УДК 627.33:624.152.634 DOI: 10.33622/0869-7019.2021.09.47-51

Физическое моделирование грузового причала терминала «Утренний»

Андрей Сергеевич ШУНЬКО, инженер, e-mail: andrejj.shunk@rambler.ru

Наталья Владимировна ШУНЬКО, кандидат технических наук, e-mail: natshunko@rambler.ru

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337 Москва, Ярославское ш., 26

Аннотация. *Приведены результаты экспериментальных исследований работы конструкции причала, представляющего собой вертикальную стенку из металлического шпунта (типа больверк), на его физической модели при воздействии ветровых волн. Данная работа является научным сопровождением проекта причальной набережной терминала сжиженного природного газа и стабильного газового конденсата «Утренний», возводимого в суровых арктических условиях нашей страны. Эксперименты проводились с применением новейшей измерительной аппаратуры и уникального лабораторного оборудования. На основании анализа проведенных исследований были разработаны рекомендации по назначению оптимальной высотной отметки надводной части проектируемого причального сооружения. Результаты работы позволят при реализации проекта терминала свести к минимуму риск его аварии и обеспечить безаварийную эксплуатацию причала, что даст возможность непрерывной отгрузки сжиженного природного газа и стабильного газового конденсата на нефтегазоконденсатном месторождении.*

Ключевые слова: *отметка кордона причала, набережная, строительный период, физическое моделирование, обеспеченность шторма, параметры волн, уровень воды, волновой заплеск.*

PHYSICAL MODELING OF THE CARGO BERTH OF THE TERMINAL “UTRENNY”

Andrey S. SHUNKO, e-mail: andrejj.shunk@rambler.ru

Natalia V. SHUNKO, e-mail: natshunko@rambler.ru

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation

Abstract. *The results of experimental studies of the work of the berth structure, which is a vertical wall made of metal sheet piling (bolverk type) on its physical model when exposed to wind waves, are presented. This work is a scientific support for the project of the berthing embankment of the Terminal of liquefied natural gas and stable gas condensate “Utrenny”, which is being built in the harsh Arctic conditions of our country. The experiments were carried out using the latest measuring equipment and unique laboratory equipment. Based on the analysis of the conducted studies, recommendations were developed for the appointment of the optimal elevation of the surface part of the projected mooring structure. The results of the work will make it possible, when implementing the Terminal project, to minimize the risk of its accident and ensure trouble-free operation of the berth, which will enable the continuous shipment of liquefied natural gas and stable gas condensate at the oil and gas condensate field.*

Key words: *marker of pier cordon, embankment, construction period, physical modeling, storm security, wave parameters, water level, wave splash.*

Строительство любого морского порта или терминала связано не только со значительными капитальными вложениями, но и вмешательством в природные условия, которые формировались в этом районе долгое время. Поэтому проведение физического моделирования с исследованием работы проектируемых морских сооружений и внесением предложений по корректировке проекта в части гидротехнических решений чрезвычайно важно, в том числе и в плане сохранения экологического баланса.

Объект исследования — сооружение причальной набережной терминала сжиженного природного газа и стабильного газового конденсата «Утренний», расположенного в Ямало-Ненецком автономном округе, в Тазовском районе.

Терминал является структурным элементом создаваемого комплекса по производству, хранению, отгрузке сжиженного природного газа (СПГ) и стабильного газового конденсата (СГК) на Салмановском (Утреннем) нефтегазоконденсатном месторождении. Данный комплекс составляет портовую инфраструктуру и предназначен для отгрузки на морской транспорт его продукции, которая осуществляется непосредственно от производственных технологических блоков, путем швартовки к ним транспортных судов. По величине извлекаемых запасов рассматриваемое месторождение — крупнейшее из открытых на Гы-

© ШУНЬКО А. С., ШУНЬКО Н. В., 2021

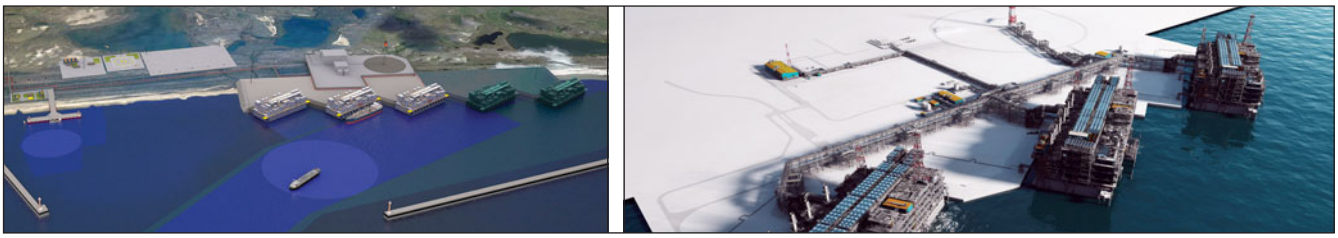


Рис. 1. *Расположение причальных сооружений терминала «Утренний»*

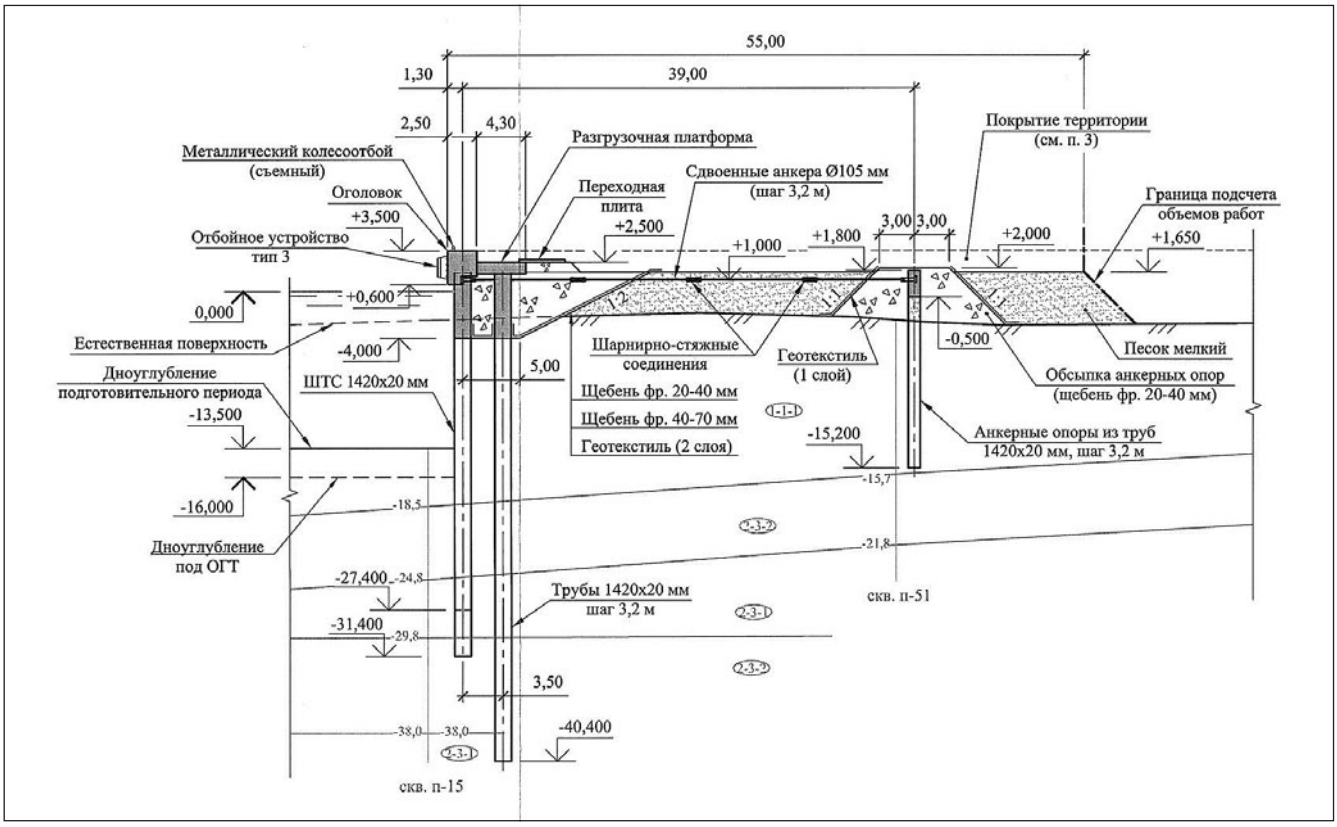


Рис. 2. *Поперечный разрез причальной набережной терминала «Утренний»*

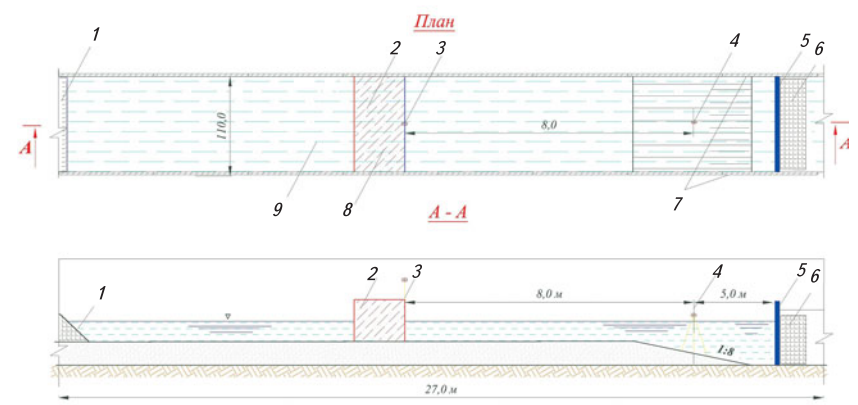
данском полуострове, и его освоение стратегически важно для нашей страны*.

Проектируемые гидротехнические сооружения (причальная набережная и берегоукрепление образуемой территории) входят в состав объектов строительного периода терминала «Утренний». Причальная набережная предназначена для приема судов со строительными грузами на этапе возведения порта, а также для размещения и обслуживания технологических линий завода СПГ и СГК на последующих этапах строительства и эксплуатации терминала.

При выборе конструкций определяющими факторами служили естественные условия района размещения: суровая продолжительная зима, тяжелые ледовые и инженерно-геологические условия площадки строительства. Кроме того, конструкции причальной набережной определялись технологическими требованиями к сооружению, а именно необходимостью создания вертикальных стенок с глубинами акватории, обеспечивающими постановку основания гравитационного типа у набережной. Общий вид причальной набережной терминала представлен на *рис. 1*.

К волновым воздействиям на морские гидротехнические сооружения, которые необходимо учитывать на различных стадиях проектирования, относится величина заплеска волн. Волновой заплеск на сооружение определяет положение отметок надводных частей над расчетным уровнем воды с тем, чтобы гребень расчетной волны в системе расчетного шторма не препятствовал нормальной эксплуатации

* Указ Президента РФ от 26 октября 2020 г. № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 г.».



1 — волногаситель; 2 — модель причала причальной набережной; 3, 4 — датчики-волнографы № 1 и № 2; 5 — волнопродуктор; 6 — волногаситель; 7 — кафельные стенки волнового лотка; 8 — урез воды; 9 — волновой лоток

Рис. 3. ***Схема экспериментальных исследований***

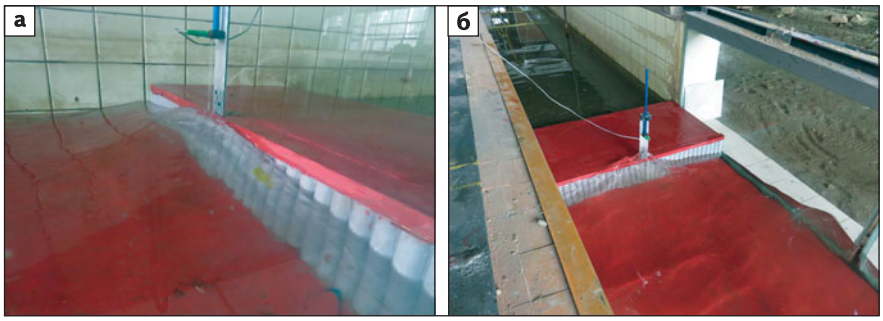


Рис. 4. ***Экспериментальные исследования в волновом лотке, отметка кордона причальной набережной +3,500 м***

объекта. При необоснованном завышении верхних отметок будет увеличиваться стоимость сооружений, а при занижении — возможны переливы воды, обледенение и различные аварии. В этой связи обязательно следует уточнять верхние отметки сооружений в процессе научного сопровождения каждого конкретного проекта на основании анализа результатов физического моделирования.

С помощью физического моделирования в волновом лотке была исследована причальная набережная, представляющая собой гидротехническое сооружение для приема, швартовки и обработки грузовых судов. Тип исполнения — свайная конструкция в виде сплошной вертикальной стенки из заанкеренного больверка. Учитывая временный характер использования причальной набережной для приема транспортных судов, отметка кордона была принята из условия обеспечения безопасной стоянки и обработки расчетных судов *(рис. 2)* в строительный период и составляла +3,500 м (отметки даны в Балтийской системе высот 1977 г.). Лицевая стенка на всех участках набережной предусмотрена из шпунта трубчатого сварного сечения из стальных труб размером 1420×20 мм, с приваренными к ним замковыми соединениями (фасонные профили шириной 180 мм).

Исследование воздействия штормового волнения западного направления на сооружение причала набережной *(см. рис. 2)* проводилось с параметрами волнения, рассчитанными по рекомендации СП 38.13330.2019 «СНиП 2.06.04-82* Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)»: $h_{ср}$ = 2,4 м, $T_{ср}$ = 4,8 с (натурные данные). Расчетный уровень для приливных морей составил +0,380 м БС-77 в соответствии с ВСП 33-03-07 «Инструкция по проектированию откосных и сквозных оградительных сооружений и специальных подводных стендов», отметка кордона причальной набережной — +3,500 м БС-77 , глубина воды у причальной набережной — 4 м.

Испытания проводили в НОЦ «Гидротехника» НИУ МГСУ, модель поперечного сечения причала в масштабе 1:40 устанавливали в волновом лотке шириной 1,1 м, длиной 27 м *(рис. 3)*. Методика проведения исследований стандартная для подобного вида работ, основанная на положениях теории подобия натурного и модельного объекта, с применением критерия Фруда [1—3]. В экспериментах использовали оборудование фирмы HR Wallingford (Великобритания) с автоматизированной системой сбора и обработки информации в режиме реального времени [4—6]. Средняя квадратичная погрешность измерения высоты волны в экспериментах составляла не более ±2 %, а доверительный интервал — не менее 90 %.

Цель исследования — определение результирующей высоты волны у вертикальной стенки причальной набережной, а также величины волнового заплеска на сооружение причальной набережной и его высотной отметки. Кроме того, на основе полученных данных необходимо подобрать высотную отметку кордона причальной набережной с учетом отсутствия волнового заплеска на верхнее строение причала.

В экспериментах применяли

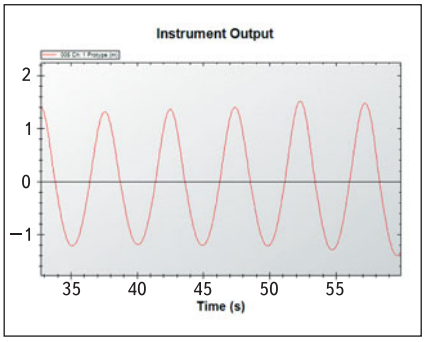


Рис. 5. *Волнограмма в опыте с параметрами волнения $h_{ср}$ = 2,4 м, $T_{ср}$ = 4,8 с на подходе к сооружению (показания волнографа № 1)*

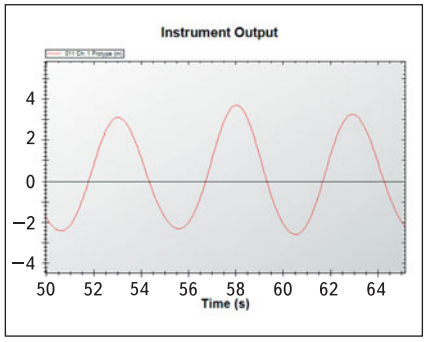


Рис. 6. *Волнограмма в опыте у сооружения (показания волнографа № 2)*

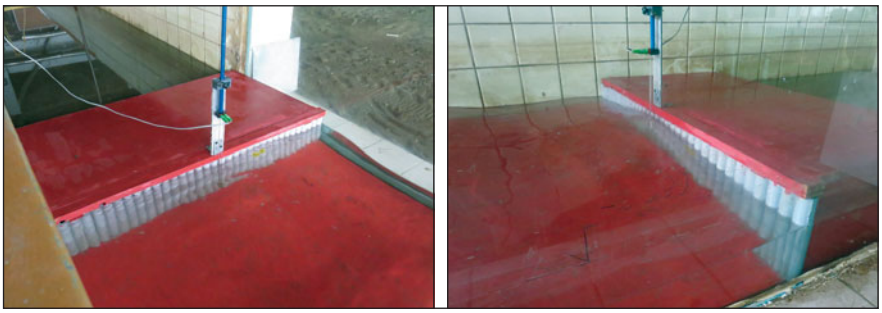


Рис. 7. *Отсутствие волнового заплеска на верхнее строение причала, отметка кордона причальной набережной +4,500 м*

два датчика-волнографа *(см. рис. 3)*:

- волнограф № 1 устанавливали на глубокой воде для контроля соответствия генерируемых параметров волнения заданным в эксперименте ($h_{ср}$ = 2,4 м; $T_{ср}$ = 4,8 с);
- волнограф № 2 крепили на верхнее строение причала для фиксации результирующей волны у вертикальной стенки сооружения.

Экспериментальные исследования в волновом лотке (отметка кордона причальной набережной +3,500 м) показаны на *рис. 4*.

С помощью программы HR DAQ, которая входила в состав измерительной системы, в режиме реального времени проводили пересчет фиксируемых датчиками-волнографами модельных параметров волнения в натурные, что позволяло получать информацию о высоте волны и ее периоде по ходу эксперимента уже в натурных единицах. Графики колебания волновой поверхности в зонах расположения волнографов № 1 и № 2 представлены на *рис. 5, 6*. По показаниям волнографа № 2 *(см. рис. 6)* видно, что результирующая высота волны у вертикальной стенки сооружения причала h = = 6 м, так как гребень волны равен 3,7 м, высота волнового заплеска: 3,7 м + 0,38 м = 4,08 м.

Результаты экспериментальных исследований показали, что отметка кордона причальной набережной должна составлять +4,500 м над расчетным уровнем воды. Далее работы были продолжены на модели причальной набережной с отметкой кордона +4,500 м. Все условия эксперимента были аналогичны предыдущему опыту. Проведенные работы показали отсутствие волнового заплеска *(рис. 7)* на верхнее строение причальной набережной при подходе волн с расчетными параметрами $h_{ср}$ = 2,4 м и $T_{ср}$ = 4,8 с.

Вывод

На основе проведенных исследований причала набережной установлено, что на результирующую высоту волны у вертикальной стенки сооружения оказывают влияние различные совокупные факторы, которые не всегда возможно учесть в процессе расчетов конструкции по нормативным документам. Для недопущения ошибок и неточностей в проекте и последующих аварийных ситуаций было проведено физическое моделирование воздействия расчетного шторма на проектное сооружение. Выполненные эксперименты позволили подобрать оптимальную высотную отметку и своевременно внести корректировку в проект.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. *Ляхтер В. М., Прудовский А. М.* Гидравлическое моделирование. М. : Энергоатомиздат, 1984. 392 с.
1. Lyakhter V. M., Prudovskiy A. M. *Gidravlicheskoe modelirovanie* [Hydraulic modeling]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1984. 392 p. (In Russian).
2. *Леви И. И.* Моделирование гидравлических явлений. Л. : Энергия, 1967. 235 с.
2. Levi I. I. *Modelirovanie gidravlicheskikh yavleniy* [Modeling of hydraulic phenomena]. Leningrad, Energiya Publ., 1967. 235 p. (In Russian).
3. *Алабужев П. М.* [и др.]. Теория подобия и размерностей моделирования. М. : Высшая школа, 1968. 206 с.
3. Alabuzhev P. M. et al. *Teoriya podobiya i razmernostey modelirovaniya* [The theory of similarity and dimensions of modeling]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1968. 206 p. (In Russian).

4. Beresford P. J. *HR Wave Maker. Wave generation control program. Software manual.* [Программа управления генерацией волн. Руководство по программному обеспечению]. HR Report IT 453, iss. 5, August, 2003.
5. Aziz Tayfun M. Sampling-rate errors in statistics of wave heights and periods [Ошибки частоты дискретизации в статистике высот и периодов волн]. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 1993, vol. 119, no. 2. DOI:10.1061/(ASCE)0733-950X(1993)119:2(172).
6. Perrott D. *How to determine analogue sampling system parameters* [Как определить параметры аналоговой системы выборки]. Internal memo, HR Wallingford, 1992.

Для цитирования: *Шунько А. С., Шунько Н. В.* Физическое моделирование грузового причала терминала «Утренний» // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 9. С. 47–51. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.09.47-51.

For citation: Shunko A. S., Shunko N. V. Physical Modeling of the Cargo Berth of the Terminal “Utrenny”. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel’stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2021, no. 9, pp. 47–51. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2021.09.47-51.