

DOI: 10.12731/2227-930X-2021-11-2-36-51

УДК 624.145.72

МЕТОДИКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛЕДОВЫХ ИСТИРАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПРИЧАЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Зверев А.А., Беккер А.Т., Уварова Т.Э., Беляева Т.Д.

Ледяной покров оказывает значительное истирающее воздействие на поверхность морских инженерных сооружений. В районах с высокой динамичностью дрейфа ледяного покрова одной из важнейших проблем обеспечения несущей способности элементов конструкции является определение интенсивности их износа от истирания дрейфующим льдом.

Величина ледовой абразии зависит от большого количества факторов, основными из которых являются: контактное давление, длина пути истирания и сопротивление материала ледовой абразии.

Длина пути истирания и величина контактного давления определяются процессами дрейфа ледяных образований и их взаимодействием с сооружением. Для их количественной оценки необходимо иметь математический аппарат расчета ледовой нагрузки. В то время, как экспериментальные исследования различных материалов на сопротивление ледовой абразии позволяют установить эмпирическую зависимость интенсивности ледовой абразии. Совместное использование теоретической модели взаимодействия и эмпирической модели разрушения материала позволяет создать методику расчета глубины ледовой абразии.

В статье рассматриваются методика математического моделирования ледовых истирающих воздействий на причальные сооружения.

Ключевые слова: ледовая абразия; бетон; математическое моделирование

THE METHOD OF MATHEMATICAL MODELING OF ICE ABRASIVE EFFECTS ON BERTHING FACILITIES

Zverev A.A., Bekker A.T., Uvarova T.E., Belyaeva T.D.

The ice cover has a significant abrasive effect on the surface of marine engineering structures. In areas with high dynamics of ice cover drift, one of the most important problems of providing load-bearing capacity of structural elements is to determine the intensity of their wear from abrasion by drifting ice.

The magnitude of ice abrasion depends on many factors, the main of which are: contact pressure, abrasion path length and material resistance to ice abrasion.

The length of the abrasion path and the magnitude of the contact pressure are determined by the processes of drift of ice formations and their interaction with the structure. To assess them, it is necessary to have a mathematical model for calculating the ice load. At the same time, experimental studies of various materials for resistance to ice abrasion make it possible to establish an empirical dependence of the intensity of ice abrasion. The combined use of a theoretical model of interaction and an empirical model of material destruction makes it possible to create a method for calculating the depth of ice abrasion.

The article discusses the method of mathematical modeling of ice abrasive effects on berthing facilities.

Keywords: *ice abrasion; concrete; mathematical modeling*

Введение

В настоящее время проблема оценки истирающих воздействий от дрейфующего ледяного покрова на морские гидротехнические сооружения остается актуальной и требует продолжения научных исследований в этой области, что обусловлено следующими причинами: многообразием и сложностью процессов разрушения ледяных образований при взаимодействии с сооружением; большим разбросом физико-механических характеристик льда; недостаточ-

ным объемом натуральных данных, как по ледовой нагрузке, так и по ледовой абразии; несогласованностью экспериментальных исследований на сопротивление материалов ледовой абразии и, как следствие, отсутствием в нормативной литературе требований, предъявляемых к износостойкости материала (бетон, металл, покрытие) при истирающем воздействии льда.

Высокая динамика ледяного покрова способствует разрушению опор морских инженерных сооружений от ледовой абразии. Натурные наблюдения за износом материала конструкций от истирающего воздействия льда показали, что степень абразии бетона может достигать: $0,9 \div 1,6$ мм/год – по наблюдениям S. Huovinen [11]; $0,2 \div 11,6$ мм/год – по исследованиям J. Janson [13, 14] на маяках в Балтийском море; $1,0 \div 5,0$ мм/год – по наблюдениям F. Nara [9, 10] для опор мостов в устьях рек.

В соответствии с концепцией оценки истирающего воздействия льда [8, 15] проблема расчета глубины ледовой абразии может быть разделена на две части: проблема оценки ледовых воздействий, вызывающих абразию, и проблема сопротивления материала конструкции истирающему воздействию льда.

Для решения проблемы ледовых воздействий, вызывающих абразию, необходимо иметь математический аппарат расчета контактного давления льда, длины пути истирания и глубины ледовой абразии [6, 7].

Следует отметить, что существующие портовые гидротехнические сооружения нередко эксплуатируются в ледовых условиях различной интенсивности, что требуют оценки величины износа основных конструкций вследствие воздействия льда. Однако, современные нормативные документы не регламентируют способы оценки ледовых воздействий при расчётах глубины ледовой абразии.

В работе рассматривается авторская методика математического моделирования взаимодействия ледяных образований с морскими протяженными сооружениями и описывается алгоритм расчёта глубины ледовой абразии для этого типа конструкций.

Исследования проблем ледовой абразии в Дальневосточном федеральном университете (ДВФУ)

Научный коллектив кафедры гидротехники, теории зданий и сооружений ДВФУ под руководством А.Т. Беккера [2, 1] на основании многолетних исследований процессов взаимодействия льда с морскими гидротехническими сооружениями (МГТС) разработал модель расчета глубины ледовой абразии, основанную на совместном использовании эмпирической модели интенсивности ледовой абразии и вероятностной имитационной модели формирования ледовых воздействий.

Общая вероятностная имитационная модель формирования ледовых воздействий на МГТС основана на численном формировании функции распределения параметров ледового режима и имитации всех возможных ситуаций, характеризуемых случайным сочетанием значений входных параметров. В рамках вероятностной имитационной модели для каждой ситуации выполняется расчет параметров ледовых истирающих воздействий, для чего используются математические модели процесса механического взаимодействия ледяных образований с сооружением. В результате численного моделирования и имитации всех расчетных ситуаций за весь период эксплуатации сооружения определяются характеристики ледовой нагрузки, контактного давления и длина пути истирания.

Описанная модель использовалась при проектировании ледозащитного пояса из износостойкого бетона для основания гравитационного типа «Беркут» месторождения Аркутун-Даги [6].

Следует отметить, что данная модель предназначена для расчёта глубины ледовой абразии для отдельно стоящих одиночных или многоопорных вертикальных сооружений цилиндрической формы и причальных палов [4]. Однако, освоение Арктики требует строительства портовой инфраструктуры для судов и заводов сжижения природного газа (СПГ) с целью решения задач развития северного морского пути и обеспечения добычи и переработки нефти и газа. Одним из решений этой проблемы является строительство и транспортировка к месту эксплуатации наплавных конструкций из лёгких бетонов. Такие

бетоны имеют низкий показатель прочности и воздействие на подобные конструкции дрейфующих ледяных образований является крайне нежелательным. В связи с этим возникает необходимость определения степени износа бетонных поверхностей подобных сооружений.

Алгоритмы расчета основных параметров ледовых воздействий на протяженное сооружение

Для расчета глубины ледовой абразии МГТС применяется комплексный подход, включающий выполнение экспериментальных и расчетно-теоретических работ.

Экспериментальная часть включает исследования строительных материалов на сопротивление ледовым истирающим воздействиям и получение эмпирической модели интенсивности ледовой абразии [8, 15, 12].

Теоретические часть состоит из следующих этапов:

- сбора данных по гидрометеорологическим условиям района строительства;
- сбор данных о конструкции сооружения;
- разработка математической модели расчета ледовых истирающих воздействий, позволяющей определить размеры зоны контакта, подверженной ледовой абразии, как в плане, так и по высоте, величины контактного давления, длины пути абразии и ее глубину.

В данной работе рассматривается математическая модель, описывающая процесс формирования истирающих воздействий на причальное сооружение с учётом конструктивных особенностей, ледового и климатического режима местности. В результате моделирования определяются параметры, необходимые для расчёта глубины ледовой абразии (длина пути абразии, скорость дрейфа льда, контактное давление, время взаимодействия и др.).

За основной сценарий взаимодействия принимается расчётная ситуация, в которой сооружение расположено у берега, ледяные образования заданного размера двигаются по румбам, соответствующим наиболее опасному направлению дрейфа льда, на угол сооружения в соответствии с розой дрейфа.

При разработке алгоритма и программы расчета были приняты следующие допущения:

1. Ледяной покров представляет собой совокупность ледяных полей круглого очертания в плане, характеризующихся следующими параметрами: толщиной ледяных полей h , скоростью общего дрейфа по направлениям V , диаметром полей льда D , прочностью льда R .

2. Размер ледяного поля D задается таким образом, чтобы обеспечить сценарий прорезания льда. За начальную расчетную точку принимается точка касания ледяного поля с сооружением, расположенная на окружности ледяного поля в месте пересечения с вектором скорости, проведенного через центр этой окружности, в соответствии с схемой рисунка 1.

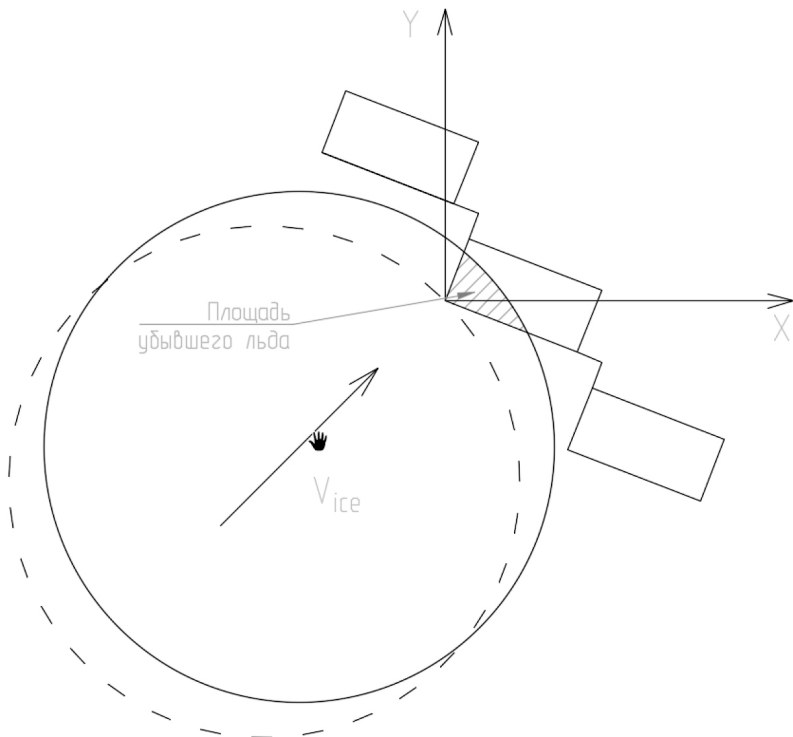


Рис. 1. Схема к расчету площади убитого льда, V_{ice} – скорость льда

3. Область рассматриваемых ситуаций ледового режима условно ограничена следующими пределами:

- толщина льда $h > 0,3$ м [14];
- сплоченностью битого льда $N > 6$ [14].

4. Ледовая нагрузка от движущихся полей для протяженного сооружения определяется по формуле [5]:

$$F_{c.w} = 2,2 \cdot 10^{-3} V h_d \sqrt{A k_v R_c \rho}, \quad (1)$$

где V – скорость движения ледяного поля, м/с; h_d – толщина ровного льда, м; A – максимальная площадь ледяного поля (или суммарная площадь нескольких ледяных полей, оказывающих давление друг на друга), м², которая может воздействовать на рассчитываемый элемент сооружения, определяемая по натурным наблюдениям или принимаемая в зависимости от поперечных размеров сооружения, как $A = 3b^2$ (где b – поперечный размер сооружения); k_v – коэффициент, принимаемый по таблице 18 [5]; k_v – коэффициент, принимаемый по таблице 19 [5]; R_c – прочность льда на одноосное сжатие, МПа; ρ – плотность воды, кг/м³.

При этом, нагрузка, определенная по формуле (1), не может быть больше нагрузки $F_{b.w}$, МН, определяемой по формуле:

$$F_{b.w} = k k_v R_v R b_s h_d, \quad (2)$$

где k – коэффициент, определяемый по [5]; b_s – протяженность контакта ледяного покрова с сооружением, м.

Математическая имитационная модель механического взаимодействия дрейфующих ледяных полей с сооружением описывает процесс формирования ледовой нагрузки и длины пути взаимодействия на каждом шаге моделирования. При моделировании механизмов кинематического процесса механического взаимодействия между льдинами и процесса разрушения ледяных полей на контакте с сооружением использовался дискретный подход.

В случае прорезания льда при взаимодействии с сооружением рассматривается центральный полностью неупругий удар, когда вся кинетическая энергия приравнивается к работе контактной

силы на пути внедрения опоры в лед. Методика определения скорости внедрения льда, следовательно, времени и длины пути взаимодействия ледяной плиты, основана на теореме о кинетической энергии. Изменение кинетической энергии ледяного поля на некотором его перемещении равно сумме работ всех действующих сил на этом же перемещении

$$\frac{M_{i+1} \cdot V_{i+1}^2}{2} - \frac{M_i \cdot V_i^2}{2} = \sum W_k, \quad (3)$$

где M_i – масса льдины на i -м шаге, кг; M_{i+1} – масса льдины на следующем шаге, кг; V_i – скорость движения на i -м шаге, м/с; V_{i+1} – скорость льдины на следующем шаге, м/с; $\sum W_k$ – работа всех действующих сил в k -й ситуации.

В данном случае вся кинетическая энергия льдины приравнивается к работе контактной силы на пути внедрения опоры в лед. Контактная сила определяется как произведение значения предела прочности льда на сжатие R на площадь зоны контакта, а геометрия зоны контакта определяется формой опоры сооружения. В связи с чем изменение кинетической энергии ледяного поля можно представить в следующем виде:

$$\int_0^X F_i \Delta x_i = \frac{M_{i+1} \cdot V_{i+1}^2}{2} - \frac{M_i \cdot V_i^2}{2}, \quad (4)$$

где F_i , Δx_i – ледовая сила и длина пути взаимодействия на i -м шаге расчетной ситуации.

Длина пути взаимодействия льда с опорой на i -ом шаге определяется по формуле

$$\Delta x_i = V_i \cdot \Delta t, \quad (5)$$

где Δt – шаг моделирования льдины по времени, с.

Тогда можно определить закон изменения скорости прорезания льда по формуле

$$V_{i+1} = \sqrt{\frac{M_i V_i^2 + 2 F_i V_i \Delta t}{M_{i+1}}}, \quad (6)$$

При полной потере ледяным полем кинетической энергии оно остановится, при этом:

- скорость блока льда $V_i=0$;
- время внедрения определится как $t_i = i \cdot \Delta t$;
- длина пути взаимодействия $X_i = \sum x_i$.

Масса льда, участвующего в процессе взаимодействия, определяется по формуле

$$M_i = M_0 - M_{i,out}$$

$$M_0 = A_0 h_k \rho \quad , \quad (7)$$

$$M_{i,out} = A_{i,out} h_k \rho$$

где M_0 – начальная масса ледяного поля, кг; $M_{i,out}$ – масса убывшей части (прорезанной) ледяного поля на i -м шаге в k -й ситуации, кг; A_0 – начальная площадь ледяного поля, m^2 ; $A_{i,out}$ – площадь убывшей части льдины вследствие его разрушения при прорезании на i -м шаге в k -й ситуации, m^2 ; ρ – плотность льда, kg/m^3 .

Площадь убывшего (заштрихованная область) ледяного поля при его внедрении определяется в соответствии с рисунком 1.

Алгоритм расчета

Ледяной покров представляет собой совокупность ледяных образований, движущихся непрерывно в течение всего времени ледохода, при этом направления движения могут изменяться. Необходимо рассчитывать ледовые воздействия по основным румбам с целью учета влияния ледовых воздействий с каждого направления на соответствующую внешнюю грань конструкции сооружения, при этом суммарную длину пути взаимодействия со всех направлений можно определить по формуле:

$$X = \sum_i^n (V_d \cdot t_d), \quad (8)$$

где V_d – относительная скорость контактного взаимодействия ледяных образований с сооружением, определяется как функция вектора скорости ледяных образований, m/c ; t_d – время взаимодействия, c ; n – порядковый номер соответствующего румба.

Количество случаев взаимодействия ледяного поля с сооружением определяется с учётом времени одного взаимодействия, вероятности дрейфа льда для расчетного румба и общего времени ледохода по формуле:

$$N_{int} = \frac{t_{season}}{t_{int}} \cdot P_n, \quad (9)$$

где N_{int} – число взаимодействий, t_{season} – время ледохода, t_{int} – время одного взаимодействия, P_n – вероятность дрейфа по направлению.

Для каждого из выбранных направлений определяются поперечные размеры зоны контакта ледяных полей с сооружением, как проекция сооружения на прямую, перпендикулярную направлению дрейфа. Общая схема воздействия ледяных образований на конструкцию причального сооружения приведена на рисунке 2.

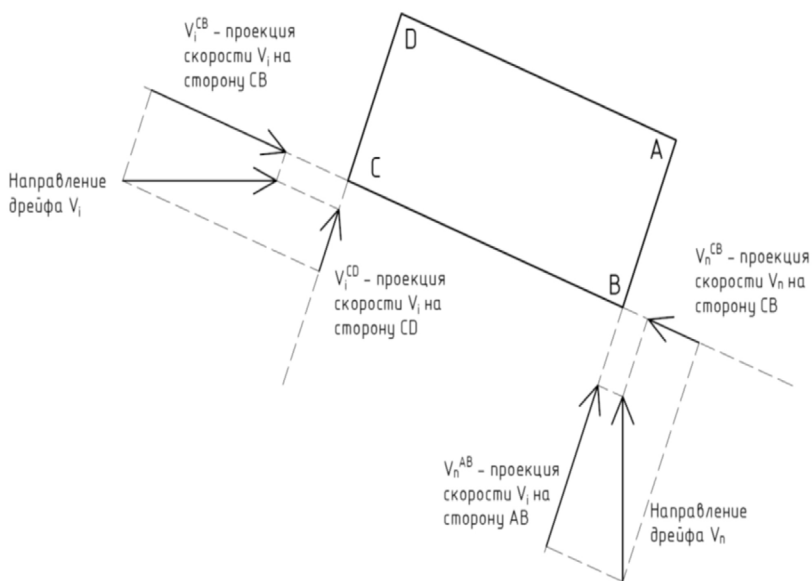


Рис. 2. Схема к расчету скорости дрейфа льда воздействий

Давление на контакте «лед-сооружение» при его равномерном распределении определяется по формуле:

$$\sigma_v = \frac{F}{h_a b_s}, \quad (10)$$

где F – расчетная ледовая нагрузка, МН.

Для каждого из возможного направления дрейфа определяются поперечные размеры зоны взаимодействия ледяных полей и сооружения как проекция сооружения на прямую, перпендикулярную направлению дрейфа.

Блок схема алгоритма расчета показан на рисунке 3.

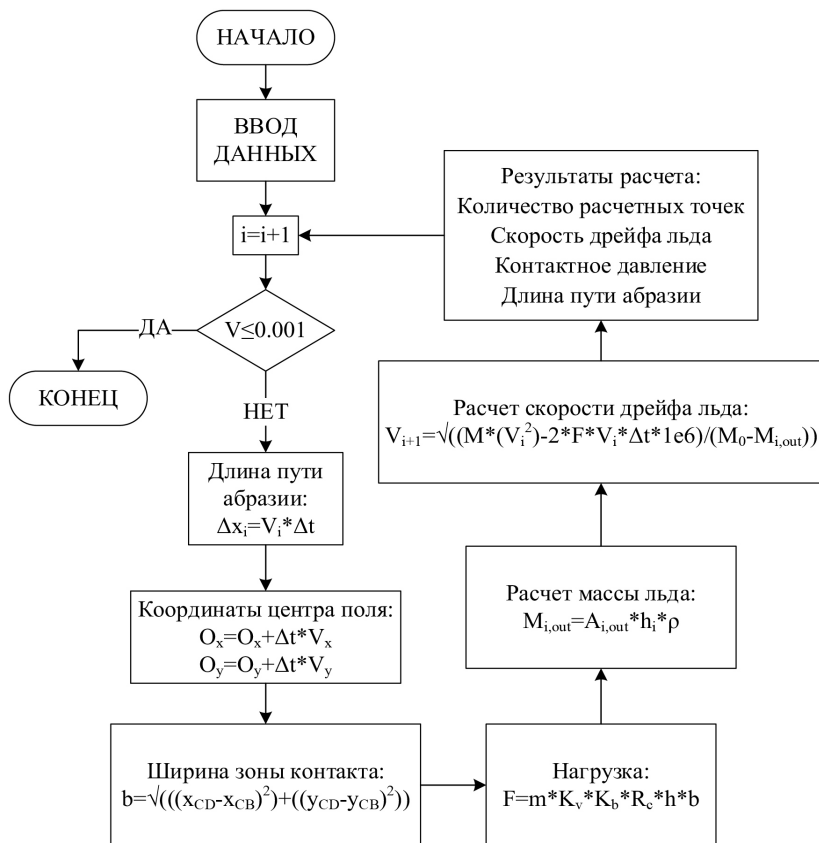


Рис. 3. Алгоритм определения параметров для расчёта глубины ледовой абразии

Выводы

Разработка моделей взаимодействия ледяных образований с различными типами МГТС является важным этапом в создании методики определения глубины ледовой абразии. Такие модели должны быть направлены на учет различных аспектов ледовых истирающих воздействий.

Предложенная модель является результатом многолетней работы и представляет собой инструмент, с помощью которого можно

получить данные для определения глубины ледовой абразии, а именно, величины контактного давления, скорости на контакте, длины пути абразии и времени взаимодействия.

Использованный подход может быть реализован на любом языке программирования. Авторы использовали пакет прикладных программ MATLAB для моделирования и получения результатов.

Список литературы

1. Bekker A.T., Uvarova T.E., Pomnikov E.E. et al. Numerical Simulation of Ice Abrasion on Offshore Structures // Proc. of the 21th Intern. Sympos. on Ice / International Association of Hydraulic Engineering and (IAHR-12). Dalian, China, 2012.
2. Bekker A.T., Uvarova T.E., Pomnikov E.E. Numerical simulation model of ice-structure interaction // Proc. of the 23rd Int. Conf. on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC-15). June 14-18, 2015.
3. Jacobsen S., Kim L.V., Pomnikov E.E. Concrete Destructure due to Ice-Indentation Pore Pressure // Proceedings of the 21-th International Offshore and Polar Engineering Conference. Rhodes, Greece, June 17–22, 2012, p. 1258-1263
4. Кузнецова М. А. Проблемы обустройства морских месторождений российской Арктики // Вестник ОАО «НК Роснефть». 2011. №24. С. 18-24.
5. СП 38.13330.2018 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82, 2018.
6. Уварова Т.Э. Истирающее воздействие дрейфующего ледяного покрова на морские гидротехнические сооружения: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, Владивосток, 2015. 271 с.
7. Уварова Т.Э. Вероятностная имитационная модель взаимодействия ледяного покрова с сооружением // Системы. Методы. Технологии. 2011. № 4(12). С. 53–60.
8. Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, Trondheim, Norway, 2015, June 14-18.

9. Hara, F. Saeki H., Sato M. et al. Prediction of the degree of abrasion of bridge piers by fresh water ice and the protective measures // Proc. of the Intern. Conf. on Concrete under Severe Conditions, CONSEC'95. Sapporo, Japan, 1995. Vol. 1. P. 485–494.
10. Hara, F. Takahashi Y., Saeki H. Evaluation of test methods of abrasion by ice movements on the surface of reinforced concrete structures // Proc. of the Intern. Conf. on Concrete under Severe Conditions, CONSEC'95. Sapporo, Japan, 1995 Vol. 1. P. 475–484.
11. Huovinen, S. Abrasion of concrete by ice in arctic sea structures / S. Huovinen // VTT Publications 62 (Doctoral thesis). Espoo, 1990. 110 p.
12. Jacobsen S., Scherer G. W., Schulson E. M., Concrete–ice abrasion mechanics // Cement and Concrete Research, 2015, vol. 73, p. 79-95.
13. Janson, J.E. Long Term Resistance of Concrete Offshore Structures in Ice Environment // Proc. 7th Intern. Conf. on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE). – Houston, Texas, N.Y. American Society of Mechanical Engineers, 1988. Vol. 3. P. 225–231.
14. Janson, J.E. Report of field investigation of ice impact on lightweight aggregate concrete – results from the winter season 1986–1987 // VBB: Stockholm, Sweden, 1987.
15. Shamsutdinova G., Hendriks M.A.N., Jacobsen S., Concrete-ice abrasion: wear, coefficient of friction and ice consumption // Wear, 2018. no. 416-417, p. 27-35.

References

1. Bekker A.T., Uvarova T.E., Pomnikov E.E. et al. Numerical Simulation of Ice Abrasion on Offshore Structures. Proc. of the 21th Intern. Sympos. on Ice / International Association of Hydraulic Engineering and (IAHR-12). Dalian, China, 2012.
2. Bekker A.T., Uvarova T.E., Pomnikov E.E. Numerical simulation model of ice-structure interaction. Proc. of the 23rd Int. Conf. on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC-15). June 14-18, 2015.
3. Jacobsen S., Kim L.V., Pomnikov E.E. Concrete Destructure due to Ice-Indentation Pore Pressure. Proceedings of the 21-th International Offshore and Polar Engineering Conference. Rhodes, Greece, June 17–22, 2012, p. 1258-1263.

4. Kuznetsova M.A. Problemy obustroystva morskikh mestorozhdeniy rossiyskoy Arktiki [Problems of development of offshore fields in the Russian Arctic]. Vestnik OAO «NK Rosneft'», 2011, no. 24, pp. 18-24.
5. SP 38.13330.2018 Nagruzki i vozdeystviya na gidrotekhnicheskie sooruzheniya (volnovye, ledovye i ot sudov). [Loads and impacts on hydraulic structures (wave, ice and from ships)]. Updated edition of SNiP 2.06.04-82, 2018.
6. Uvarova T.E. Istirayushchee vozdeystvie dreyfuyushchego ledyanogo pokrova na morskije gidrotekhnicheskie sooruzheniya [Abrasive drift effects ice cover on marine hydraulic structures]. Vladivostok, 2015, 271 p.
7. Uvarova, T.E. Veroyatnostnaya imitatsionnaya model' vzaimodeystviya ledyanogo pokrova s sooruzheniem [Probabilistic simulation model of the interaction of the ice cover with the structure]. Sistemy. Metody. Tekhnologii, 2011, no. 4(12), pp. 53–60.
8. Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, Trondheim, Norway, 2015, June 14-18.
9. Hara, F. Saeki H., Sato M.et al. Prediction of the degree of abrasion of bridge piers by fresh water ice and the protective measures. Proc. of the Intern. Conf. on Concrete under Severe Conditions, CONSEC'95. Sapporo, Japan, 1995, vol. 1, pp. 485–494.
10. Hara, F. Takahashi Y., Saeki H. Evaluation of test methods of abrasion by ice movements on the surface of reinforced concrete structures. Proc. of the Intern. Conf. on Concrete under Severe Conditions, CONSEC'95. Sapporo, Japan, 1995, vol. 1, pp. 475–484.
11. Huovinen, S. Abrasion of concrete by ice in arctic sea structures. VTT Publications 62 (Doctoral thesis). Espoo, 1990, 110 p.
12. Jacobsen S., Scherer G. W., Schulson E. M., Concrete–ice abrasion mechanics. Cement and Concrete Research, 2015, vol. 73, pp. 79-95.
13. Janson, J.E. Long Term Resistance of Concrete Offshore Structures in Ice Environment. Proc. 7th Intern. Conf. on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE). Houston, Texas, N.Y. American Society of Mechanical Engineers, 1988, vol. 3, pp. 225–231.

14. Janson, J.E. Report of field investigation of ice impact on lightweight aggregate concrete – results from the winter season 1986–1987. VBB: Stockholm, Sweden, 1987.
15. Shamsutdinova G., Hendriks M.A.N., Jacobsen S., Concrete-ice abrasion: wear, coefficient of friction and ice consumption. *Wear*, 2018, no. 416-417, pp. 27-35.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Зверев Антон Андреевич, ассистент департамента «Морские арктические технологии»

*Дальневосточный федеральный университет
п. Аякс, 10, о. Русский, г. Владивосток, Приморский край,
690922, Российская Федерация
zverev.aa @dvfu.ru*

Беккер Александр Тевьевич, профессор департамента «Морские арктические технологии», доктор технических наук

*Дальневосточный федеральный университет
п. Аякс, 10, о. Русский, г. Владивосток, Приморский край,
690922, Российская Федерация
bekker.at @dvfu.ru*

Уварова Татьяна Эриковна, профессор департамента «Морские арктические технологии», доктор технических наук

*Дальневосточный федеральный университет
п. Аякс, 10, о. Русский, г. Владивосток, Приморский край,
690922, Российская Федерация
ivarova.tye @dvfu.ru*

Беляева Тамара Дмитриевна, инженер-исследователь МНОЦ «Арктика», магистрант «Offshore and Coastal Engineering» департамента «Морские арктические технологии»

*Дальневосточный федеральный университет
п. Аякс, 10, о. Русский, г. Владивосток, Приморский край,*

690922, Российская Федерация.
beliaeva.tdm @dvfu.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anton A. Zverev, Assistant of Department «Marine Arctic Technologies»

*Far Eastern Federal University
10, Ajaks St., Russky Island, Vladivostok, Primorski krai,
690922, Russian Federation
zverev.aa @dvfu.ru*

Aleksandr T. Bekker, Professor of Department «Marine Arctic Technologies», Doctor of Technical Science

*Far Eastern Federal University
10, Ajaks St., Russky Island, Vladivostok, Primorski krai,
690922, Russian Federation.
bekker.at @dvfu.ru*

Tatiana E. Uvarova, Professor of Department «Marine Arctic Technologies», Doctor of Technical Science

*Far Eastern Federal University
10, Ajaks St., Russky Island, Vladivostok, Primorski krai,
690922, Russian Federation
uvarova.tye @dvfu.ru*

Tamara D. Belyaeva, Research Engineer of ISEC «Arctic», Master Student of «Offshore and Coastal Engineering» of Department «Marine Arctic Technologies»

*Far Eastern Federal University
10, Ajaks St., Russky Island, Vladivostok, Primorski krai,
690922, Russian Federation.
beliaeva.tdm@dvfu.ru*