

УДК 624.042.43

DOI: 10.22213/2413-1172-2024-1-73-80

Расчет ледовой нагрузки на цилиндрическую вертикальную опору

П. В. Глушан, аспирант, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

А. В. Балабуха, аспирант, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

Р. В. Русс, магистрант, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

С. А. Щеголева, кандидат физико-математических наук, доцент, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

Арктика – это уникальный регион, обладающий огромным научным потенциалом. Изучение этого района позволяет ученым расширить наши знания о климатических изменениях, биоразнообразии, геологических процессах и др. Одним из ключевых аспектов изучения Арктики является анализ ледовой нагрузки – массы льда, оказывающей давление на субстрат и влияющей на морфологию и динамику прибрежных территорий. Исследования ледовой нагрузки имеют важное значение для прогнозирования изменений в ледяном покрове Арктики, а также для разработки мер по защите прибрежных зон от разрушительного воздействия льда. Ученые используют различные методы, включая наземные измерения, спутниковые данные и численные модели, чтобы получить более полное представление о динамике ледовой нагрузки. Понимание этих процессов имеет прямое отношение к изменению климата и мировому уровню морей. Это также важно для безопасности судоходства и развития прибрежных инфраструктур. Научные исследования в области ледовой нагрузки играют ключевую роль в сохранении уникальной экосистемы Арктики и в разработке устойчивых стратегий использования ресурсов этого региона. В данной статье проведен расчет глобальной ледовой нагрузки на сооружение с вертикальной стенкой и определены глобальные нагрузки на многоопорное сооружение, состоящее из вертикальных опор. Для этого использовались методы определения прочности льда на сжатие и модифицированная формула К. Н. Коржавина. Результаты работы представлены в виде графиков, основанных на расчетах глобальной нагрузки и толщины льда. Полученные данные могут быть полезны при проектировании сооружений в условиях ледовых нагрузок.

Ключевые слова: одиночная опора, ледовая нагрузка, ледяной покров, прочность льда, деформация.

Введение

Освоение Арктики представляет собой актуальную и важную тему в современном мире. Арктика, расположенная на севере планеты, представляет собой огромный регион, богатый природными ресурсами, такими как нефть, газ, минералы и рыбные запасы [1–4]. Однако освоение этого региона связано с множеством вызовов и проблем.

Освоение Арктики также вызывает интерес со стороны различных стран, что может привести к геополитическим конфликтам и напряженности в регионе. Кроме того, существует опасность для традиционного образа жизни коренных народов Арктики и их культурного наследия [5–7].

В свете этих вызовов важно разработать устойчивые стратегии освоения Арктики, которые учитывают интересы всех заинтересованных сторон и обеспечивают сохранение уникальной природы региона. Это может включать в себя разработку международных соглашений по управлению ресурсами Арктики, поддержку

коренных народов и усиление мер по сохранению окружающей среды.

Цель данной статьи – произвести расчет глобальной ледовой нагрузки на сооружение с вертикальной стенкой, а также определить глобальные нагрузки на многоопорное сооружение, состоящее из вертикальных опор.

Итогом данной работы стало создание графиков, построенных на основании результатов расчетов глобальной нагрузки и толщины льда.

Определение прочности льда на смятие

Предел прочности льда на сжатие определяется применительно к конкретному месторождению. Для определения прочностных свойств льда возможно использование косвенного метода определения этих величин по результатам измерения температуры и солености образцов льда [8–19].

В качестве расчетных величин следует использовать средние величины 1%-й обеспеченности, которые определяются применительно к конкретному району моря.

При отсутствии каких-либо сведений в качестве минимальных значений $\bar{\sigma}$ могут быть рекомендованы следующие:

$\bar{\sigma}_c$ – для платформ, эксплуатация которых возможна только в однолетнем льду согласно таблице 1, а для платформ, эксплуатация которых возможна также в двухлетнем и/или многолетнем льду, по формуле

$$\bar{\sigma}_c = 1,55h \cdot 0,3, \quad (1)$$

где h – расчетная толщина льда, м; при $h < 2$ м предел прочности льда на сжатие $\bar{\sigma}_c$ определяется как при $h = 2$ м;

$$\bar{\sigma}_c = 1,55 \cdot 2^{0,3} = 1,908 \text{ МПа};$$

$$\bar{\sigma}_c = 1,55 \cdot 2,25^{0,3} = 1,978 \text{ МПа};$$

$$\bar{\sigma}_c = 1,55 \cdot 2,5^{0,3} = 2,040 \text{ МПа}.$$

Расчет по модифицированной формуле

К. Н. Коржавина

Модифицированная формула К. Н. Коржавина записана в терминах «эффективное давление – номинальная площадь», в соответствии с которыми глобальная нагрузка, МН, на одноопорную платформу с вертикальными бортами от ровного или наслоенного льда определяется по формуле

$$F_1 = p_{eff} hD, \quad (2)$$

где h – толщина ровного или наслоенного льда, м; D – ширина сооружения в направлении дрейфа льда, м; p_{eff} – эффективное давление определяется с учетом площади контакта и скорости дрейфа льда,

$$p_{eff} = k_s \cdot k_e \cdot k_d \cdot k_c \cdot \bar{\sigma}_c, \quad (3)$$

где $\bar{\sigma}_c$ – прочность льда на сжатие, МПа.

Значения коэффициентов, входящих в формулу:

k_s – коэффициент формы опоры, для сооружений прямоугольного поперечного сечения равен 1, для кругового поперечного сечения и многоугольного поперечного сечения опоры – 0,8;

k_c – коэффициент контакта, зависящий от отношения диаметра конструкции к толщине льда и от площади контакта, которая определяется произведением диаметра сооружения D на толщину льда. Значения коэффициента k_c приведены в таблице 2;

k_d – коэффициент смятия, определяет увеличения контактного давления льда толщиной h на вертикальную опору с учетом масштабного эффекта и влияния обжатия. Значения коэффициента приведены в таблице 3;

k_e – коэффициент скорости деформации, который вычисляется по формуле

$$k_e = \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \right)^{0,32}. \quad (4)$$

Таблица 1. Минимальный предел прочности льда на сжатие по акваториям

Table 1. Minimum limit of ice hardness for compression in water areas

Акватория	Каспийское море	Баренцево море	Охотское море	Балтийское море
Минимальный предел прочности льда на сжатие $\bar{\sigma}_c$, МПа	1,4	1,0	1,5	1,3

Таблица 2. Значения коэффициента контакта k_c

Table 2. Contact coefficient values k_c

Dh	D/h				
	1	2	5	10	20
5	1,0	0,98	0,96	0,94	0,92
10	0,97	0,95	0,92	0,91	0,89
20	0,93	0,92	0,90	0,88	0,86
30	0,91	0,90	0,87	0,86	0,84
40	0,90	0,88	0,86	0,85	0,83
50	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81
70	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80

Таблица 3. Значения коэффициента смятия k_d

Table 3. Values of the crushing coefficient k_d

D/h	0,5	1	2	3	5	10
k_d	3,5	2,8	2,3	2,0	1,6	1,2

При промежуточных значениях отношения D/h и Dh коэффициенты смятия и контакта определяются линейной интерполяцией (ГОСТ Р 54577–2011 «Ледовые нагрузки. Нормы расчета»).

Скорость деформации $\dot{\epsilon}$ определяется следующими выражениями:

$$\dot{\epsilon} = V_1/4D \text{ при } D/h < 30; \quad (5)$$

$$\dot{\epsilon} = V_1/2D \text{ при } D/h > 40, \quad (6)$$

где V_1 – скорость дрейфа льда; D – характерный размер сооружения; $\dot{\epsilon}_0 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$.

$$F_1 = ks \cdot \left(\frac{\overline{4D}}{5 \cdot 10^{-4}} \right)^{0,32} \cdot kd \cdot kc \cdot \overline{\sigma c} \cdot h \cdot D \text{ [МН]}. \quad (7)$$

Зависимость скорости дрейфа от толщины льда представлена в таблице 4.

Таблица 4. Зависимость скорости дрейфа от толщины льда

Table 4. Dependence of drift speed on ice thickness

Скорость дрейфа, м/с	Толщина льда, м								
	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5
0,05 м/с	4,305	8,157	11,723	16,320	21,980	25,643	31,177	38,076	44,574
0,5 м/с	4,305	8,157	11,723	16,320	21,980	25,643	31,177	38,076	44,574

Таблица 5. Зависимость глобальной нагрузки от толщины льда

Table 5. Dependence of global load on ice thickness

Толщина льда, м	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5
Глобальная нагрузка	6,390	8,571	10,822	13,111	15,339	17,508	19,642	21,739	23,797

Расчет многоопорного сооружения

Глобальная нагрузка при взаимодействии ровного или наслоенного безграничного льда с многоопорной платформой, содержащей в районе действия льда однорядную систему из n вертикальных цилиндрических колонн, определяется по формуле [22–24]

$$F_n = 0,85F_1K_1K_2 [1 + (n-1)(\cos \alpha_i + 0,3 \sin \alpha_i)], \quad (9)$$

где

$$K_1 = 0,83 + 0,17n^{-0,5}, \quad (10)$$

$$K_2 = 0,7 + 0,06(L/D - 1), \quad 2 > L/D > 6, \quad (11)$$

$$K_2 = 1, \text{ если } L/D > 6, \quad (12)$$

где n – количество опор; F_n – суммарная нагрузка на всю платформу; F_1 – нагрузка на одиночную колонну в тех же ледовых условиях; α_i –

Расчет по формуле ISO DIS 19906

В международном документе ISO DIS 19906 для определения эффективного давления рекомендована следующая формула [20, 21]:

$$p_{eff} = C_R \cdot ha \cdot (d/h) - 0,16, \quad (8)$$

где C_R – коэффициент, отражающий локальные условия района расположения сооружения, $C_R = 2,8$.

Показатель степени в зависимости от толщины льда определяется следующими выражениями:

$$a = -0,5 + h/5, \text{ если } h < 1 \text{ м};$$

$$a = -0,3 h < 1 \text{ м, если } h > 1 \text{ м};$$

$$F_1 = C_R \cdot ha \cdot (D/h) - 0,16 \cdot h \cdot D, \text{ МН.}$$

Зависимость глобальной нагрузки от толщины льда представлена в таблице 5.

угол между направлением движения льда и нормалью к фронту сооружения; K_1 – коэффициент, учитывающий неоднородность свойств льда; K_2 – коэффициент, учитывающий взаимное влияние фронтальных колонн; L – расстояние между центрами соседних колонн вдоль фронта, м; D – диаметр колонн, м;

$$F_n = 0,85F_1 (0,83 + 0,17n^{-0,5}) \times (0,7 + 0,06(L/D - 1)) \times [1 + (n-1)(\cos \alpha_i + 0,3 \sin \alpha_i)].$$

Значения суммарной нагрузки на всю платформу F_n , МН, при F_1 ($V_1 = 1$ м/с) представлены в таблице 6.

Глобальная горизонтальная нагрузка при взаимодействии ровного или наслоенного безграничного льда с многоопорной платформой, содержащей в районе действия льда многоряд-

ную систему из n вертикальных цилиндрических колонн, определяется по формуле [25, 26]

$$F_n = 0,85nF_1K_1K_3, \quad (13)$$

$$K_3 = 0,7, \text{ если } L/D > 5;$$

$$K_3 = 0,45 + 0,05L/D, \text{ если } 5 \leq L/D < 3,$$

где n – количество опор; F_1 – нагрузка на одиночную колонну в тех же ледовых условиях; K_1 – коэффициент, учитывающий неоднородность

свойств льда; K_3 – коэффициент, учитывающий взаимное влияние колонн;

$$F_n = 0,85nF_1(0,83 + 0,17n^{-0,5})(0,45 + 0,05L/D).$$

Результат значений глобальной горизонтальной нагрузки на всю платформу F_n , МН, при F_1 ($V_1 = 0,1$ м/с) сформирован в таблице 7.

Результатом работы стали графики «глобальная нагрузка – толщина льда», построенные на основе результатов расчета.

Таблица 6. Значения суммарной нагрузки на платформу при скорости дрейфа льда 1 м/с

Table 6. Values of the total load on the platform at an ice drift speed of 1 m/s

		$F_1 (V_1 = 1 \text{ м/с})$								
α_i , град		4,305	8,157	11,723	16,320	21,980	25,643	31,177	38,076	44,574
0		8,372	15,865	22,800	31,729	42,751	49,876	60,638	74,010	84,247
30		8,458	16,028	23,034	32,055	43,191	50,388	61,261	74,771	85,114
60		7,029	13,320	19,143	26,639	35,893	41,875	50,910	62,138	70,690
90		4,464	8,458	12,156	16,917	22,793	26,592	32,330	39,459	44,918

Таблица 7. Значения глобальной нагрузки на платформу при скорости дрейфа льда 0,1 м/с

Table 7. Values of global load on the entire platform at an ice drift speed of 0.1 m/s

Толщина льда, м	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5
$F_1 (V_1 = 0,1 \text{ м/с})$	4,305	8,157	11,723	16,320	21,980	25,643	31,177	38,076	44,574
F_n	6,125	11,607	16,681	23,213	31,277	36,490	44,364	54,147	61,637



Рис. 1. Глобальная нагрузка на одноопорное сооружение, рассчитанная по формуле Коржавина К. Н. и ISO DIS 19906, при скорости дрейфа льда 0,05 и 0,5 м/с

Fig. 1. Global load on a single-support structure calculated using Korzhavin's formula K.N. and ISO DIS 19906, with ice drift speeds of 0.05 and 0.5 m/s

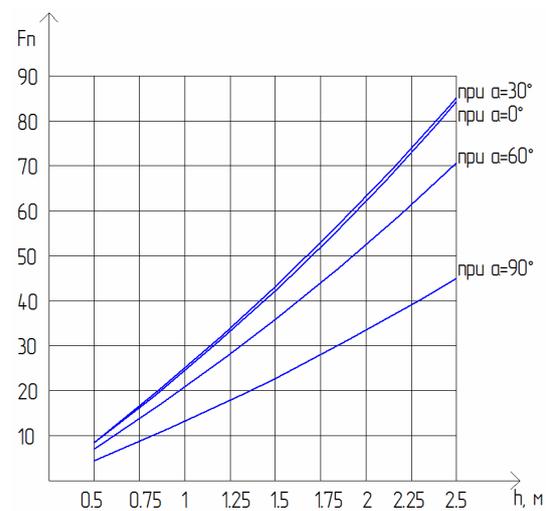


Рис. 2. Глобальная нагрузка на многоопорное сооружение при скорости дрейфа льда 0,1 м/с (колонны расположены в один ряд)

Fig. 2. Global load on a multi-support structure at an ice drift speed of 0.1 m/s

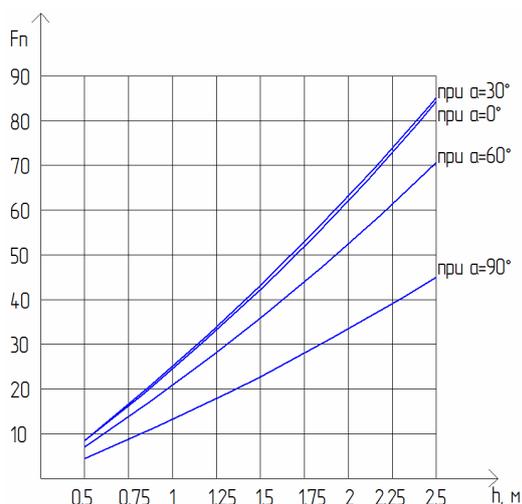


Рис. 3. Глобальная нагрузка на многоопорное сооружение при скорости дрейфа льда 1 м/с (колонны расположены в один ряд)

Fig. 3. Global load on a multi-support structure at an ice drift speed of 1 m/s

Выводы

Проведен расчет глобальной ледовой нагрузки на сооружение с вертикальной стенкой и определены глобальные нагрузки на многоопорное сооружение, состоящее из вертикальных опор. Для этого использовались методы определения прочности льда на сжатие и модифицированная формула К. Н. Коржавина. Полученные результаты представлены в виде графиков, основанных на расчетах глобальной нагрузки и толщины льда и могут быть полезны при проектировании сооружений в условиях ледовых нагрузок.

Таким образом, исследования ледовой нагрузки в арктическом регионе имеют важное значение для понимания изменений в ледяном покрове, защиты прибрежных зон и развития устойчивых стратегий. Анализ данных и расчеты глобальной нагрузки на сооружения позволяют спланировать инфраструктуру, учитывая особенности ледовой среды. Это поможет сохранить уникальную экосистему Арктики и использовать ее ресурсы устойчивым образом.

Библиографические ссылки

1. Аспекты проектирования ледостойкой буровой платформы для условия Обско-Тазовской губы // И. Л. Благовидова, О. А. Иванова, А. С. Бабак, А. В. Родькина // Научные проблемы водного транспорта. 2023. № 74 (1). С. 15–26.
2. Добродеев А. А., Сазонов К. Е. Модельный эксперимент по определению ледовой нагрузки на морские инженерные сооружения // Труды Крыловского

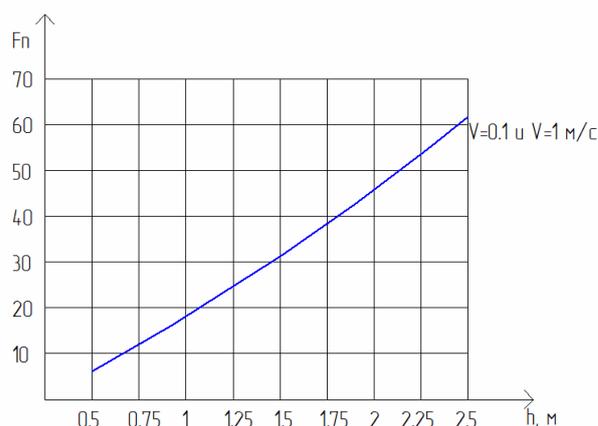


Рис. 4. Глобальная нагрузка на многоопорное сооружение при скорости дрейфа льда 0,1 и 1 м/с (колонны расположены в два ряда)

Fig. 4. Global load on a multi-support structure at an ice drift speed of 0.1 and 1 m/s

государственного научного центра. 2019. № 2 (388). С. 24–40.

3. Цуприк В. Г., Большев А. С., Гарибин П. А. Обоснование энергетического подхода к определению параметров циклической ледовой нагрузки на шельфовые сооружения // Вестник Инженерной школы ДВФУ. 2021. № 4. С. 90–105.

4. Минакир П. А., Горюнов А. П. Пространственно-экономические аспекты освоения Арктики // Вестник Московского государственного областного университета. 2022. № 2. С. 58–68.

5. Иванченко Б. П., Кудряшов В. С. Перспективы развития судостроительной отрасли на современном этапе освоения Арктики // Juvenisscientia. 2019. № 4. С. 16–20.

6. Татаркин А. И., Литовский В. В. Россия в Арктике: стратегические приоритеты комплексного освоения и инфраструктурной политики // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2019. № 3. С. 573–587.

7. Анполонов Е. М., Платонов В. В. Новая модель динамического разрушения льда как основа для совершенствования требований правил регистра к ледовым усилениям судов и ледоколов // Труды Крыловского государственного научного центра. 2019. № 4. С. 99–116.

8. Свистунов И. А., Платонов В. В., Тряскин В. Н. Имитационное моделирование ледовых нагрузок при ледовых сжатиях на примере научно-экспедиционного судна «Академик Трешников» // Труды Крыловского государственного научного центра. 2020. № 2. С. 51–58.

9. Свистунов И. А., Платонов В. В., Тряскин В. Н. Методика определения расчетных ледовых нагрузок на конструкции крупнотоннажных стоечных судов // Труды Крыловского государственного научного центра. 2021. № 1. С. 35–41.

10. Земляк В. Л., Козин В. М. Влияние формы поперечного сечения погружного тела на волнообразование и ледоразрушение // Вестник Инженерной школы ДВФУ. 2020. № 1. С. 49–58.

11. Ким Л. В. Безопасность мобильных морских буровых установок при обтекании потоком «контролируемого» льда // Вестник Инженерной школы ДВФУ. 2019. № 2 (39). С. 100–108.

12. Зуев В. А., Калинина Н. В. Модельные испытания ледокольной платформы на воздушной подушке в поле мелкобитого льда // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2019. № 59. С. 52–61.

13. Перспективы обустройства шельфовых газоконденсатных месторождений комплексами по сжижению природного газа / И. М. Ванчугов, С. М. Ватузов, К. С. Резанов, К. В. Вовкодав, В. В. Бараков, Р. А. Шестаков // Нефтегазовое дело. 2022. № 6. С. 124–134.

14. Лаптева Т. И., Мирзоев Д. А., Архипова О. Л. Штокмановское ГКМ. Техничко-технологические предложения по освоению месторождения силами отечественных научно-исследовательских и проектно-конструкторских институтов, промышленно-производственных заводов оборонной промышленности и машиностроения // Neftegaz.RU. 2022. № 9. С. 15–18.

15. Крыжевич Г. Б. Динамическое взаимодействие моноблоков между собой и с судном при монтаже буровых платформ наплавным способом в условиях волнения // Труды Крыловского государственного научного центра. 2018. № 4 (386). С. 62–72.

16. Поломоинов А. М., Попников Е. Е., Шамсудинов Р. Е. Региональные особенности ледовых условий акваторий морских нефтегазовых месторождений // Инновации и инвестиции. 2020. № 7. С. 250–254.

17. Беккер А. Т., Фарафонов А. Э., Помников Е. Е. Неоднородность ледяных полей // Вестник Инженерной школы ДВФУ. 2017. № 3 (32). С. 64–71. DOI: 10.5281.897000

18. Барышев В. Н., Сабодаш О. А. Проектирование ледостойкой платформы для разведочного бурения в мелководной зоне арктических морей на слабых грунтах // Вестник Инженерной школы ДВФУ. 2018. № 4. С. 89–95.

19. Бережной К. Г. Определение основных характеристик плавучих добычных нефтегазовых платформ на ранних стадиях проектирования // Труды Крыловского государственного научного центра. 2019. № 1. С. 247–251.

20. Бережной К. Г., Вербицкий С. В. Тенденции развития флота морских технологических платформ в период 2015–2021 гг. // Труды Крыловского государственного научного центра. 2022. № 1 (399). С. 189–196. DOI: 10.24937/2542-2324-2022-1-399-189-196

21. Козлов Д. В., Соломатин С. В. Развитие методов расчета ледовой нагрузки на морские гидростатические сооружения в условиях устойчивого припая // Природообустройство 2023 № 3. С. 72–84. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-3-72-84

22. Козлов Д. В., Соломатин С. В. Учет особенностей ледовых условий для повышения экологической эффективности проектов гидротехнического строительства на Российском арктическом шельфе // Природообустройство. 2021 № 1. С. 37–53. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-1-37-53

23. Земляк В. Л., Козин В. М. Влияние формы поперечного сечения погружного тела на волнообразование и ледоразрушение // Вестник Инженерной школы ДВФУ. 2020. № 1. С. 49–58. DOI: 10.24866/2227-6858/2020-1-5

24. Ким Л. В. Безопасность мобильных морских буровых установок при обтекании потоком «контролируемого» льда. // Вестник Инженерной школы ДВФУ. 2019. № 2 (39). С. 100–108.

25. Зуев В. А., Калинина Н. В. Модельные испытания ледокольной платформы на воздушной подушке в поле мелкобитого льда. // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2019. № 59. С. 52–61. DOI: 10.24866/2227-6858/2023-4

26. Перспективы обустройства шельфовых газоконденсатных месторождений комплексами по сжижению природного газа / И. М. Ванчугов, С. М. Ватузов, К. С. Резанов, К. В. Вовкодав, В. В. Бараков, Р. А. Шестаков // Нефтегазовое дело. 2022. № 6. С. 124–134. DOI: 10.17122/ngdelo-2022-6-124-134

References

1. Blagovidova I.L., Ivanova O.A., Babak A.S., Rodkina A.V. (2023) [Aspects of designing an ice-resistant drilling platform for the conditions of the Ob-Taz Bay]. *Nauchnye problemy vodnogo transporta*, no. 74, pp. 15-26 (in Russ.).
2. Dobrodeev A.A., Sazonov K.E. (2019) [Model experiment to determine the ice load on marine engineering structures]. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra*, no. 2, pp. 24-40 (in Russ.).
3. Tsuprik V.G., Bolshev A.S., Garibin P.A. (2021) [Justification of the energy approach to determining the parameters of cyclic ice load on shelf structures]. *Vestnik Inzhenernoj shkoly DVFU*, no. 4, pp. 90-105 (in Russ.).
4. Minakir P.A., Goryunov A.P. (2022) [Spatial and economic aspects of Arctic development]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta*, no. 2, pp. 58-68 (in Russ.).
5. Ivanchenko B.P., Kudryashov V.S. (2019) [Prospects for the development of the shipbuilding industry at the present stage of Arctic development]. *Juvenisscientia*, no. 4, pp. 16-20 (in Russ.).
6. Tatarkin A.I., Lithuanian V.V. (2019) [Russia in the Arctic: strategic priorities of integrated development and infrastructure policy]. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*, no. 3, pp. 573-587 (in Russ.).
7. Appolonov E.M., Platonov V.V. (2019) [A new model of dynamic ice destruction as a basis for improving the requirements of the register rules for ice reinforcements of ships and icebreakers]. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra*, no. 4, pp. 99-116 (in Russ.).

8. Svistunov I.A., Platonov V.V., Tryaskin V.N. (2020) [Simulation modeling of ice loads during ice compression using the example of the scientific expedition vessel "Akademik Treshnikov"]. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra*, no. 2, pp. 51-58 (in Russ.).
9. Svistunov I.A., Platonov V.V., Tryaskin V.N. (2021) [Methodology for determining the calculated ice loads on the structures of large-capacity rack-mounted vessels]. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra*, no. 1, pp. 35-41 (in Russ.).
10. Countryman V.L., Kozin V.M. (2020) [Influence of the cross-sectional shape of a submersible body on wave formation and ice destruction]. *Vestnik Inzhenernoj shkoly DVFU*, no. 1, pp. 49-58 (in Russ.).
11. Kim L.V. (2019) [Safety of mobile offshore drilling rigs when flowing around "controlled" ice]. *Vestnik Inzhenernoj shkoly DVFU*, no. 2, pp. 100-108 (in Russ.).
12. Zuev V.A., Kalinina N.V. (2019) [Model testing of an icebreaking hovercraft platform in a field of broken ice]. *Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta*, no. 59, pp. 52-61 (in Russ.).
13. Vanchugov I.M., Vatuzov S.M., Rezanov K.S., Vovkodav K.V., Barakov V.V., Shestakov R.A. (2022) [Prospects for developing offshore gas condensate fields with natural gas liquefaction complexes]. *Neftegazovoe delo*, no. 6, pp. 124-134 (in Russ.).
14. Lapteva T.I., Mirzoev D.A., Arkhipova O.L. (2022) [Shtokmanovskoe gas condensate field. Technical and technological proposals for the development of the field by domestic research and design institutes, industrial production plants of the defense industry and mechanical engineering]. *Neftegaz.RU*, no. 9, pp. 15-18 (in Russ.).
15. Kryzhevich G.B. (2018) [Dynamic interaction of monoblocks with each other and with the vessel during the installation of drilling platforms using the floating method in rough conditions]. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra*, no. 4, pp. 62-72 (in Russ.).
16. Polomoshnov A.M., Popnikov E.E., Shamsudinov R.E. (2020) [Regional features of ice conditions in the water areas of offshore oil and gas fields]. *Innovacii i investicii*, no. 7, pp. 250-254 (in Russ.).
17. Bekker A.T., Farafonov A.E., Pomnikov E.E. (2017) [Heterogeneity of ice fields]. *Vestnik Inzhenernoj shkoly DVFU*, no. 3, pp. 64-71 (in Russ.). DOI: 10.5281.897000
18. Baryshev V.N., Sabodash O.A. (2018) [Design of an ice-resistant platform for exploration drilling in the shallow zone of the Arctic seas on soft soils]. *Vestnik Inzhenernoj shkoly DVFU*, no. 4, pp. 89-95 (in Russ.).
19. Berezhnoy K.G. (2019) [Determination of the main characteristics of floating oil and gas production platforms at the early stages of design]. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra*, no. 1, pp. 247-251 (in Russ.).
20. Berezhnoy K.G., Verbitsky S.V. (2022) [Trends in the development of the fleet of marine technological platforms in the period 2015-2021]. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra*, no. 1, pp. 189-196 (in Russ.). DOI: 10.24937/2542-2324-2022-1-399-189-196
21. Kozlov D.V., Solomatin S.V. (2023) [Development of methods for calculating ice load on marine hydrostatic structures under conditions of stable fast ice]. *Prirodobustrojstvo*, no. 3, pp.72-84 (in Russ.). DOI: 10.26897/1997-6011-2023-3-72-84
22. Kozlov D.V., Solomatin S.V. (2021) [Taking into account the peculiarities of ice conditions to improve the environmental efficiency of hydraulic engineering construction projects on the Russian Arctic shelf]. *Prirodobustrojstvo*, no. 1, pp. 37-53 (in Russ.). DOI: 10.26897/1997-6011-2021-1-37-53.
23. Zemlyak V.L., Kozin V.M. (2020) [Influence of the cross-sectional shape of a submersible body on wave formation and ice destruction]. *Vestnik Inzhenernoj shkoly DVFU*, no. 1, pp. 49-58 (in Russ.). DOI: 10.24866/2227-6858/2020-1-5
24. Kim L.V. (2019) [Safety of mobile offshore drilling rigs when flowing around "controlled" ice]. *Vestnik Inzhenernoj shkoly DVFU*, no. 2, pp. 100-108 (in Russ.).
25. Zuev V.A., Kalinina, N.V. (2019) [Model tests of an icebreaking platform on an air cushion in a field of broken ice]. *Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta*, no. 59, pp. 52-61 (in Russ.). DOI: 10.24866/2227-6858/2023-4
26. Vanchugov I.M., Vatuzov S.M., Rezanov K.S., Vovkodav K.V., Barakov V.V., Shestakov R.A. (2022) [Prospects for developing offshore gas condensate fields with natural gas liquefaction complexes]. *Neftegazovoe delo*, no. 6, pp. 124-134 (in Russ.). DOI: 10.17122/ngdelo-2022-6-124-134

Calculation of Ice Load on a Cylindrical Vertical Support

P.V. Glushan, Post-graduate, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

A.V. Balabukha, Post-graduate, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

R.V. Russ, Master's Degree Student, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

S.A. Shchegoleva, PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

The Arctic is a unique region with enormous scientific potential. Studying the area allows scientists to expand their knowledge of climate change, biodiversity, geological processes and more. One of the key aspects of studying the Arctic is the analysis of ice load - the mass of ice that exerts pressure on the substrate and affects the morphology and dynamics of coastal areas.

Ice load studies are important for predicting changes in Arctic ice cover, as well as for developing measures to protect coastal zones from the destructive effects of ice. Scientists are using a variety of methods, including ground measurements, satellite data and numerical models, to gain a better understanding of ice load dynamics.

Understanding these processes has direct implications for climate change and global sea levels. This is also important for the navigation safety and the development of coastal infrastructures. Ice stress research plays a key role in conserving the Arctic's unique ecosystem and developing sustainable strategies for using the region's resources.

This article calculates the global ice load on a structure with a vertical wall and determines the global loads on a multi-support structure consisting of vertical supports. For this purpose, methods to determine the compressive strength of ice and the modified formula of K.N. Korzhavin were used. The results of the work can be presented in the form of diagrams based on calculations of global load and ice thickness. The data obtained can be useful in the design of structures subject to ice loads.

Keywords: single support, ice load, ice cover, ice strength, deformation.

Получено 29.01.2024

Образец цитирования

Расчет ледовой нагрузки на цилиндрическую вертикальную опору / П. В. Глушан, А. В. Балабуха, Р. В. Русс, С. А. Щеголева // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2024. Т. 27, № 1. С. 73–80. DOI: 10.22213/2413-1172-2024-1-73-80

For Citation

Glushan P.V., Balabukha A.V., Russ R.V., Shchegoleva S.A. (2024) [Calculation of Ice Load on a Cylindrical Vertical Support]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2024, vol. 27, no. 1, pp. 73-80 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2024-1-73-80