

Научная статья
УДК 629.565:551.326.7
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-2-46-53>
EDN OZSGMZ

К вопросу об обеспечении безопасности использования плавающей шланголинии для погрузки нефти в танкеры конвенционным способом в условиях замерзающей акватории

Сергей Витальевич Глушков, Сергей Юрьевич Монинец, Сергей Сергеевич Колбек✉

*Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского,
Владивосток, Россия, kolbek@msun.ru*✉

Аннотация. Рассматривается устройство одноточечных нефтеналивных причалов, широко используемых в мировой практике для погрузки сырой нефти на танкеры. В основном в таких терминалах используют плавающие шланги, которые присоединяются хвостовой частью через фланцы к стандартным манифольдам, расположенным в центральной части корпуса танкера (конвенционная погрузка). Однако такой способ погрузки считается неприемлемым в зимних условиях из-за высокого риска повреждения шланголинии плавучим льдом и других проблем, связанных с обледенением оборудования, находящегося в воде при отрицательных температурах воздуха. Для ухода от этих проблем в российских портах Арктики и Дальнего Востока применяются одноточечные причалы башенного типа с подвесным шлангом, который, не касаясь воды, заводится на носовую загрузочную систему. После наложения запрета на использование танкерного флота, оборудованного носовой загрузочной системой, перед некоторыми операторами таких причальных систем встал вопрос о круглогодичном применении конвенционной погрузки танкеров с использованием плавающих шлангов. Приведены результаты анализа рисков, связанных с воздействием дрейфующего льда на плавающий шланг, применительно к действующим одноточечным системам отгрузки нефти. Приводятся математические расчеты и описания экспериментов, подтверждающих опасность воздействия дрейфующего льда на плавающий шланг во время погрузки. В качестве основного принципа минимизации рисков в перспективных и действующих терминалах предлагается принцип ухода от прямого воздействия ледового поля на шланголинию путем погружения ее под водную поверхность за счет изменения стандартной плавучести до околонейтральных значений. Возможность применения такого принципа подтверждена теоретическими расчетами и рядом подробно описанных экспериментов.

Ключевые слова: шланголиния, опасные ситуации, анализ рисков, относительная плавучесть, ледовые условия, испытания

Для цитирования: Глушков С. В., Монинец С. Ю., Колбек С. С. К вопросу об обеспечении безопасности использования плавающей шланголинии для погрузки нефти в танкеры конвенционным способом в условиях замерзающей акватории // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2026. № 2. С. 46–53. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-2-46-53>. EDN OZSGMZ.

Original article

On the issue of ensuring the safety of using a floating hose line for loading oil into tankers in a conventional manner in a freezing water area

Sergey V. Glushkov, Sergey Yu. Moninets, Sergey S. Kolbek✉

*Maritime State University named after admiral G. I. Nevelskoy,
Vladivostok, Russia, kolbek@msun.ru*✉

Abstract. The design of single-point oil loading berths, widely used in world practice for loading crude oil onto tankers, is considered. Floating hoses are mainly used in such terminals, which are connected by the tail through flanges to standard manifolds located in the central part of the tanker hull (conventional loading). However, this method of loading is considered unacceptable in winter conditions due to the high risk of damage to the hose line by floating ice and other problems associated with icing of equipment in the water at subzero air temperatures. To avoid these problems, Russian ports in the Arctic and the Far East use single-point tower-type berths with a suspended hose that is mounted on the bow loading system without touching the water. After the ban on the use of tanker fleets equipped with a bow

loading system, some operators of such berthing systems faced the question of year-round use of conventional tanker loading using floating hoses. The results of an analysis of the risks associated with the impact of drifting ice on a floating hose are presented in relation to existing single-point oil shipment systems. Mathematical calculations and descriptions of experiments confirming the danger of the impact of drifting ice on a floating hose during loading are given. The principle of avoiding the direct impact of an ice field on a hose line by sinking it under the water surface by changing the standard buoyancy to near-neutral values is proposed as the main principle of minimizing risks in promising and current terms. The possibility of applying such a principle is confirmed by theoretical calculations and a number of partially described experiments.

Keywords: hose line, dangerous situations, risk analysis, relative buoyancy, ice conditions, tests

For citation: Glushkov S. V., Moninets S. Yu., Kolbek S. S. On the issue of ensuring the safety of using a floating hose line for loading oil into tankers in a conventional manner in a freezing water area. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies. 2026;2:46-53.* (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-2-46-53>. EDN OZSGMZ.

Введение

В предыдущем исследовании авторов [1] отмечалось, что единственным вариантом выносного погрузочного устройства (ВПУ) для работы на шельфе России в условиях замерзающих морей является вариант башенного типа, который предназначен для использования в сложных ледовых условиях, когда для доставки груза на танкер применяется не плавающая, а подвесная шланголиния (ШЛ). При этом предъявляются особые требования к оборудованию танкеров носовой загрузочной системой (НЗС). Вместе с тем работа со специализированными танкерами, оборудованными НЗС, накладывает ряд ограничений на нефтяные компании, поскольку количество таких танкеров (которые, помимо всего прочего, должны иметь специальный ледовый класс) невелико, что сужает выбор перевозчиков и создает уязвимости для санкционных действий недружественных государств. Для снижения рисков появления критических временных разрывов в отгрузке сырой нефти при шельфовой добыче возникла необходимость проведения исследований и поиск вариантов загрузки танкеров, не оборудованных НЗС, в ледовых условиях. Результаты упомянутых теоретических и практических исследований излагаются в данной статье.

Материалы исследования

В работе [1] авторами оцениваются риски, связанные с перегрузкой сырой нефти с помощью плавающего шланга на шельфе России с учетом ледовых условий, а именно:

- повреждения узлов и элементов ШЛ дрейфующими полями льда в период погрузки;
- нарушения функциональности элементов ШЛ в результате брызгового и/или атмосферного обледенения;
- повреждения каркаса ШЛ (излом) в результате потери эластичности из-за переохлаждения тела шланга;
- повреждение каркаса ШЛ (излом) в результате разнонаправленных нагрузок при вращении стрелы ВПУ и движении ледового покрова с вмороженной

ШЛ в период между грузовыми операциями;

– повреждения обшивки ШЛ при маневрировании буксиров из-за неопределенного положения ШЛ в массиве льда.

В настоящей статье укажем, что для условий замерзающих морей такой способ неприемлем. Действительно, плавающий на поверхности воды шланг, в котором под давлением до 4,2 МПа [2] находится нефть, может испытать значительное ледовое воздействие, грозящее его разрушением. Вариантом ухода от такой угрозы является применение одноточечных причальных сооружений (SPM) башенного типа, где шланг подвешен на стреле и подается на судовое носовое погрузочное устройство, не касаясь воды. Однако применение специализированных судов существенно ограничивает возможности нефтяной компании в выборе транспортного флота и повышает ее уязвимость к санкциям.

В мировой практике очень популярным вариантом конструкции нефтеналивных терминалов остаются одноточечные причальные сооружения (CALM). В статье [1] приводится краткий анализ внешних факторов, в которых этот вариант вполне работоспособен и эффективен. Чаще всего на CALM применяется плавающий шланг (рис. 1), фланцы хвостовой части которого соединяются со стандартными (конвенционными) манифольдами танкера.

В данной статье рассматривается наиболее очевидная угроза воздействия ледового поля на шланг, закрепленный в крайних своих точках, при перемещении шланга относительно кромки ледового поля и предлагаются варианты снижения рисков данной опасной ситуации при проведении конвенционной погрузки танкеров с помощью плавающих шлангов в ледовых условиях.

Опасность ситуации обусловлена натиском ледового поля на шланг (рис. 2), который рассматривается как цепная линия, составленная из секций, имеющих положительную плавучесть, расположенная в плоскости зеркала воды, нагруженная распределенной нагрузкой от давления льда, действующей также в плоскости зеркала воды.

Глушков С. В., Монин С. Ю., Колбек С. С. К вопросу об обеспечении безопасности использования плавучей шланголинии для погрузки нефти в танкеры конвенционным способом в условиях замерзающей акватории



Рис. 1. Система погрузки танкера CALM

Fig. 1. CALM tanker loading system

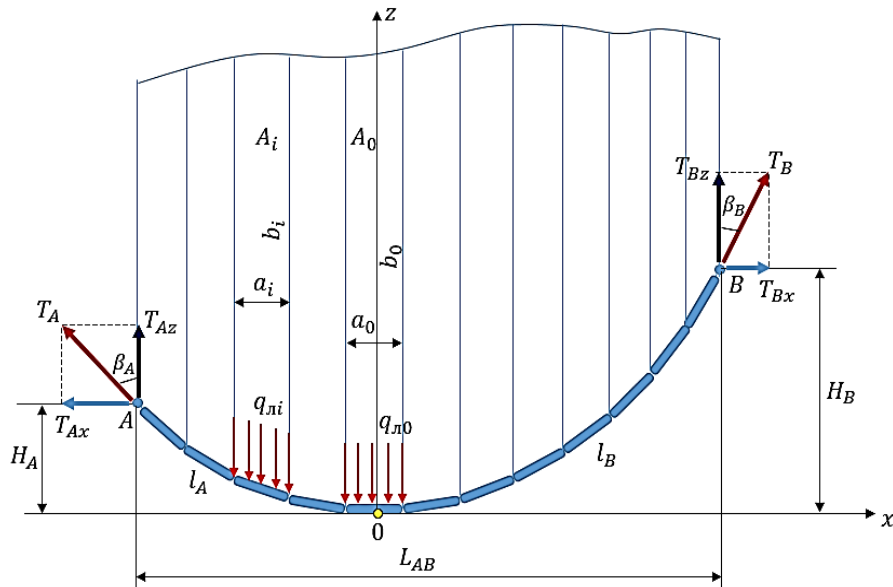


Рис. 2. Расчетная схема отгрузочной линии, находящейся на плаву в плоскости зеркала воды

Fig. 2. Calculation scheme of the shipping line, which is afloat in the plane of the water mirror

В соответствии с руководящими документами [3], в качестве максимального значения ледового давления принимается сила, разрушающая лед в точке контакта. При таком подходе расчеты показывают, что осевая нагрузка на шланг диаметром 16 дюймов при толщине льда 0,3 м достигает значений, превышающих допустимую нагрузку на шланг, что может привести к аварийному размыканию предохранительной муфты, попаданию нефти в воду и остановке грузовых операций.

В статье предлагается вариант такой конструк-

ции шланга, которая позволяет осуществить уклонение от прямого натиска кромки ледового поля на шланг путем его погружения под лед.

В качестве примеров используются две секции шланга производства компании Dunlop: 24" N.B. MAINLINE SAFLOTE HOSE (далее – 24" 542P) и 16" N.B. TAIL SAFLOTE HOSE (далее – 16" 544XP) [4].

На рис. 3 представлена общая схема воздействия кромки ледяного поля на секцию шланга как на цилиндрический линейный объект.

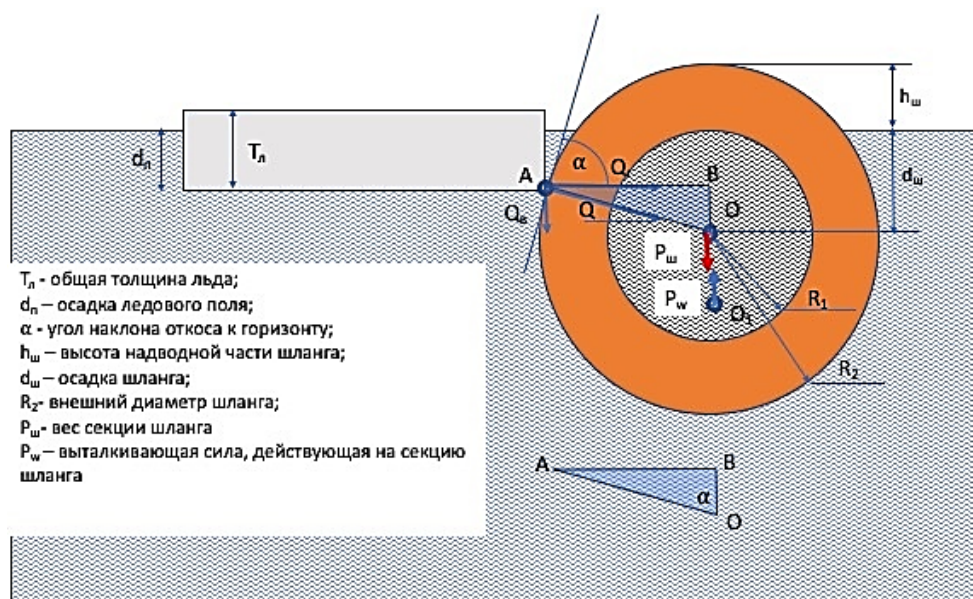


Рис. 3. Схема воздействия ледового поля

Fig. 3. The scheme of the impact of the ice field

По геометрическим и весовым параметрам по каждой секции шланга разработаны математические модели в программе SolidWorks. В качестве основного метода ухода от лобового натиска ледового поля принят вариант уменьшения плавучести шланга. Указанный метод позволяет создать условия для погружения шланга при взаимодействии с ледовым полем.

Следует добавить, что сила прямого воздействия льда на ШЛ мало зависит от толщины льда. Как доказали результаты экспериментов, даже при толщине льда до 5 см вследствие разрушения ледового поля у ШЛ образуется непреодолимое препятствие для ледового поля.

Предполагается, что ледовое поле своей нижней кромкой воздействует силой Q на шланг в точке A по направлению к центру шланга O . Сила Q может быть разложена на две составляющие: горизонтальную Q_h и вертикальную Q_v .

Равномерно распределенная сила Q_r действует на ШЛ в плоскости зеркала воды. Контакт ледового поля с секциями ШЛ может осуществляться как непрерывно по всей длине, так и на отдельных ее участках. Составляющая Q_v воздействует в вертикальном направлении и стремится как притопить ШЛ, если точка контакта находится выше продольной оси ШЛ, так и приподнять на лед, если точка контакта расположена ниже продольной оси ШЛ. Второй вариант случается при взаимодействии легких ШЛ (диаметр устройства < 150 мм), заполненных воздухом (по свидетельству операторов выгрузки нефтепродуктов на необорудованный берег). Для случая рассматриваемой системы отгрузки та-

кая ситуация может быть отнесена к разряду маловероятных и в данной работе не рассматривается.

После погружения под лед горизонтальная сила, действующая на ШЛ, будет определяться давлением ШЛ на нижнюю поверхность льда, состоянием этой поверхности и коэффициентом трения между ШЛ и льдом. В данной работе это воздействие также не рассматривается в силу того, что перспектива применения шлангов, близких к нейтральной плавучести, остается неопределенной (когда такое движение возможно), а также в силу незначительных величин этого воздействия.

Угол наклона откоса к горизонту α зависит от степени погружения шланга в воду до воздействия на него ледового поля и от высоты подводной части ледового поля d_w и d_n . Под d_w понимается разность между радиусом сечения шланга и высотой его надводной части h_w , которая, в свою очередь, определяется с применением трехмерного моделирования в программе SolidWorks.

Принятые допущения при расчете:

- ледовое поле представлено в виде параллелепипеда, погруженного в воду на 90 % своего объема, с горизонтальными размерами несоизмеримо большими, чем диаметр шланга;
- в расчетах не учитываются силы трения;
- для диаметра и высоты надводной части секции шланга используются значения, соответствующие сечению B (рис. 4);
- вес и осадка секции шланга определялись с применением трехмерного моделирования в программе SolidWorks.

Глушков С. В., Монин С. Ю., Колбек С. С. К вопросу об обеспечении безопасности использования плавучей шланголинии для погрузки нефти в танкеры конвенционным способом в условиях замерзающей акватории



Рис. 4. Используемые в расчетах сечения секций шлангов: *a* – 24” 542P; *б* – 16” 544XP

Fig. 4. Cross-sections of hose sections used in calculations: *a* – 24” 542P; *б* – 16” 544XP

Результаты основных расчетов степени погружения шлангов 24” 542P и 16” 544XP (по результатам моделирования в программе SolidWorks) с уче-

том фактических весовых характеристик этих секций сведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Table 1

Основные массогабаритные параметры секции шланга 24” 542P для заданных значений остаточной плавучести

The main weight and size parameters of the 24” 542P hose section for the specified values of residual buoyancy

Параметр	Коэффициент остаточной плавучести						
	0,01	0,02	0,03	0,05	0,1	0,15	0,2
Объем надводной части секции шланга при заданном проценте остаточной плавучести, м ³	0,07	0,13	0,19	0,31	0,60	0,86	1,10
Вес дополнительного балласта, погруженного в воду $M_{в\ балл}$, кг	1 829,3	1 763,6	1 699,1	1 574,0	1 281,0	1 013,5	768,2
Высота надводной части на участке с диаметром $h_{ш}$, мм	21,0	36,8	50,0	71,5	113,3	146,0	172,7
Остаточная плавучесть, кг	67,0	132,7	197,1	322,3	615,3	882,8	1 128,0

Таблица 2

Table 2

Параметр	Коэффициент остаточной плавучести						
	0,01	0,02	0,03	0,05	0,1	0,15	0,2
Объем надводной части секции шланга при заданном проценте остаточной плавучести, м ³	0,032	0,064	0,095	0,16	0,30	0,43	0,55
Вес дополнительного балласта, погруженного в воду $M_{в\ балл}$, кг	610,1	577,4	545,4	483,3	337,7	204,8	83,0
Высота надводной части на участке с диаметром $h_{ш}$, мм	8	20	29	45	75	98	117
Остаточная плавучесть, кг	33,3	65,9	97,9	160,1	305,7	438,6	560,4

В качестве промежуточных данных использовались значения угла откоса A при различных значениях остаточной плавучести и толщины льда. В качестве конечного результата были получены значе-

ния горизонтальной составляющей Q_r , при которой происходит погружение секции шланга под лед (т. е. уклонение) в зависимости от ее остаточной плавучести и толщины льда (табл. 3, 4).

Таблица 3

Table 3

Значения горизонтальной составляющей Q_r , при которой происходит погружение секции шланга 24” 542P

The values of the horizontal component Q_r at which the 24” 542P hose section is immersed

Толщина льда T_l , м	Относительная плавучесть секции, %						
	20	15	10	5	3	2	1
0,4	Погружение не возможно		97 660	18 979	5 470,8	3 314,8	1 385,9
0,3	87 475	46 590	22 048	7 947,4	3 127,9	1 949,3	851,85
0,2	33 866	21 590	11 816	4 726,8	2 013	1 261,9	554,42
0,15	25 318	16 587	9 311,9	3 794,5	1 623,2	1 014,7	441,03
0,1	19 795	13 159	7 481,5	3 066,2	1 287,6	797,79	337,31

Таблица 4

Table 4

Значения горизонтальной составляющей Q_r , при которой происходит погружение секции шланга 16” 544XP

The values of the horizontal component Q_r at which the 16” 544XP hose section is immersed

Толщина льда T_l , м	Относительная плавучесть секции, %						
	20	15	10	5	3	2	1
0,4	$Q_b = 0, Q_r = Q$, погружение не возможно						
0,3							
0,2	–	–	–	1 1451	3 508,9	1 191,3	668,97
0,15	–	69 723	11 696	2 871,2	1 342,6	602,49	326,46
0,1	–	10 035	4 475,4	1 466,8	723,32	331,46	180,11

Расчеты показали снижение нагрузки ледового поля на ШЛ до приемлемых значений при уменьшении плавучести шланга. Данные расчеты были проверены экспериментальным путем на ледовом

полигоне (рис. 5), когда секция шланга, помещенная в ледовой майне, буксировалась под лед с замером тяги на буксирном тросе с помощью грузового динамометра.

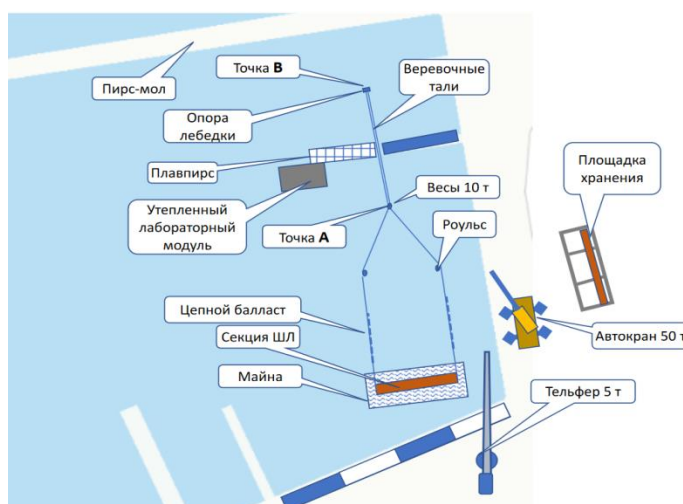


Рис. 5. Схема секции ледового полигона для проверки расчетных элементов взаимодействия секций шланголинии и морского льда

Fig. 5. Diagram of the section of the ice training ground for checking the calculated elements of the interaction of the sections hose lines and sea ice

Glushkov S. V., Mopinets S. Yu., Kolbek S. S. On the issue of ensuring the safety of using a floating hose line for loading oil into tankers in a conventional manner in a freezing water area

Буксировки производились при нескольких значениях толщины льда и вариантов балластировки секции шланга.

Вариант балластировки № 1: заполнение шланга морской водой, остаточная плавучесть – 0,65 т.

Вариант балластировки № 2: размещение во

внутренней части шланга твердого балласта до значения остаточной плавучести 0,39 т.

Вариант балластировки № 3: размещение на корпусе части шланга твердого балласта до значения остаточной плавучести 0,24 т.

Результаты испытаний сведены в табл. 5.

Таблица 5

Table 5

Результаты экспериментальных буксировок образца шланга 16” 544XP

Results of experimental towing of a 16” 544XP hose sample

Дата	Вариант балластировки	$T_{\text{л}}$, м	Состояние льда	Нагрузка в точке А, т	Примечание
22.02.2024	1	0,11	Сплошной	3,6	Торошение льда. Упор в припайный лед
12.03.2024	2	0,18	Сплошной	0,290	Упор в припайный лед
	2	0,18	Сплошной	0,325	Взлом и торошение льда. Упор в припайный лед
13.03.2024	3	0,18	Битый	0,310	Торошение льда. Заход под лед
		0,18	Битый	0,220	
		0,18	Битый	0,320	
		0,18	Битый	0,300	
		0,18	Битый	0,290	
14.03.2024	3	0,18 и 0,02	Битый и сплошной	0,330	
		0,18 и 0,02	Битый и сплошной	0,225	
		0,18 и 0,02	Битый и сплошной	0,290	

Завершая исследование, сформулируем следующие *выводы*:

1. На величину пикового значения горизонтальной составляющей силы воздействия ледового поля на ШЛ в значительной степени влияют:

- положение оси ШЛ относительно кромки подводной части ледового поля;
- остаточная плавучесть ШЛ;
- толщина льда.

2. Возможность снижения рисков, связанных с воздействием дрейфующих ледовых полей на плавающую ШЛ, имеется, но при этом необходимо решить вопрос о дополнительной балластировке стандартного шланга и придании ему остаточной плавучести, близкой к нейтральной.

Для применения плавающей ШЛ с пониженной плавучестью в зимних условиях необходимо ориентироваться на наиболее сложные ледовые условия суровой зимы, которые могут встречаться. Также необходимо учитывать изменения плотности морской воды и нефти внутри шланга при изменениях температуры. Легко заметить, что изменение плотности нефти может приводить к существенным изменениям общего веса ШЛ [5].

Безусловно, при конструировании всесезонной плавающей ШЛ должны быть учтены все требования технического руководства. В таких документах подробно описаны все операции, осуществление которых необходимо для нормального функционирования погружного оборудования.

Результаты исследования

В результате теоретических исследований и проведения физического моделирования на ледовом полигоне Морского государственного университета имени адмирала Г. И. Невельского была найдена возможность использования ШЛ различной степени остаточной плавучести в условиях дрейфующих ледовых полей при различной толщине льда. Определен единственный возможный вариант решения проблемы – погружение ШЛ под ледовое поле за счет уменьшения остаточной плавучести относительно отраслевых стандартов [4]. Также был определен перечень параметров, необходимых для решения задачи.

Заключение

В результате расчетов и экспериментальных исследований, которым посвящена публикация, становится очевидной возможность использования всесезонных плавающих ШЛ в зимнее время при наличии льда. Для этого необходимо изменение плавучести шланга при изготовлении. Параметры необходимой плавучести зависят от технологических особенностей ВПУ и от гидрометеорологических условий конкретного района. Остаются нерассмотренными некоторые вопросы изменения физических свойств шланга при понижении температуры и взаимодействия надводной части плавающего шланга с ледовым полем. Эти аспекты будут рассмотрены в следующей публикации.

Список источников

1. Монинец С. Ю., Колбек С. С. Перспективный вариант одноточечного причального устройства для проведения грузовых операций с нефтью в условиях замерзающих морей // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2025. № 3. С. 89–96.
2. Общие и специальные правила перевозки наливных грузов. М.: Мортехинформреклама, 1985. 456 с.
3. СП-11-114-2004. Инженерные изыскания на кон-

тинентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений. М.: Изд-во ПНИИИС Госстроя России, 2004. 88 с.

4. Guide to Manufacturing and Purchasing Hoses for Offshore Moorings (GMPHOM 2009). Edinburgh: Witherby Seaman International 4 Dunlop Square Livingston, 2009. 82 p.

5. ГОСТ 8.602-2010. Плотность нефти. Таблицы пересчета. М.: Стандартинформ, 2012. 15 с.

References

1. Moninets S. Yu., Kolbek S. S. Perspektivnyj variant odnotochnogo prichalnogo ustrojstva dlya provedeniya gruzovyh operacij s nef'tju v usloviyah zamerzayushchih morej [A promising variant of a single-point mooring device for carrying out cargo operations with oil in freezing seas]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2025, no. 3, pp. 89-96.

2. *Obshchie i special'nye pravila perevozki nalivnyh gruzov* [General and special rules for the transportation of bulk cargoes]. Moscow, Mortekhinformreklama Publ., 1985. 456 p.

3. *SP-11-114-2004. Inzhenernye izyskaniya na kontinen-*

tal'nom shel'fe dlya stroitel'stva morskikh neftegazopromyslovyh sooruzhenij [Joint venture-11-114-2004. Engineering surveys on the continental shelf for the construction of offshore oil and gas facilities]. Moscow, Izd-vo PNIIS Gosstroya Rossii, 2004. 88 p.

4. *Guide to Manufacturing and Purchasing Hoses for Offshore Moorings (GMPHOM 2009)*. Edinburgh, Witherby Seaman International 4 Dunlop Square Livingston, 2009. 82 p.

5. *GOST 8.602-2010. Plomost' nef'ti. Tablicy perescheta* [ISS 8.602-2010. The density of oil. Conversion tables]. Moscow, Standartinform Publ., 2012. 15 p.

Статья поступила в редакцию 18.12.2025; одобрена после рецензирования 25.02.2026; принята к публикации 20.04.2026
The article was submitted 18.12.2025; approved after reviewing 25.02.2026; accepted for publication 20.04.2026

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Витальевич Глушков – доктор технических наук, профессор; проректор по конвенционной подготовке; Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского; Glushkov@msun.ru

Sergey V. Glushkov – Doctor of Technical Sciences, Professor; Vice Rector for the Maritime Education; Maritime State University named after admiral G. I. Nevelskoy; Glushkov@msun.ru

Сергей Юрьевич Монинец – кандидат технических наук; заведующий научной лабораторией мониторинга и обеспечения экологической безопасности Арктики и Северного морского пути; Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского; moninets@msun.ru

Sergey Yu. Moninets – Candidate of Technical Sciences; Head of the Scientific Laboratory of Monitoring and Ensuring Environmental Safety of the Arctic and the Northern Sea Route; Maritime State University named after admiral G. I. Nevelskoy; moninets@msun.ru

Сергей Сергеевич Колбек – начальник Дальневосточного центра организации учебных практик; Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского; kolbek@msun.ru

Sergey S. Kolbek – Head of the Far Eastern Center for the Organization of Educational Practices; Maritime State University named after admiral G. I. Nevelskoy; kolbek@msun.ru

