

## Строительство плавучих железобетонных морских сооружений для сжижения природного газа

*Р.И. Харламов, В.А. Перфилов*

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград*

**Аннотация:** В данной статье раскрыт ряд примеров внедрения новых технологий в строительстве для осуществления новых высокотехнологичных проектов. Рассмотрены некоторые аспекты технологии строительства морских гравитационных оснований для технологических линий по сжижению природного газа и стабильного газового конденсата. В процессе строительства гравитационного основания применялись новые составы тяжелых высокопрочных модифицированных и легких бетонов, а также натяжение арматурных канатов на затвердевший бетон. Для различных конструкций сложной конфигурации использовали инвентарную щитовую переставную и скользящую опалубку.

**Ключевые слова:** основание гравитационного типа, сжиженный природный газ, постнатяжение, высокопрочный модифицированный бетон, плавучее морское сооружение.

Российская Федерация является единственным государством в мире, берега которого омывают двенадцать морей и три океана. Водные объекты представляют собой уникальный набор совокупных компонентов природной среды для развития инженерной мысли. Обладание мощной сырьевой базой позволяет полностью обеспечивать собственные потребности и занимать одну из главенствующих позиций в мире. Согласно стратегии развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 г., исследование шельфовых зон вокруг береговой части, расположенных в пределах Арктической акватории, является стратегическим направлением для освоения углеводородной сырьевой базы, сохранения и рационального использования биологических ресурсов. При этом нефтегазовый сектор экономического развития Российской Федерации - один из основных элементов вложения инвестиций в производство [1,2]. Возможность строительства морских, береговых и подводных комплексных объектов с взаимосвязанными обслуживающими структурами составляет и обеспечивает

основу функционирования систем производств в различных промышленных секторах. Для размещения программированных устройств с целью исследования морской среды с помощью дистанционно управляемого оборудования, дистанционных измерений и автономных устройств, требуются инженерные сооружения, новые технологии и оборудование. Основой могут быть стационарные инженерные сооружения, такие, как:

- подводные необитаемые станции на глубоководных участках;
- стационарные морские сооружения;
- основания гравитационного типа в прибрежной и шельфовой зоне;

В настоящее время наиболее важное значение приобретает строительство линий для изготовления и хранения сжиженного природного газа [3-5]. Для освоения углеводородной сырьевой базы в Арктической зоне, на площадке центра строительства крупнотоннажных морских сооружений (ЦСКМС), находящихся в поселке Белокаменка Мурманской области, реализуется высокотехнологичный проект ПАО «НОВАТЭК» по строительству линий сжижения природного газа (СПГ), базирующегося на основании гравитационного типа (ОГТ). Технологические линии представляют собой отдельные модули с технологическими трубопроводами и инженерным оборудованием (рис. 1).

Производимые на ЦСКМС основания гравитационного типа являются наиболее масштабными на сегодняшний день плавучими сооружениями в мире. Для строительства оснований предусмотрены:

- Площадка изготовления трубных узлов, предназначенная для изготовления секций трубопроводов верхних строений.
  - Объекты инженерного обеспечения непрерывной работы ЦСКМС.
  - Площадка верхних строений, предназначенная для изготовления оснащения четырнадцати технологических модулей.
-

- Объекты морской инфраструктуры, которые имеют четыре глубоководных причала для приема судов.
- Площадка возведения основания гравитационного типа.



Рис. 1. Технологическая линия по сжижению природного газа на основании гравитационного типа

Одно из направлений стационарных морских сооружений - основание гравитационного типа. Оно представляет собой объемную железобетонную конструкцию кессонного типа, разделенную плитами, стенами, перегородками и ребрами жесткости на отсеки выполняющую функцию хранилища. В отсеках находятся резервуары СПГ и резервуар стабильного газового конденсата (СГК), хранилище энергоресурсов технологического процесса и системы балласта, предназначенной для установки на дне водного объекта под действием собственного веса. На ОГТ опираются комплекс верхних строений и судовые системы для одновременной швартовки танкеров СПГ/СГК. Технические характеристики реализуемого проекта ПАО «НОВАТЭК» составляют - длина 330 м, ширина 150 м, высота без верхних строений - 30 м, полный вес с механическим оснащением 480 000 тонн,

объем резервуаров для СПГ – 230 000 м<sup>3</sup>, объем резервуаров для SGK – 75 000 м<sup>3</sup>. С целью обеспечения достаточной плавучести, в ОГТ используется модифицированный бетон нормальной плотности и легкий бетон. Площадь основания ОГТ обеспечивает достаточную плавучесть с учетом номинальной максимальной расчетной осадки при буксировке 13,35 м.

Инженерные идеи особо опасного и технологически сложного объекта используют новые технологии и процессы, такие, как производство СПГ и SGK, состоящие из приема и удаления углеводородного сырья, осушки природного газа и удаления ртути, сжижения природного газа. Также в строительстве ОГТ были разработаны уникальные в новейшей строительной истории РФ составы высокопрочных бетонов с управляемой плотностью и долговечностью, что позволило существенно снизить вес ОГТ при сохранении необходимых прочностных свойств. Также, для строительства подводных сооружений гравитационной платформы, предлагается модифицированный высокопрочный бетон с нанокремнеземными добавками, обладающий высокой прочностью, морозостойкостью и водонепроницаемостью [6,7].

Задействуется одна из самых прогрессивных и перспективных технологий в строительстве – «пост-натяжение» в построечных условиях при сооружении конструкций [8,9]. При изготовлении бетона использовались материалы от российских поставщиков и производителей.

Рассматриваемый процесс возведения основания гравитационного типа с габаритами 330x150x30 м. и с полным весом 430 000 тонн, включая арматуру и каналы для последующего натяжения арматуры, начинается с плиты основания, которая разбита на 17 захваток. По мере формирования основания, вовлекаются в изготовление стены под плитой резервуара СПГ. В продолжение формируются крайние стены, боковые стены, верхняя плита ОГТ и стены с верхней плитой кантилевера.

---

При строительстве ОГТ использовались основные типы опалубки: традиционная, инвентарная и несъемная. Традиционная опалубка проста в изготовлении и может быть использована при заливке небольших по высоте массивов и применялась для ограждений при заливке плит основания, перекрытия, плиты кантилевера и пьедесталов. При возведении ответственных конструкций используют инвентарную щитовую и скользящую опалубку, которая ускоряет сооружение больших объектов, таких, как фундаменты, основания пьедесталов, стены кантилевера. Конструкции более 8 метров изготавливали с помощью скользящей опалубки. Монолитное бетонирование осуществляли без «холодного» шва, поскольку он снижает итоговую прочность затвердевшего бетона в конструкции. По методу скользящей опалубки производилось бетонирование стен длиной до 130 метров на высоту 25 метров, что позволяет сократить время строительства. По технологии пост-натяжения, в предварительно уложенные каналы из гофрированной трубы в тело будущей конструкции протягиваются арматурные канаты. После заливки бетона и набора им определённой прочности монолитных конструкций, канаты закрепляются анкерами на торцах и натягиваются с помощью специальных устройств. В завершение, каналы заполняются безусадочным цементным раствором, посредством которого, в дальнейшем, обеспечивается защита и передача по всей длине усилий с арматурных канатов на бетон. Данный метод при строительстве ОГТ позволяет сократить расход арматуры, способствует уменьшению веса конструкции и увеличивает жесткость элементов, не влияя на их прочность.

Одним из основных технологических процессов является строительство резервуаров хранения СПГ и этана мембранного типа внутри ОГТ [3,10]. Резервуары расположены в бетонном корпусе, внутри которого устанавливаются теплоизоляционные панели с первичной мембраной из

---

нержавеющей стали для хранения СПГ и этана, а также вторичной мембраной для недопущения соприкосновения СПГ и этана с бетонными стенками резервуара в случае их утечки через первичную мембрану (рис. 2).

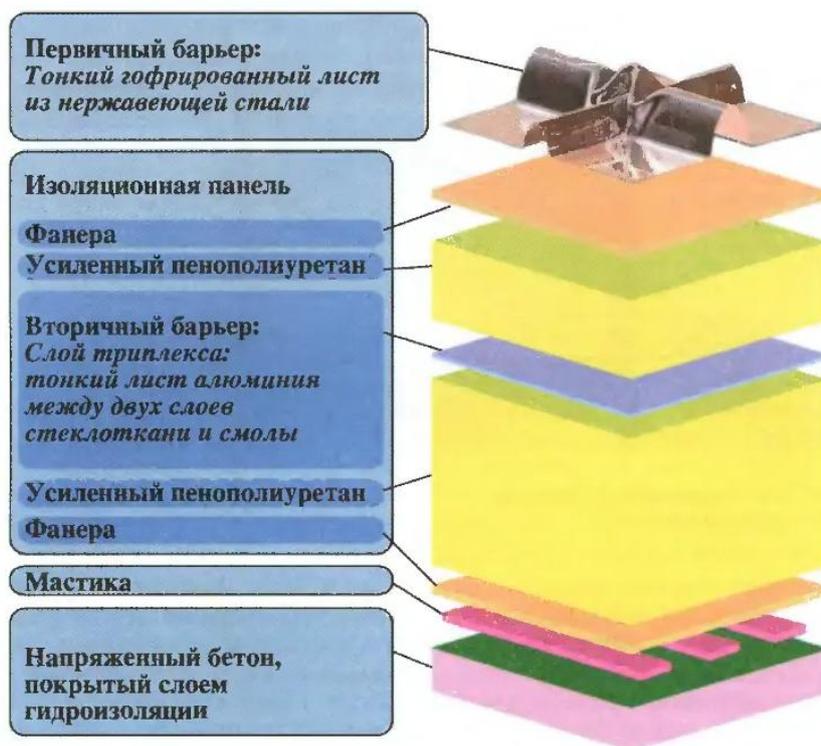


Рис. 2. Структура мембранной системы [3]

В качестве первичного контура, задерживающего жидкую и газообразную фазы СПГ, используется профилированная металлическая мембрана из нержавеющей стали. В качестве вторичного барьера, задерживающего жидкую фазу СПГ в случае утечки первичного барьера, используется композитный рулонный материал, изготавливаемый путём наклеивания алюминиевой фольги между двумя слоями стекловолокна с использованием связующих композиций. Теплоизоляционные свойства обеспечиваются за счет армированных пенополиуретановых плит [3,10].

**В заключение** необходимо отметить, что, при достаточном финансировании, строительство стационарных инженерных сооружений по переработке сжиженного природного газа в морских акваториях под юрисдикцией Российской Федерации увеличится. Нельзя не обойти вопрос о необходимости непрерывного контроля всех систем безопасности, создании единой информационной среды на основе стационарных морских сооружений. Доступность исследований физических, химических и биологических условий на морском дне, а также развитие новых технологий и материалов в перспективе увеличит научно-техническую базу Российской Федерации и выведет на новый уровень решение проблем глубокой переработки полезных ископаемых, экономических обоснований для качественных изменений в промышленности.

#### **Литература**

1. Негреева В.В., Абаркина Д.В. Ямал СПГ: новые риски и возможности Российского ТЭК В Арктике // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент» № 4, 2016 – С. 88-94.

2. Александрова А.И., Соколицын А.С. Анализ экономики нефтегазового сектора в РФ // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент» № 2, 2019 – С. 3-14.

3. Федорова Е.Б. Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование. – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2011. – 159 с.

4. Ханухов Х.М., Четвертухин Н.В., Алипов А.В., Симонов И.И., Коломыцев А.В., Чернобров А.Р. Инновационные решения систем хранения сжиженного природного газа. // Научно-технический сборник – Вестник газовой науки, 2020 № 1(42) С.103-109.

5. Горбунов, В.В., Перфилов В.А. Морские гравитационные платформы для комплексов сжиженного природного газа // Проблемы и перспективы

---

развития науки в России и мире: сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. 13 октября 2021 г., Самара. - Уфа, 2021. - С. 24-27.

6. Масалитин, А.Ю., Гулый И.П., Перфилов В.А. Особенности строительства вертикальных стальных резервуаров большой вместимости для хранения нефтепродуктов в особых климатических условиях // Инженерный вестник Дона. - 2022. - № 12. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2022/8045](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2022/8045).

7. Перфилов В.А., Габова В.В., Лукьяница С.В. Бетон для строительства подводных нефтегазовых сооружений // Инженерный вестник Дона. - 2020. - № 11. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6673](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6673).

8. Bondy K. Dirk, Allred Bryan. Post-Tensioned Concrete: Principles and Practice, Third Edition Year: 2017, Edition: Paperback, Publisher: Lulu, Publishing Services, Language: English, P. 452.

9. Bijan O. Aalami Post-Tensioning in Building Construction, First Published 2023, eBook Published 9 May 2023, Pub. Location: Boca Raton, Imprint: CRC Press, DOI. [doi.org/10.1201/9781003310297](https://doi.org/10.1201/9781003310297) P.264.

10. Иванцова С.Г. Анализ технических решений при изготовлении и строительстве мембранных изотермических резервуаров сжиженного природного газа. // Журнал «Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья», 2018 № 2. С. 44-48.

### References

1. Negreeva V.V., Abarkina D.V. Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Seriya «Ekonomika i ekologicheskij menedzhment», 2016, № 4. pp. 88-94.
2. Aleksandrova A.I., Sokolicyn A.S. Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Seriya «Ekonomika i ekologicheskij menedzhment», 2019, № 2 pp. 3-14.
3. Fedorova E.B. Sovremennoe sostoyanie i razvitie mirovoj industrii szhizhennogo prirodnogo gaza: tekhnologii i oborudovanie urrent [State and



Development of the Global Liquefied Natural Gas Industry: Technologies and Equipment]. M.: RGU nefiti i gaza imeni I.M. Gubkina, 2011, 159 p.

4. Hanuhov H.M., CHetvertuhin N.V., Alipov A.V., Simonov I.I., Kolomycev A.V., CHernobrov A.R.. Nauchno-tekhnicheskij sbornik. Vestnik gazovoj nauki, 2020 № 1(42), pp.103-109.

5. Gorbunov, V.V., Perfilov V.A. Problemy i perspektivy razvitiya nauki v Rossii i mire: sb. st. Vseros. nauch.-prakt. konf. 13.10.2021, Samara. Ufa, 2021, pp. 24-27.

6. Masalitin, A.YU, Gulyj I.P., Perfilov V.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. № 12. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2022/8045](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2022/8045).

7. Perfilov V.A., Gabova V.V., Luk'yanica S.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. № 11. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6673](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6673).

8. Post-Tensioned Concrete: Principles and Practice, Third Edition Year: 2017, Edition: Paperback, Publisher: Lulu, Publishing Services, Language: English, P. 452.

9. Bijan O. Aalami Post-Tensioning in Building Construction, First Published 2023, eBook Published 9 May 2023, Pub. Location: Boca Raton, Imprint: CRC Press, DOI. [doi.org/10.1201/9781003310297](https://doi.org/10.1201/9781003310297) P.264.

10. Ivancova S.G. Zhurnal «Transport i hranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya», 2018, № 2. pp. 44-48.