

**Строительные материалы и изделия**

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2021-1-11>  
УДК 620.17

Т.Э. Уварова, П.В. Анохин, А.Т. Беккер, Е.Е. Помников, Н.С. Назаренко

УВАРОВА ТАТЬЯНА ЭРИКОВНА – д.т.н., профессор, SPIN: 6005-1621,  
ResearcherID: G-7681-2016, ORCID: [orcid.org/0000-0002-9147-5145](http://orcid.org/0000-0002-9147-5145), ScopusID: 7003267351,  
searay@yandex.ru

АНОХИН ПАВЕЛ ВИКТОРОВИЧ – научный сотрудник, [anohin.pv@dvfu.ru](mailto:anohin.pv@dvfu.ru)

БЕККЕР АЛЕКСАНДР ТЕВЬЕВИЧ – д.т.н., профессор, SPIN: 3956-2515,  
ResearcherID: AAB-8482-2020, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2899-7995>,  
ScopusID: 35610298200, [bekker.at@dvfu.ru](mailto:bekker.at@dvfu.ru)

ПОМНИКОВ ЕГОР ЕВГЕНЬЕВИЧ – к.т.н., профессор, SPIN: 6250-4710 [pomnikov.ee@dvfu.ru](mailto:pomnikov.ee@dvfu.ru)

НАЗАРЕНКО НИКИТА СЕРГЕЕВИЧ – аспирант (автор, ответственный за переписку),  
[nazarenko\\_nse@dvfu.ru](mailto:nazarenko_nse@dvfu.ru)

Департамент морских арктических технологий Политехнического института  
*Дальневосточный федеральный университет*  
Владивосток, Россия

## **Влияние физико-механических свойств бетона на сопротивление ледовой абразии**

**Аннотация:** Бетон – перспективный материал для строительства морских ледостойких сооружений в условиях арктических морей. Надежность и долговечность бетонных сооружений определяется средой эксплуатации и ее параметрами, один из которых – бетонная абразия, важнейший, но недостаточно изученный. Авторы представляют исследование (эксперимент и моделирование) свойств бетона, оказывающих влияние на его стойкость к истиранию от действия ледяных образований. Приведен ход и результаты эксперимента с образцами бетона для определения параметров их конструктивных свойств. Ранжированы основные характеристики бетонов по тесноте связи с интенсивностью ледовой абразии. Предложена общая модель интенсивности ледовой абразии, представлены номограммы зависимости интенсивности ледовой абразии от различных свойств бетонов.

**Ключевые слова:** бетон, истирание бетона, долговечность бетона, ледовое воздействие, долговечность бетонных сооружений

### **Введение**

Конструктивные свойства и характеристики материалов оказывают значительное влияние на надежность и долговечность технических средств освоения морских месторождений нефти и газа. При этом основным эксплуатационным фактором, влияющим на надежность таких сооружений в районах Арктики, является ледовый режим морской акватории и, как следствие, – ледовые нагрузки и воздействия на сооружения. Практический опыт эксплуатации показывает, что существует вероятность потери несущей способности конструкции (ее элемента) от сравнительно умеренных воздействий большой повторяемости. В результате поверхность сооружения в зоне воздействия льда подвергается ледовой абразии (истиранию). Разрушение поверхностного слоя может привести к потере несущей способности сооружения из-за обнажения арматуры, изменения сечения (толщины) несущих конструкций и т.д.

Исследования интенсивности ледовой абразии в научной литературе представлены довольно широко [1, 3, 9, 10, 13–20], однако экспериментальные модели на статистической

обработке данных лабораторных испытаний на сопротивление материалов ледовой абразии и направлены на выявление эмпирических зависимостей интенсивности для конкретного состава, а выводы и рекомендации по применению материалов носят общий характер. В настоящий момент не существует нормативной методики определения ледовой абразии, нет и четкого ее определения. Сложные и дорогостоящие методики требуют проведения испытаний от двух и более месяцев. В то же время результаты (см., например [12]) показывают, что на сопротивление ледовой абразии влияют физико-механические свойства бетона (прочность, морозостойкость и др.). Под интенсивностью ледовой абразии понимается глубина истирания поверхности бетона конструкции за единицу длины взаимодействия с дрейфующим ледяным покровом.

Методологически расчет ледовой абразии для оснований гравитационного типа можно разделить на две части:

- ледовые воздействия, вызывающие абразию;
- сопротивление материала конструкции истирающему воздействию.

С одной стороны, глубина абразии определяется интенсивностью и продолжительностью ледового воздействия, с другой – обусловлена способностью материала конструкции сопротивляться истирающим воздействиям.

Проблема сопротивления материала ледовой абразии решается путем проведения экспериментальных исследований различных материалов: определяется эмпирическая зависимость интенсивности ледовой абразии от основных параметров, вызывающих абразию материала (контактное давление, температура льда, длина пути взаимодействия). Эмпирическая зависимость интенсивности ледовой абразии уникальна для каждого испытуемого материала (с соответствующими ему физико-механическими свойствами), она характеризует способность материала сопротивляться ледовым истирающим воздействиям и отражает физические процессы при истирании материала льдом.

Цель настоящей статьи – определение зависимости интенсивности ледовой абразии от конструктивных свойств бетона.

Как показывает опыт эксплуатации гидротехнических сооружений в ледовитых морях, дефекты бетона, обусловленные химической агрессией морской воды и циклами замораживания и оттаивания, многократно усугубляются истирающим воздействием ледяного покрова из-за его периодических вертикальных и горизонтальных подвижек, вызванных течением, ветром и колебанием уровня воды. В результате таких подвижек бетонная поверхность, контактирующая со льдом, постоянно «зачищается», что создает благоприятные условия для сульфатной коррозии бетона: плотность его падает, следовательно, снижается сопротивляемость циклам замораживания и оттаивания, что в конечном счете приводит к разрушению бетонной поверхности.

### **Физико-механические свойства образцов бетона: материалы и методы**

Для бетонных конструкций, подверженных различным видам воздействий внешней среды, конструктивные свойства бетона можно ранжировать по природе воздействий на: физические, механические и специальные.

К *механическим* свойствам следует отнести показатели сопротивления разрушению (прочность), деформативные характеристики, трещиностойкость.

К *физическим* – плотность и пористость; характеристики, оценивающие влажностное состояние, проницаемость для жидкостей и газов; теплофизические характеристики; акустические свойства.

*Специальные* – это свойства, которые в отличие от механических и физических не регламентируются нормативными документами (например, ледовое истирание).

В настоящей работе мы исследуем свойства бетона, которые могут оказать влияние на его стойкость по отношению к внешним агрессивным воздействиям окружающей среды, в частности к истиранию от действия ледовых образований.

Для определения ряда характеристик бетона, которые могут влиять на его стойкость к истирающему воздействию льда, использовались стандартизованные методики испытания по ГОСТ: плотность бетона [6]; модуль упругости [8]; прочность на одноосное сжатие (28 сут) [5]; призмная прочность [8]; прочность на растяжение при изгибе; прочность на растяжение при раскалывании [5]; морозостойкость [4]; водонепроницаемость [7].

Детально о материалах мы объясняем ниже.

### Эксперимент: сопротивление образцов бетона ледовой абразии

Эксперимент по определению ледовой абразии – определению физико-механических параметров трех составов бетонов Б1 (35 МПа), Б2 (60 МПа), Б3 (80 МПа) проведен в 2017 и 2018 годах в ледовой лаборатории МНОЦ «Арктика» ДВФУ. А.А. Вдовин и Н.С. Назаренко [2, 11] для каждого состава определяли параметры конструктивных свойств на разработанной сотрудниками вуза в 2005 г. абразивной установке (рис. 1, табл. 1).

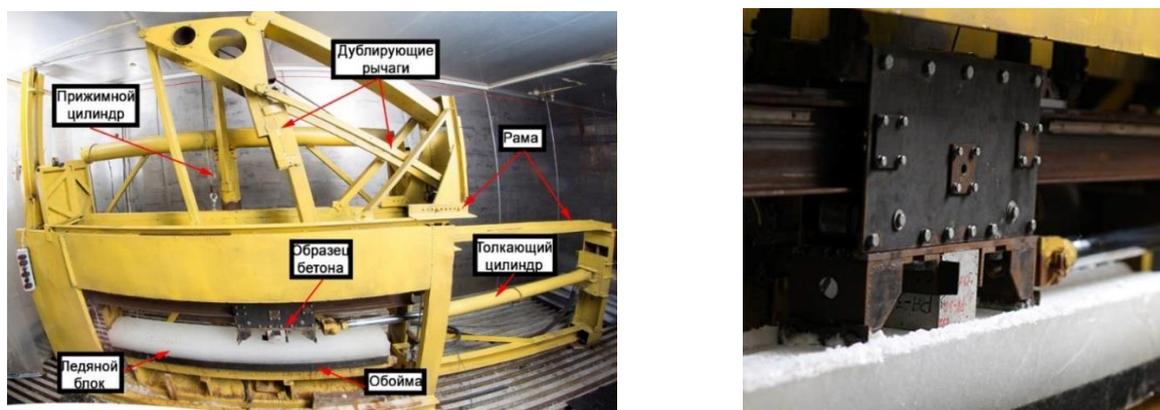


Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования ледовой абразии [11]

Таблица 1

#### Технические характеристики установки для определения ледовой абразии

№	Основные технические характеристики	Значение
1	Амплитуда горизонтального перемещения	2000 мм
2	Амплитуда вертикального перемещения	700 мм
3	Скорость горизонтального перемещения (регулируемая)	0,2÷1,0±0,2 м/с
4	Скорость вертикального перемещения при позиционировании	1,0÷5,0 мм/с
5	Усилие прижима образца	1,0÷10,0 кН

В процессе испытаний на сопротивление ледовой абразии контролировались следующие параметры: температура льда (двумя датчиками, установленными в образце льда); температура воздуха в морозильной камере; контактное давление (сила прижима образца к ледяному блоку) – с помощью датчика силы; скорость контактного взаимодействия.

Все контролируемые параметры эксперимента сохранялись неизменными в процессе испытаний, что обусловлено необходимостью воспроизводимости полученных результатов.

В итоге мы получили эмпирические зависимости интенсивности ледовой абразии образцов бетона трех составов Б1, Б2 и Б3 (рис. 2).

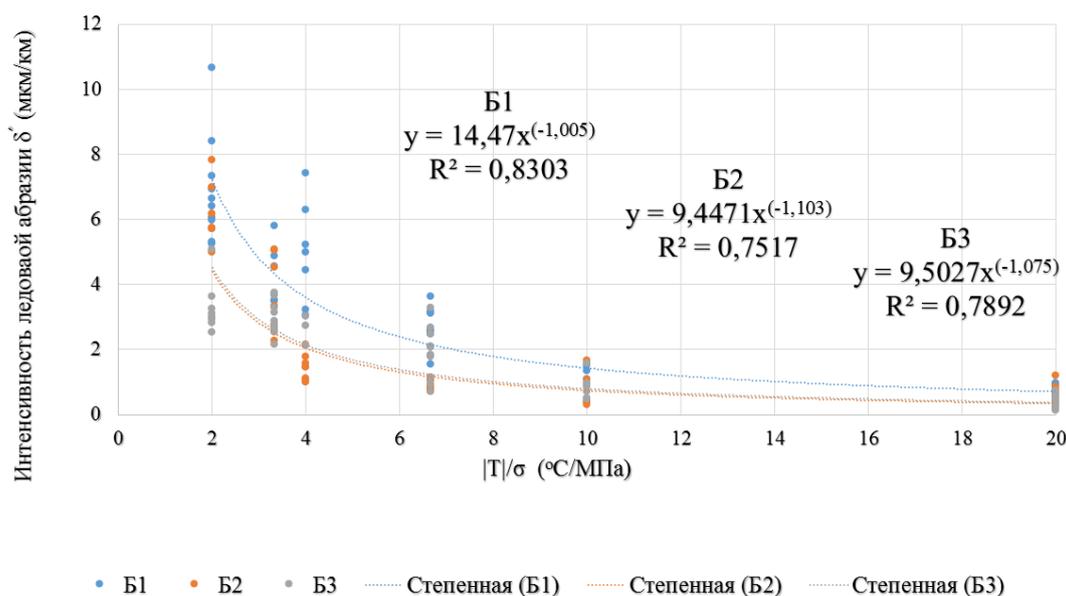
Эмпирические зависимости интенсивности ледовой абразии для составов бетонов Б1, Б2 и Б3 имеют следующий вид:

$$\text{Состав бетона Б1} \quad \delta' = 14.47(|T|/\sigma)^{-1,005} \quad (1)$$

$$\text{Состав бетона Б2} \quad \delta' = 9.4471(|T|/\sigma)^{-1,103} \quad (2)$$

$$\text{Состав бетона Б3} \quad \delta' = 9.5027(|T|/\sigma)^{-1,075} \quad (3)$$

где T – температура льда, °C;  $\sigma$  – контактное давление, МПа.



**Рис. 2. Эмпирические зависимости интенсивности ледовой абразии для составов бетонов Б1, Б2 и Б3. Здесь и далее рисунки авторов**

### Влияние конструкционных свойств бетона на сопротивление ледовой абразии

Оценка возможного влияния конструкционных свойств бетонов на интенсивность ледовой абразии, выполненная на основе корреляционного анализа данных (табл. 2), позволяет оценить тесноту их связи. В работе использовался парный коэффициент корреляции.

Таблица 2

#### Результаты корреляционного анализа

Характеристики бетона	$ T /\sigma$ 5/0,5	$ T /\sigma$ 5/1,5	$ T /\sigma$ 5/2,5	$ T /\sigma$ 10/0,5	$ T /\sigma$ 10/1,5	$ T /\sigma$ 10/2,5
$\rho$	-0,64657	-0,90045	-0,82842	-0,98992	-0,59262	-0,75900
Rсж	-0,65687	-0,89446	-0,82074	-0,99175	-0,60351	-0,76778
Rсж (призм)	-0,66565	-0,88916	-0,81399	-0,99318	-0,61280	-0,77523
Rраст	-0,38553	-0,98984	-0,95903	-0,90070	-0,32122	-0,52651
Rраск	-0,70105	-0,86593	-0,78487	-0,99767	-0,65040	-0,80494
E	-0,75017	-0,82802	-0,73863	-1,00000	-0,70296	-0,84525

Примечание.  $\rho$  – плотность бетона; Rсж – прочность на одноосное сжатие (28 сут); Rсж (призм) – призмочная прочность; Rраст – прочность на растяжение при изгибе; Rраск – прочность на растяжение при раскалывании; E – модуль упругости бетона; T – температура льда, °С;  $\sigma$  – контактное давление, МПа.

Проведенный корреляционный анализ позволяет сделать следующие выводы:

- наиболее тесная связь наблюдается между интенсивностью ледовой абразии и модулем упругости, далее, в порядке убывания, следуют прочность на растяжение при раскалывании, призмочная прочность, прочность на одноосное сжатие, плотность и, наконец, прочность на растяжение при изгибе;

- следует обратить внимание, что у всех показателей конструкционных свойств бетона наблюдается обратная связь с интенсивностью ледовой абразии, т.е. с увеличением этих показателей интенсивность ледовой абразии уменьшается.

Полученные выводы не противоречат физике исследуемого процесса. Однако определенные выше коэффициенты корреляции фактически фиксируют то, как тесно взаимосвязаны две переменные между собой, а не то, насколько сильно они взаимосвязаны.

Далее сформировано общее уравнение модели интенсивности ледовой абразии, которое можно записать в виде:

$$\delta' = K1 (|T| / \sigma)^{K2}, \tag{4}$$

где K1 и K2 – коэффициенты, которые являются функциональными зависимостями физико-механических характеристик бетона.

Функциональные зависимости коэффициентов K1 и K2 в модели интенсивности ледовой абразии, формула (4), полученные статистической обработкой данных физико-механических испытаний бетонов, представлены в табл. 3.

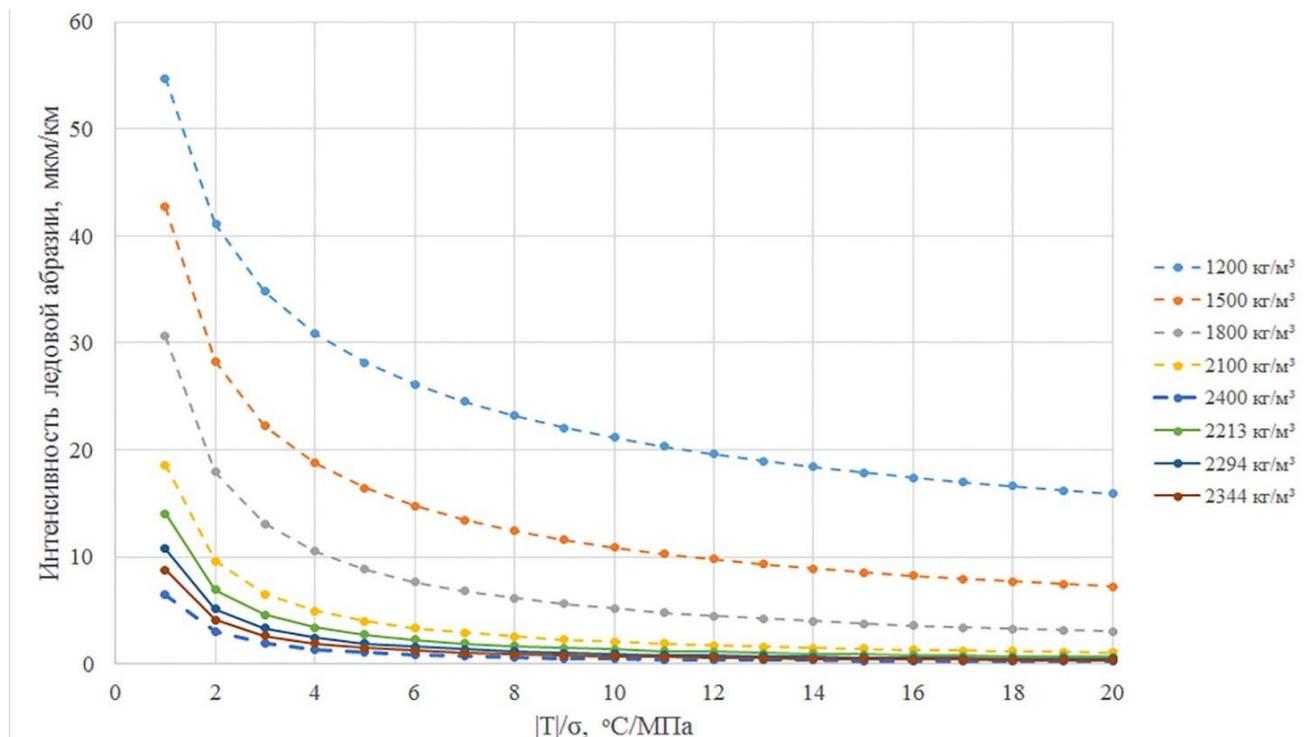
Таблица 3

**Функциональные зависимости коэффициентов в модели интенсивности ледовой абразии**

Параметры бетона	K1	K2
Плотность, ρ, кг/м <sup>3</sup>	K1 = -0,0402ρ + 103	K2 = -0,0006ρ + 0,307
Rсж (28 сут), МПа	K1 = -0,1253Rсж + 18,513	K2 = -0,0019Rсж - 0,9506
Rсж (призм), МПа	K1 = -0,1588Rпризм + 19,328	K2 = -0,0024Rпризм - 0,9379
R(раст) при изгибе, МПа	K1 = -1,0824Rраст + 18,5	K2 = -0,0139Rраст - 0,9663
R(раск), МПа	K1 = -2,8152Rраск + 22,307	K2 = -0,043Rраск - 0,8903
Модуль упругости, E, МПа	K1 = -0,0004E + 27,239	K2 = 0,000006E - 0,809

Данный подход, а именно определение функциональных зависимостей коэффициентов K1 и K2 в модели интенсивности ледовой абразии в соответствии с формулой (4) от физико-механических параметров бетона, позволяет оценить влияние каждого фактора на интенсивность ледовой абразии и, соответственно, выявить параметры изменения, которые могут повлиять на сопротивление бетона ледовой абразии.

По данным табл. 3 построены номограммы интенсивности ледовой абразии от конструктивных свойств бетонов (рисунки 3–8). Номограммы позволяют оценить интенсивность ледовой абразии в зависимости от заданных свойств бетона.



**Рис. 3. Номограмма интенсивности ледовой абразии от плотности бетона**

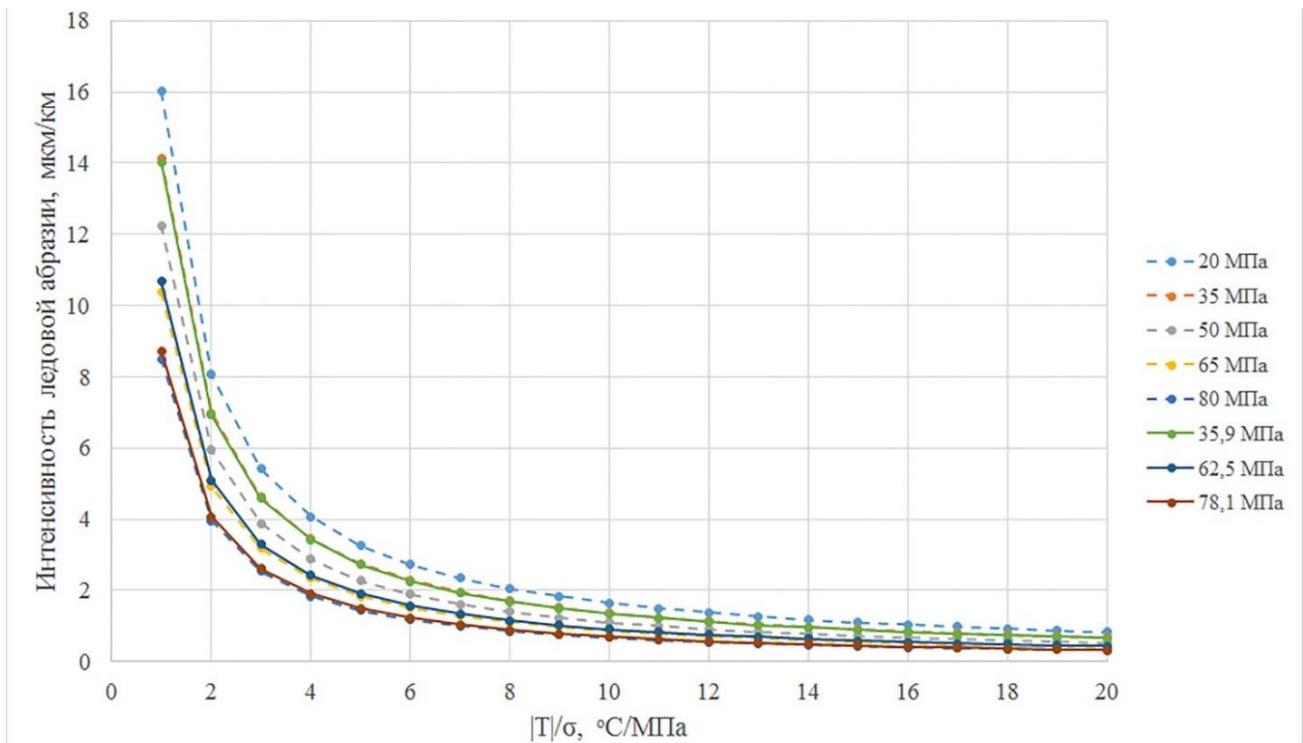


Рис. 4. Номограмма интенсивности ледовой абразии от прочности бетона на сжатие

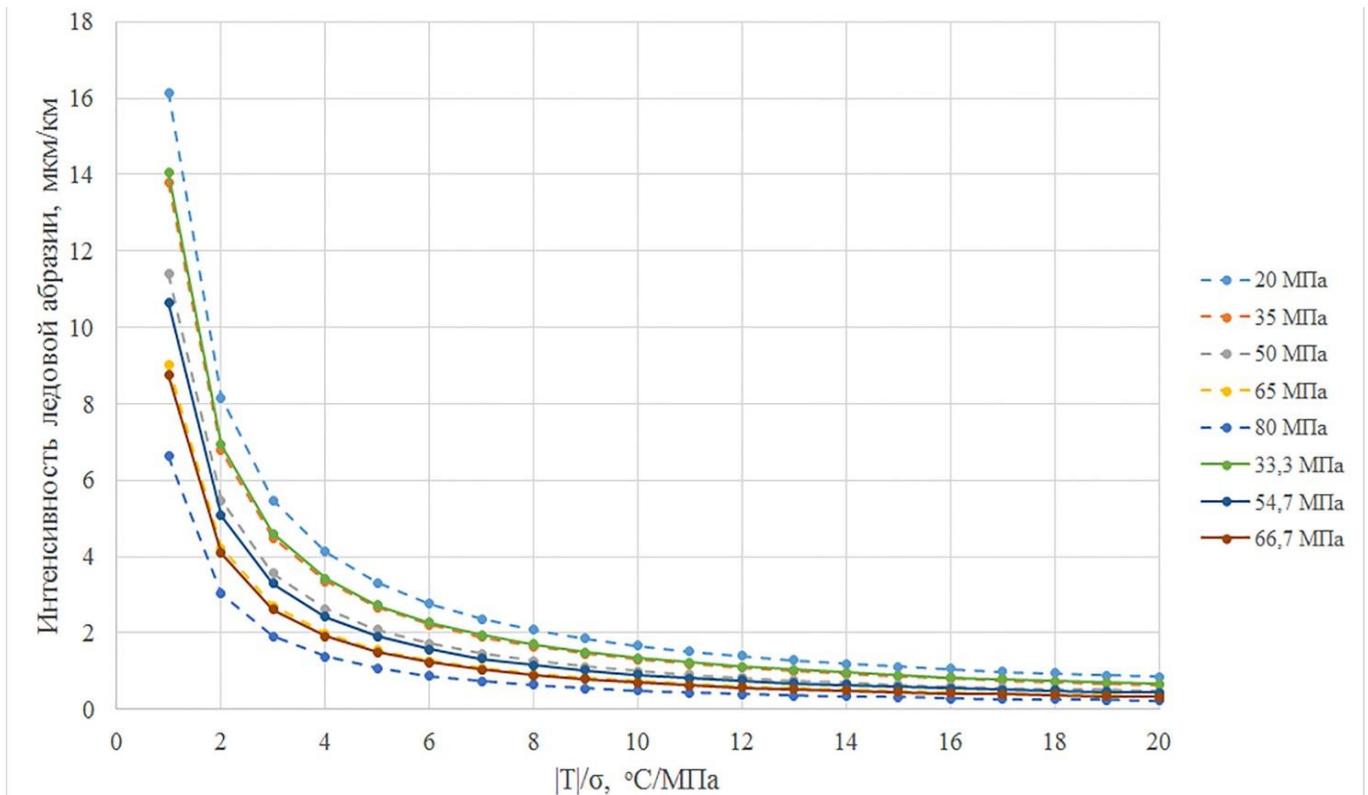


Рис. 5. Номограмма интенсивности ледовой абразии от призматической прочности бетона

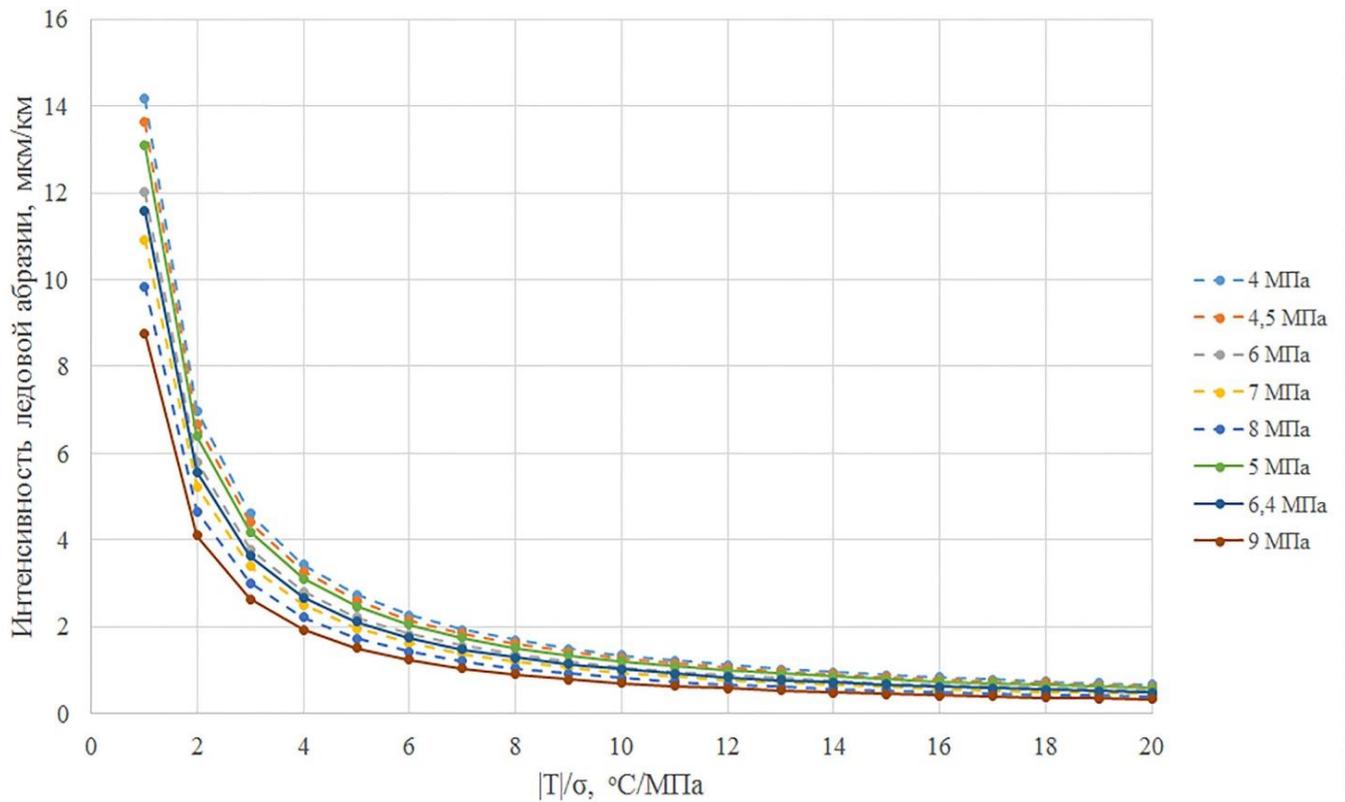


Рис. 6. Номограмма интенсивности ледовой абразии от прочности бетона на растяжение при изгибе

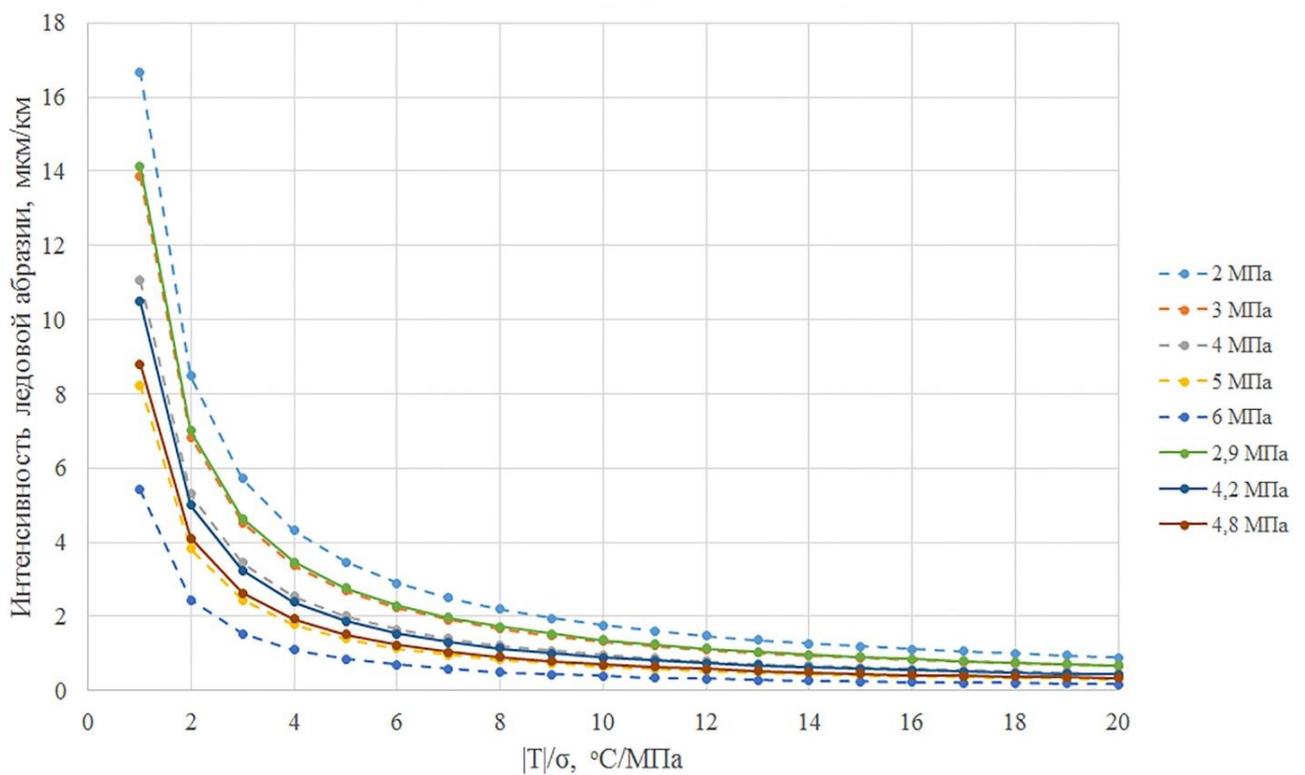
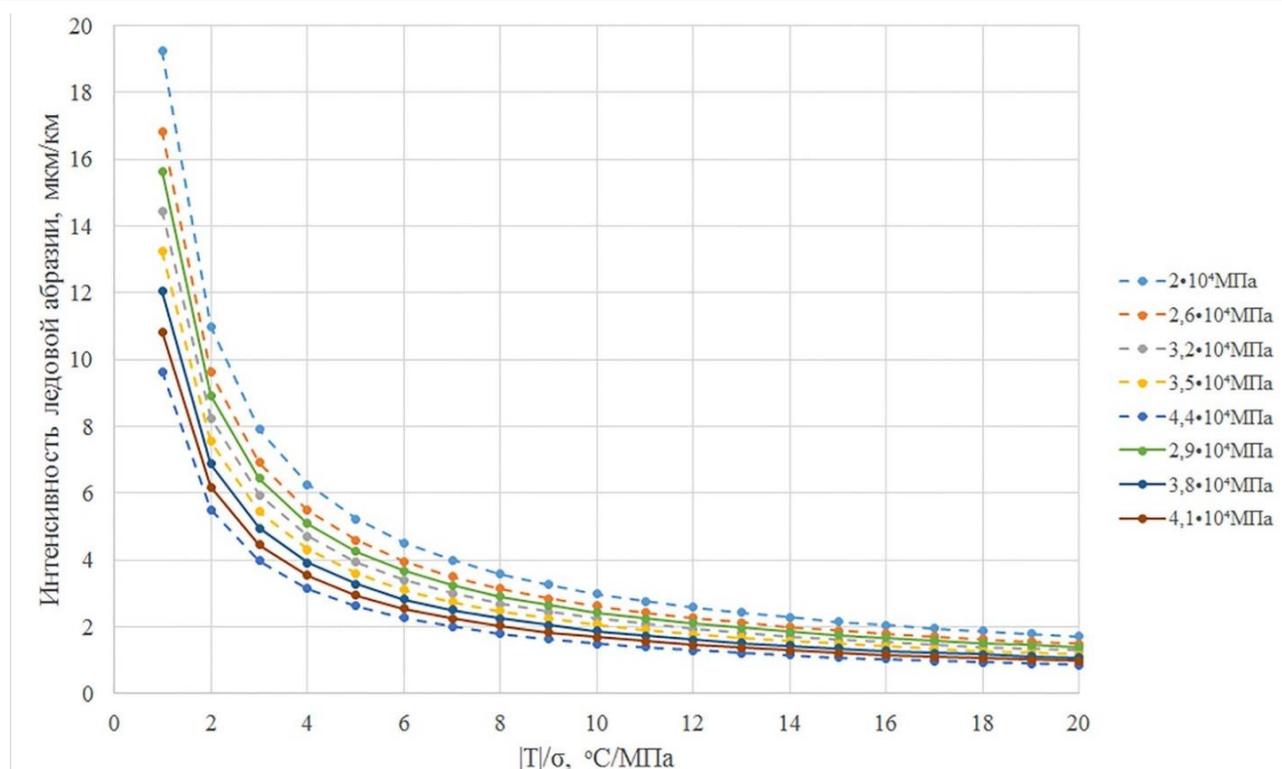


Рис. 7. Номограмма интенсивности ледовой абразии от прочности бетона на растяжение при раскалывании



**Рис. 8. Номограмма интенсивности ледовой абразии от модуля упругости бетона**

### Обсуждение результатов

Анализ результатов показывает, что интенсивность ледовой абразии обратно пропорциональна плотности, модулю упругости и прочностным свойствам бетона (прочности на одноосное сжатие, призматической прочности, прочности при изгибе, прочности при раскалывании). Наибольшее влияние оказывает плотность бетона, при этом влияние конструктивных его свойств в большей степени прослеживается при малых значениях  $|T|/\sigma$  (менее 6).

### Заключение

Полученные нами результаты показывают наличие связи сопротивления ледовой абразии с отдельными конструктивными свойствами бетона. Корреляционный анализ установил наиболее тесную связь между интенсивностью ледовой абразии и модулем упругости, далее, в порядке убывания, следуют прочность на растяжение при раскалывании, призматическая прочность, прочность на одноосное сжатие, плотность, а также прочность на растяжение при изгибе.

Практически у всех показателей конструктивных свойств бетона наблюдается обратная связь с интенсивностью ледовой абразии, т.е. с увеличением этих показателей интенсивность ледовой абразии уменьшается. Данные зависимости прослеживаются в существующих исследованиях процессов разрушения материала в результате абразионного воздействия льда.

В соответствии с результатами определения эмпирических зависимостей интенсивности ледовой абразии предложено общее уравнение модели интенсивности ледовой абразии, которое дает возможность связать параметры конструктивных свойств бетона с интенсивностью ледовой абразии.

В работе представлены номограммы интенсивности ледовой абразии от конструктивных свойств бетонов, которые позволяют дать предварительную оценку интенсивности ледовой абразии в зависимости от заданного свойства бетона и характеристик ледовых воздействий, а именно температуры льда, давления ледяного образования и длины пути истирания.

Полученные результаты могут быть применены на предварительных стадиях проектирования при определении требований к свойствам материалов бетонных конструкций.

Вклад авторов в статью: Т.Э. Уварова – общее руководство и статистическая обработка результатов исследований по ледовой абразии; П.В. Анохин – организация и проведение всех экспериментальных исследований; А.Т. Беккер – постановка задачи; Е.Е. Помников – планирование, организация и проведение экспериментальных исследований, расчет эмпирических моделей интенсивности ледовой абразии; Н.С. Назаренко – формирование номограммы сопротивления бетона ледовой абразии в зависимости от физико-механических свойств, обработка результатов испытаний.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беккер А.Т., Уварова Т.Э., Помников Е.Е., Фарафонов А.Э., Тютрин Р.С. Экспериментальное исследование сопротивления бетона ледовой абразии // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № S4-9. С. 30–39.
2. Вдовин А.А. Механика проявления конструктивных свойств бетона арктическая и субарктическая зона: магистер. дис. / Дальневост. федерал. ун-т. Владивосток, 2017. 71 с.
3. Вершинин С.А., Зуев Н.Д., Шунько Н.В. Исследование истирания бетона сооружений континентального шельфа // Вестник МГСУ. 2011. № 5. С. 81–87.
4. ГОСТ 10060-2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости. Введ. 2014-01-01. М.: Стандартиформ, 2014. 18 с
5. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Введ. 2013-07-01. М.: Стандартиформ, 2013. 30 с
6. ГОСТ 12730.1-78. Бетоны. Методы определения плотности. Введ. 1980-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1987. 6 с.
7. ГОСТ 12730.5-84. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости. Введ. 1985-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1984. 11 с.
8. ГОСТ 24452-80. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона. Введ. 1982-01-01. М.: Стандартиформ, 2005. 12 с.
9. Макарова Н.В., Баскакова Н.С., Исследование влияния состава бетонных смесей на сопротивление бетона истиранию // Вологдинские чтения. 2005. № 48. С. 47–48.
10. Мкртчян А.М., Аксенов В.Н., Маилаян Д.Р., Блягоз А.М., Сморгунова М.В. Особенности конструктивных свойств высокопрочных бетонов // Новые технологии. 2013. № 3. С. 135–143.
11. Назаренко Н.С. Влияние конструктивных свойств бетона на ледовую абразию: магистер. дис. / Дальневост. федерал. ун-т. Владивосток, 2018. 86 с.
12. Уварова Т.Э. Истирающее воздействие дрейфующего ледяного покрова на морские гидротехнические сооружения: дис. ... д-ра техн. наук / Дальневост. федерал. ун-т. Владивосток, 2014. 271 с.
13. Уварова Т.Э., Помников Е.Е. Аналитический обзор методик испытаний различных материалов на сопротивление ледовой абразии // Научное обозрение. 2012. № 5. С. 112–121.
14. Чебоксаров В.В., Коровин С.Е. Исследование различных схем истирания бетона при трении о лед // Вологдинские чтения. 2007. № 65. С. 41–42.
15. Bekker A.T., Gomolskiy S.G., Sabodash O.A., Kovalenko R.G., Uvarova T.E., Pomnikov E.E., Prytkov I.G., Anokhin P. Physical and mechanical properties of modeling ice for investigation of abrasion process on ice resistance offshore platforms. Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference, ISOPE-2010. Beijing, 2010, p. 1231–1237.
16. Bekker A.T., Uvarova T.E., Pomnikov E.E., Farafonov A.E., Prytkov I.G., Tyutrin R.S. Experimental study of concrete resistance to ice abrasion. Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference. Maui, 2011, p.1044–1047.
17. Hanada M., Ujihira M., Hara F., Saeki H. Abrasion Rate of Various Materials Due to the Movement of Ice Sheets. Proceedings of the 6<sup>th</sup> Intern. Offshore and Polar Engineering Conf. (ISOPE). Los Angeles, USA, 1996.
18. Itoh Y., Tanaka Y., Saek H., Study on the Prediction Method of Abrasion Depth of Concrete Marine Structures due to Ice Movements. Proceedings of Civil Engineering in the Ocean. 1988, vol. 7, p. 221–225.
19. Jacobsen S., Sistonen E., Huovinen S. et al. Ice Abrasion, Frost, De-Ice Salt Scaling and Reinforcement Corrosion on Concrete Structures: Interaction and Service-life CONSEC'07, Concrete under severe conditions: Environment and loading. Tours, France, 2007, p.1137–1152.
20. Saeki H., Asai Y., Izumi K., Takeuchi T. Study on the Abrasion of Concrete due to Sea Ice Movements. Proceedings of Civil Engineering in the Ocean. 1985, vol. 1, p. 68–73.

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2021-1-11>

Uvarova T., Anokhin P., Bekker A., Pomnikov E., Nazarenko N.

TATYANA UVAROVA, Doctor of Engineering Science, Professor, SPIN: 6005-1621,

ResearcherID: G-7681-2016, ORCID: [orcid.org/0000-0002-9147-5145](http://orcid.org/0000-0002-9147-5145),

ScopusID: 7003267351, [searay@yandex.ru](mailto:searay@yandex.ru)

PAVEL ANOKHIN, Researcher, [anokhin.pv@dvfu.ru](mailto:anokhin.pv@dvfu.ru),

ALEXANDER BEKKER, Doctor of Engineering Science, Professor,

ResearcherID: AAB-8482-2020, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2899-7995>,

ScopusID: 35610298200, [bekker.at@dvfu.ru](mailto:bekker.at@dvfu.ru)

EGOR POMNIKOV, Candidate of Engineering Sciences, Professor Department,

[pomnikov.ee@dvfu.ru](mailto:pomnikov.ee@dvfu.ru)

NIKITA NAZARENKO, Postgraduate Student (Corresponding Author), [nazarenko\\_nse@dvfu.ru](mailto:nazarenko_nse@dvfu.ru)

Polytechnic Institute,

*Far Eastern Federal University*

Vladivostok, Russia

### **Influence of physical and mechanical properties of concrete on its resistance to ice abrasion**

**Abstract:** Concrete is a promising material for construction of offshore ice-resistant structures in the Arctic seas. The reliability and durability of concrete structures are determined by the operating environment and its parameters. One of the most critical parameters is concrete abrasion, which is the least studied phenomenon, that at the same time has a significant impact on the durability of such structures. The authors present a study (experiment and modeling) of concrete properties that affect its resistance to abrasion from the action of ice formations. The course and results of experiments with concrete samples to determine the parameters of their structural properties are presented. The primary characteristics of concretes are ranked according to the tightness of connection with the intensity of ice abrasion. The general model of the intensity of ice abrasion is proposed, nomograms of the dependence of the intensity of ice abrasion on various properties of concrete are presented.

**Keywords:** concrete, concrete abrasion, concrete durability, ice impact

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

### REFERENCES

1. Bekker A.T., Uvarova T.E., Pomnikov E.E., Farafonov A.E., Tyutrin R.S. Experimental study of the resistance of concrete to ice abrasion. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2014(S4-9):30–39.
2. Vdovin A.A. Mechanics of the manifestation of the structural properties of concrete arctic and sub-arctic zone, magister. dis. Vladivostok, FEFU, 2017. 71 p.
3. Vershinin S.A., Zuev N.D., Shunbko N.V. Investigation of the abrasion of concrete structures on the continental shelf. *Vestnik MGSU*. 2011(5):81–87.
4. GOST 10060-2012 Concrete. Methods for determining frost resistance. Enter. 2014-01-01. M., Standartinform., 2014, 18 p.
5. GOST 10180-2012 Concrete. Methods for determining the strength of control samples. Enter. 2013-07-01. M., Standartinform, 2013, 30 p.
6. GOST 12730.1-78 Concrete. Density determination methods. Enter. 1980-01-01. M., Publishing house of standards, 1987, 6 p.
7. GOST 12730.5-84 Concrete. Methods for determining water resistance. Enter. 1985-07-01. M., Publishing house of standards, 1984, 11 p.
8. GOST 24452-80 Concrete. Methods for determining prismatic strength, modulus of elasticity and Poisson's ratio. Enter. 1982-01-01. M., Standartinform, 2005, 12 p.

9. Makarova N.V., Baskakova N.S. Investigation of the influence of the composition of concrete mixtures on the resistance of concrete to abrasion. *Vologdinskiye Chteniya*. 2005(48):47–48 p.
10. Mkrtchyan A.M., Aksenov V.N., Mayilyan D.R., Blyagoz A.M., Smorgunova M.V. Features of the structural properties of high-strength concretes. *New Technologies*. 2013(3):135–143.
11. Nazarenko N.S. The influence of the structural properties of concrete on ice abrasion: master's thesis. Vladivostok, FEFU, 2018, 86 p.
12. Uvarova T.E. Abrasive effect of drifting ice cover on offshore hydraulic structures: dissertation of Dr. Tech. Sciences. Vladivostok, 2014, 271 p.
13. Uvarova T.E., Pomnikov E.E. Analytical review of methods for testing various materials for resistance to ice abrasion. *Scientific Review*. 2012(5):112–121.
14. Cheboksarov V.V., Korovin S.E. Investigation of various schemes of concrete abrasion during friction against ice. *Vologdinskiye Chteniya*. 2007(65):41–42 p.
15. Bekker A.T., Gomolskiy S.G., Sabodash O.A., Kovalenko R.G., Uvarova T.E., Pomnikov E.E., Prytkov I.G., Anokhin P. Physical and mechanical properties of modeling ice for investigation of abrasion process on ice resistance offshore platforms. *Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference, ISOPE-2010*. Beijing, 2010, p. 1231–1237.
16. Bekker A.T., Uvarova T.E., Pomnikov E.E., Farafonov A.E., Prytkov I.G., Tyutrin R.S. Experimental study of concrete resistance to ice abrasion. *Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference*. Maui, 2011, p.1044–1047.
17. Hanada M., Ujihira M., Hara F., Saeki H. Abrasion Rate of Various Materials Due to the Movement of Ice Sheets. *Proceedings of the 6th Intern. Offshore and Polar Engineering Conf. (ISOPE)*. Los Angeles, USA, 1996.
18. Itoh Y., Tanaka Y., Saek H., Study on the Prediction Method of Abrasion Depth of Concrete Marine Structures due to Ice Movements. *Proceedings of Civil Engineering in the Ocean*. 1988, vol. 7, p. 221–225.
19. Jacobsen S., Sistonen E., Huovinen S. et al. Ice Abrasion, Frost, De-Ice Salt Scaling and Reinforcement Corrosion on Concrete Structures: Interaction and Service-life CONSEC'07, Concrete under severe Conditions: Environment and loading. Tours, France, 2007, p.1137–1152.
20. Saeki H., Asai Y., Izumi K., Takeuchi T. Study on the Abrasion of Concrete due to Sea Ice Movements. *Proceedings of Civil Engineering in the Ocean*. 1985, vol. 1, p. 68–73.