

Автоматизация оборудования судов для ликвидации выбросов на Северном морском пути

Городников О.А. gorodnikov.o@vvsu.ru

ФБГОУ ВО «Владивостокский государственный университет»

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена разведкой и освоение Арктических вод, поиском полезных ископаемых и ресурсов. Одним из ключевых путей следования судов и артерий, связывающих это направления, является Северный морской путь. Огромное количество судов, передвигающихся по этому направлению в процессе своей деятельности, наносит огромный ущерб экологии и нарушает естественный цикл существования большого количества популяций живых организмов и жизненным процессам. В исследовании рассматривается динамика возможных выбросов на пути следования судов Северного морского пути, а также последствия и меры по предотвращению разливов нефтепродуктов.

Ключевые слова: Судовая энергетическая установка, выбросы нефтепродуктов, ликвидация нефтяных пятен, экологическая обстановка, судно.

Automation of equipment on the Northern Sea Route for eliminating emissions from ships

Abstract. The relevance of this study stems from the exploration and development of Arctic waters, as well as the search for minerals and resources. One of the key shipping routes and arteries connecting these areas is the Northern Sea Route. The vast number of vessels navigating this route causes significant environmental damage and disrupts the natural cycles of numerous populations of living organisms and life processes. This study examines the dynamics of potential emissions along the Northern Sea Route, as well as the consequences and measures to prevent oil spills.

Keywords: Ship propulsion system, oil product emissions, oil spill response, environmental situation, vessel.

Введение

Северный морской путь открывает новые горизонты для экономического развития, но также несет в себе значительные экологические риски, связанные с разливами нефтепродуктов.

Загрязнение происходит из-за нескольких факторов:

- танкерные перевозки (увеличение объемов судоходства связано с добывчей углеводородов и другими промышленными потребностями. Нефтяные танкеры часто проходят через труднодоступные арктические маршруты, внося свой вклад в загрязнение воды и воздуха);

- сброс отходов (судовые энергетические установки, такие как дизельные генераторы, выбрасывают в атмосферу и водные ресурсы опасные вещества, включая сажу и тяжелые металлы. Системы обработки сточных вод не всегда обеспечивают необходимую степень очистки).

- разлипие нефти (аварийные ситуации на судах, включая разливы нефти, наносят серьезный ущерб экосистеме).

Российское законодательство об охране окружающей среды определяет экологические требования для, которые в полной мере распространяются на все виды судов, включая военные корабли и объекты морского базирования.

Одной из ключевых причин загрязнения морской среды становится сброс промывочных вод, используемых для очистки грузовых танков на судах при смене перевозимого груза. Процесс удаления остатков из танков усложняется, поскольку вещества, загрязняющие воды (ВЖВ), могут обладать различными характеристиками: их плотность может быть ниже, выше или равна плотности воды; они отличаются степенью растворимости, а также могут быть летучими или стойкими к растворению. Некоторые ВЖВ оседают на дно, другие всплывают на поверхность, а третьи полностью растворяются в воде [1].

К загрязняющим факторам относятся балластные и промывочные воды из танков, льяльные воды из механизмов помещений, а также аварийные сбросы груза.

Исследование существующих проблем.

На сегодняшний день в мире накоплен значительный опыт в освоении месторождений в замерзающих водах с относительно небольшими глубинами. Однако, несмотря на многочисленные заявления, российские компании пока не полностью реализовали свои планы по освоению Арктики, и моря Восточной Арктики остаются практически не исследованными.

Необходимы новые технологические решения по освоению данных территорий, так как наличие

сложных условий и ряда правовых ограничений значительно затрудняют проведение работ в данной местности. У основных компаний, работающих на этой территории (Россия и Канада), более четырёхстах месторождений нефти и газа, добывают в общей сложности 2,6 млн баррелей нефти в сутки.

При возникновении неподготовленных ситуаций и утечке нефти в сложных условиях оперативно проводить работы по устранению разливов затруднительно, так как наличие льда не дает возможности использовать стандартные средства и оборудование для ликвидации нефтяной пленки.

Во время работы на открытой воде ключевую роль играет скорость устранения разлива, поскольку ветер и течения способны стремительно разнести нефтяные загрязнения по поверхности океана.

Следует учитывать вид ледяного покрова, структура может быть неоднозначной, возможно наличие толстого слоя льда, битого льда по площади проведения работ или наличие ледяной шуги, каждый из вариантов по-своему влияет на поведение в воде нефти.

Поведение нефти в холодной воде.

В холодной воде нефть становится более вязкой, и процесс ее растекания значительно замедляется при низких температурах.

Возможны образования нефтяных пятен в определенных местах под льдом, которые будут значительно плотнее и сконцентрированные в отличии от разливов в стандартных условиях морского шельфа с положительными температурами окружающей среды.

Рассматривая виды сплоченности льда, можно выделить десять основных структур ледового покрытия (рисунок 1) [1].

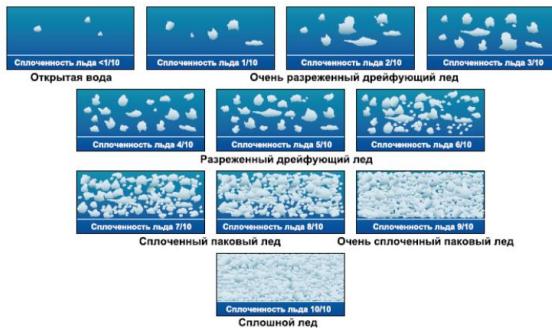


Рис. 1. Ледовое покрытия по сплоченности льда

По результатам анализа статистических данных крупные и масштабные разливы нефти и нефтепродуктов происходят не так часто, но объемы и площади охватывают значительные территории в короткие промежутки времени. Многие факторы влияют на распространение нефтяной пленки и оседании ее элементов на дно:

- температура;
- ветер;
- течение;
- вид аварийной ситуации (разлив на поверхности воды или в толще при добыче и перекачке нефти).

Эмульгирование, как процесс образования водонефтяной эмульсии, также замедляется из-за низких температур и высокой вязкости нефти. Это

приводит к формированию стойких эмульсий, которые могут сохраняться в окружающей среде длительное время, затрудняя их удаление и увеличивая период негативного воздействия на экосистему. Диспергирование, то есть распад нефти на мелкие капли, также затруднен в холодных водах из-за высокой вязкости и относительно низких температур воды, что снижает эффективность естественного разложения нефти.

Растворение углеводородов в воде – еще один естественный процесс, который в условиях низких температур протекает медленнее.

Это связано с тем, что растворимость многих веществ уменьшается с понижением температуры. Биоразложение, то есть распад нефти под воздействием микроорганизмов, также замедляется из-за низкой активности бактерий в холодных водах.

Это означает, что нефть может сохраняться в окружающей среде гораздо дольше, чем в теплых климатических условиях, увеличивая риск долгосрочного загрязнения и негативного воздействия на экосистемы.

Таким образом, сочетание низких температур, наличия льда и специфических свойств углеводородов создает уникальные и сложные условия для ликвидации разливов в замерзающих акваториях. Эффективные стратегии борьбы с разливами должны учитывать эти факторы и быть направлены на минимизацию негативного воздействия на окружающую среду и ускорение естественных процессов восстановления.

Методы исследования

Обоснование исследования.

По результатам исследований вероятность возможного разлива принято считать равной 0,05 на сто рейсов танкеров в открытом море (0,25 в прохождении опасных участков следования). Средний объём аварийного разлива нефти оценивается 1/48 от общего объёма транспортируемой нефти в случаях посадки судна на мель или столкновения.

Расчёты объёмов нефти и возможной частоты возникновения аварийной ситуации базируются на анализе статистических данных ИМО (Международная федерация владельцев танкеров). Вероятность выражается следующими данными на 106 миль следования танкера: 5,4 (посадка на мель); 1,9 (столкновение); 0,48 (повреждение конструкции); 0,063 (пожар, взрыв).

Факторы влияющие на частоту вероятности и количество аварийных разливов углеводородов – это возрастающая интенсивность судоходства, конструктивные особенности используемых танкеров, обеспечение навигации.

Вероятность и масштабы нефтяных разливов определяются множеством факторов, среди которых главными выступают интенсивность судоходства, особенности конструкции танкеров и навигационные условия.

По меньшей мере 15 нефтяных танкеров, перевозящих около 10,7 млн баррелей нефти, в этом году воспользовались Северным морским путём, как называется проход вдоль северного побережья России. Для сравнения, за весь прошлогодний навигационный сезон 14 судов перевезли около 10,5 млн баррелей. Еще месяц

до того, как вода станет слишком ледяной и опасной для транзита.

Устранением выбросов и аварийных разливов нефти и нефтепродуктов занимаются специализированные подразделения и аварийно-спасательные суда. При этом не стоит забывать, что место дислокации этих подразделений порты, которые находятся на удаленном расстоянии от мест чрезвычайных ситуаций.

Существует несколько основных проблем, с которыми сталкиваются подразделения: ограниченный доступ (удалённые акватории часто обладают сложными условиями доступа, что затрудняет доставку необходимого оборудования и материалов); недостаток специализированного оборудования (на таких площадках может не быть доступного оборудования для быстрой и эффективной ликвидации разливов, включая погружаемые насосы, сорбенты и системы для мониторинга); неопределенность в условиях работы (изменяющиеся погодные условия и сложные морские условия могут негативно сказаться на операции по ликвидации разливов) [2].

Анализ преимуществ и недостатков используемых устройств

По результатам анализа существующих устройств и способов нанесения сорбентов и технических характеристик, можно определить основные существующие преимущества и недостатки.

При использовании боновых заграждений основной функцией является ограничение площади нефтяного пятна.

За исключением сорбирующих бонов остальные виды не осуществляют сбор разливов, а лишь ограничивают возможность распространения по водной поверхности. Возможно применение сорбирующих бонов, которые имеют относительно небольшой вес, особенно в первые моменты после их установки, и могут быть подняты с водной поверхности ветром. Возникают большие сопротивления и возможен разрыв материалов.

В случаях буксировки сорбирующих бонов, наполненных нефтью, их масса и объём значительно увеличиваются, что создает дополнительные сопротивления при движении. Транспортировка путем стягивания или изъятия их из воды может привести к нарушению целостности конструкции и высыпанию сорбента в акваторию. В такой ситуации разрыв сорбирующих бонов не способствует устранению разлива, а наоборот, усугубляет загрязнение водоёмов.

При нанесении сорбирующего вещества с борта вертолёта, возникает ряд сложностей с учетом погодных условий и наличия сильного ветра, неравномерности нанесения сорбентов, что может привести к увеличению времени ликвидации и расходу большого количества сорбирующего вещества.

С использованием установки для нанесения сорбентов пульсирующим потоком воздуха так же может возникнуть ряд проблем [24].

После изучения и анализа процессов применения, существующих способов и оборудования, применяемого для ликвидации аварийных разливов нефти, можно сделать вывод, что основная часть используется в ряде ограниченных ситуаций и не является

универсальными способами для борьбы с нефтяными пятнами.

Основными проблемами является следующие факторы: необходимость доставки оборудования к месту разлива нефти и нефтепродуктов, ограничение возможности применения в ветреную погоду при сильном течении, способность покрывать незначительные площади нефтяного пятна; ограниченность или полное отсутствие возможности применения в сложных условиях и замерзающих акваториях при наличии сплошного или битого льда.

Существуют различные способы локализации и ликвидации нефтяной пленки, основными являются боновые ограждения, скиммеры и нанесение сорбирующих веществ. Исходя из необходимости в кратчайшие сроки минимизировать нефтяную пленку наиболее распространённым является способ нанесения сорбентов.

Для нанесения сорбентов используются следующие способы – нанесение вручную, в напорной струе воды, в потоке воздуха. У всех способов есть ряд недостатков, таких как неравномерное нанесение на пятно (ветер и течение сдувают сорбент), минимальная площадь покрытия (ограничивается временем подачи и дальностью нанесения), время (медленная скорость обработки нефтяного пятна). Главным отрицательным показателем является отсутствие возможности работы в акваториях с битым и сплошным ледяным покровом [3].

Разработка системы доставки активного вещества для обработки области распространения нефтяного загрязнения.

С учётом всех негативных факторов (ветра, течения, наличия битого и сплошного льда), и анализом существующих способов борьбы с нефтяными разливами, следует вывод, что на данный момент не существует единого способа для применения в абсолютно разных условиях.

При этом не стоит забывать, что основная часть добывающих платформ на шельфе и пути следования танкеров, находятся на довольно удалённом расстоянии от береговой линии и мест дислокации аварийно-спасательных формирований, способных приступить к незамедлительной ликвидации аварийных утечек в случаях возникновения чрезвычайных ситуаций.

Способ подачи активного вещества (сорбент, диспергент, бактерии, окислители и т.д.) в толщу воды, представлена на рисунке 2 и включает в себя следующие рабочие элементы. Пожарный насос (1) подаёт воду из-за борта через смесительное устройство (2) насыщаюсь сорбирующим веществом через трубопровод (3) и через распределительное устройство (4) поступает по гибкому рукаву (5) в подводный аппарат (7). Если работы осуществляются в штиль (нет сильного течения, ветра, наличия льда) возможна подача через распылительный шланг (6) для прямого воздействия на нефтяное пятно [4].

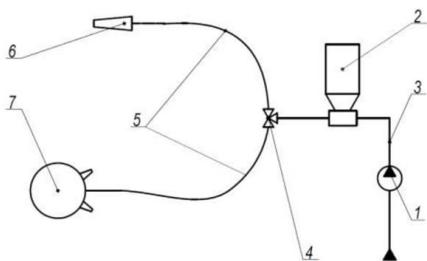


Рис. 2. Схема системы подачи активного вещества

1 – насос забортной воды; 2 – смесительное устройство; 3 – трубопровод; 4 – кран распределитель; 5 – гибкий рукав; 6 – гидромонитор; 7 – подводное устройство-распылитель

Сорбирующее вещество подается в смесительное устройство, связанное с распределительным механизмом, и вводится в поток воды, когда аппарат размещается под масляным пятном. Сорбент всплывает на поверхность, захватывая масляные капли из водного слоя, что способствует более эффективному и быстрому удалению нефтяной пленки.

Главным преимуществом данной системы является работа и местонахождение подводного устройства в толще воды на глубине от 1 до 2 метров. И дает возможность наносить сорбент подо льдом и при наличии шуги, что не могут делать существующие способы.

Так же данная разработка осуществляет движение и распыление гораздо быстрее существующих методов проведен анализ времени, затрачиваемого на обработку нефтяного пятна площадью 100 м², с учетом времени развертывания, подачи сорбирующего вещества и нанесения сорбентов, результат представлен в диаграмме на рис. 3.



Рис.3 Результаты сравнения способов при обработке нефтяного пятна

После проведения анализа целесообразности использования данной системы, было создано подводное устройство и проведен ряд экспериментов по определению параметров движения в реальных условиях.

Экспериментальная часть.

Чтобы понять, как шланг ведет себя под водой, и измерить его сопротивление, мы провели несколько тестов. Мы симулировали условия, близкие к реальным: установили на причале бассейн на 10 кубов, опустили туда наш аппарат и подключили его к воде. Воду подавали пожарным насосом (такие же стоят на кораблях). Давление

меняли три раза: 0,2 МПа, 0,3 МПа и 0,5 МПа. Движение аппарата в бассейне контролировали с помощью направляющих: подавали воду в разные сопла, или сразу во все. Так мы получили данные для графиков и смогли оценить сопротивление шланга при разных условиях.

Создаваемое усилие фиксировалось динаметрами, закрепленными на металлической стойке и чувствительным элементом, прикрепленным к подводному устройству перпендикулярно к направлению шлангов. Измерение осевой тяги осуществлялось динаметром, закрепленным на металлической стойке бассейна и чувствительным элементом вдоль оси правого сопла. К правому соплу подавалась вода при давлении 0,2; 0,3 и 0,5 МПа поэтапно рис.4.

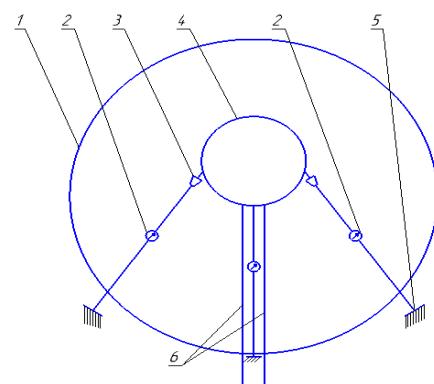


Рис. 4. Схема проведения замеров

1 – бассейн, 2 – электронный динаметр, 3 – сопло устройства, 4 – подводное устройство, 5 – неподвижная опора, 6 – гибкий трубопровод

Проведение данных экспериментов позволило определить возможности движения подводного устройства в толще воды и совместную работу системы и пожарного насоса, что дало определение необходимых параметров насосных установок для обеспечения возможности приведения в движение в толще воды.

Результаты исследования

Для более точного определения параметров создаваемых сопротивлений при движении в толще воды, предполагаемая длина подающих шлангов в 150 метров в программах САПР была разделена на равные 100 участков длиной по 1,5 метра. Силу, действующую на участок трубопровода при поперечном обтекании, определяли по формуле (1):

$$F_i = \varepsilon \cdot \rho \cdot \frac{v_i^2}{2} \cdot S \quad (1)$$

где ε – коэффициент сопротивления трубопровода;

ρ – кг/м³ – плотность морской воды;

v_i – скорость движения шланга на i -м участке;

S – площадь поперечного сечения трубопровода.

Момент силы сопротивления движению шланга при поперечном обтекании рассчитывается по формуле (2):

$$M = \sum F_i \cdot R_i \quad (2)$$

где R_i – радиус движения каждого участка шланга.

Эксперимент проводился при двух скоростях в 0,5 и 1 м/с. На основании полученных данных составлена диаграмма изменения основных показателей. Диаграмма представлена на рис.5.

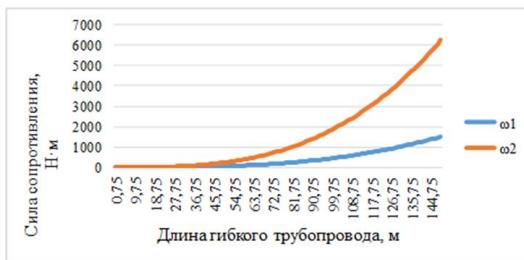


Рис. 5. Диаграмма зависимости момента силы сопротивления движению шланга при поперечном обтекании

По результатам эксперимента построен график зависимости усилий, создаваемых подводным устройством в зависимости от работающего сопла. Результаты представлены на рис. 6.

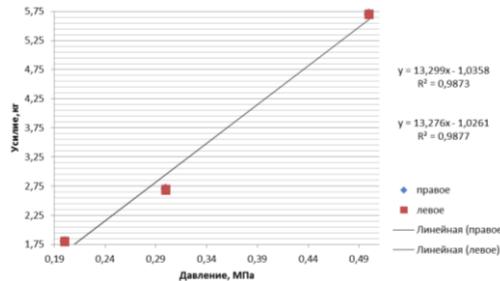


Рис. 6. График усилий, создаваемых подводным устройством при включении сопел поочередно

По результатам расчетов определено, что необходимый объем подачи для работы подводного устройства установлен на уровне 30 м³/ч, основываясь на результатах расчетов и экспериментальных данных. Для использования насосов от СЭУ необходимо определить возможности подключения к системе [5].

Перспективы исследования

По результатам экспериментов определено, что для работы подводного устройства достаточно 0,5 МПА, давление которое может создать любой пожарный насос на судне. Поэтому, рассмотрена возможность подключения нескольких устройств одновременно.

Расчета подачи главного стационарного насоса, который будет установлен на судне для обеспечения водоснабжения в случае аварийной ситуации, следует руководствоваться «Правилами классификации и постройки морских судов»,

разделом по противопожарной защите, часть 4 НД № 2-020101-174, утвержденным в 2023 году [6].

Подача главного стационарного насоса рассчитывается по формуле (3):

$$Q = (0,145\sqrt{L(B+D)} + 2,17)^2, \quad (3)$$

где L – длина судна, м;

B – ширина судна, м;

D – высота борта до палубы переборок на миделе, м.

В качестве рассматриваемых судов были приняты: «Ангара» (судовладелец – ДВМП FESCO); «FESCO MARINA» (судовладелец – ДВМП); «ST FORWARD» (судовладелец – ST GROOP); ФЕСКО «НОВИК» (судовладелец – ДВМП); «KAROLINA WIND» (судовладелец – ООО «Находка – Портбункер»). На всех анализируемых судах установлены пожарные насосы, которые имеют заданную производительность и необходимое количество (не менее двух – основной и резервный). При этом зная необходимую подачу и напор для проведения работ, можно определить возможности подключения нескольких подводных устройств, что позволит охватывать большую площадь при проведении операций данного типа.

Способность подключать несколько подводных устройств значительно сократит время, необходимое для обработки нефтяного пятна сорбентом [7].

Заключение

Внедрение в эксплуатацию данной системы, позволит оперативно реагировать на возникновение нефтяной пленки от выбросов и аварийных разливов, главным преимуществом здесь выступает наличие подводного устройства на борту судна и легкость его подключения к вспомогательным элементам судовых энергетических установок.

Подводное устройство функционирует в толще воды, что позволяет избежать сложностей, связанных с течением, ветром, а также обеспечивает работу в условиях шуги или сплошного льда. Это особенно важно при эксплуатации на Северном морском пути и освоении Арктического региона.

Спроектирована система и создано подводное устройство (рабочая модель), позволяющий определить возможности его применения:

1. Рассчитаны необходимы параметры подачи давления для осуществления движения (наиболее оптимальное давление в системе 0,5 МПа).

2. Траектория движения в толще воды (возвратно-поступательная и маятниковая).

3. Возможность работы в сложных условиях и на значительном удалении от судна (100-150 метров).

4. Скорость развертывания и ликвидации нефтяной пленки в несколько раз быстрее существующих способов ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов.

Литература

1. Чурсин, Ф.В. Аварийные разливы нефти: средства локализации и методы ликвидации [Текст] / Ф.В. Чурсин, С.В. Горбунов, Т.В. Федотова // Пожарная безопасность. – М.: Недра, – 2004. – №3. С. 176-189.
2. Мочалова, О.С. Методы борьбы с аварийным загрязнением водоёмов нефтью [Текст] / О.С. Мочалова, Л.М. Гурвич, Н.М. Антонова // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – М.: 2010. – № 3. – С. 20-25.
3. Городников О.А., Охоткина В.Э., Мельник А.П. Определение параметров совместного использования подводного аппарата и судовых насосов для нанесения сорбента, Морские интеллектуальные технологии. 2023. № 4 часть 3, С. 15– 21. DOI: 10.37220/MIT.2023.62.4.061
4. Городников О. А., Аввакумов А. Е., Шутов В. В. Выбор двигателя для подводного аппарата судовой энергетической установки // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2023. № 1. С. 30–36. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2023-1-30-36>. EDN MDCKQL.
5. Городников О.А., Петрашев С.В. Вывод дифференциального уравнения для определения сопротивлений шланга при эксплуатации подводного оборудования. Морские интеллектуальные технологии. 2024. № 4 часть 4, С. 107—113. DOI: 10.37220/MIT.2024.66.4.085
6. «Правил классификаций и постройки морских судов», Противопожарная защита, часть 4 НД № 2-020101-174 утвержденный 2023 г.
7. Любин В.Е., Кусаинов А.Б., Захаров И.А. Ликвидация чрезвычайных ситуаций при разливе нефти и нефтепродуктов на воде и на суше. Учебное пособие. Кокшетау, 2014. – 125 с.

References

1. Chursin, F.V. Emergency oil spills: localization means and methods of elimination [Text] / F.V. Chursin, S.V. Gorbunov, T.V. Fedotova // Fire safety. - M.: Nedra, - 2004. - No. 3. P. 176-189.
2. Mochalova, O.S. Methods of combating emergency pollution of water bodies with oil [Text] / O.S. Mochalova, L.M. Gurvich, N.M. Antonova // Environmental protection in the oil and gas complex. - M.: 2010. - No. 3. - P. 20-25.
3. Gorodnikov O.A., Okhotkina V.E., Melnik A.P. Determination of parameters for joint use of an underwater vehicle and ship pumps for sorbent application, Marine Intelligent Technologies. 2023. No. 4, Part 3, pp. 15–21. DOI: 10.37220/MIT.2023.62.4.061
4. Gorodnikov O. A., Avvakumov A. E., Shutov V. V. Selection of a propulsion device for an underwater vehicle of a ship power plant // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technology. 2023. No. 1. pp. 30–36. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2023-1-30-36>. EDN MDCKQL.
5. Gorodnikov O. A., Petrashev S. V. Derivation of a differential equation for determining hose resistance during operation of underwater equipment. Marine intelligent technologies. 2024. No. 4 part 4, pp. 107-113. DOI: 10.37220/MIT.2024.66.4.085
6. "Rules for the classification and construction of sea-going vessels", Fire protection, part 4 ND No. 2-020101-174 approved 2023
7. Lyubin V.E., Kusainov A.B., Zakharov I.A. Elimination of emergency situations during oil and oil product spills on water and on land. Study guide. Kokshetau, 2014. - 125 p.

ИНФОРМАЦИЯ О Б АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Городников Олег Александрович, старший преподаватель кафедры нефтегазового дела, Владивостокский государственный университет, 690014, Приморский край, Владивосток, ул. Гоголя, 41, e-mail: gorodnikov.o@vvsu.ru

Oleg Aleksandrovich Gorodnikov, Senior Lecturer, Department of Oil and Gas Engineering, Vladivostok State University, 41 Gogolya St., Vladivostok, Primorsky Krai, 690014, e-mail: gorodnikov.o@vvsu.ru