

Автоматическая система локализации аварийных разливов нефтепродуктов в условиях морских акваторий

Л.А. Данилов, О.А. Дикмаров

Владивостокский государственный университет, г. Владивосток, Россия

Аннотация: Статья представляет собой комплексное исследование, направленное на разработку высокоэффективной автоматизированной системы локализации аварийных разливов нефтепродуктов в условиях морских акваторий. Данная работа обладает особой актуальностью ввиду нарастающих рисков загрязнения водной среды вследствие интенсификации добычи на морском шельфе и увеличения объёмов транспортировки углеводородов. Современные тенденции требуют внедрения инновационных решений, способных значительно сократить негативные последствия потенциальных аварийных ситуаций, обеспечивая высокий уровень экологической безопасности.

Основной целью исследования стало создание многофункциональной системы, объединяющей три ключевых компонента: самонадувающиеся боновые ограждения, электрохимический датчик утечки и электромагнитную систему фиксации. Каждый элемент разработан таким образом, чтобы обеспечить комплексный подход к решению проблем быстрого реагирования и эффективного ограничения распространения нефтяной плёнки.

Для реализации поставленных целей были последовательно выполнены следующие задачи:

1. Применение самонадувающихся боновых ограждений. Этот компонент предназначен для надежного ограждения зоны аварийного разлива, позволяя нивелировать распространение загрязнителей и обеспечить сравнительно простую ликвидацию аварии.
2. Использование высокочувствительного электрохимического датчика утечки. Датчик обеспечивает непрерывный мониторинг состояния резервуаров и трубопроводов, мгновенно реагируя на малейшие признаки протечек и передавая сигнал тревоги операторам.
3. Проектирование электромагнитной системы удерживания бонов на танкерах. Система предназначена для оперативного перемещения и закрепления защитных элементов, обеспечивая надёжность компоновки ограждений.

Методология исследования включала детальное изучение физико-химических свойств нефтепродуктов, особенностей поведения маслянистых пленок на поверхности воды, анализа существующих технических решений в области противоразливочных технологий, а также разработку оригинальной концепции интегрированной системы предупреждения и ликвидации аварийных разливов. Теоретические модели дополнялись лабораторными экспериментами и натурными испытаниями, позволившими подтвердить работоспособность предложенных решений.

Итоговые результаты исследования демонстрируют значительные преимущества разработанной системы. Она способна обеспечивать эффективное ограничение распространения нефтяных загрязнений даже в сложных погодных условиях, сокращая площадь покрытия водой до минимума и снижая объёмы выбросов вредных веществ в окружающую среду. Применение технологии позволит существенным образом повысить безопасность судоходства, минимизировать ущерб экологии и избежать значительных экономических потерь, связанных с очисткой акватории и восстановлением природных ресурсов.

Область применения полученных результатов охватывает сферу судостроения, нефтеперевозок, природоохранной деятельности и эколого-технического контроля.

Использование предлагаемой автоматизированной системы актуально как для крупных компаний-перевозчиков сырьевых грузов, так и для государственных структур, осуществляющих контроль над состоянием водных объектов и регулирующих деятельность судовладельцев.

Авторы делают вывод о перспективности дальнейшего развития данной технологии, подчеркивая необходимость её интеграции в существующие навигационные комплексы современных судов и формирования отраслевых стандартов безопасности перевозок опасных грузов.

Таким образом, представленная статья имеет важное научное значение и несомненный прикладной потенциал, предлагая эффективные инструменты решения актуальной проблемы борьбы с авариями на море, вызванными разливами нефтепродуктов.

Ключевые слова и словосочетания: автоматизация, локализация разливов, электрохимические датчики, самонадувные боновые ограждения, электромагнитная фиксация, морские акватории, экологическая безопасность, нефтепродукты, танкеры

Введение:

Методы исследования.

Для разработки и тестирования автоматической бортовой системы локализации аварийных разливов нефти были использованы следующие методы:

1. Моделирование: Созданы компьютерные модели поведения бонового ограждения и датчика утечки в различных условиях морской среды.
2. Лабораторные испытания: Проведены эксперименты с прототипами бонов и датчиков в лабораторных бассейнах для проверки эффективности конструкции и скорости реакции системы.
3. Анализ рисков: Выполнен подробный анализ потенциальных угроз и факторов риска, влияющих на надежность системы в реальных эксплуатационных условиях.
4. Экономическое моделирование: Рассчитана экономическая эффективность внедрения автоматизированной системы по сравнению с традиционными методами ликвидации нефтеразливов.

Результаты исследования.

Исследование показало высокую эффективность предложенной системы:

- Система способна автоматически обнаруживать утечку нефти менее чем за одну минуту после начала инцидента.
- Самонадувающиеся боны разворачиваются в течение двух-трех минут, эффективно локализуя разлив.
- Электромагнитная фиксация обеспечивает надежное закрепление боновых ограждений на борту судна независимо от условий внешней среды.
- Автоматизация процессов позволила сократить потребность в человеческом ресурсе и снизить затраты на ликвидацию аварийных разливов примерно на 30%.

Таким образом, представленная автоматическая бортовая система доказала свою способность существенно повышать безопасность транспортировки нефти и уменьшать потенциальный ущерб экологии и экономике.

С учётом динамики разработки месторождений углеводородов к 2035 году половина перевозок нефти, газа и нефтепродуктов будет осуществляться посредством эксплуатации морских судов. Следовательно, количество возможных аварийных разливов сильно возрастает, актуальность проектов, направленных на экологическую составляющую водной логистики высока как никогда [1].

Главная проблема в данной области на текущий момент—недостаточная скорость реализации мероприятий направленных на локализацию разливов нефтепродуктов в акваториях (в первую очередь морских). Сложность заключается в том, что время от начала разлива до начала принятия мер по его локализации слишком велико, с учётом этого на ликвидацию, впоследствии будет потрачено больше ресурсов.

Решение описанной выше задачи заключается в автоматизации процедур реагирования на разливы нефтепродуктов и установки боновых ограждений. Это обеспечит снижение расходов материальных и человеческих ресурсов, необходимых для ликвидации последствий соответствующих чрезвычайных ситуаций.

Основная часть.

На данный момент локализация среднего аварийного разлива при помощи боновых заграждений осуществляется во временном промежутке от 2 до 8 часов в зависимости от условий, в том числе, погодных. За это время значительная часть акватории оказывается покрыта загрязнителем.

Немаловажный вклад в скорость локализации помимо вышеназванных условий вносит оперативность реагирования ответственных лиц на разлив нефтепродукта. Время реакции может составлять от 1 до 6 часов, это слишком много чтобы без значительных потерь осуществить мероприятия типичные для описанных выше ситуаций [2].

Данная проблема остро стоит перед исследователями, поскольку ведёт к загрязнению акваторий, а как следствие к разрушению экосистем, а также к финансовым и людским потерям.

Свести к минимуму возможные затраты на устранение последствий утечки поможет автоматизация процессов, таких как обнаружение утечки и развёртывание боновых заграждений.

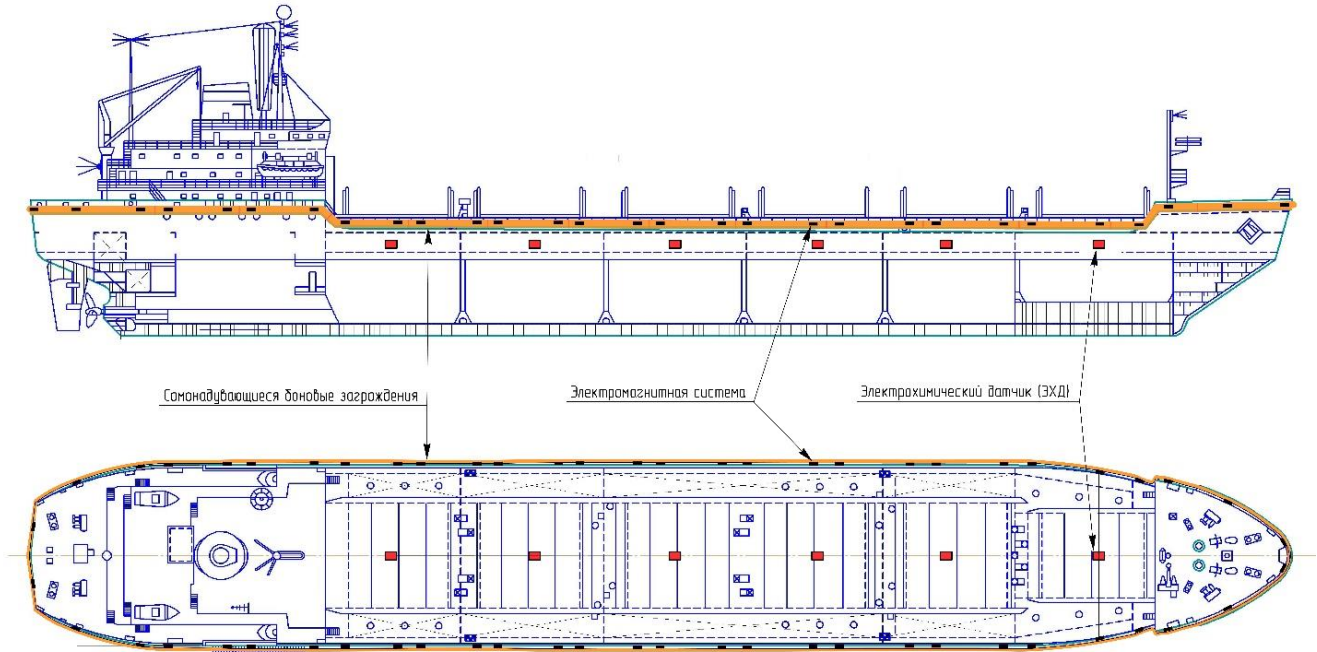
В состав автоматизированной системы реагирования на аварийный разлив нефтепродуктов будут включены: электрохимический датчик утечки, самонадувные боновые заграждения, а также электромагнитная система для компоновки бонов.

Проект, направленный на разработку автоматизированной системы обнаружения и локализации чрезвычайных происшествий, связанных с разливами углеводородов характеризуется высоким уровнем инновационной составляющей по ряду факторов:

- Интеграции новейших достижений дистанционных мониторинговых технологий и продвинутых инструментов анализа массивов данных;
- Значительной оптимизации показателей промышленной безопасности перевозок посредством нефтяных танкеров, экологической безопасности инфраструктурных комплексов и существенного сокращения издержек хозяйствующих субъектов в сфере нефтедобычи;
- Перспективности позитивного воздействия на сохранение экологической устойчивости территорий, подверженных риску возникновения инцидентов, сопровождающихся неконтролируемым распространением загрязняющих веществ.

Хотя реализация инициативы сопряжена с определенными рисками, высокая степень научной значимости и прикладная ценность конечного продукта способствуют привлечению внимания соответствующих участников инвестиционного сообщества и отраслевых партнёров.

Схема системы , расположенной на танкере:



Состав системы:

1.Самонадувающиеся боновые заграждения—это быстро разворачиваемые боновые заграждения, которые готовы к немедленному использованию. Стандартная длина секции 20 метров, надежное соединение типа ASTM, которое позволяет подсоединяться к другим типам бонов.

В верхней части боны оснащены воздухоприемными клапанами с крышками, позволяющими воздуху заполнять камеры плавучести, когда боны развернуты и поставлены на воду. При разворачивании бонов воздушные камеры заполняются воздухом до набора своей полной формы в зависимости от скорости течения.

При выборке воздушные выпускные клапаны открываются и боны складываются и убираются в полипропиленовые мешки по 20 метров бонов в каждом. Один мешок могут легко переносить два человека.

Преимущества				СИ	БУМ:		
•	Боны	изготавливаются			двух	типоразмеров:	
-	надводный	борт:	190	мм	для	размера	500
-	Надводный	борт:	290	мм	для	размера	600
Для	обоих	типов	высота	юбки	310	мм	
•	Боны	самонадувные,	поэтому	дополнительного	оборудования	не требуется	
•	Легковесные			и	легко	обслуживаемые	
•	Быстрое	реагирование		в	любом	нужном	месте
•	Раздельные воздушные камеры на каждой секции бонов						

Таблица 1

Технические данные

Надводный борт, м	0,19	0,29
Осадка, м	0,31	0,31
Ширина (без воздуха), м	0,50	0,60

Стандартная длина, м	20	20
Концевые соединения	ASTM Быстр.	ASTM Быстр.
Материалы бонов	Нефтестойк. ПВХ	Нефтестойк. ПВХ
Цвет	Оранжевый	Оранжевый
Масса на единицу длины, кг/м	1,75	1,75
Запас плавучести	18:1	34:1
Материал балласта	6 мм оцинк. цепь	6 мм оцинк. цепь
Масса балласта на единицу длины, Кг/м	0,7	0,7
Разрывная прочность, Н	22500	22500
Прочность ткани, Н/мм	2500/50	2500 /50
Объём хранения 20м, м ³	0.20	0.25
Масса секции(20м), кг	35	41

Продолжение Таблица 1

Балластом служит 6 мм оцинкованная цепь прикрепленная такелажными скобами к стропленте, усиливающей нижнюю часть юбки [3].

2. Электромагнит ЕМ-500

Краткое описание: Сила удержания 500кг, 12В/24В, 500мА/250мА, ответная планка в комплекте, рабочая температура -40°С до +50°С, 4,3кг, 266x73x39 мм.

Показатели силы удержания и геометрические размеры позволяют удерживать одну секцию бонового заграждения. Потребуется увеличение длины магнитного элемента для более равномерного распределения нагрузки [4].

3. Электрохимический датчик позволяет наиболее быстро (в сравнении с другими) определять наличие даже небольших утечек. Это позволяет оперативно обнаружить утечку и принять меры по локализации разлива.

Электрохимический датчик (ЭХД 1) разработан и серийно изготавливается для применения, в качестве газочувствительного элемента, в стационарных датчиках-сигнализаторах загазованности СТГ-3-О₂, СТГ-3-И-О₂, датчиках-газоанализаторах ДАХ-М-01-О₂ (произведенных с 01.08.2010г. по 30.06.2015г.) и датчиках-газоанализаторах ДАХ-М-01/-05/-05Х/-05ХН/-06/-06ТР/-06ТРХ/-06ТРХН-07(Н)-О₂ (произведенных с 01.07.2015г.) предназначенных для контроля избытка/недостатка кислорода в воздухе рабочей зоны. ЭХД поставляется взамен сенсора, выработавшего свой ресурс. Принцип действия сенсора заключается в преобразовании объёмной доли кислорода в величину электрического сигнала, пропорциональную содержанию исследуемого компонента (О₂) в воздухе анализируемой среды. Токовый сигнал с сенсора поступает на плату первичного преобразователя, на которой имеется энергонезависимая память (FLASH - память), содержащая информацию о температурных изменениях фонового сигнала и чувствительности

ЭХД. Оцифрованный сигнал отправляется на модуль измерения и индикации газосигнализатора, с которым работает ЭХД для формирования и ретрансляции выходного сигнала во внешние цепи многоуровневой системы газового контроля. Принцип работы сенсора основан на электрохимическом методе измерения, в котором при диффундировании кислорода через мембрану на рабочий электрод происходит реакция окисления.

В состав датчика входит: рабочий электрод, сравнительный электрод, газовая камера, камера с электролитом, диафрагма, мембрана, калиброванное входное отверстие, выводные контакты [5].

Стоимость компонентов системы:

Расчёт проводился на примере самого популярного типа танкеров—Aframax, размеры которых обычно в пределах до 120 000 DWT, длина – 253 м, ширина – 44,2 м [6].

Учитывая периметр фальшборта танкера, составляющий примерно 594 метра потребуется минимум 60 секций боновых заграждений, по 20 метров в длину, 60 электромагнитов и 6 ЭХД [7].

По расчётам боновые заграждения будут стоить 1338000 руб., электромагниты 34800 руб., ЭХД 187200 руб. Итоговая стоимость системы, устанавливаемой на вышеописанное судно, составляет примерно полтора миллиона рублей [8].

Вывод

Таким образом, внедрение предложенной автоматизированной системы позволит существенно повысить эффективность оперативного реагирования на разливы нефтепродуктов(с часов до пары минут) сократить временные и материальные затраты на их ликвидацию, минимизировать ущерб окружающей среде и снизить финансовые потери. Проект обладает значительным потенциалом для улучшения экологической ситуации в регионах добычи и транспортировки углеводородов, повышения уровня промышленной безопасности и снижения рисков чрезвычайных ситуаций. Несмотря на существующие риски реализации проекта, его научная значимость и потенциальная польза делают его привлекательным для инвесторов и заинтересованных сторон. Дальнейшие исследования и развитие технологии позволят оптимизировать систему и расширить её применение в разных условиях эксплуатации.

Список литературы

1. Потенциал развития добычи на шельфе в России: проблемы и перспективы // SectorMedia.Ru : электрон. журн., 2023. URL: <https://sectormedia.ru/news/neftegazodobycha/potentsial-razvitiya-dobychi-na-shelfe-v-rossii-problemy-i-perspektivy> (дата обращения: 08.11.2025).
2. Федеральный закон № 12-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» // КонсультантПлюс справ.-правовая система. — Электрон. дан. — Москва, 2023. — Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_36284/c955af316eee4d0f5a1f70379b9bd6911f3e830d (дата обращения: 08.11.2025).
3. СИ-БУМ (SI BOOM) | ХимПолиТек : сайт организации. — Электрон. дан. — [б.м.: б.г.] URL: <https://himpolit.ru/si-boom-siboom> (дата обращения: 09.11.2025).
4. Ультразвуковой датчик уровня жидкости погружной: цена производителя / ООО «ТК ТИНКО» : каталог продукции. — Электрон. дан. — Москва, 2023. — Режим доступа: <https://www.tinko.ru/catalog/product/291223> (дата обращения: 09.11.2025).
5. Электрохимический датчик в упаковке Ibyal 305649-040-14 / Газприбор : интернет-магазин оборудования. — Электрон. дан. — Самара, 2023. — Режим доступа:

https://gazpribors.ru/catalog/vspomogatelnoe_oborudovanie/gazochuvstvitelnye_sensory_i_bloki_datchikov/elektrokhimicheskiy_datchik_v_upakovke_ibyal_305649_040_14.html?ysclid=mhqfjqeco f556104888 (дата обращения: 09.11.2025).

6. Танкеры: классификация танкеров по размерам и грузам, прогноз для рынка танкеров на 2020 и 2021 гг., интересные факты и зарплаты // MZ Blog : блог морских профессионалов. — Электрон. дан. — Владивосток, 2023. — Режим доступа: <https://mzblog.ru/tankery-klassifikatsiya-tankerov-po-razmeram-i-gruzam-prognoz-dlya-rynka-tankerov-na-2020-i-2021-gody-interesnye-fakty-i-zarplaty> (дата обращения: 09.11.2025).

7. Афрамас // Википедия : свободная энциклопедия. — Электрон. дан. — Сан-Франциско, 2023. — Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%84%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B0%D0%BA%D1%81> (дата обращения: 15.10.2023).

8. ЕМ-500_V.2: Замок электромагнитный // Продукция завода-изготовителя : оф. сайт. — Электрон. дан. — Нижний Новгород, 2023. — Режим доступа: <https://emlock.ru/products/em-500-v-2> (дата обращения: 09.11.2025).

Сведения о научном руководителе

Научный руководитель: Городников Олег Александрович, старший преподаватель кафедры Нефтегазового дела, ФГБОУ ВО ВВГУ, Владивосток, Россия.

Сведения об авторах

Данилов Леонид Александрович, Дикмаров Арсений Олегович, бакалавры, Владивосток, Россия.

Электронная почта:

danilovl695@gmail.com, Dikmarovarsenij4329@gmail.com