5	0,24	0,55	0,6
1,0	1,2	2,5	0,4	0,7	0,6
2,5	1,2	2,5	1,0	1,13	0,6
4,0	1,2	2,5	1,6	1,43	0,6

Заключение. Оценки загрязнения морской природной среды нефтью в различных районах Мирового океана доказывает необходимость разработки новых высокоэффективных технических средств систем контроля и очистки нефтесодержащих вод, имеющих высокое качество очистки нефтесодержащих вод, большой ресурс работы фильтроэлементов и обладающих простотой конструкции и эксплуатации.

Предложенная комбинированная сепарационная система для очистки нефтесодержащих вод имеет высокую эффективность работы и обеспечивает очистку нефтесодержащих вод до концентрации нефтепродуктов менее 5 млн⁻¹. Конструкции фильтра и сепаратора обеспечивают регенерацию фильтроэлементов без их разборки и замены, что существенно упрощает обслуживание и эксплуатацию установки.

Таким образом, варьируя составом компонентов фильтрующей загрузки, обладающей различными физико-химическими свойствами, можно значительно повысить качество очистки и су-

щественно интенсифицировать процесс отделения нефтепродуктов от воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 года и Протокол 1978 года.* М.: Изд-во ЦРИА «Морфлот», 2013. 761 с.
2. *Зубрилов С.П.* Охрана окружающей среды при эксплуатации судов / С. П. Зубрилов. Л.: Судостроение, 1989. 256 с.
3. *Максаковский В.П.* Географическая картина мира. Кн. I: Общая характеристика мира. Глобальные проблемы человечества. М.: Изд-во «ДРОФА», 2009. 1340 с.
4. *Истомин В.И.* Эксплуатационные исследования суточного объема накопления судовых нефтесодержащих вод/ В. И. Истомин, Вестник СевНТУ «Механика, энергетика, экология». Севастополь. 2003. Вып. 48. С. 172–175.
5. *Истомин В.И.* Комплексная очистка судовых нефтесодержащих вод/ В. И. Истомин. Севастополь, Изд-во СевНТУ. 2004. 202 с.

IMPROVEMENT OF TECHNICAL MEANS OF CONTROL SYSTEMS AND PROTECTION OF THE MARINE ENVIRONMENT FROM OIL POLLUTION

V.I. Istomin¹, S.E. Tverskaya²

¹Institute of Natural and Technical Systems, RF, Sevastopol, Lenin St., 28

²Sevastopol State University, RF, Sevastopol, Universitetskaya St., 33

Data on environmental monitoring and the marine environment pollution by oil are presented and new highly efficient technical means of oil-containing water purification systems are developed, which have

Monitoring systems of environment No 4 (46) 2021

high quality of oil-containing water purification, a long service life of filter elements, simple design and operation. The combined separation system for the purification of oily waters has a high efficiency and provides the purification of oily waters to a concentration of petroleum products lower than 5 million-1. The design of the regenerated filter and separator with granular loading ensures the regeneration of filter elements without disassembling and replacing them, which significantly simplifies the maintenance and operation of the system.

Keywords: environmental monitoring; World Ocean; oil-containing waters; technical means; purification systems, efficiency, environmental safety.

REFERENCES

1. *Mezhdunarodnaya konvenciya po predotvrashcheniyu zagryazneniya s sudov 1973 goda i Protokol 1978 goda.* M.: Izd-vo CRIA «Morflot», 2013. 761 p. (in Russian).
2. *Zubrilov S.P. Ohrana okruzhayushchej sredy pri ekspluatscii sudov / S. P. Zubrilov.* L.: Sudostroenie, 1989. 256 p. (in Russian).
3. *Maksakovskij V.P. Geograficheskaya kartina mira. Kn. I: Obschaya harakteristika mira. Global'nye problemy chelovechestva.* M.: Izd-vo «DROFA», 2009. 1340 p. (in Russian).
4. *Istomin V.I. Ekspluatatsionnye issledovaniya sutochnogo ob"ema nakopleniya sudovyh neftesoderzhashchih vod/ V. I. Istomin, Vestnik SevNTU «Mekhanika, energetika, ekologiya».* Sevastopol'. 2003. Vyp. 48, pp. 172–175. (in Russian).
5. *Istomin V.I. Kompleksnaya ochistka sudovyh neftesoderzhashchih vod/ V. I. Istomin.* Sevastopol', Izd-vo SevNTU. 2004. 202 p. (in Russian).