

Гидротехника

наука и технологии

ГТС КОНТИНЕНТАЛЬНОГО
ШЕЛЬФА

80 ЛЕТ
РЫБИНСКОЙ ГЭС

4 (65) / 2021
декабрь — февраль



ГТН



строительно-
монтажные
и ремонтные
работы



проектно-
изыскательские
работы



дноуглубление



паспортизация
и сопровождение
при эксплуатации

☎ 8 (812) 313-56-56

🌐 www.gtns.ru

✉ info@gtns.ru

📷 [@gtns_spb](https://www.instagram.com/gtns_spb)

УНИКАЛЬНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ МОРСКИХ ГТС В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ — ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ АО «ГТ МОРСТРОЙ»



Иванов П. А.,
начальник гидротехнического отдела
проектного института АО «ГТ Морстрой»



Страшный А. П.,
заместитель директора проектного
института АО «ГТ Морстрой»
по развитию

Аннотация. Представлены конструкции уникальных морских гидротехнических сооружений, построенных в России и разработанных проектным институтом АО «ГТ Морстрой»:

- волнолом в Балтийском море из металлических оболочек диаметром 20 м, высотой 21,15 м;
- подходная дамба, причал и мол из массивов-гигантов размером 28,6 × 58,0 × 23,0 (h) м в комплексе производства и отгрузки сжиженного природного газа объекта «НС Портовая» в бухте Дальняя (Финский залив);
- раскрепление плавучего хранилища сжиженного природного газа в бухте Бечевинская Камчатского края в зоне воздействия волны цунами.

Ключевые слова: сооружения из массивов-гигантов, морской терминал СПГ, оградительное морское сооружение из оболочек большого диаметра.

Введение

В современных условиях инвесторам, проектировщикам и подрядчикам морского и портового строительства приходится решать неординарные задачи: причальные и волнозащитные сооружения на больших глубинах; причальные сооружения в Арктической зоне со значительными ледовыми нагрузками и на вечномерзлых грунтах, а также перегрузочные комплексы для увеличения грузооборота по Северному морскому пути, в том числе рейдовые, которые на Дальнем Востоке России попадают в зону возможного воздействия волн цунами.

Специалистами проектного института АО «ГТ Морстрой» выполнены проекты уникальных сооружений, два из которых уже построены и успешно эксплуатируются, а один строится.

Глубоководный волнолом в Балтийском море

Команду на ввод в эксплуатацию плавучего регазификационного (ПРГУ) терминала «Маршал Василев-

ский» у берегов Калининградской области дал 8 января 2019 г. президент России В. В. Путин. Терминал призван обеспечить возможность поставок газа в область по альтернативному варианту — в сжиженном виде и морем.

Ключевым объектом терминала является специализированный причал для стоянки ПРГУ «Маршал Василевский» и С-образный волнолом длиной более 700 м, который защищает причал со стороны моря. Объект расположен в 5 км от берега (рис. 1).

Проектным институтом АО «ГТ Морстрой» по заказу ПАО «Газпром»



Рис. 1. Причал для стоянки ПРГУ «Маршал Василевский» и волнолом

UNPARALLELED SOLUTIONS FOR MARINE HYDRAULIC ENGINEERING INSTALLATIONS IN MODERN RUSSIA — ENGINEERING SOLUTIONS BY GT MORSTROY
P. Ivanov, head of Hydroengineering Department, the Design Institute GT Morstroy
A. Strashny, Deputy Director for Development, the Design Institute GT Morstroy

Abstract. Description of the structures of unique marine hydraulic structures designed by the design institute of JSC «GT Morstroy» and built in the Russian Federation:

- A breakwater in the Baltic Sea near Kaliningrad made of metal shells with a diameter of 20 m and a height of 21,15;
- An approach dam, a pier and a pier from giant massifs 28,6 × 58,0 × 23,0 (h) in the complex of production and shipment of liquefied natural gas of the Portovaya CS facility in the Dalnaya Bay, Gulf of Finland;
- Installation of a floating storage of liquefied natural gas in the Bechevinskaya Bay of the Kamchatka Territory in the zone of impact of a tsunami wave.

Keywords: concrete caisson structures, LNG marine terminal, protective marine structure, breakwater.

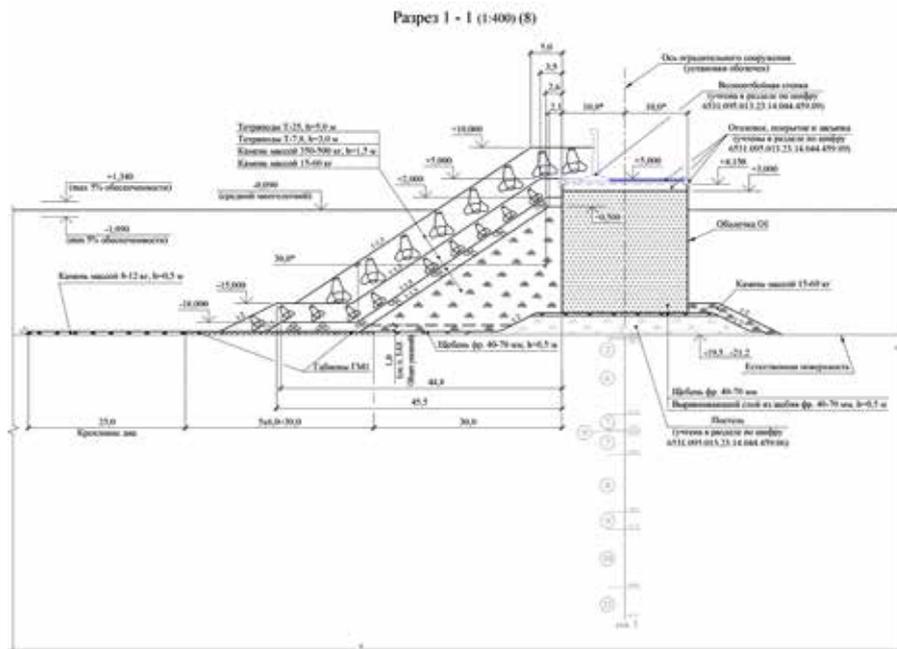


Рис. 2. Поперечный разрез волнолома

запроектирован уникальный для Балтийского моря волнолом — на глубине моря 20 м (максимальная глубина моря, на которой построены волноломы в Балтийском море, — 14 м).

Конструкции волноломов в Балтийском море

Основные конструктивные решения волноломов в Балтийском море в России и за рубежом (около 70%) — гравитационные насыпного типа из камней и бетонных массивов. Из оболочек

большого диаметра в Балтийском море построено пять волноломов. Отметим, что в России до этого объекта было построено три сооружения из металлических оболочек большого диаметра (8 и более м) — порт Высоцк, порт Козьмино, порт Мзымта.

Конструкция данного оградительного сооружения принята гравитационного типа из металлических оболочек большого диаметра с устройством отсыпки из сортированного камня и фасонных блоков для защиты от волновых



Рис. 3. Монтаж оболочек

воздействий. Оболочки устанавливаются на подготовленную постель из сортированного камня. Строительство оградительного сооружения велось на естественных глубинах. Отметки дна в районе проектируемого сооружения составляют от минус 21,200 м БС до минус 18,900 м БС. Отметка верха постели из камня массой 15–60 кг принята минус 17,000 м БС.

Наружный диаметр оболочек принят 20,0 м, высота — 21,15 м, толщина стенок — 20 мм. Расстояние между осями оболочек принято 21,5 м, при этом зазоры между ними составляют 1,5 м. Оболочки соединены вставками из изогнутых металлических листов толщиной 20 мм, обеспечивающих грунтопроницаемую взаимосвязь между оболочками. Высота вставок принята равной высоте оболочек — 21,15 м. Заполнение внутренней полости оболочек и пространства между вставками предусмотрено щебнем фр. 40–70 мм.

С тыловой стороны оградительного сооружения (со стороны защищаемой акватории) в основании оболочек предусмотрена отсыпка сортированного камня массой 15–60 кг до отметки минус 15,000 м БС для обеспечения устойчивости сооружения и недопущения вымыва (размыва) щебня.

С мористой стороны (со стороны открытой акватории) предусмотрена отсыпка призмы из сортированного камня массой 15–60 кг, защищенной от волновых воздействий фасонными блоками (тетраподами) массой 7,8 т и 25,0 т, уложенными по слою сортированного камня массой 350–500 кг. Защитное покрытие тетраподами массой 7,8 т обеспечивает устойчивость откоса в строительный период, тетраподами массой 25,0 т — в эксплуатационный период.

Отметка верха защитной отсыпки плюс 10,000 м БС принята с учетом высоты наката расчетных волн. Оголовки оболочек и вставок сечением 1,0×1,5 (h) м приняты из монолитного железобетона с разделением деформационными швами по границе вставки и оболочки. Отметка верха оголовков плюс 5,000 м БС.

Волноотбойные стенки высотой 5,5 м и 8,5 м приняты из сборного железобетона. Волноотбойные стенки устанавливаются на отметке плюс 4,500 м БС.



Рис. 4. План расстановки массивов-гигантов

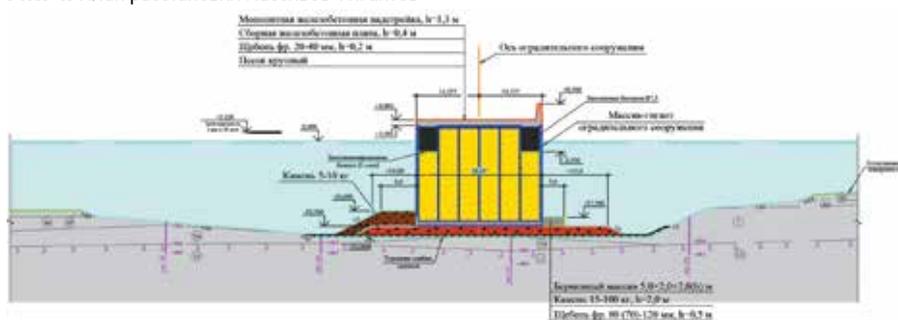


Рис. 5. Поперечный разрез волнолома

В зонах, образованных оголовками оболочек (вставок) со стороны защитной обсыпки и волноотбойными стенками, предусмотрено устройство монолитных участков покрытия с отметкой верха плюс 5,000 м БС. Покрытие толщиной 0,5 м принято из монолитного бетона с устройством арматурной сетки в верхней зоне. Конструкция волнолома показана на рис. 2.

Конструкция оградительного сооружения и его элементов рассчитана на волновую нагрузку от расчетных волн повторяемостью 1 раз в 50 лет с параметрами: высота $h_{1\%}=8,3$ м, средняя длина = 110 м, средний период = 8,4 с.

Такое конструктивное решение стало возможным благодаря компании АО «МРТС», которая организо-

вала на береговой площадке производство оболочек большого диаметра из стального листа толщиной 20 мм. Листы прокатывались и затем сваривались в кондукторе. Монтаж оболочек в море осуществлялся несамостоятельным трубоукладчиком — тяжелым крановым судном «Фортуна», которое оборудовано краном грузоподъемностью 1600 т. Подъем и монтаж осуществлялись специальной траверсой. Для обеспечения жесткости оболочки при транспортировке и установке использовалась специальная рама (кондуктор) (рис. 3).

Опыт строительства в России сооружений из массивов-гигантов

Отечественное строительство сооружений из массивов-гигантов берет свое

начало в XX в., когда в 1905–1909 гг. было построено одно из первых в мире сооружение из массивов-гигантов — западный мол в Туапсе. В 1933–1939 гг. в заливе Усть-Луга был построен волнолом из массивов-гигантов для защиты военно-морской базы «Ручьи».

В 1985 г. был сооружен стационарный маяк «Ирбенский», основанием которого является железобетонный массив-гигант, имеющий в нижней части форму девятигранной призмы со стороной 9,0 м, а в зоне действия ледовых полей — девятигранной усеченной пирамиды. Высота массива-гиганта — 11,5 м, масса — около 2000 т. Проект разработан специалистами в.ч. 54034, руководитель группы Л. В. Тозик. В 1987 г. специалистами той же в.ч. 54034 под руководством начальника отдела Л. В. Тозика был разработан проект причала из массивов-гигантов для Дальнего Востока. Массивы-гиганты размерами $16 \times 25,5 \times 12,4$ (h) м и массой 2400 т были изготовлены, но сооружение из них не достроено.

Опыт строительства массивов-гигантов имеет ЦКБ «Монолит», которое построило массивы-гиганты для своей стапель-площадки в г. Городце.

Первые в современной России сооружения из массивов-гигантов — подходная дамба, причал и мол

Комплекс по производству, хранению и отгрузке сжиженного природного газа в районе КСПГ «Портовая» — это комплекс инженерно-технических сооружений, предназначенных для приема сырьевого газа, подготовки газа к сжижению, сжижения, хранения и отгрузки СПГ на суда-газовозы с дальнейшей транспортировкой на приемный терминал СПГ, расположенный на побережье Балтийского моря в районе г. Калининграда.

В 2017 г. специалистами АО «ГТ Морстрой» (директор проектного института Л. В. Тозик) по заказу ПАО «Газпром» запроектирован морской отгрузочный терминал сжиженного природного газа КСПГ «Портовая». Терминал расположен в бухте Дальняя, Финский залив.

Основная часть подходной дамбы запроектирована в классическом конструктивном решении — гравитаци-

онная насыпного типа. Головная часть сооружения — подходная дамба, причал и мол — запроектированы из массивов-гигантов (рис. 4, 5). Рядовые массивы-гиганты имеют размеры 28,6 × 58,0 × 23,0 (h) м и массу без учета заполнения 14435 т. Заполнение массивов-гигантов выполнялось крупным песком. Верхнее строение состоит из сборных ж/б плит толщиной 40 см и монолитной ж/б надстройки толщиной 1,3 м.

Массивы-гиганты изготавливались в Испании компанией FCC и доставлялись к месту строительства полупогружными транспортными судами. Строительство постели и монтаж массивов-гигантов выполняла компания АО «МРТС» (рис. 6).

Раскрепление плавучего хранилища СПГ бух. Бечевинская Камчатского края в зоне воздействия волн цунами

В 2020 г. АО «ГТ Морстрой» получило положительное заключение по проекту «Морской перегрузочный комплекс сжиженного природного газа в Камчатском крае», выполненному по заказу ООО «Новатэк-Камчатка». Проектом решается раскрепление двух плавучих хранилищ СПГ на акватории бухты Бечевинская Камчатского края в зоне возможного воздействия волн цунами.

Плавучие хранилища СПГ (ПХГ) имеют размерения 400 × 60 м, высота борта 30 м, осадка 12,2 м, водоизмещение 271400 т, вместимость 360000 м³. Такие — первые в мире — суда строит компания DSME (Республика Корея).

Уникальность объекта в том, что до сих пор никто в мире не раскреплял плавучие объекты такого размера в зоне возможного воздействия волн цунами. Нормативными документами РФ не определяются расчетные параметры волны цунами на данной акватории, поскольку ранее она была закрытой. Действующими нормативными документами (СП 292.1325800.2017) определяется расчетное воздействие волны цунами только на стационарные объекты.

Для определения расчетных параметров волн цунами на акватории были выполнены научно-исследовательские работы:

- «Разработка параметров модельных очагов цунамигенных землетрясений, графиков повторяемости цунами» (ФГБУН Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, авторы: д.г.-м.н. Пинегина Т. К., Базанова Л. И., Ландер А. В.).

- «Расчет ожидаемых с повторяемостью в среднем 1 раз в 100 лет характеристик волн цунами в районе проектируемых гидротехнических сооружений Морского перегрузочного комплекса сжиженного природного газа в бухте Бечевинская и определение границы затопления прибрежной территории с учетом частичной модификации рельефа дна» (Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИВТ СО РАН), авторы: м.н.с. Кихтенко В. А., д. ф.-м. н. Чубаров Л. Б., к. ф.-м. н. Гусев О. И., к.ф.- м.н. Бейзель С. А., д. ф.-м. н. Хакимзанов Г. С.).

- Для проверки результатов математического моделирования были проведены физические исследования в бассейне, имеющем установку (генератор) моделирования так называемых длинных волн, к которым относится волна цунами. «Физическое моделирование воздействия волны цунами на плавучее хранилище газа и его систему раскрепления, расположенное на акватории бухты Бечевинская» («23 Государственный морской проектный институт — филиал акционерного общества «31 Государственный проектный институт специального строительства» МО РФ, авторы: д. т. н. Нуднер И. С., Бабчик Д. В., к. т. н. Лебедев В. В., к. т. н. Семенов К. К.).

Единственная методика расчета воздействия волны цунами на плавучие объекты в России была разработана специалистами «НИЦ 26 ЦНИИ» МО РФ. Расчеты системы раскрепления плавучих хранилищ СПГ были выполнены на основе указанной методики специалистом АО «ГТ Морстрой», к. т. н. Кожевниковым П. М.

Результаты расчетов показывают, что рекомендуемые системы раскрепления обеспечивают удержание ПХГ как при основном сочетании внешних воздействий при расчетных экстремальных штормах повторяемостью 1 раз в 100 лет с максимальной скоро-



Рис. 6. Построенное сооружение. Фото: ООО «Газпром инвест»

стью ветра до 50 м/с и ледовых воздействиях, так и при особом сочетании внешних воздействий с учетом воздействия волн цунами также повторяемостью 1 раз в 100 лет с высотой волн до 4,0 м. Удержание ПХГ в указанных условиях обеспечивается как по прочности якорных цепей, так и по держащей силе якорей в соответствии с требованиями норм.

По данным расчетов величины перемещений ПХГ составляют:

- максимальные продольные перемещения ± 5,9 м;
- максимальные поперечные перемещения ± 16,0 м;
- максимальные углы рыскания ± 0,65 град.

Проектом решается система якорного раскрепления ПХГ, которая включает:

- 36 якорных цепей калибром 97 мм категории R3S с разрывным усилием 8490 кН;
- 36 подвесных массивов массой по 100 т;
- 72 гравитационных железобетонных якоря массой по 400 т, по два якоря на каждой якорной связи.

Вдоль борта ПХГ цепи крепятся к днищу, в носовой и кормовой части корпуса — к борту.

3D-модель морского перегрузочного комплекса **представлена на третьей обложке номера.**

Результаты выполненных работ позволяют сделать вывод об эффективности и целесообразности внедрения уникальных технических решений при проектировании морских гидротехнических сооружений в сложных природно-климатических условиях, требующих минимизации временных затрат при строительстве в открытом море. ■