

УДК 551.324.28:629.563

В.М. Кушнир, профессор, д-р техн. наук,

С.А. Шоларь, аспирант,

В.Р. Душко, доцент, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, г. Севастополь, 299053

E-mail: stas.narod@mail.ru

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ДРЕЙФА ЛЬДА НА ЛЕДОВЫЕ НАГРУЗКИ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ОКЕАНОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

Произведен анализ существующих методик расчета ледовых нагрузок на океанотехнические сооружения. Выполнены численные расчеты величин ледовых нагрузок с учетом параметров толщины и скорости дрейфа льда на океанотехнические сооружения с наклонной и вертикальной передней стенками. Получены зависимости величин ледовых нагрузок от характеристик толщины и скорости дрейфа ледового поля, с учетом требований изложенных методик.

Ключевые слова: ледовая нагрузка, скорость дрейфа ледовых полей, толщина льда, океанотехнические установки.

Постановка проблемы. Проектирование и эксплуатация океанотехнических сооружений в зонах, где сезонно появляются или же круглогодично действуют ледовые поля, в настоящее время относится к наиболее актуальным проблемам морских технологий. Среди многих проблем, связанных с воздействием на такие сооружения ледовых полей, наименее изученной является влияние скорости дрейфа льда на внешние силы. В настоящее время предоставляется возможным использовать следующие методики расчета внешних сил, обусловленных действием ледовых полей: Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ Российского морского регистра, изд. 2012 г (в дальнейшем Регистр) [1]; Международный стандарт ISO 19906 «Arctic offshore structures» (в дальнейшем стандарт ISO) [2]; СНиП 2.06.04-82 (в дальнейшем правила СНиП) [3]; ВСН 41.88 (в дальнейшем нормы ВСН) [4]; Авторская методика д.ф.-м.н. профессора К.Н. Шхинека [5].

Общим для этих методик является разделение всех конструкций на сооружения с передней вертикальной стенкой (для них рассчитывается только горизонтальная составляющая внешней силы) и сооружения с передней наклонной стенкой (для них определяется вертикальная и горизонтальная составляющая внешних сил). Относительно исходных параметров общим является учет толщины льда, габаритов сооружения (диаметр, площадь контакта лед-сооружение) и его геометрическая форма. Несовершенство этих методик проявляется в том, что при одинаковых исходных расчетных условиях используются различные коэффициенты и параметры, а результаты расчетов могут различаться в несколько раз. При этом, влияние скорости дрейфа ледовых полей из-за недостаточной изученности также вносит значительный вклад в неопределенность результатов расчета внешних сил.

Цель работы – анализ данных по расчету ледовых нагрузок с учетом скорости дрейфа льда с последующим обоснованием методики таких оценок и выполнением конкретных расчетов.

Изложение основного материала.

Определение величин ледовых нагрузок на сооружения с вертикальной передней гранью.

В качестве исходных данных примем одноопорное сооружение с вертикальной передней гранью размером 4 м в сечении, на которое воздействует лед толщиной 0,5, 1, 1,5 и 2 м со скоростью в диапазоне 0,05...1 м/с.

Для определения глобальной ледовой нагрузки в Правилах [1] используется соотношение:

$$F_{hor} = a_h [1 + 0,75K - 0,1] \vartheta_{\sigma_c} (\ln n)^{1/K} D \bar{\sigma}_c K_V. \quad (1)$$

Здесь $a_h = 0,22 \cdot h$ – параметр масштаба распределения толщин льда, м; $D = 4$ – диаметр преграды, м; $\bar{\sigma}_c$ и ϑ_{σ_c} – среднее значение и коэффициент изменчивости предела прочности льда на сжатие, МПа (при отсутствии каких-либо сведений в качестве минимальных значений могут быть приняты следующие значения: $\bar{\sigma}_c = 1,4$ МПа и $\vartheta_{\sigma_c} = 0,5$), $n = 1000$ – объем выборки, $n = l/p$ (p – уровень расчетной обеспеченности); K – параметр формы распределения ледовых нагрузок, зависящий от отношения a_h/D (определяется графически или по формуле, полученной при построения линии тренда – $K = 445073 a_h/D^5 - 109952 a_h/D^4 + 9322,7 a_h/D^3 - 247,53 a_h/D^2 - 7,4701 a_h/D + 0,99$).

Значение прочности льда σ_c рекомендуется определять в зависимости от скорости деформации $\dot{\epsilon}$ и степени стесненности деформации. Скорость деформации определяется из условия: $\dot{\epsilon} = V/4D$ при $D/h < 30$ и $\dot{\epsilon} = V/2D$ при $D/h > 40$, где $\dot{\epsilon}$ – определяется линейной интерполяцией при $30 \leq D/h \leq 40$; D – диаметр преграды, м; $h = 0,5, 1, 1,5, 2$ – толщина ровного или наслоенного льда, м; $V = 0,05 \dots 1$ – скорость дрейфа, м/с.

Зависимость $\overline{\sigma_c}$ от скорости деформации $\dot{\epsilon}$ определяется коэффициентом K_V как показано на рисунке 3.3.2.3.3-2 [1].

Результаты расчета величины горизонтальной нагрузки F_{hor} , МН, по [1] представлены на рисунке 2.

При дроблении льда (скорости больше 0,001 м/с) около конструкции, общая нагрузка от льда, перпендикулярная к поверхности, F_G , МН, в стандарте ISO определяется следующим выражением [2]:

$$F_G = C_R (h)^n \left(\frac{w}{h} \right)^m \cdot h \cdot w, \quad (2)$$

где h – толщина льда; w – ширина контакта с конструкцией; m – эмпирический коэффициент, $m = -0,16$; n – эмпирический коэффициент: $n = -0,50 + h/5$, для $h < 1,0$ м; $n = -0,30$, для $h > 1,0$ м; C_R – коэффициент прочности льда, МПа. При детерминированном анализе коэффициент параметра прочности $C_R = 1,8$ МПа на основе данных по однолетним и многолетним льдам, полученным в море Бофорта. Величины горизонтальной нагрузки F_G , МН, рассчитанные по стандарту ISO, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Величины горизонтальной нагрузки рассчитанные по стандарту ISO

Толщина льда h , м	0,50	1,00	1,50	2,00
Нагрузка F_G , МН	5,30	8,97	12,72	16,28

Нагрузки от воздействия ледяного поля на отдельно стоящую опору с передней гранью в виде треугольника, многогранника или полуциркульного очертания $F_{c,p}$, МН, по правилам [3] определяют по соотношению:

$$F_{c,p} = 0,04Vh_d \sqrt{mA k_b k_V R_c t g \gamma}, \quad (3)$$

где V – скорость движения ледяного поля, м/с; h_d – расчетная толщина льда, м, $b_s = 4$ – расчетная ширина сооружения, м; $m = 0,83$ – коэффициент формы, принимаемый по [3, табл. 29]; $A = 10000$ – максимальная площадь ледяного поля 1%-ной обеспеченности, м²; k_b – коэффициент, принимаемый по [3, табл. 30]; k_V – коэффициент, принимаемый по [3, табл. 31]; $R_c = 1,86$ – нормативное сопротивление льда сжатию, МПа; γ – половина угла заострения передней грани опоры в плане на уровне действия льда, град (для опоры с передней гранью в виде многогранника или полуциркульного очертания необходимо принимать $\gamma = 70^\circ$). Результаты расчета горизонтальной нагрузки $F_{c,h}$, МН, по правилам СНиП, представлены на рисунке 1.

Горизонтальную нагрузку $F_{b,p}$, МН, на отдельно стоящую опору с вертикальной поверхностью при подвижке ледяного поля по нормам ВСН [4] следует определять как для случая прорезания его опорой по формуле:

$$F_{b,p} = m_1 \cdot k_b \cdot R_c \cdot b \cdot h_d, \quad (4)$$

где $m_1 = 1$ – коэффициент формы, принимается по [4, п. 2.1.6]; k_b – коэффициент смятия, учитывающий пространственно-напряженную работу ледяного поля при его прорезывании, зависит от условий контакта опоры с ледяным полем, принимается по [4, таблица 4], $R_c = 1,86$ – нормативное сопротивление льда сжатию, МПа; $b = 4$ – поперечный размер по фронту опоры на уровне действия льда, м; h_d – расчетная толщина льда, м. Величины горизонтальной нагрузки $F_{b,p}$, рассчитанные по нормам ВСН приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Величины горизонтальной нагрузки, рассчитанные по нормам ВСН

Условие контакта опоры с ледяным полем	Толщина льда h , м				
		0,5	1,0	1,5	2,0
без смерзания опоры с ледяным полем	$F_{b,p}$, МН	6,45	21,58	44,27	66,96
при смерзании опоры с ледяным полем	$F_{b,p}$, МН	10,29	27,53	50,96	74,40

В [5] приводятся рекомендации определения нагрузок для различных сценариев взаимодействия льда с сооружением. Скорость дрейфа льда учитывается не во всех сценариях, этот параметр

учитывается только в случае предельной кинетической энергии. В данном случае можно рассчитать нагрузку F_m , МН, соответствующую максимальному внедрению сооружения в лед при заданной начальной кинетической энергии. Горизонтальная составляющая нагрузки F_m , МН, в соответствии с авторской методикой [5], определяется по соотношению:

$$F_m = C_i F, \quad (5)$$

Здесь $F = p \cdot A$ – нагрузка по контактной поверхности, МН, C_i – коэффициент, определяется по [5, таблица 5.2.3], где $p = C_R (h)^n \left(\frac{w}{h}\right)^m$ – среднее эффективное давление на номинальной поверхности $A = wh$, м², где h – толщина льда; w – ширина контакта с конструкцией; m – эмпирический коэффициент, $m = -0,16$; n – эмпирический коэффициент: $n = -0,50 + h/5$, для $h < 1,0$ м; $n = -0,30$, для $h > 1,0$ м; C_R – коэффициент прочности льда, МПа. При детерминированном анализе коэффициент параметра прочности $C_R = 2,8$ МПа на основе данных по однолетним и многолетним льдам, полученным в море Бофорта.

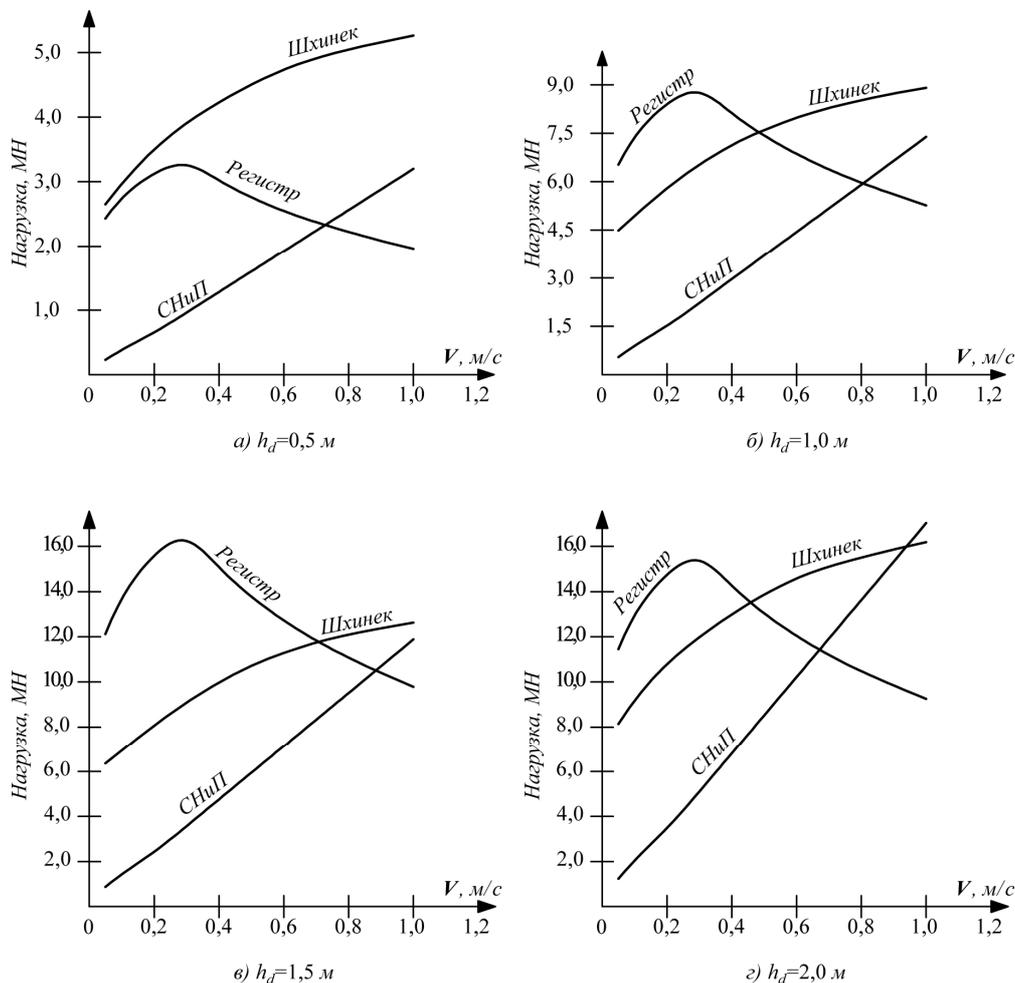


Рисунок 1 – Зависимости величин нагрузок F (МН) от скорости дрейфа льда V (м/с) для толщин льда $h_d = 0,5, 1,0, 1,5, 2,0$ (м) ($R^2 \leq 1$ – величина достоверности аппроксимации)

Результаты расчета горизонтальной нагрузки F_m с применением рекомендаций авторской методики К.Н. Шхинека [5] представлены на рисунке 2.

Для удобства сравнения результаты расчетов, приведенных выше, на рисунке 2 отображены графические зависимости нагрузок от скорости дрейфа и толщин льда.

На рисунке 1 не отображены результаты расчетов по стандарту ISO и нормам ВСН, т.к. в данных методиках не учитывается скорость дрейфа.

Определение величин ледовых нагрузок на сооружения с наклонной передней гранью.

Оптимальной геометрической формой корпуса для районов с частым действием ледовых нагрузок в соответствии с [6] являются сооружения с наклонной передней гранью. В данном случае глобальная ледовая нагрузка разделяется на 2 составляющие: вертикальную и горизонтальную. Расчет ледовых

нагрузок на сооружения с наклонной передней гранью можно провести по любой из выше перечисленных методик, однако ни одна из методик, доступных в литературных источниках и в сети Интернет, как и в перечисленных выше, не учитывает скорость дрейфа льда. Как указано в работе [6], скорость дрейфа оказывает значительное влияние на ледовые нагрузки.

В большинстве существующих методов и методик даются только рекомендации об увеличении нагрузки при скорости дрейфа выше 0,5 м/с. В статье [6] приведены результаты модельных и натурных испытаний по воздействию льда наиболее часто встречающихся в природе толщин, с различными скоростями дрейфа ледовых полей, на сооружения с наклонной передней гранью. В ходе анализа приведенных результатов испытаний, объединения с масштабированием по числу Фруда $Fr = V/\sqrt{gh}$, где V – скорость дрейфа льда, м/с, g – ускорение свободного падения м/с², h – толщина льда, м, можно выделить зависимость нормализованной нагрузки от чисел Фруда, что представлено на рисунке 2. Под нормализованной нагрузкой в данном случае понимается частное от деления нагрузки, рассчитанной по методу Ральстона [1, 5, 6] (без учета скорости), на нагрузки, полученные в ходе модельных испытаний, с учетом скорости дрейфа льда. В большинстве существующих методик, для расчета ледовых нагрузок на наклонные сооружения, основополагающим является метод Ральстона.

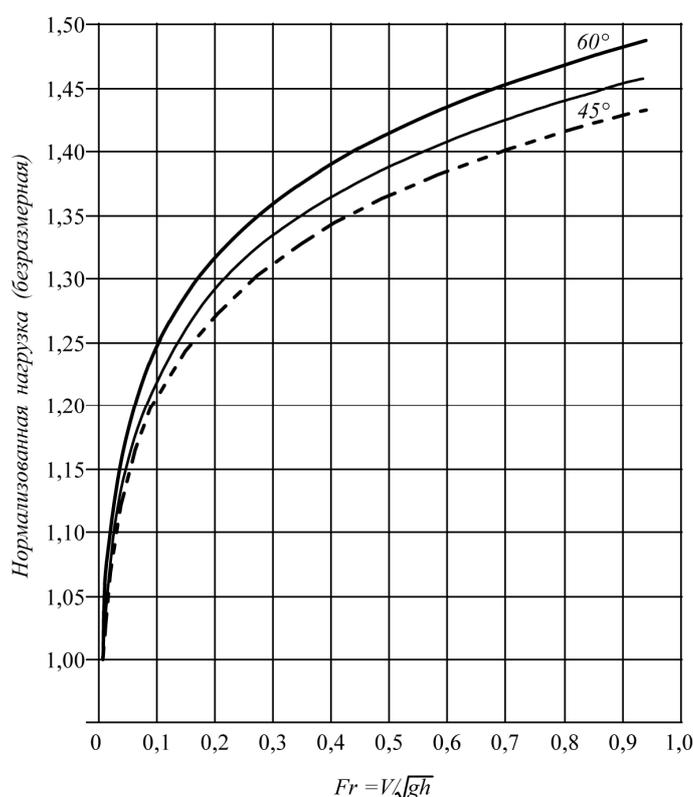


Рисунок 2 – Зависимость нормализованной (безразмерной) нагрузки от чисел Фруда (безразмерные)

На рисунке 2 приведены линии тренда для результатов модельных испытаний [6], проведенных на сооружениях с углом наклона 45° и 60°, а также суммарная промежуточная линия, соответствующая углу наклона 52,5°.

Зависимость нормализованной нагрузки F_{HO} , от чисел Фруда Fr , для углов наклона 45°, 52,5°, 60° можно описать следующими уравнениями: $F_{HO} = 1,5 \cdot Fr^{0,08}$, $F_{HO} = 1,47 \cdot Fr^{0,078}$, $F_{HO} = 1,45 \cdot Fr^{0,075}$. Применение данных зависимостей позволяет учитывать влияние скорости дрейфа льда на сооружения с наклонной передней гранью. По приведенным формулам, для угла 52,5° можно прогнозировать увеличение ледовой нагрузки на сооружение с наклонной передней гранью на 30 % при толщине льда $h = 1$ м и скорости дрейфа $V = 1,0$ м/с, и на 40 % при толщине льда $h = 1$ м и скорости дрейфа $V = 1,5$ м/с.

В качестве исходных данных для расчета ледовых нагрузок приняли сооружение с наклонной передней гранью (угол наклона грани $\alpha = 60^\circ$, диаметром конуса на уровне ВЛ – $D_{ВЛ} = 36,0$ м, диаметром конуса на уровне $h - D_h = 27,0$ м, расстоянием от ВЛ до верхней отметки конической части $h = 6,75$ м).

Расчет горизонтальной составляющей ледовой нагрузки F_H , МН на сооружение с наклонной передней гранью по методике Ральстона [1], производится по следующей формуле:

$$F_H = \frac{H_B + H_P + H_R + H_L + H_T}{1 - \frac{H_B}{\sigma_f l_c h}}$$

Расчет вертикальной составляющей F_V , МН, производится по формуле: $F_V = \frac{F_H}{\xi}$,

где $H_B = 0,68\xi\sigma_f \left(\frac{\rho_w g h^5}{E}\right)^{0,25} \cdot \left(w + \frac{\pi^2 L_c}{4}\right)$ – нагрузка при разрушении,

$H_P = w h_r^2 \mu_i \rho_i g (1-e) \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha}\right)^2 \cdot \frac{1}{2 \tan \theta}$ – нагрузка, необходимая для перемещения ледяного покрова

через ледовые обломки, $H_R = w P \frac{1}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}$ – нагрузка, необходимая для перемещения ледовых блоков вверх к откосу через ледяные обломки,

$H_L = 0,5 w h_r^2 \rho_i g (1-e) \xi \left(\frac{1}{\tan \theta} - \frac{1}{\tan \alpha}\right) \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha}\right) + 0,5 w h_r^2 \rho_i g (1-e) \xi \tan \phi \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha}\right)^2 + \xi c w h_r \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha}\right)$ – нагрузка, необходимая для поднятия ледовых блоков вверх ледяным покровом до его разлома,

$H_T = 1,5 w h^2 \rho_i g \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha - \mu \cos \alpha}$ – нагрузка, необходимая для продвижения ледового блока на вершину откоса.

Параметры, используемые в формулах, определяются по следующим соотношениям

$$L_c = \left(\frac{E h^3}{12 \rho_w g (1-\nu^2)}\right)^{0,25}, \quad \xi = \frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}, \quad l_c = w + \frac{\pi^2}{4} L_c,$$

$$P = 0,5 \mu_i (\mu_i + \mu) \rho_i g (1-e) h_r^2 \sin \alpha \cdot \left(\frac{1}{\tan \theta} - \frac{1}{\tan \alpha}\right) \cdot \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha}\right) + 0,5 (\mu_i + \mu) \rho_i g (1-e) h_r^2 \frac{\cos \alpha}{\tan \alpha} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha}\right) + h_r h \rho_i g \frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\sin \alpha},$$

где h – толщина льда, м; h_r – толщина скопления льда, $h_r \geq h$, м; ρ_w – плотность воды, $\rho_w = 1025$ кг/м³ (плотность воды для Арктических морей составляет 1024 – 1026; в качестве расчетной принята средняя плотность воды); ρ_i – плотность льда, $\rho_i = 903$ кг/м³; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с²; α – угол наклона грани, $\alpha = 60^\circ = 0,9832$ рад; w – диаметр конуса на уровне ватерлинии, $w = 36$ м; σ_f – предел прочности ледового покрова на изгиб, $\sigma_f = 520000$ Н/м²; μ – коэффициент трения льда о конструкцию, $\mu = 0,15$; μ_i – коэффициент трения льда о лед, $\mu_i = 0,2$; ν – коэффициент Пуассона, $\nu = 0,3$; E – модуль упругости, $E = 6$ МПа; c – коэффициент сцепления ледового блока, $c = 0,0015$ кг/м²; ϕ – угол внутреннего трения ледового блока, $\phi = 30^\circ$; e – пористость нагромождения, $e = 0,2$; θ – угол, образуемый нагромождением и горизонталью, $\theta = \alpha - 10^\circ = 50^\circ$.

Результаты расчета горизонтальной нагрузки F_H и вертикальной нагрузки F_V по стандарту ISO [1], представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчета горизонтальной нагрузки F_H , МН и вертикальной нагрузки F_V , МН по стандарту ISO [1]

h , м	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
F_H , МН	0,15	0,45	0,87	1,41	2,07	2,85	3,75	4,77	5,90	7,15	8,51	9,99	11,59	13,30	15,13	17,07	19,13	21,31	23,60	26,01
F_V , МН	0,07	0,21	0,41	0,66	0,97	1,34	1,76	2,24	2,77	3,35	3,99	4,69	5,44	6,24	7,10	8,01	8,98	10,00	11,07	12,20

В таблице 3 приведены результаты расчетов, без учета скорости дрейфа льда. Для сооружения с наклонной передней гранью, согласно [6], скорость дрейфа льда не оказывает существенного влияния при скоростях дрейфа до 0,5 м/с. По рисунку 3 можно определить на сколько необходимо увеличивать

рассчитанную нагрузку, при масштабировании по числам Фруда. Необходимое увеличение нагрузки в процентах для толщин льда 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 м, скорости дрейфа от 0,5 м/с до 1,5 м/с и угле наклона грани 60° приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Проценты по увеличению ледовой нагрузки

Толщина h , м	Скорость V , м/с										
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
0,5	31%	32%	34%	35%	37%	38%	39%	40%	41%	41%	42%
1,0	-	-	30%	32%	33%	34%	35%	36%	37%	38%	38%
1,5	-	-	-	30%	31%	32%	33%	34%	35%	36%	36%
2,0	-	-	-	-	29%	31%	32%	32%	33%	34%	35%

После умножений соответствующих значений таблицы 2 на значения таблицы 4, можно получить зависимость горизонтальной составляющей нагрузки F_H , МН от скорости дрейфа и толщины льда, представленных в таблице 5.

Таблица 5 – Зависимость горизонтальной составляющей нагрузки F_H от скорости дрейфа и толщины льда

Толщина h , м	Нагрузка до увеличения F_H , МН	Нагрузка после увеличения F_H , МН										
		Скорость, м/с										
		0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
0,5	2,07	2,72	2,74	2,78	2,80	2,84	2,86	2,88	2,90	2,92	2,92	2,95
1,0	7,15	7,15	7,15	9,29	9,44	9,51	9,58	9,65	9,72	9,79	9,87	9,87
1,5	15,13	15,13	15,13	15,13	19,67	19,82	19,97	20,12	20,28	20,43	20,58	20,58
2,0	26,01	26,01	26,01	26,01	26,01	33,55	34,07	34,33	34,33	34,59	34,85	35,11

После умножений соответствующих значений таблицы 3 на значения таблицы 4, можно получить зависимость вертикальной составляющей нагрузки F_V , МН от скорости дрейфа и толщины льда, представленных в таблице 6.

Таблица 6 – Зависимость горизонтальной составляющей нагрузки F_V от скорости дрейфа и толщины льда

Толщина h , м	Нагрузка до увеличения F_V , МН	Нагрузка после увеличения F_V , МН										
		Скорость, м/с										
		0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
0,5	0,97	1,27	1,28	1,30	1,31	1,33	1,34	1,35	1,36	1,37	1,37	1,38
1,0	3,35	3,35	3,35	4,36	4,43	4,46	4,49	4,53	4,56	4,60	4,63	4,63
1,5	7,10	7,10	7,10	7,10	9,23	9,30	9,37	9,44	9,51	9,58	9,66	9,66
2,0	12,20	12,20	12,20	12,20	12,20	15,74	15,99	16,11	16,11	16,23	16,35	16,47

Для графической визуализации результаты расчетов горизонтальной F_H , МН и вертикальной составляющей нагрузки F_V , МН отображены в виде графической зависимости нагрузок от скорости дрейфа и толщин льда на рисунке 3.

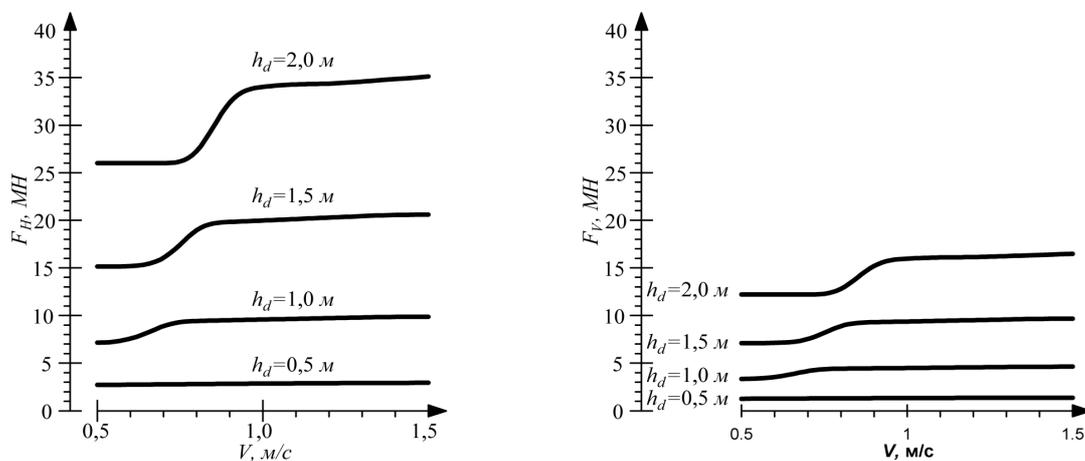


Рисунок 3 – Зависимость горизонтальной F_H , МН и вертикальной составляющей нагрузки F_V , МН от скорости дрейфа V , м/с и толщин льда h_d , м

Выводы. Произведен анализ литературы по расчету ледовых нагрузок с учетом скорости дрейфа и толщины льда с последующими вычислениями величин нагрузок. На основании данных вычислений можно сделать следующие выводы:

- с увеличением толщины льда разброс значений, рассчитанных по существующим методикам, незначительно уменьшается;
- геометрия линии, характеризующей зависимость нагрузки от скорости дрейфа льда, рассчитанной по Регистру, имеет форму близкую к коэффициенту K_V ;
- геометрия линии нагрузки, рассчитанной по Регистру, можно объяснить переходом в альтернативный режим разрушения при увеличении скорости дрейфа;
- скорость дрейфа льда оказывает существенное влияние на нагрузку при увеличении скорости дрейфа от 0,05 м/с до 1 м/с, нагрузки увеличивается на порядок;
- результаты расчета по методикам, где не учитывается скорость, в несколько раз выше, чем в методиках с учетом скорости;
- результаты расчета по методикам ВСН и ISO не рекомендуется использовать при скорости дрейфа выше 0,5 м/с;
- скорость дрейфа льда влияет на величину внешних сил F_H, F_V сложным образом – в диапазоне скоростей от 0,6 до 1,0 м/с происходит быстрый рост («скачок») величин F_H, F_V , причем, чем толще лед, тем лучше выражен указанный скачок. С увеличением толщины льда «скачек» сдвигается в сторону увеличения скорости дрейфа. Вне зоны «скачка» зависимость внешней силы от скорости дрейфа выражена слабо в виде незначительного роста F_H, F_V при изменении скорости дрейфа в диапазоне от 1,0 м/с до 1,5 м/с.
- при толщине льда 0,5 м и менее скорость дрейфа практически не влияет на нагрузки F_H, F_V ;
- горизонтальная составляющая внешней силы значительно весомей ее вертикальной составляющей;
- использование пяти различных методик расчета внешних нагрузок ледовых полей на океанотехнические сооружения, наглядно показало, что при одинаковых исходных условиях результаты расчетов могут существенно (более чем в 2...3) раза различаться между собой. Это свидетельствует о недостаточной изученности особенностей воздействия дрейфующих ледовых полей на океанотехнические сооружения.

Решение проблемы влияния скорости дрейфа ледовых полей на нагрузки, на океанотехнические сооружения имеет большое практическое значение, учитывая с одной стороны чрезвычайно высокую стоимость современных океанотехнических сооружений, и, с другой, – высокую степень риска эксплуатации таких систем в условиях воздействия ледовых полей с толщиной льда более 2 м.

Перспективой дальнейших исследований является вывод универсальной аналитической зависимости внешних ледовых нагрузок, наиболее полно учитывающей все параметры, формирующие ледовые нагрузки, в том числе – скорость дрейфа льда.

Библиографический список использованной литературы

1. НД № 2-020201-012. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ: утв. Рос. мор. регистром судоходства: введ. в действие 01.01.2012. — СПб.: Рос. мор. регистр судоходства, 2012. — 480 с.
2. ГОСТ Р ИСО 19906–2011. Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения арктического шельфа. — Взамен ГОСТ Р ИСО 19906–2010; введ. 2012–07–01. — М.: Изд-во стандартов, 2011. — 721 с.
3. СНиП 2.06.04–82*. Издания. Госстрой СССР. — Взамен СНиП II-57-75; введ. 1984–01–01. — М.: Госстрой СССР, 1986. — 157 с.
4. ВСН 41.88. Проектирование ледостойких стационарных платформ: введ. в действие М-вом нефт. пром-сти СССР: введ. в действие с 03.01.1989. — М.: Нефтепром, 1988. — 151 с.
5. Воздействие льда на морские и береговые сооружения / К. Шхинек, С. Лосет, О. Гудместад, К. Хойланд. — СПб.: Лань, 2010. — 280 с.
6. Matskevitch D.G. Velocity effects on conical structure ice loads // Труды 21-й международной конференции ОМАЕ'02 по механике континентального шельфа и арктической технике, 23–28 июня 2002 г., Осло, Норвегия, ОМАЕ 2002-28079. — Осло, 2002. — С. 23–35.

Поступила в редакцию 12.12.2013 г.

Кушнір В.М., Шоларь С.О., Душко В.Р. Вплив швидкості дрейфу льоду на навантаження, що діють на океанотехнічні споруди

Зроблено аналіз існуючих методик розрахунку льодових навантажень на океанотехнічні споруди. Виконано чисельні розрахунки величин льодових навантажень з урахуванням параметрів товщини і швидкості дрейфу льоду на океанотехнічні споруди з похилій і вертикальної передньої стінками. Отримано залежності величин льодових навантажень від характеристик товщини і швидкості дрейфу льодового поля, з урахуванням вимог викладених методик.

Ключові слова: льодове навантаження, швидкість дрейфу льодових полів, товщина льоду, океанотехнічні споруди.

Kushnir V.M., Sholar S.A., Dushko V.R. Velocity effects on oceantechnical structure ice loads

This article presents the existing method of calculation of loads from the ice fields on oceantechnical installation. The calculation and comparison of the values were obtained with using of the various methods. The analysis of the accounting parameters and thickness of the ice drift velocity in each of the existing methods has been performed. Were given the recommendations on the accounting impact of the rate of drift ice on the load on the unit with an inclined front wall, interacting with ice. Were done the comparison of the influence of changes in the characteristics of thickness and rate of ice drift load of oceantechnical installation depending on their shape.

Keywords: ice loads, velocity effect, ice thickness effect, oceantechnical installation.