

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 627.2; 624.042

DOI: 10.55326/22278400\_2023\_3\_15

# РАСЧЕТ ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТА МОРСКОГО ПОРТОВОГО КОМПЛЕКСА В ТАТАРСКОМ ПРОЛИВЕ

Роман Юльевич Горгуца<sup>1</sup>✉, Михаил Евгеньевич Миронов<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ООО «Морстройтехнология», Санкт-Петербург, Россия, mct@morproekt.ru

**Аннотация.** При недостаточности исходных данных на этапе проектирования объекта используются прогнозные расчеты характеристик ледового режима с использованием данных ближайших станций государственной наблюдательной сети. На основе данного подхода представлена методика оценки толщины льда с учетом термического роста. По полученным данным в соответствии с действующей нормативной базой определены ледовые нагрузки от ровного льда и торосов, исходя из которых разработаны конструктивные решения гидротехнических сооружений.

**Ключевые слова:** ледовый режим, ледовая нагрузка, расчеты толщин льда, температурный режим

**Для цитирования:** Горгуца Р. Ю., Миронов М. Е. Расчет ледовых нагрузок на гидротехнические сооружения на примере проекта морского портového комплекса в Татарском проливе // Гидротехника. 2023. № 3 С. 15–20.

ORIGINAL ARTICLE

# CALCULATION OF ICE LOADS ON HYDROTECHNICAL FACILITIES ON THE CASE OF THE SEA PORT COMPLEX PROJECT IN THE TATAR STRAIT

Roman Y. Gorgutsa<sup>1</sup>✉, Mikhail E. Mironov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Morstroytekhnologiya LLC, Saint-Petersburg, Russia, mct@morproekt.ru

**Abstract.** In case of insufficiency of the initial data at the design stage of the facility, predictive calculations of the characteristics of the ice regime are used applying data from the nearest stations of the state observation network. Based on this approach, a technique for estimating the ice thickness with allowance for thermal growth is presented. Based on the data obtained, in accordance with the current regulatory framework, ice loads from fast ice and hummocks were determined, on the basis of which constructive solutions for hydraulic engineering structures were developed.

**Keywords:** ice regime, ice load, ice thickness calculations, temperature Regime

**For citation:** Gorgutsa R. Y., Mironov M. E. Calculation of ice loads in hydrotechnical facilities on the Case of the Sea Port Complex Project in the Tatar Strait // Hydrotechnika. 2023. № 3. Pp. 15–20.

**Введение**

В настоящее время в России ведется активное проектирование и строительство ряда портовых гидротехнических сооружений (ГТС) в составе терминалов для отгрузки угля, нефти, сжиженного газа и пр. Особенно заметно развитие морской портовой инфраструктуры на Дальнем Востоке [1].

Основная деятельность компании ООО «Морстройтехнология» (ООО «МСТ») связана с исследованием и проектированием портовых ГТС в сложных инженерно-гидрометеорологических условиях, в том числе на дальневосточном направлении [2]. На начальной стадии проектирования нередко имеет место отсутствие исходных данных в нужном объеме. При этом, как правило, не хватает наиболее значимых для ГТС данных по ледовым воздействиям. Для выполнения проектных работ и дальнейшей их реализации приходится прибегать к прогнозным расчетам характеристик ледового режима с использованием данных ближайших станций государственной наблюдательной сети [3]. Описание данного подхода рассмотрено ниже на примере расчета ледовых нагрузок при проектировании угольного терминала в Татарском проливе на мысе Ая.

**Транспортно-перегрузочный комплекс (ТПК) для перевалки угля**

ТПК расположен на мысе Ая в северной части бухты Мучке в средней части Татарского пролива вблизи порта Ванино недалеко от города Советская Гавань (рис. 1). Он предназначен для:

- перевалки угля с железнодорожного транспорта на морской транспорт;



**Рисунок 1**  
ТПК для перевалки угля на мысе Ая бухты Мучке, вид с севера (фото МСТ)

- технологического накопления и временного хранения угля на складских площадках;
- изменения качества угля путем сортировки, смешивания, дробления, усреднения, очистки;
- оказания услуг в морском порту по обслуживанию судов, осуществлению операций с грузами.

Схема расположения основных ГТС ТПК представлена на рис. 2, воздействие льда на ГТС в процессе строительства показано на рис. 3.

ООО «Морстройтехнология» вело разработку проектных решений по ТПК в бухте Мучке на всех стадиях: предварительные проработки, проектная документация с защитой в ФАУ «Главгосэкспертиза России», рабочая документация и ведение авторского надзора.

При проектировании комплекса особое внимание уделялось вопросам ледовых нагрузок. В Татарском проливе возможны ледовые образования значительных размеров, которые могут непосредственно воздействовать на ГТС.

Исходные данные для расчета ледовых нагрузок (в первую очередь — по толщине льда), в соответствии с нормами СП 38.13330.2018, следует назначать путем статистической обработки материалов натурных на-



**Рисунок 2**  
Схема расположения ГТС ТПК в бухте Мучке (фото МСТ)

блюдений в соответствии с заданной ежегодной вероятностью превышения (обеспеченностью).

Материалы натурных наблюдений в бухте Мучке необходимой продолжительности (не менее 5 лет) отсутствовали. Для определения необходимых параметров льда были учтены характеристики ледовых условий, полученные по данным метеорологических наблюдений на близлежащих станциях государственной наблюдательной сети, а именно — на станции Советская Гавань.

**Температурный режим**

Основной обобщающей характеристикой температурного режима для района расположения ТПК, в соответствии с общепринятой инженерной практикой, является индекс  $CDD$ , °C, определяемый по формуле [4, 5]:

$$CDD = FDD - K_{FT}TDD, \quad (1)$$

где  $FDD$  — индекс замерзания, °C;  $TDD$  — индекс таяния, °C;  $K_{FT}$  — коэффициент, определяемый по данным обработки результатов натурных наблюдений за толщиной льда на станции Советская Гавань.

Для определения индексов замерзания и таяния должны использоваться формулы:

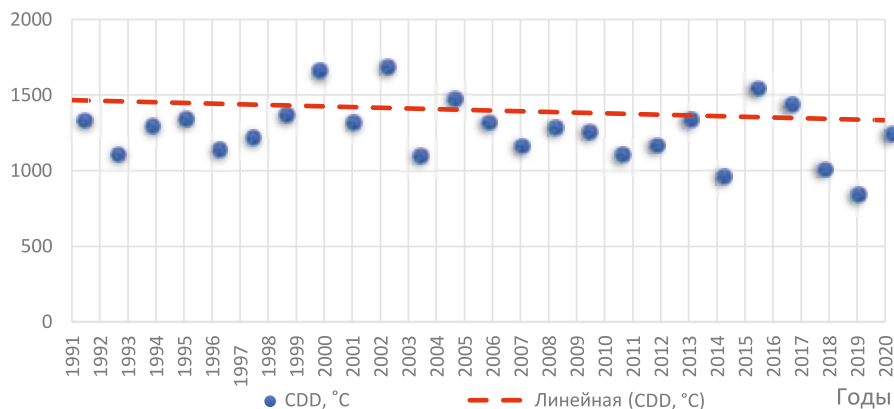
$$FDD = \sum_{D_S}^{D_E} (T_0 - T_{AF}), \quad (2)$$

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

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 по данным измерений на станции Советская Гавань, °C;  $D_S$  и  $D_E$  — даты



**Рисунок 3**  
Вид на грузовой причал ТПК: а) с внутренней стороны; б) с внешней стороны (фото МСТ)



**Рисунок 4**  
Межгодовые колебания наибольшего суммарного индекса замерзания CDD в периоды зим 1991–2020 гг. в районе Советской Гавани

устойчивого перехода температуры через  $0^{\circ}\text{C}$  осенью и весной.

Температуры замерзания воды и таяния определяются по формуле СП 38.13330.2018:

$$T_0 = T_0^* = -0,057s_{wat}, \quad (4)$$

где  $s_{wat}$  — соленость воды. Средняя соленость воды в районе Советской Гавани в зимний период составляет  $s_{wat} = 21,3\text{‰}$ , и тогда по расчету для температур замерзания воды и таяния льда следует  $T_0 = T_0^* - 1,22^{\circ}\text{C}$ .

Сведения об исторических среднесуточных температурах воздуха для станции Советская Гавань в рамках данной работы получены из открытых специализированных сайтов. В соответствии с рекомендациями Всемирной метеорологической организации, за базовый период при определении характеристик ледовых условий должен быть принят последовательный 30-летний период зим с 1991 по 2020 гг. На рис. 4 показан график межгодовых колебаний наибольшего суммарного индекса замерзания CDD по данным измерений на станции Советская Гавань в зимы 1991–2020 гг.

В период зим 1991–2020 гг. в районе строительства ТПК наиболее холодной была зима 2000–2001 гг., а наиболее теплой — зима 2014–2015 гг. На графике рис. 4 также показана линейная аппроксимирующая кривая (тренд) для наибольших суммарных индексов замерзания CDD. Относительно ровное падение тренда в период 1991–2020 гг. показывает некоторую тенденцию на потепление климата

в рассматриваемом районе в последние 30 лет.

#### Толщина льда

В соответствии с общепринятой инженерной практикой расчетные толщины льда должны определяться на основании данных о толщине льда, полученных на ближайшей береговой ГМС в течение последних 10 лет. В случае отсутствия данных наблюдений за толщиной льда требуемой продолжительности оценки толщины ровного льда могут быть получены путем статистической обработки результатов термодинамического моделирования процессов ледообразования в районе проектируемого объекта с использованием данных морского реанализа за последовательный 30-летний период зим с 1991 по 2020 гг.

Оценка толщины льда с учетом термического роста выполняется в следующей очередности:

1. Определяется береговая станция государственной наблюдательной сети, расположенная вблизи района строительства, с самым длинным и надежным периодом наблюдений, а также с автоматическими измерениями температуры наружного воздуха. Единственной пригодной станцией для определения параметров температурного режима в последовательный 30-летний период зим с 1991 по 2020 гг. является станция Советская Гавань.

2. Собираются сведения об исторических среднесуточных температурах воздуха для выбранной станции. Эта информация может быть получена из

метеорологических ежемесячников или со специализированных сайтов в сети Интернет.

3. Создаются электронные таблицы для вычисления суммарных индексов замерзания CDD по формуле (1) для каждой зимы, начиная со времени наступления устойчивых холодов.

4. Определяются значения суммарных индексов замерзания CDD для каждого холодного периода.

5. Оцениваются расчетные толщины льда заданной обеспеченности на основе суммарных индексов замерзания CDD с учетом результатов верификации по доступным данным полевых измерений толщин льда на выбранной станции.

Толщина льда  $h_d$  определяется по следующей формуле:

$$h_d = a\sqrt{0,9CDD - b}, \quad (5)$$

где  $a$  и  $b$  — коэффициенты, принимаемые по итогам сопоставления результатов расчетов с данными натурных измерений толщин льда на станции Советская Гавань, опубликованными на сайте Центра океанографических данных (ЦОД) [6] (табл. 1). Результаты сопоставления расчетных и измеренных средних толщин льда по декадам холодного периода представлены на рис. 5. При этом для коэффициентов в формуле (5) путем подбора с помощью специально разработанной программы на основе электронных таблиц MS Excel получены следующие значения:  $a = 0,03$ ,  $b = 120$ .

Для коэффициента  $K_{FT}$  в формуле (1) также получено:  $K_{FT} = 7$ .

6. Выполняется статистический анализ данных с целью получения результатов с требуемой обеспеченностью.

По приведенной выше методике были выполнены расчеты толщин льда по суткам каждой зимы для периода зим 1991–2020 гг. График изменения наибольших годовых толщин льда  $h_d$  по результатам расчетов с использованием данных о температурах воздуха на гидрометеорологической станции Советская Гавань в период зим 1991–2020 гг. и толщинах льда на гидрологической станции Советская Гавань приведен на рис. 6.

Как видно, в указанный период, по данным расчетов, наиболее толстым лед был в зиму 2000–2001 гг., а наиболее тонким — в зиму 2014–2015 гг. Кроме того, на сводном графике показана аппроксимирующая кривая (тренд) для толщин льда. Некоторое падение тренда на протяжении последних 30 лет показывает определенную тенденцию на уменьшение толщин местного льда в районе расположения ТПК.

Сведения о толщине ровного льда  $h_d$  по данным статистической обработки результатов термодинамического моделирования процессов ледообразования в районе ТПК с использованием данных морского реанализа за многолетний период 1991–2020 гг. на станции Советская Гавань по декадам зимнего периода приведены в табл. 2.

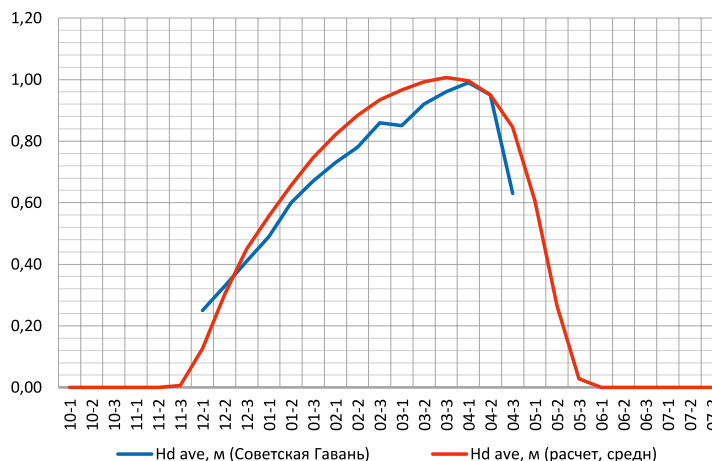
Далее были определены расчетные толщины льда по декадам холодного периода как значения, соответствующие обеспеченностям 0,1% из ранжированных рядов толщин льда в декадах и соответствующих им обеспеченностей за период зим с 1991 по 2020 гг. Хронологические ряды данных ранжировались в порядке убывания значений толщины льда. Каждому значению присваивался номер, а его обеспеченность определялась по формуле (Б.1) СП 131.13330.2020.

Эмпирические кривые распределения ежедекадных вероятностей превышения построены на клетчатках вероятностей. Для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых распределения ежедекадных вероятностей превышения, в соответствии с положениями свода правил СП 33–101–2003, применялось трехпараметрическое распределение Крицкого — Менкеля. В табл. 3 приведены результаты расчетов обеспеченных толщин льда.

Таким образом, выполнены оценки обеспеченных толщин льда в районе расположения объекта по данным станции Советская Гавань в период зим 1991–2020 гг. Эти толщины льда использовались при определении ледовых нагрузок на конструкции ГТС ТПК.

**Таблица 1**  
Значения толщины припая, см (станция 95049 Советская Гавань)

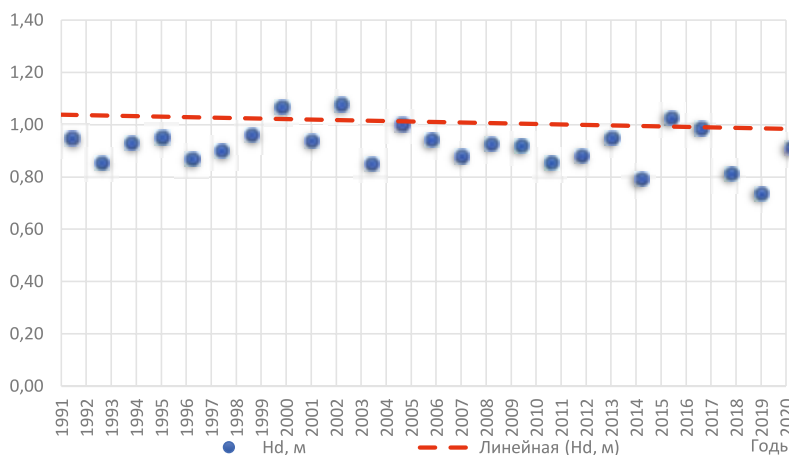
Месяцы	12			1			2			3			4			За год	
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	Наибольшая толщина, см	Дата
Среднее за период 1977–2013	25	33	41	49	60	67	73	78	86	85	92	96	99	95	63	99	10.04



**Рисунок 5**  
Среднедекадные толщины льда для Советской Гавани

**Таблица 2**  
Средние и экстремальные толщины льда  $h_d$ , м (гидрометеорологическая станция 31770 Советская Гавань)

Месяцы	10			11			12			01		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Средн.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,14	0,32	0,46	0,57	0,66	0,75
Экстр. высш.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	0,42	0,53	0,65	0,72	0,82	0,89
Экстр. низш.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,34	0,47	0,59
Месяцы	02			03			04			05		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Средн.	0,82	0,89	0,93	0,96	0,99	1,00	0,98	0,92	0,80	0,52	0,19	0,01
Экстр. высш.	0,97	1,05	1,08	1,12	1,14	1,14	1,15	1,11	1,02	0,95	0,79	0,50
Экстр. низш.	0,71	0,76	0,81	0,84	0,84	0,82	0,80	0,69	0,27	0,00	0,00	0,00



**Рисунок 6**  
Межгодовые колебания толщин льда  $h_d$  в период зим 1991–2020 гг.



**Таблица 3**  
**Расчетные значения декадных обеспеченных толщин льда  $h_d$ , м, с обеспеченностью  $p = 0,1\%$  (Советская Гавань)**

Месяцы	10			11			12			01		
Декады	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
$p = 0,1\%$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	0,45	0,55	0,68	0,76	0,84	0,91
Месяцы	02			03			04			05		
Декады	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
$p = 0,1\%$	0,98	1,04	1,08	1,14	1,18	1,20	1,21	1,16	1,02	1,01	0,86	0,00

#### Ледовые нагрузки

В результате проведенных расчетов величина нормативной нагрузки на сооружения принята от ровного льда равной 1,03 МН/п. м, от торосов равной 1,50 МН/п. м.

#### Конструкция ГТС

С учетом полученных ледовых нагрузок были разработаны конструктивные решения, обеспечивающие надежную и безопасную работу сооружений.

**Корневая часть** представляет собой отсыпку скального грунта с защитным креплением из фасонных бетонных блоков (тетраподы массой 13 т) и верхнего строения в виде сборно-монолитной железобетонной уголкового стенки.

Длина корневого участка около 65 м, ширина — около 39 м. Размеры и форма корневой части обусловлены размещением на ней конвейерной галереи, проезда автотранспорта, разворотной площадки, а также размещением техники на строительный период.

**Переходный участок и грузовой причал** выполнены в виде узкого за-

сыпного пирса. Общая длина около 491 м. Ширина пирса на подходном участке около 24 м, на грузовом причале — около 32 м. Ширина пирса определялась на основании выполненного комплекса прочностных расчетов сооружения, а также с учетом технологических требований по размещению судопогрузочной машины, конвейерной галереи, проезда автотранспорта и пр.

Стенки пирса состоят из элементов комбинированного сечения: трубошпунт 1220×12 мм с промежуточными грунтозащитными вставками из шпунта Z-профиля. Трубошпунт погружен до скального грунта (базальты) с анкерровкой в него путем разбуривания и устройства железобетонного сердечника. В основании стенок выполнена каменная защита дна от размыва.

Между стенками пирса погружены сваи 1220×12 мм, которые являются основанием пути судопогрузочной машины, конвейерной галереи, технологического оборудования и пр. Для обеспечения продольной и поперечной жесткости конструкции в строительный и экс-

плуатационный периоды все погруженные сваи и шпунт объединены между собой системой продольных и поперечных сталебетонных ригелей.

Вдоль пирса с морской стороны выполнена защита от волновых и ледовых воздействий: смонтирована сборно-монолитная волнозащитная стенка высотой около 7 м, выполнен ледозащитный железобетонный пояс в зоне переменного уровня воды.

#### Заключение

1. С помощью прогнозных расчетов характеристик ледового режима в районе расположения ТПК по перевалке угля на северном берегу бухты Мучке определены недостающие для проектирования исходные данные по расчетным толщинам льда.

2. По полученным данным в соответствии с действующей нормативной базой определены ледовые нагрузки от ровного льда и торосов.

3. С учетом ледовых нагрузок разработаны конструктивные решения ГТС ТПК в бухте Мучке Ванинского района Хабаровского края, обеспечивающие надежную и безопасную работу морских сооружений.

4. По разработанному ООО «Морстройтехнология» проекту осуществлено строительство гидротехнических сооружений в течение 2017–2020 гг. В сентябре 2020 г. ТПК для перевалки угля в бухте Мучке введен в эксплуатацию.

#### Список источников

1. Фисенко А. И., Кулешова Е. А. Состояние и проблемы развития морских портов и формирования их грузовой базы в южной зоне Дальнего Востока России // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. С. 189–192. <https://science-education.ru/> (дата обращения 01.11.2021).
2. Николаевский М. Ю. Главные достижения — опыт реализованных проектов и доверие заказчиков // Морские порты. 2019. № 7 (178). С. 48–52.
3. Горгуца Р. Ю., Миронов М. Е., Соколов А. В. Оценка толщины льда на основе метеорологических данных // Полярная механика 2016: труды III Международной научной конференции. Владивосток, 2016. С. 54–61.
4. Assel R. A. etc. Great Lakes degree-day and winter severity index update: 1897–1983, NOAA Data Rep. ERLGLERL-29, 61 pp., Great Lakes Environ. Res. Lab., Ann Arbor, Mich., 1986.
5. Assel R. A. etc. An ice-cover climatology for Lake Erie and Lake Superior for the winter seasons 1897–98 to 1982–83, Int. J. Climatol., 10, 731–748, 1990.
6. Центр океанографических данных (ЦОД) [электронный ресурс]. <http://nodc.meteo.ru/> (дата обращения 01.11.2021).

#### References

1. Fisenko A. I., Kuleshova E. A. Status and problems of development of seaports and the formation of their cargo base in the southern zone of the Russian Far East // Modern problems of science and education. 2013. № 6. Pp. 189–192. <https://science-education.ru/> (accessed 01.11.2021).

2. Nikolaevsky M. Yu. The main achievements are the experience of implemented projects and the trust of customers // Sea ports. 2019. № 7 (178). Pp. 48–52.
3. Gorgutsa R. Yu., Mironov M. E., Sokolov A. V. Estimation of ice thickness based on meteorological data // Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Scientific Conference “Polar Mechanics 2016”. Vladivostok, 2016. Pp. 54–61.
4. Assel R. A. etc. Great Lakes degree-day and winter severity index update: 1897–1983, NOAA Data Rep. ERLGLERL-29, 61 pp., Great Lakes Environ. Res. Lab., Ann Arbor, Mich., 1986.
5. Assel R. A. etc. An ice-cover climatology for Lake Erie and Lake Superior for the winter seasons 1897–98 to 1982–83, Int. J. Climatol., 10, 731–748, 1990.
6. Oceanographic Data Centre (ODC) (electronic resource). <http://nodc.meteo.ru/> (accessed 01.11.2021).

**Информация об авторах**

**Роман Юльевич Горгуца** — к. т. н., генеральный директор, ООО «Морстройтехнология». Автор ID (РИНЦ): 2994–3027  
**Михаил Евгеньевич Миронов** — д. т. н., профессор, главный специалист гидротехнического отдела, ООО «Морстройтехнология»

**Information about the authors**

**Roman Y. Gorgutsa** — Ph.D in Engineering, General Director, Morstroytekhnologiya LLC  
**Mikhail E. Mironov** — D. Eng. Sc, Professor, Chief Specialist, Hydraulic Engineering Department, Morstroytekhnologiya LLC

**Информация о статье**

Статья поступила в редакцию 4.08.2023; одобрена после рецензирования 18.08.2023; принята к публикации 25.08.2023.

**Article info**

The article was submitted 4.08.2023; approved after reviewing 18.08.2023; accepted for publication 25.08.2023.

**морстройтехнология**

**исследования и проектирование инфраструктуры морского транспорта**

На правах рекламы

- Мы проектируем порты, транспортные объекты (логистические центры)
- Мы осуществляем инжиниринговое обеспечение объектов портового строительства на всех этапах – от идеи до сдачи в эксплуатацию
- Мы знаем транспортный рынок и понимаем перспективные грузопотоки
- Мы можем оптимизировать логистику вашего предприятия, сделать вашу транспортно-логистическую систему эффективной
- Мы проводим обследования причалов, зданий, сооружений и готовим свидетельства о годности к эксплуатации

195220, Россия  
Санкт-Петербург  
ул. Гжатская, д. 21, к. 2, лит. А

тел.: +7 (812) 333-1310  
e-mail: [mct@morproekt.ru](mailto:mct@morproekt.ru)  
[www.morproekt.ru](http://www.morproekt.ru)