

Опыт автоматизированного расчета параметров льда и ледовых нагрузок на гидротехнические сооружения

Авторы: Горгуца Р.Ю., к.т.н., генеральный директор*,
Герцев П.С., начальник отдела*,
Миронов М.Е., д.т.н., проф., главный специалист*

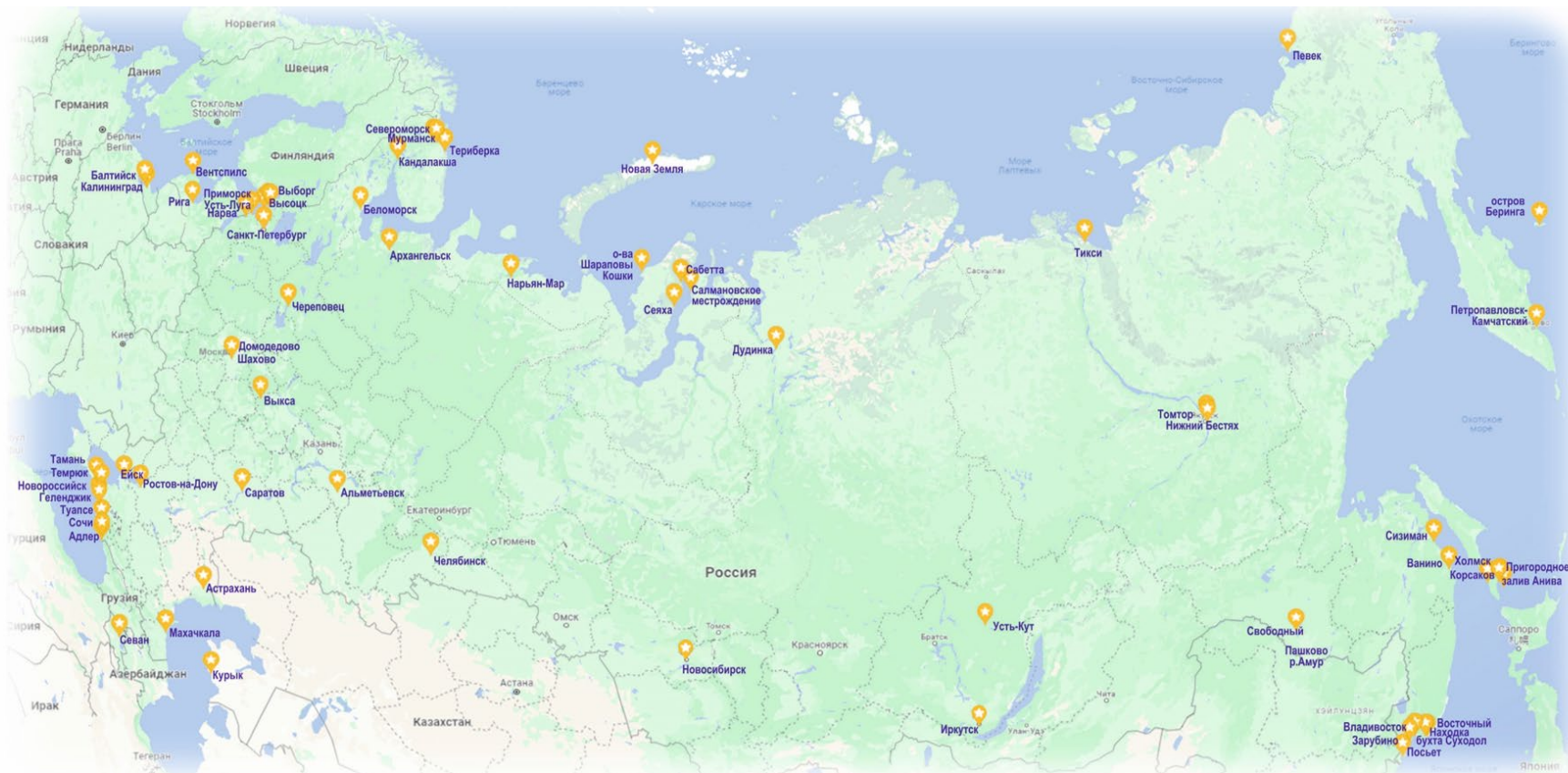
* ООО «Морстройтехнология» (МСТ), г. Санкт-Петербург, Россия

- **ООО «Морстройтехнология»** специализируется на исследованиях и проектировании в области морского транспорта, главным образом, морских портов и терминалов, гидротехнических сооружений, мультимодальных логистических центров и других объектов транспортной инфраструктуры.
- В среднем компания ведет порядка **30-40 проектов** по всей России и получает **6-8 положительных заключений** Главгосэкспертизы в год.

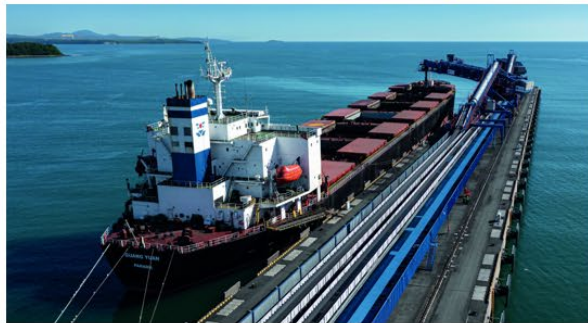
Наши сотрудники:

Всего в штате **более 160 человек**,
из них:

- 1 академик
- 2 доктора наук
- 7 кандидатов наук
- В компании работают выпускники 48 различных ВУЗов
- 26 сотрудника компании закончили ВУЗы с отличием
- 5 сотрудников имеют государственные награды



Морской порт «Суходол»
(Дальний Восток)



Глубоководный причал №38
в морском порту Новороссийск



Морской порт Восточный



Транспортно-перегрузочный
комплекс Ванино ТрансУголь



Международный центр
морских перевозок в г. Сочи



Терминал сжиженного
природного газа в порту Высоцк



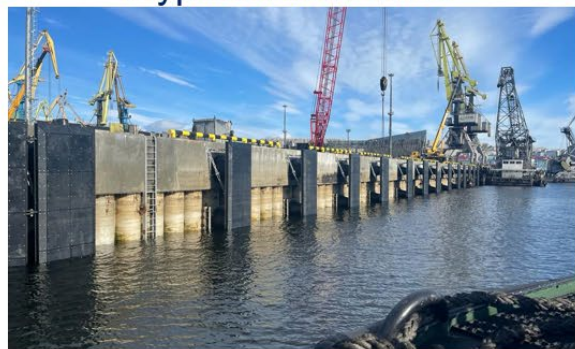
Универсальный перегрузочный комплекс АО «НСПЗ»



Перегрузочный комплекс в порту Находка



Реконструкция причала №2 Мурманского МТП



Терминал минеральных удобрений в порту Усть-Луга



Балкерный терминал «Дальтрансуголь» (порт Ванино)



Контейнерный терминал «Запад» (Фрейт Вилладж Калуга)

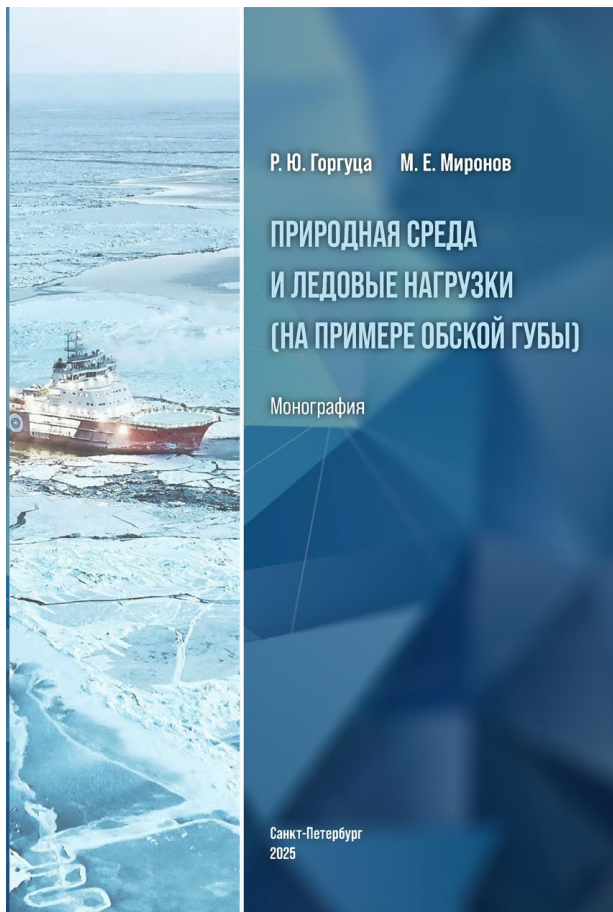


Нами разработана технология математического моделирования характеристик природной среды, позволяющая обоснованно определять характеристики метеорологического, ледового и др. режимов в проектных целях, а также рассчитывать ледовые нагрузки на ГТС, путем введения изменений к требованиям действующего нормативного документа [СП 38.13330].

Эти изменения затрагивают как нормативные методики по назначению расчетных характеристик метеорологического и ледового режима, так и методики по определению ледовых нагрузок на различные ГТС.

Для расчетов разработана серия программ в среде *Microsoft Excel*, и они являются удобным инструментом для документирования, сопоставления и графического оформления информации. Математический и статистический аппараты программ позволяют производить сложные режимные расчеты для анализа изменчивости характеристик за различные временные отрезки.

С помощью электронных таблиц *Excel* вычисления могут выполняться по стандартным или специально разработанным расчетным формулам и функциям прямо в рабочем листе с возможностью наглядного пошагового контроля наличия ошибок в расчетах.



ОБСКАЯ ГУБА:

ПРИРОДНАЯ СРЕДА И ЛЕДОВЫЕ НАГРУЗКИ

Горгуца Р.Ю., Миронов, М.Е.

Обская губа: Природная среда и ледовые нагрузки [Электронный ресурс]: [пособие по проектированию] / Р.Ю. Горгуца, М.Е. Миронов; ООО «Морстройтехнология» — Электрон. дан. и прог. (10 Мб). Санкт-Петербург, 2024.

В научно-справочном пособии приведены сведения о технологии и результатах математического моделирования элементов метеорологического и ледового режима при проектировании гидротехнических сооружений в Обской губе Карского моря. Рассмотрены примеры верификации математических моделей натурными и лабораторными данными, продемонстрированы примеры расчета элементов метеорологического и ледового режима, ледовых нагрузок для Обской губы с использованием конкретных условий для различных сооружений.

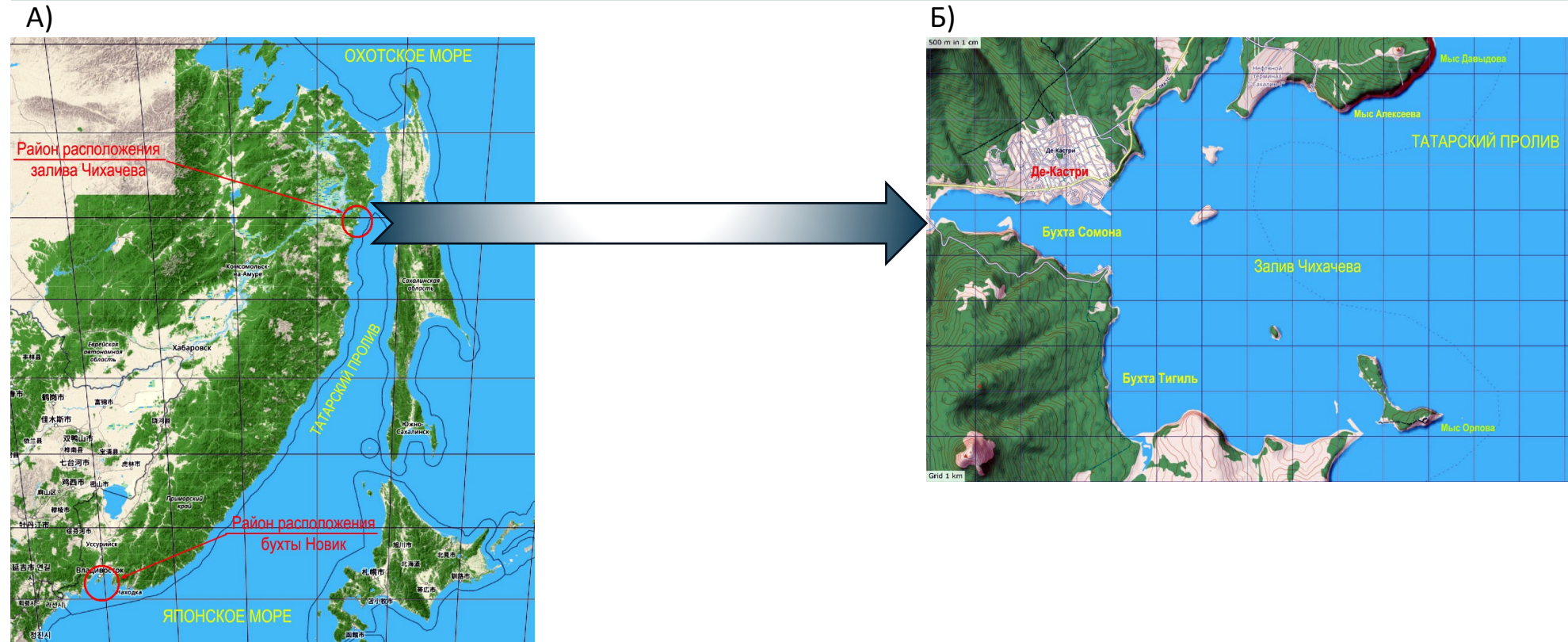
Пособие предназначено для инженерно-технических работников, занятых строительством в водной среде в условиях Арктики.

В настоящее время сжиженный природный газ (СПГ) получил мировое признание как наиболее экологически чистое топливо.

Значительный прогресс может быть достигнут за счет устойчивого производства сжиженного природного газа (СПГ) на замерзающих акваториях, прилегающих к РФ, по следующим причинам:

- ❖ **Низкие расходы на производство.** При пониженных температурах воздуха для охлаждения газа в Арктике и на Дальнем Востоке требуется меньше энергии, чем в большинстве районов мирового производства СПГ;
- ❖ **Привлекательная логистика.** Арктические и дальневосточные месторождения расположены ближе к ключевым рынкам в Северном полушарии Земли, что позволяет доставлять СПГ к потребителям с меньшими издержками;
- ❖ **Экологический эффект.** Производство СПГ в Арктике и на Дальнем Востоке позволяет снизить выбросы парниковых газов при условии использования современных энергоэффективных технологий.

Залив Чихачева – район возможного расположения Терминала СПГ



Обзорная схема Татарского пролива (А) и
залива Чихачева (Б)

Индекс замерзания и толщина льда

Основной обобщающей характеристикой ледового режима для замерзающих акваторий в соответствии с общепринятой инженерной практикой является индекс замерзания (сумма градусодней мороза) CD , °C, определяемый по формуле

$$CD = FD - K_{FT}TD, \quad (1)$$

где FD – индекс отрицательных температур, °C; TD – индекс положительных температур, °C; K_{FT} – коэффициент, определяемый по данным обработки результатов натурных наблюдений за толщиной льда на ближайшем гидрологическом посту с достаточно продолжительным периодом ледовых измерений. Для определения индексов отрицательных FD и положительных TD температур должны использоваться формулы:

$$FD = \sum_{D_S}^{D_E} (T_0 - T_{AF}), \quad (2)$$

$$TD = \sum_{D_S}^{D_E} (T_{AT} - T_0^*), \quad (3)$$

где T_0 и T_0^* – температуры замерзания воды и таяния льда, соответственно, °C; T_{AF} и T_{AT} – среднесуточные температуры воздуха ниже точки замерзания воды и выше точки таяния льда, соответственно, принимаемые, например, по данным измерений на станциях государственной наблюдательной сети, °C; D_S и D_E – даты устойчивого перехода температуры через 0°C осенью и весной.

Толщина льда h_d определяется по следующей формуле

$$h_d = A\sqrt{0,9CD - B}, \quad (4)$$

где **A** и **B** – коэффициенты, принимаемые по итогам сопоставления результатов расчетов с данными натурных измерений толщин льда на выбранной станции.

Прочность льда по российскому своду правил [СП 38.13330] определяется путем статистической обработки данных измерений пределов прочности льда для образцов с определенными размерами. Однако определение физико-механических характеристик льда, в том числе, прочности льда, не входит в состав стандартных ледовых наблюдений, осуществляемых на береговых гидрометеорологических станциях.

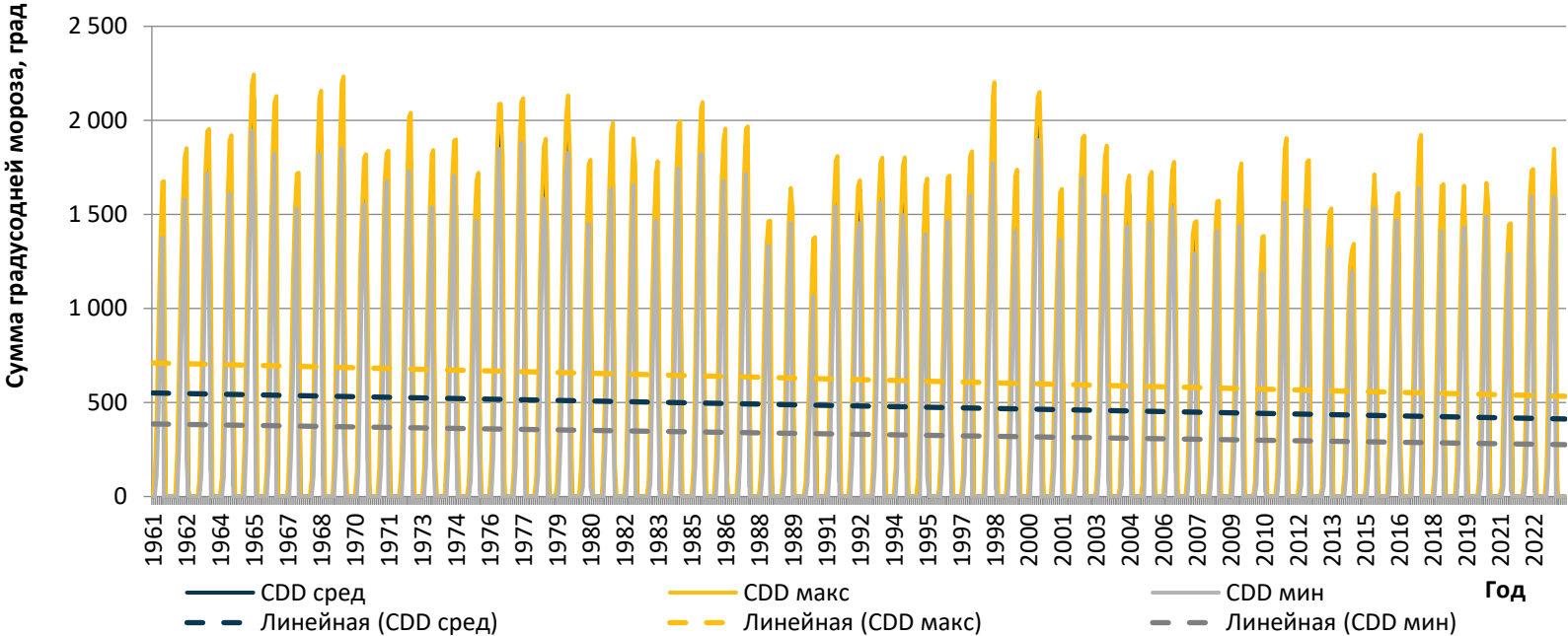
В связи с отсутствием данных измерений прочности льда в период ледовых воздействий в соответствии с нормами за исходные данные принимаются значения параметров, полученные расчетом по гидрометеорологическим условиям местности, соответствующие заданной вероятности превышения.

Пределы прочности льда при сжатии R_c , МПа, определены по следующей формуле

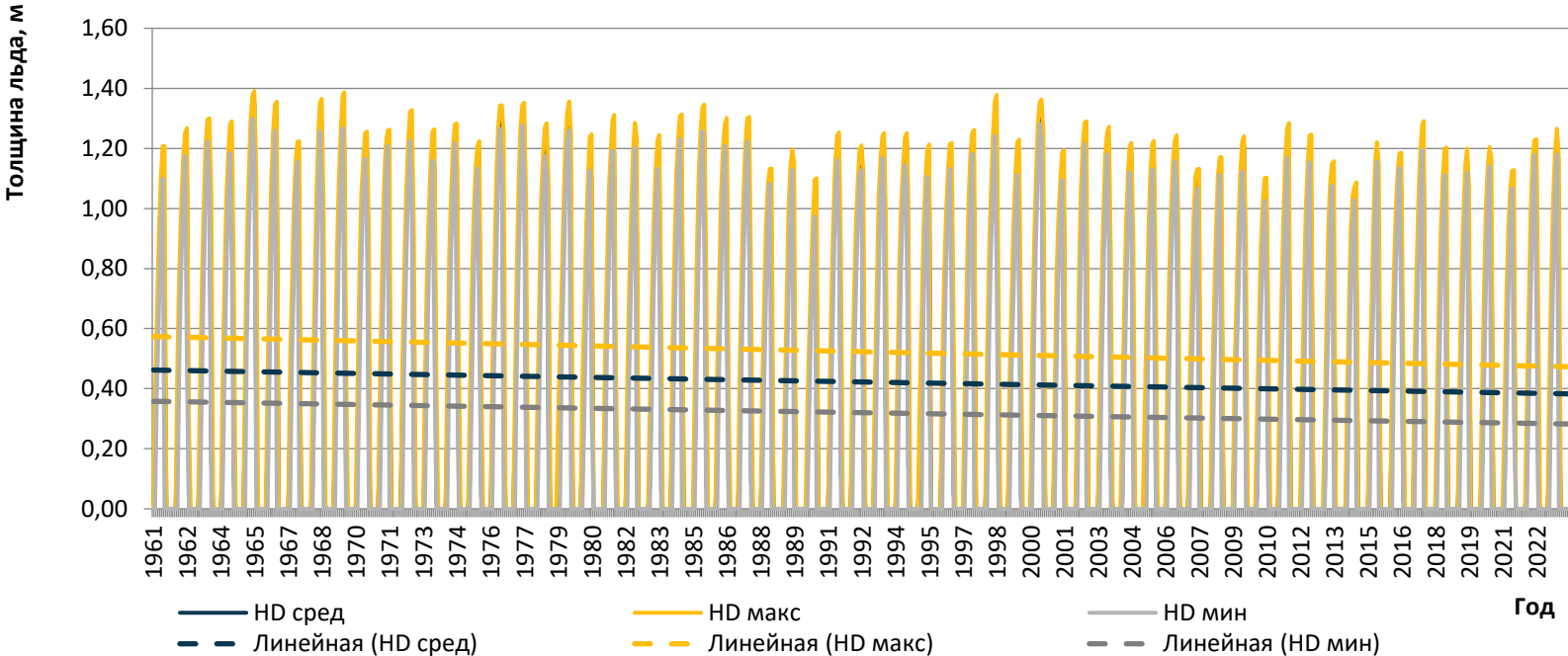
$$R_c = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i^2}, \quad (5)$$

где N – количество слоев одинаковой толщины, на которое разбивается (по толщине) рассматриваемое ледяное поле, при этом $N \geq 3$; C_i – значение прочности льда на одноосное сжатие, МПа, в i -ом слое, принимаемое по табл. 15 норм [СП 38.13330].

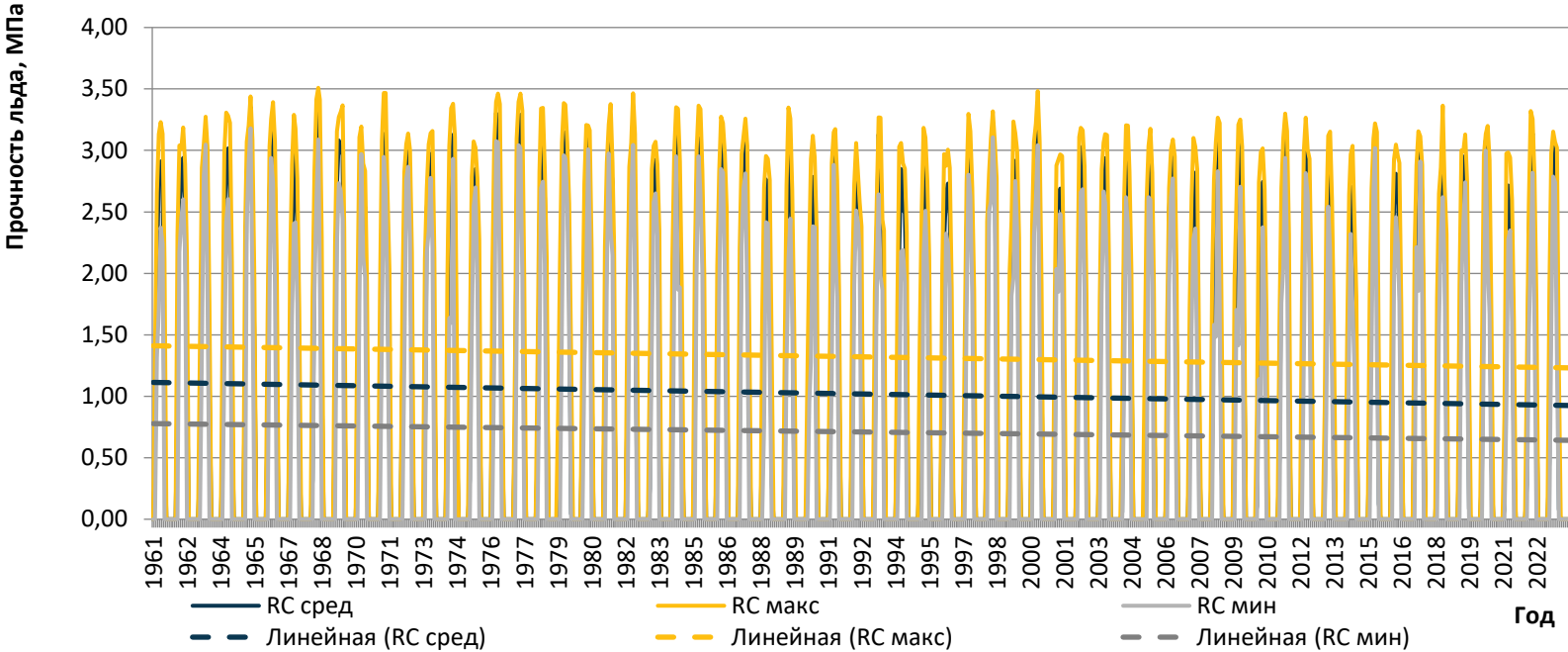
Число	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Средние значения (10.1961 - 9.2024)												
Средн.	912	1419	1778	1479	93	0	0	0	0	0	61	378
Абсолютные экстремумы (10.1961 - 9.2024)												
Выш.	1402	1939	2200	2245	1786	0	0	0	0	38	268	855
Низш.	366	669	1065	0	0	0	0	0	0	0	0	51



Число	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Средние значения (10.1961 - 9.2024)												
Средн.	0,90	1,11	1,24	1,09	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,60
Абсолютные экстремумы (10.1961 - 9.2024)												
Выш.	1,11	1,30	1,38	1,39	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,53	0,88
Низш.	0,60	0,78	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31



Число	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Средние значения (10.1961 - 9.2024)												
Средн.	2,96	3,01	2,55	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	2,35
Абсолютные экстремумы (10.1961 - 9.2024)												
Выш.	3,47	3,51	3,41	2,57	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89	2,38	3,16
Низш.	1,27	1,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75



Период становления припая (октябрь-ноябрь)

- толщина и прочность ледяных полей в заливе Чихачева таковы, что их движения практически не ограничены из-за отсутствия прочной связи с берегом и быстрой реакции на действие ветра;

Период неподвижного припая (декабрь-март)

- массовые движения ледяных полей практически невозможны из-за наличия прочной связи припая с берегом и пренебрежимо малой реакции на действие ветра при колебаниях уровня воды;
- в связи с отсутствием зимнего судоходства в припае у берегов залива Чихачева появление полос тонкого льда в виде замерзших трещин и судоходных фарватеров, в направлении которых возможны смещения окруженных этими трещинами и фарватерами ледяных полей, маловероятно;

Период разрушения припая (апрель-май)

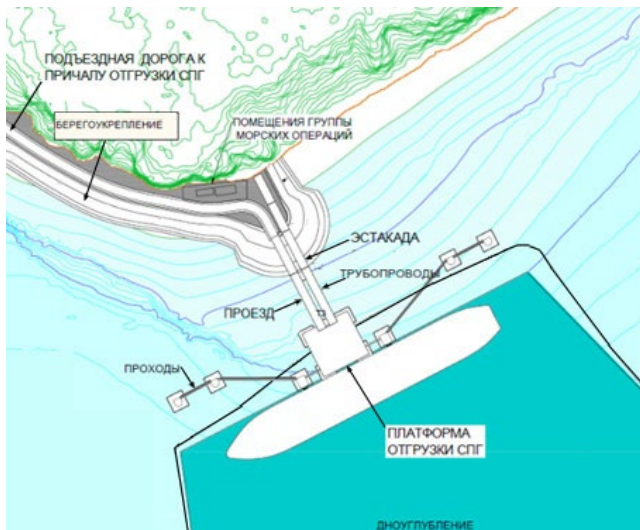
- имеет место давление расположенных в центральной части залива Чихачева дрейфующих льдов на припай у берегов;
- скачки температуры наружного воздуха приводят к термическим деформациям, усиливающим напряжения в припае;
- приведенные факторы способствуют отрыву припая от берегов залива Чихачева с последующим движением ледяных полей в произвольном направлении.

Обеспеченные толщины льда H_d , м

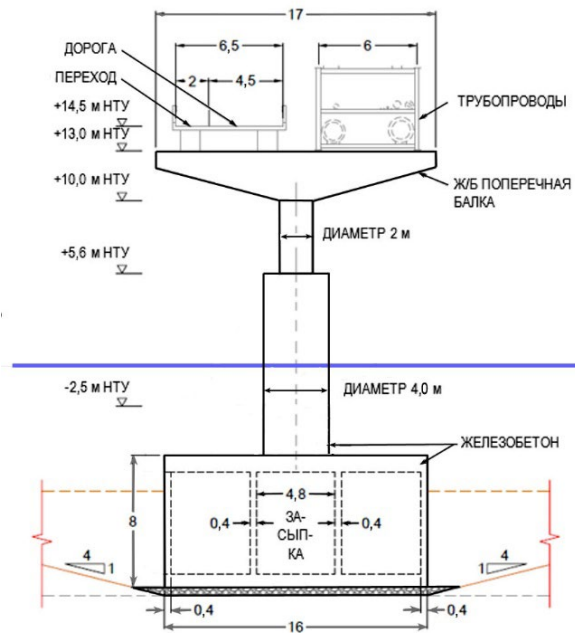
Вероятность p , %	Окт	Ноя	Дек	Янв	Фев	Мар	Апр	Май
0,1	0,44	0,60	0,93	1,14	1,34	1,44	1,47	1,98
1	0,18	0,56	0,89	1,12	1,30	1,40	1,42	1,57
10	0,01	0,50	0,82	1,07	1,24	1,33	1,34	1,04
50	0,00	0,42	0,74	1,01	1,16	1,26	1,25	0,45

Обеспеченные прочности льда R_c , МПа

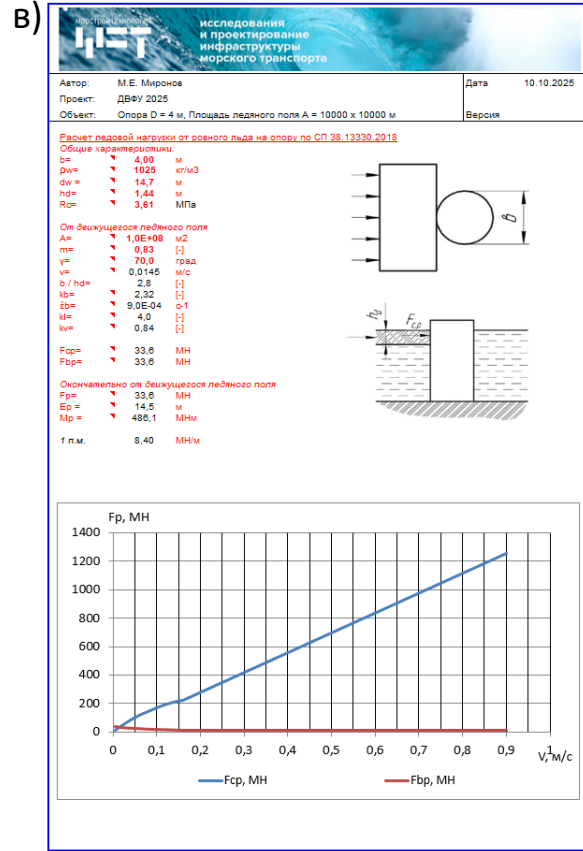
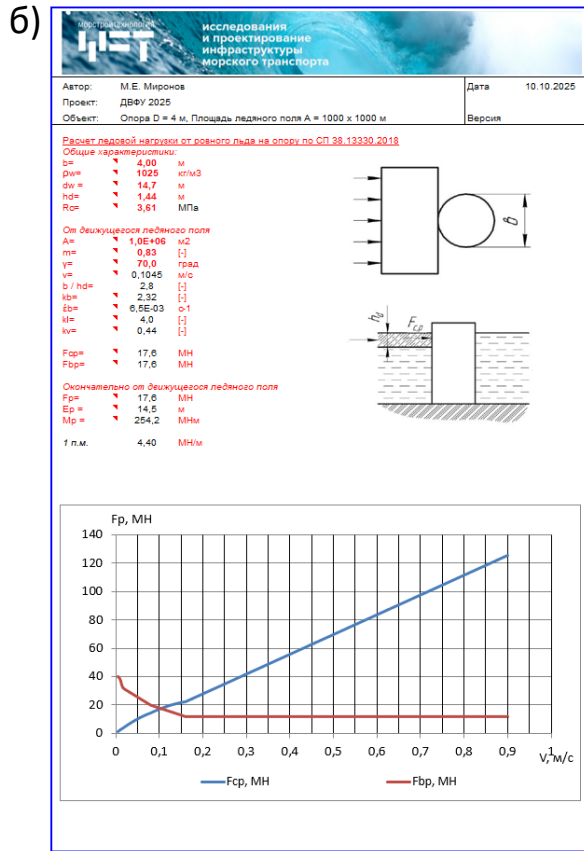
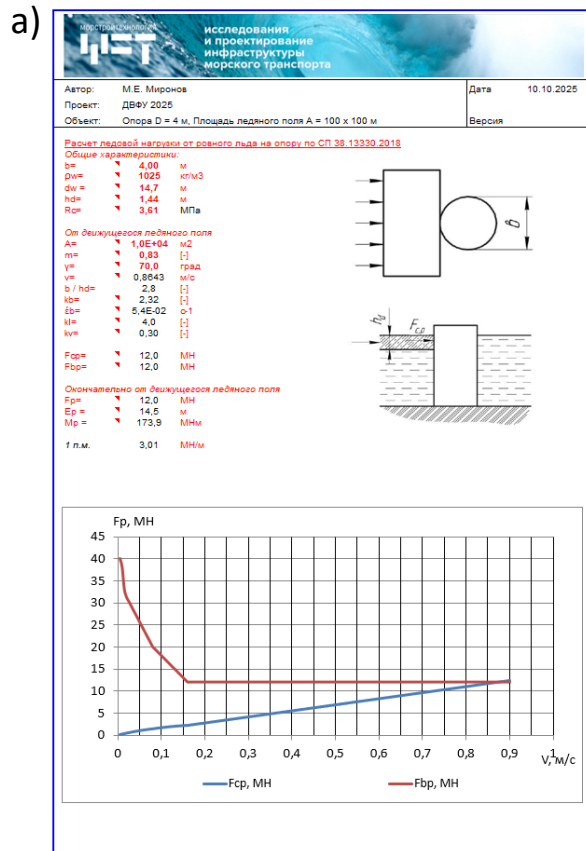
Вероятность p , %	Окт	Ноя	Дек	Янв	Фев	Мар	3,47	Май
0,1	1,31	2,72	3,29	3,63	3,68	3,61	2,92	2,03
1	0,55	2,53	3,21	3,51	3,57	3,44	2,69	0,85
10	0,04	2,22	3,07	3,35	3,41	3,21	2,38	0,06
50	0,00	1,77	2,85	3,16	3,20	2,98	1,97	0,00



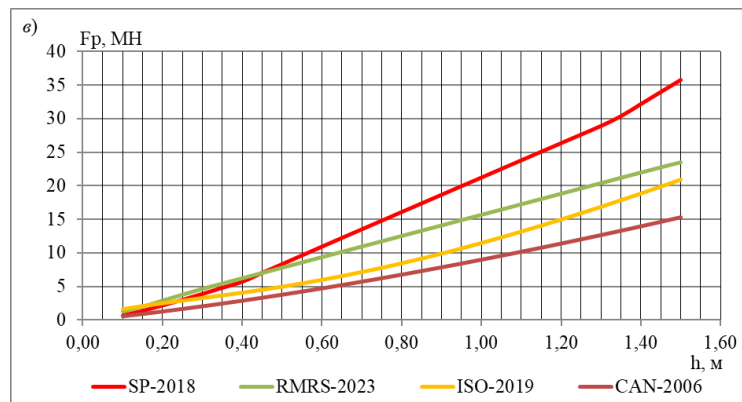
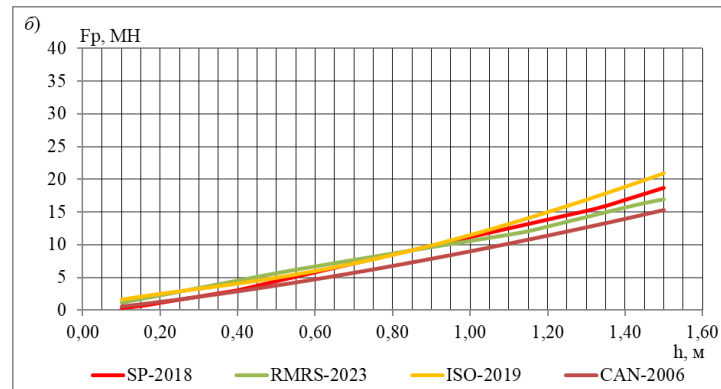
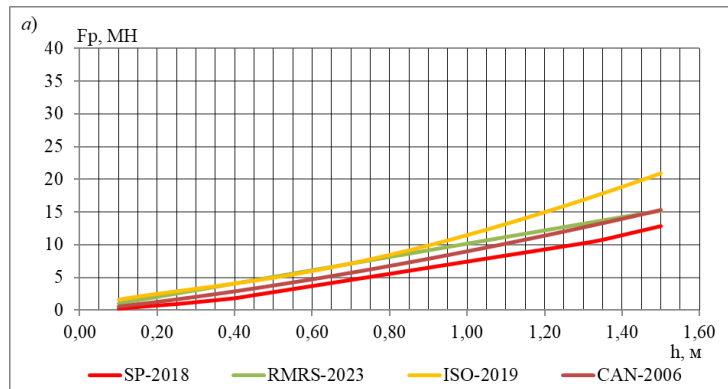
Плановая схема технологического причала СПГ



Типовое сечение опоры эстакады

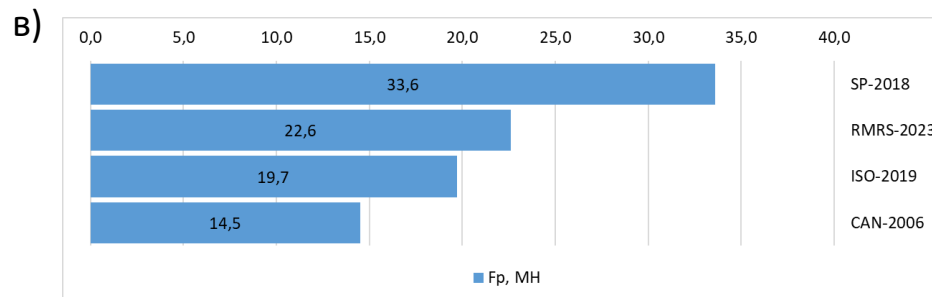
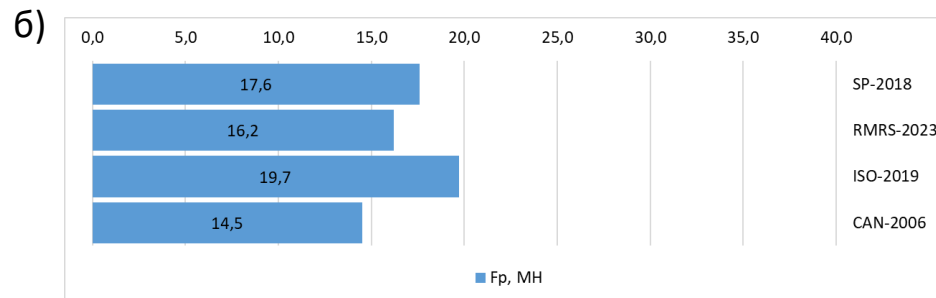
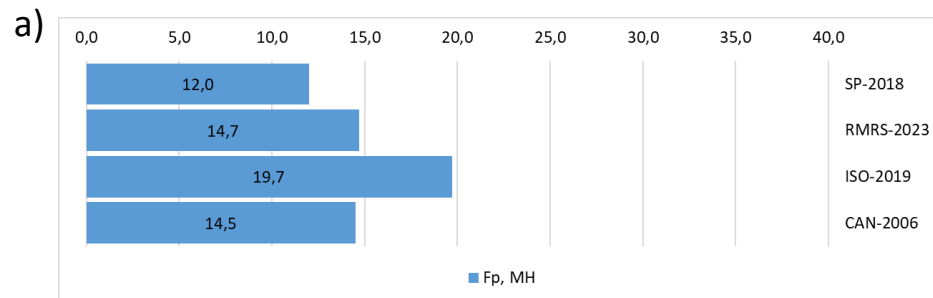


Расчеты ледовых нагрузок - площади ледяного поля:
а) A1 = 100 x 100 м; б) A2 = 1000 x 1000 м; в) A3 = 10000 x 10000 м



Графики для ледовых нагрузок по различным нормам - площади ледяного поля:

а) $A1 = 100 \times 100 \text{ м}$; б) $A2 = 1000 \times 1000 \text{ м}$; в) $A3 = 10000 \times 10000 \text{ м}$



Результаты сопоставления ледовых нагрузок - площади ледяного поля:

а) A1 = 100 x 100 м; б) A2 = 1000 x 1000 м; в) A3 = 10000 x 10000 м

1. С помощью прогнозных расчетов характеристик ледового режима в районе расположения морского терминала СПГ на акватории залива Чихачева определены недостающие для проектирования исходные данные по расчетным толщинам и прочностям ровного льда.
2. По полученным данным в соответствии с действующей нормативной базой определены ледовые нагрузки от ровного льда на опоры технологического причала в заливе Чихачева Татарского пролива, обеспечивающие надежную и безопасную работу морских сооружений.
3. При определении ледовых нагрузок на опоры проанализированы результаты применения расчетных методик из нормативных документов ряда стран, сделан вывод о существенных преимуществах методик отечественных норм СП 38.13330.2018 перед зарубежными аналогами.

Спасибо за внимание!

- Миронов Михаил Евгеньевич
- Главный специалист гидротехнического отдела
- mmironov@morproekt.ru
- [+7 \(999\) 519 6172](tel:+79995196172)

