

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА ДЛЯ РАСЧЕТА
НАГРУЗОК НА СООРУЖЕНИЯ В ОБСКОЙ ГУБЕ
(на примере пирса Салмановского НГКМ)**

**CHARACTERISTICS OF ICE REGIME FOR CALCULATING
LOADS ON STRUCTURES IN THE GUB OF OB
(using the example of the pier of the Salmanovskoye
oil and gas condensate field)**

Для проектирования гидротехнических сооружений пирса Салмановского (Утреннего) нефтегазоконденсатного месторождения представлена методика определения недостающих исходных данных по расчетным толщинам льда, по которой определены ледовые нагрузки от ровного льда и торосов. Разработаны конструктивные решения сооружения, обеспечивающие надежную и безопасную работу.

For the design of hydraulic structures of the pier of the Salmanovskoye (Utrenneye) oil and gas condensate field, a methodology is presented for determining the missing initial data on the calculated ice thicknesses, which is used to determine the ice loads from level ice and hummocks. Design solutions for the structure have been developed to ensure reliable and safe operation.

Ключевые слова: нефтегазоконденсатное месторождение, гидротехническое сооружение, пирс, ледовые нагрузки, температурный режим, толщина льда.

Key words: oil and gas condensate field, hydraulic structure, pier, ice loads, temperature regime, ice thickness.

В настоящее время в России ведется активное проектирование и строительство ряда портовых гидротехнических сооружений (ГТС) для обеспечения отгрузки генеральных грузов, угля, нефтепродуктов и пр. Одним из важных направлений развития морской портовой инфраструктуры является Арктика.

Основная деятельность компании ООО «Морстройтехнология» (ООО «МСТ») связана с исследованием и проектированием портовых гидротехнических сооружений в сложных инженерно-гидрометеорологических условиях, в том числе в Арктике.

На начальной и последующих стадиях проектирования исходные климатические данные в нужном объеме часто отсутствуют. 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. Ниже приведен пример определения толщин льда при расчете ледовых нагрузок на конструкции пирса в Обской губе на западном берегу Гыданского полуострова в районе мыса Халцынэйсаля.

Пирс Салмановского (Утреннего) нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ) расположен южнее мыса Халцынэйсаля в средней части Обской губы примерно в 65 км юго-восточнее порта Сабетта (рис. 1, 2). Он предназначен для приема и обработки расчетных типов судов, осуществляющих поставку строительных и генеральных грузов, дизтоплива и керосина.



Рис. 1. Схема расположения пирса Салмановского (Утреннего) НГКМ



Рис. 2. Пирс Салмановского (Утреннего) НГКМ в районе мыса Халцынэйсаля Обской губы (вид с юго-востока)

Салмановское (Утреннее) НГКМ расположено на территории Тазовского района ЯНАО в северной части Гыданского полуострова и частично в акватории Обской губы в непосредственной близости от Южно-Тамбейского месторождения.

Схема расположения ГТС пирса представлена на рис. 3, виды на ГТС в процессе строительства показаны на рис. 4 – 6.

Протяженность трех причалов — 339 м, из них два причала — для приема генеральных и строительных грузов и материалов, один причал — для приема дизтоплива, керосина. Проектная отметка дна у причалов составляет 4,8 м. Конструкция причалов разработана с учетом перспективного дноуглубления у причалов для приема более крупных судов.

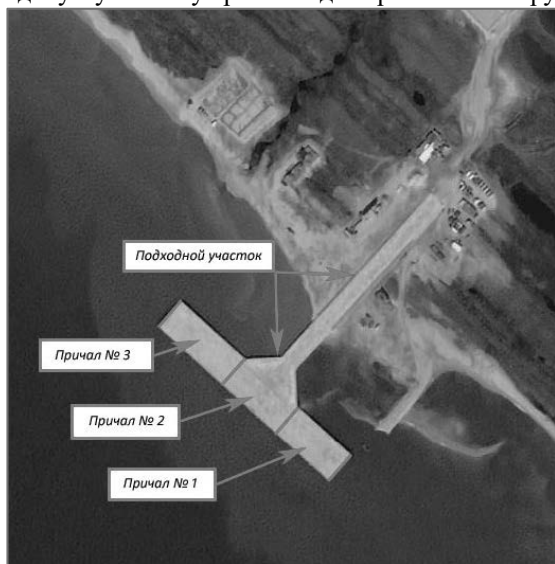


Рис. 3. Схема расположения ГТС пирса Салмановского (Утреннего) НГКМ



Рис. 4. Вид на пирс Салмановского (Утреннего) НГКМ в процессе строительства (фото 15.10.2014 г.)



Рис. 5. Вид на пирс Салмановского (Утреннего) НГКМ в процессе строительства (фото 04.06.2015 г.)



Рис. 6. Вид на пирс Салмановского (Утреннего) НГКМ по окончании строительства (фото 11.11.2015 г.)

Компания «Морстройтехнология» вела разработку проектных решений для пирса Салмановского (Утреннего) НГКМ 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 Обской губе возможен дрейф ледовых образований значительных размеров, которые могут непосредственно воздействовать на ГТС (рис. 7).

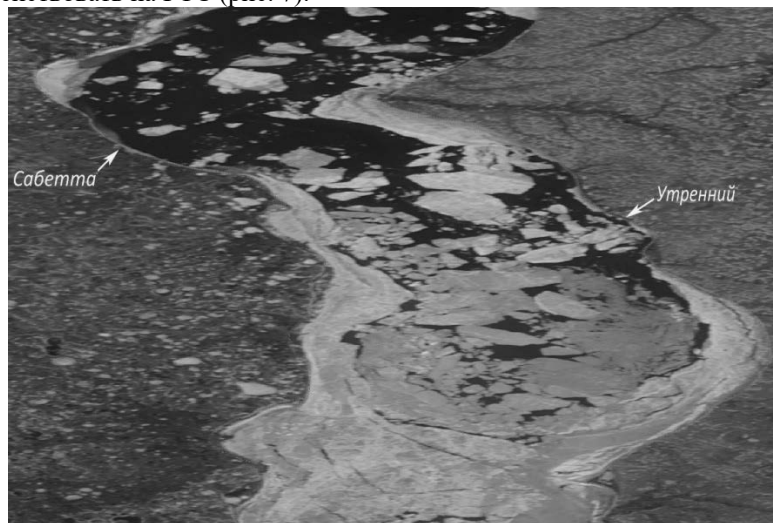


Рис. 7. Спутниковый снимок Обской губы в районе Салмановского (Утреннего) НГКМ (фото 14.06.2012)

Исходные данные для расчета ледовых нагрузок (в первую очередь, данные о толщине льда) в соответствии с нормами [1] следует назначать путем статистической обработки материалов натуральных наблюдений в соответствии с заданной ежегодной вероятностью превышения (обеспеченностью).

Материалы натуральных наблюдений в Обской губе 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 Сеяха.

Температурный режим

Основной обобщающей характеристикой температурного режима для района расположения ТПК в соответствии с общепринятой инженерной практикой является индекс CDD, °С, определяемый по формуле [6, 7]:

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

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

Для определения индексов замерзания FDD и таяния TDD 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 Сеяха, °C; D_S и D_E — даты устойчивого перехода температуры через 0°C осенью и весной.

Температуру замерзания воды и таяния определяют по формуле норм [1]

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

где s_{wat} — соленость воды. Средняя соленость воды в районе Сеяхи в зимний период составляет $s_{wat} = 0$ ‰, и тогда по расчету для температур замерзания воды и таяния льда следует $T_0 = T_0^* = 0$ °C.

Сведения об исторических среднесуточных температурах воздуха для станции Сеяха в рамках данной работы получены из открытых специализированных сайтов в сети Интернет.

На рис. 8 показан график межгодовых колебаний наибольшего суммарного индекса замерзания CDD по данным измерений на станции Сеяха в зимы 2006-2021 гг.

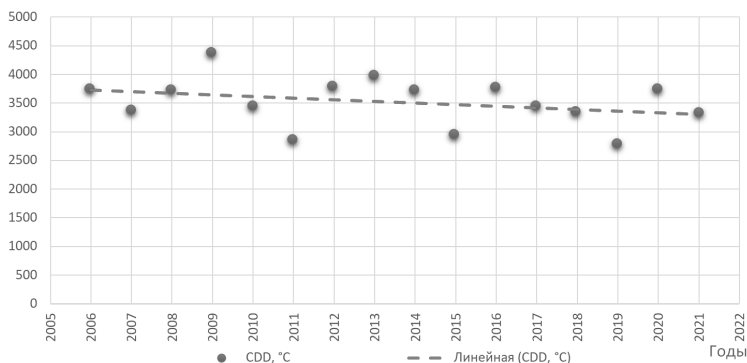


Рис. 8. Межгодовые колебания наибольшего суммарного индекса замерзания CDD в периоды зим 2006-2021 гг. в районе Сеяхи

В период зим 2006-2021 гг. в районе строительства пирса наиболее холодной была зима 2009-2010 гг., а наиболее теплой — зима 2019-2020 гг. На графике рис. 8 также показана линейная аппроксимирующая кривая (тренд) для наибольших суммарных индексов замерзания CDD. Относительно ровное падение тренда в период 2006-2021 гг. показывает некоторую тенденцию на потепление климата в рассматриваемом районе в последние годы.

Толщина льда

В соответствии с общепринятой инженерной практикой (см., например, нормы [5]) 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 пирса Салмановского (Утреннего) НГКМ с использованием данных морского реанализа за период зим с 2006 по 2021 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 период зим с 2006 по 2021 гг. является станция Сеяха.

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 натуральных измерений толщин льда на станции Сеяха, опубликованными на сайте Центра Океанографических Данных (ЦОД) <http://nodc.meteo.ru> [3] (табл. 1).

Таблица 1

**Значения толщины льда, см
Станция 89004 Сеяха**

Ме- сяцы	10			11			12			01			02		
	1	2	3	1	2	3	1	2	2	1	2	3	1	2	3
Сред- нее за пе- риод 1977- 2013	5	15	24	39	45	54	65	73	89	95	103	111	120	128	133
Ме- сяцы	03			04			05			06			07		
Де- кады															
Сред- нее за пе- риод 1977- 2013	138	144	147	150	153	156	156	157	154	143	139	130			

Результаты сопоставления расчетных и измеренных средних толщин льда по декадам холодного периода представлены на рис. 9. При этом для коэффициентов в формуле (5) путем подбора с помощью специально разработанной программы на основе электронных таблиц MS Excel получено:

$$a = 0,028; \quad b = -20.$$

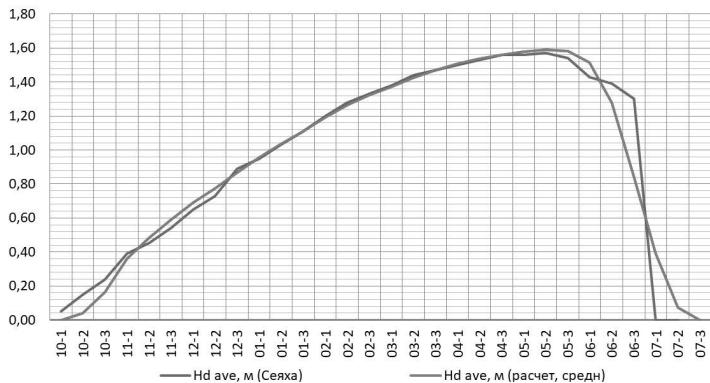


Рис. 9. Среднедекадные толщины льда для Сеяхи

Для коэффициента K_{FT} в формуле (1) также получено:

$$K_{FT} = 25.$$

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 2006-2021 гг.

График изменения наибольших годовых толщин льда h_d по результатам расчетов с использованием данных о температурах воздуха на гидрометеорологической станции Сеяха в период зим 2006-2021 гг. и толщинах льда на гидрологической станции Сеяха приведен на рис. 10.

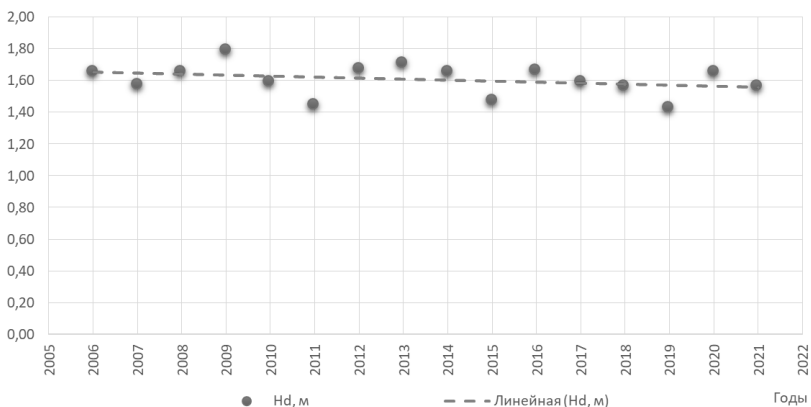


Рис. 10. Межгодовые колебания расчетных толщин льда h_d на акватории Обской губы в период зим 2006-2021 гг.

Как видно, в указанный период по данным расчетов наиболее толстым лед был в зиму 2009-2010 гг., а наиболее тонким — в зиму 2019-2020 гг. Кроме того, на сводном графике показана аппроксимирующая кривая (тренд) для толщин льда. Некоторое падение тренда на протяжении последних 16 лет показывает определенную тенденцию на уменьшение толщин местного льда в районе расположения пирса Салмановского (Утреннего) НГКМ.

Сведения о толщине ровного льда h_d по данным статистической обработки результатов термодинамического моделирования процессов ледообразования в районе пирса Салмановского (Утреннего) НГКМ с использованием данных морского реанализа за многолетний период 2006-2021 гг. на станции Сеяха [МЦД] 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 2006 по 2021 гг. Хронологические ряды данных, ранжировались в порядке убывания значений толщины льда. Каждому значению присваивался номер, а его обеспеченность определялась по формуле (Б.1) свода правил [СП 131.13330].

Таблица 2

**Средние и экстремальные толщины льда h_d , м
Гидрометеорологическая станция 20967 Сеяха**

Ме- сяцы	10			11			12			01			02		
Декады	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<i>Средн.</i>	0,00	0,04	0,17	0,37	0,49	0,59	0,69	0,78	0,87	0,96	1,04	1,11	1,19	1,26	1,32
<i>Экстр. выси.</i>	0,00	0,31	0,48	0,60	0,72	0,79	0,89	0,94	1,06	1,15	1,22	1,29	1,37	1,46	1,52
<i>Экстр. низн.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,47	0,52	0,59	0,67	0,74	0,83	0,91	0,98	1,03	1,08
Ме- сяцы	03			04			05			06			07		
Декады	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<i>Средн.</i>	1,37	1,43	1,47	1,51	1,54	1,56	1,58	1,59	1,58	1,51	1,25	0,82	0,37	0,07	0,00

Окончание табл. 2

Экстр. выш.	1,58	1,62	1,67	1,72	1,74	1,75	1,77	1,78	1,79	1,79	1,74	1,61	1,36	1,04	0,00
Экстр. низ.	1,13	1,19	1,25	1,31	1,33	1,36	1,41	1,39	1,25	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

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] применялось трехпараметрическое распределение Крицкого-Менкеля. В табл. 3 приведены результаты расчетов обеспеченных толщин льда.

Таким образом, выполнены оценки обеспеченных толщин льда в районе расположения пирса Салмановского (*Утреннего*) НГКМ по данным станции Сеяха в период зим 2006-2021 гг. Эти толщины льда использовались при определении ледовых нагрузок на конструкции ГТС пирса.

Таблица 3

СЕЯХА

Расчетные значения декадных обеспеченных толщин льда h_d , м, с обеспеченностью $p = 0,1 \%$

Ме- сяцы	10			11			12			01			02		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
$p = 0,1 \%$	0,00	0,05	0,17	0,69	0,75	0,83	0,98	1,07	1,17	1,29	1,37	1,42	1,52	1,63	1,69
Ме- сяцы	03			04			05			06			07		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
$p = 0,1 \%$	1,73	1,76	1,78	1,82	1,85	1,86	1,87	1,89	1,95	2,02	1,97	1,49	1,38	0,00	0,00

Ледовые нагрузки

В результате проведенных расчетов величина нормативной нагрузки на лицевую стенку пирса принята от ровного льда равной 2,37 МН/п.м, от торосов равной 4,36 МН/п.м.

Конструкция ГТС

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

Причалы № 1, 2 и 3 выполнены в виде пирса Салмановского (Утреннего) НГКМ, стенки которого анкеруются за экранирующие ряды свай.

Лицевая и торцевые стенки пирса устроены из металлического трубошпунта представляющего собой комбинацию труб 1020 x 12 из стали 09Г2С и комплекта замков, отвечающего требованиям п. 4.3 ГОСТ Р 52644-2010 (усилие на разрыв должно быть не менее 1500 кН/п.м.) из стали 09Г2С. Тыловая стенка пирса выполнена из металлического трубошпунта представляющего собой комбинацию труб 1020 x 10 из стали 09Г2С и комплекта замков, аналогичного принятым для лицевой и торцевых стенок.

При проектировании приняты замки трубошпунта производства «Трест ЗСГС» ЗСГ1. Для сопряжения с верхним строением, а также для восприятия ледовых нагрузок, в каждой трубе устроена железобетонная пробка. Ниже пробки до естественных отметок грунта полость свай заполнена смесью песка и цемента. Железобетонные пробки лицевой и торцевых стенок выполнены с отметкой низа –2,00 м. Железобетонные пробки тыловой стенки имеют отметку низа + 0,90 м.

По верху шпунта устроен монолитный железобетонный шапочный брус. Отметка низа бруса по всему пирсу +1,25 м.

На оголовке размещено оборудование причала, а именно, швартовные тумбы, стремянки, отбойные устройства, колесоотбойный брус и деформационные марки.

Железобетонный оголовок в местах установки швартовных тумб усилен дополнительным армированием.

Подходной участок протяженностью 142 м предназначен для обеспечения транспортного сообщения между причалами и береговыми складскими площадками.

Конструкция подходного участка аналогична конструкции пирса. Железобетонный шапочный брус имеет переменную отметку верха и низа по длине сооружения от +2,00 до +2,50 м. Высота бруса 850 мм.

В трубошпунтовых стенках выполнены железобетонные робки высотой 0,5 м. Ниже железобетонной пробки устроена засыпка трубного пространства смесью песка и цемента.

Заключение

1. С помощью прогнозных расчетов характеристик ледового режима в районе расположения пирса Салмановского (Утреннего) НГКМ в Обской губе на западном берегу Гыданского полуострова в районе мыса Халцынэйсаля 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 пирса Салмановского (Утреннего) НГКМ, обеспечивающие надежную и безопасную работу морских сооружений.

4. По разработанному ООО «Морстройтехнология» проекту осуществлено строительство гидротехнических сооружений в течение 2013-2015 гг. В 2016 г. пирс Салмановского (Утреннего) НГКМ был введен в эксплуатацию.

Список литературы

1. СП 38.13330.2018. Свод правил. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82*, М.: Минстрой России, 2018.

2. ВМО-№ 1203. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм, 2017.

3. Центр Океанографических Данных (ЦОД) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://nodc.meteo.ru/>, свободный – (01.08.2022).

4. *Кульмач П. П.* Морские гидротехнические сооружения (МГТС), часть 2. Причальные и берегоукрепительные сооружения / П. П. Кульмач, А. Н. Трутаев, В. В. Хаперский // ЛВВИСКУ, 1975.

5. РД 31.31.21-81. Основные положения по проектированию морских портов с замерзающими акваториями, М.: ЦРИА «Морфлот», 1981.

6. *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.

7. *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.