

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 624.953

DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-3-172-180



Оригинальная статья /Original article

**Конструктивные решения крупнотоннажных резервуаров
для хранения сжиженных природных газов**

Э.Р. Бареева

Астраханский государственный технический университет,
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, стр. 16/1, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является поиск перспективы развития отечественных крупнотоннажных изотермических хранилищ СПГ, для удовлетворения требуемого объема экспортных поставок РФ. **Метод.** В ходе исследования использованы современные методы проектирование, анализа материалов и конструкций. **Результат.** Представлены виды сечений и узлы сопряжения элементов. Излагается общестроительное проектирование и конструирование внешнего железобетонного резервуара с учётом соответствующих присоединений к фундаменту и внутреннему резервуару, внутреннего резервуара, вторичного дна, пароизоляции, системы термозащиты, купольной крыши, подвесного перекрытия, а также системы термоизоляции резервуара. Для обеспечения более высоких эксплуатационных характеристик сооружения рекомендован класс бетона по прочности для плиты основания и кровельного перекрытия и стен, а также термоизоляционный материал. Определены требования к конструкциям и материалам защитных ограждений крупнотоннажных изотермических хранилищ СПГ. **Вывод.** Определена системная взаимосвязь между всеми компонентами специальных строительных конструкций, строительных и теплоизоляционных материалов.

Ключевые слова: строительство крупнотоннажных резервуаров, сжиженный природный газ, надземные изотермические двухбололочные резервуары, класс бетона, система термоизоляции, конструктивное решение и армирование внешнего резервуара, конструирование внутреннего резервуара, сферическая крыша.

Для цитирования: Э.Р. Бареева. Конструктивные решения крупнотоннажных резервуаров для хранения сжиженных природных газов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(3): 172-180. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-3-172-180

Design solutions of large-capacity storage tanks for liquefied natural gases

E.R. Bareeva

Astrakhan State Technical University,
16/1 building Tatishcheva St., Astrakhan 414056, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the study is to find prospects for the development of domestic large-scale isothermal LNG storage facilities to meet the required volume of export supplies from the Russian Federation. **Method.** During the study, modern methods of design, analysis of materials and structures were used. **Result.** Types of sections and joints of elements are presented. The general construction design and construction of an external reinforced concrete tank is described, taking into account the corresponding connections to the foundation and internal tank, internal tank, secondary bottom, vapor barrier, thermal protection system, domed roof, suspended ceiling, as well as the thermal insulation system of the tank. To ensure higher performance characteristics of the structure, a concrete strength class is recommended for the base slab and roofing slab and walls, as well as thermal insulation material. Requirements for the designs and materials of protective fences for large-capacity isothermal LNG storage facilities

have been determined. **Conclusion.** The systemic relationship between all components of special building structures, building and thermal insulation materials has been determined.

Keywords: construction of large-capacity tanks, liquefied natural gas, above-ground isothermal double-shell tanks, concrete class, thermal insulation system, design solution and reinforcement of the external tank, design of the internal tank, spherical roof.

For citation: E.R. Bareeva. Design solutions of large-capacity storage tanks for liquefied natural gases. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(3): 172-180. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-3-172-180

Введение. Необходимость газоснабжения труднодоступных и удаленных районов нашей страны, изменения международной обстановки, сокращение трубопроводных поставок газа вызвало необходимость более активного внедрения технологий сжиженного природного газа (далее СПГ). Российская Федерация является одним из крупных производителей и экспортеров СПГ в мире. В апреле 2020 года Правительством Российской Федерации была утверждена «Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года». В стратегии обозначены задачи газовой отрасли, в число которых входит развитие производства и потребления СПГ, вхождение в среднесрочной перспективе Российской Федерации в число мировых лидеров по его производству и экспорту. Планируемые объемы производства СПГ в России должны обеспечить долю на мировом рынке, пропорциональную его доли в мировых запасах газа [1].

Постановка задачи. С целью достижения максимального экономического эффекта при экспортных поставках необходимо реализовать высокотехнологичные крупнотоннажные комплексы по сжижению, выдаче и приему СПГ. Самым эффективным способом хранения СПГ при крупнотоннажном производстве являются надземные изотермические резервуары объемом больше 100000 м³.

Методы исследования. В России вопросы проектирования резервуаров для хранения СПГ регламентируются СП 495.1325800.2020 «Резервуары изотермические для хранения сжиженных газов. Правила проектирования». Настоящие правила распространяются на проектирование конструкций изотермических стальных вертикальных резервуаров для хранения сжиженных газов при температурах до минус 165°C и давлении, близком к атмосферному, в наземном или подземном исполнении объемом менее 60000 м³ [2]. Учитывая то, что ранее крупнотоннажные резервуары СПГ в России практически не строились, отечественные нормы проектирования, строительства и эксплуатации таких сооружений отсутствуют. При проектировании крупногабаритных резервуаров для хранения СПГ в качестве основных нормативных документов используются Европейские стандарты EN 1992-1-1 и 14620-3-2006.

Конструктивные решения крупнотоннажных резервуаров СПГ, которые являются хранилищами больших объемов пожаровзрывоопасного продукта, должны обеспечивать полную герметизацию, исключая выход продукта в окружающую среду, предотвращение экологической катастрофы. Наиболее безопасными являются изотермические двухоболочечные резервуары, конструктивное решение которых можно сравнить с «матрешкой», состоящей из первичного и вторичного контейнеров, которые вместе образуют единый резервуар-хранилище (рис. 1).

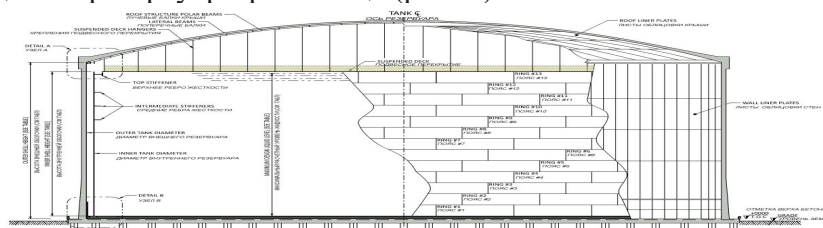


Рис. 1 Общий вид резервуара
Fig. 1 General view of the tank

Первичный контейнер - «внутренняя емкость» - представляет собой свободностоящий резервуар с одинарной стальной обечайкой, внутри которого хранится жидкий продукт, и подвесным перекрытием. Внутренний резервуар представляет собой обычный резервуар для хранения жидкости, имеет цилиндрическую форму с открытым верхом, изготовлен из стали с 9% содержанием никеля, и отвечает требованиям по низкотемпературной пластичности и ударопрочности. Конфигурация внутреннего резервуара позволяет обеспечить номинальный запас рабочей высоты до верхней части внутреннего резервуара, чтобы избежать утечки СПГ в межстенное пространство.

Вторичный контейнер - «наружная емкость» - представляет собой свободностоящий цилиндрический железобетонный резервуар, оснащенный купольной крышей. Внешний бетонный резервуар удерживает жидкость в случае выхода из строя внутреннего резервуара. Внешний бетонный резервуар облицован листами из углеродистой стали для обеспечения пароизоляции при нормальном режиме эксплуатации. В случае выхода из строя внутреннего резервуара СПГ удерживается бетонным резервуаром, который рассчитан на удержание гидростатического давления в сочетании со значительным перепадом температур, вызванным разливом. Как внутренний, так и внешний резервуар выдерживают сейсмические нагрузки.

Основными компонентами конструкции крупнотоннажных резервуаров для хранения СПГ являются: несущая плита основания на железобетонных сваях с обогревом основания; наружные стены с предварительным напряжением в горизонтальном и вертикальном направлениях; сферическое купольное перекрытие; термоизоляция плиты основания, стен и подвесного перекрытия; внутренняя стальная емкость; подвесное перекрытие, закрепленное на купольном перекрытии; кровельная платформа (металлоконструкции) и оборудование (насосы, трубопровод и т.д.).

Система термоизоляции крупнотоннажного резервуара представляет собой смесь из несущего пеностекла, порошка перлита и покрытия из стекловолокна, в зависимости от места расположения и потенциальной утечки тепла. Купольная крыша внешнего резервуара состоит из железобетонного купола, облицованного листами из углеродистой стали. Подвесное алюминиевое перекрытие подвешивается с внутренней стороны внешней крыши для поддержки термоизоляции крыши во внутреннем резервуаре с открытым верхом.

Одним из примеров проектирования и строительства такого объекта является комплекс по переработке этансодержащего газа и производству СПГ в районе Усть-Луги в рамках проекта «Балтийский СПГ». Введение в эксплуатацию данного проекта позволит нарастить российский экспорт сжиженных газов в количестве 13 млн тонн [3]. Основываясь на мировом опыте, для хранения СПГ при крупнотоннажном производстве на комплексе запроектирован двухоболочечный резервуар закрытого типа емкостью 240 000 м³. Резервуар такого объема для хранения СПГ будет впервые построен в России и является крупнейшим в мире. Фундаменты под наружной емкостью запроектированы в виде 671 буронабивной бетонной сваи (рис. 2) диаметром 1,0 м глубиной ~37,0 м по всей площади резервуара. Сваи соединены с несущей плитой основания.

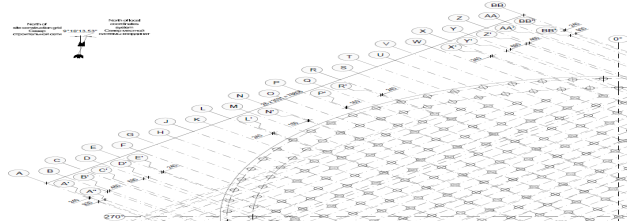


Рис. 2 Схема расположения свай

Fig. 2 Pile layout

Плита основания круглой формы без предварительного напряжения выполнена из железобетона и имеет диаметр 93,2 м и равномерную по всей площади толщину 1,25 м. Под плиту основания между сваями укладывается 100 мм подложка из тощей бетонной смеси. Несущая плита основания выполняется с трубопроводом отопления и использованием инклинометра. Для отвода дождевых стоков при производстве строительных работ предусматриваются временные водосточные трубы. Эти трубы должны быть

загерметизированы после установки купольного перекрытия. Наружная цилиндрическая стена резервуара выполняется из преднапряженного железобетона (рис. 3).

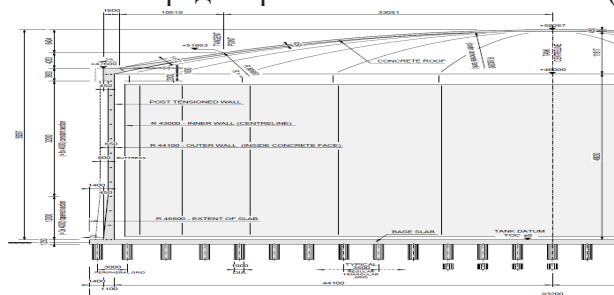


Рис. 3. Вид в разрезе наружной емкости резервуара

Fig. 3. Sectional view of the outer tank of the tank

Предварительное напряжение стен выполняется в горизонтальном и вертикальном направлениях. Внутренний радиус наружной стены составляет 44,1 м. Расстояние между стенами внешнего и внутреннего резервуара предусмотрено в размере 1,10 м. Стена внешнего резервуара сужается от дна с 1,10 м до равномерной толщины в 0,65 м. Возведение стен выполняется при помощи подъемно-переставной опалубки в виде 11 замкнутых 4-метровых колец, общая высота которых составляет 44,0 м. Для анкерки горизонтальных преднапряженных арматурных элементов предусмотрено 4 упора. Согласно Приложению А.1 стандарта EN 14620-3 Минимальные требования к прочности предварительно напряженной железобетонной стены наружного резервуара составляет 40 МПа, т.е. С40/50. В верхней части стены предусмотрена карнизная балка высотой 3,60 м и толщиной 1,10 м. Карнизная балка частично преднапряжена перед заливкой купольного перекрытия. Для кольцевой балки выбран такой же класс бетона по прочности, что и для стен – С40/50, т.к. она подвержена таким же криогенным воздействиям. Сферическая крыша представляет собой бетонный купол с внутренним диаметром стальной облицовочной плиты 88,2 м. Толщина купольного перекрытия в центральной части составляет 0,45 м. и постепенно увеличивается к внешней границе конической части до 1,172 м, что позволяет выдерживать воздействие консольного момента на карнизную балку и обеспечить дополнительную прочность для опор площадки. Внутренний сферический радиус купола равен внутреннему диаметру внешнего резервуара, что характерно для конструкций крупнотоннажных резервуаров СПГ.

Бетонная крыша спроектирована с учетом отсутствия совместной работы стальной облицовки и конструкции крыши. Это позволяет избежать необходимости обоснования работающего на сдвиг соединения между сталью и бетоном для обеспечения совместной работы. Купольная крыша отливается по стальной облицовке крыши, выполняющей функцию опалубки. Стальная облицовка служит паропроницаемым барьером резервуара. Внутри облицовки находится стальная несущая конструкция с лучевой балкой. Сборка стальной крыши производится на нулевой отметке внутри резервуара, подъем крыши в нужное положение осуществляется при помощи давления воздуха.

Стальная крыша представляет собой самонесущую конструкцию, которая крепится к стенке внешнего резервуара при помощи сжатых арматурных стержней и конструкции уплотняющего кольца. Купольное перекрытие заливается в два слоя. Все нагрузки на купольное перекрытие и нагрузки от подвесных металлоконструкций - например, подвесного перекрытия и термоизоляции - должны поддерживаться бетонной конструкцией купольного перекрытия. Кроме того, на купольное перекрытие подвешиваются погружные насосы.

Обсуждение результатов. Для обеспечения более высоких эксплуатационных характеристик сооружения, класс бетона по прочности для плиты основания и кровельного перекрытия подбирается в соответствии с классом бетона для стен (табл.1). Требования в части предельного состояния по несущей способности (1 группа) и предельного состояния по пригодности к нормальной эксплуатации (2 группа) остаются неизменными.

Таблица 1. Класс бетона, нормативная прочность и класс окружающей среды
Table 1. Concrete class, standard strength and environmental class

Компонент конструкции Design component	Класс бетона по прочности Concrete strength class	Цилиндрическая прочность f_{ck} [МН/м ² = МПа] Cylindrical strength	Кубиковая прочность f_{ck} [МН/м ² = МПа] Cube strength	Класс условий эксплуатации Operating environment class
Сваи / Piles	C32/40	32,0	40,0 (B40)	XC4, XS3, XA2
Плита основания / Base plate	C40/50	40,0	50,0 (B50)	XC4, XS1, (XF1)
Стена, вкл. упоры / Wall incl. stops	C40/50	40,0	50,0 (B50)	XC4, XS1, (XF1)
Купольное перекрытие / Dome ceiling	C40/50	40,0	50,0 (B50)	XC4, XS1, (XF1)
Внутренняя кольцевая балка / Inner ring beam	C40/50	40,0	50,0 (B50)	XC1, X0
Выравнивающие слои / Leveling layers	C20/25	20,0	25,0 (B25)	XC1, X0

Связь между классом условий эксплуатации и соответствующей ему минимальному классу по прочности бетона указаны в стандарте EN 1992-1-1, Приложение Е, таб. Е.1N: Индикативные классы прочности:

Минимальный класс прочности для X0 – C12/15

Минимальный класс прочности для XC3 и XC4 – C30/37

Минимальный класс прочности для XS1 – C30/37

Минимальный класс прочности для XF1 и XF3 – C30/37

Класс условий эксплуатации с учетом условий окружающей среды соответствует стандарту EN 1992-1-1. Основной класс конструкции для расчетного срока службы 50 лет - S4, принимается в соответствии со стандартом EN1992-1-1, 4.4.1.2 .

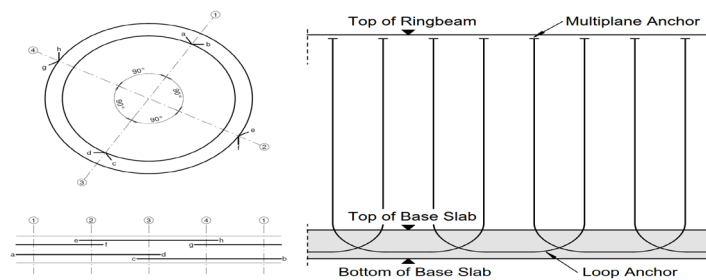
Защитный слой бетона определяется в соответствии с разделом 4 стандарта EN1992-1-1 «Долговечность и защитный слой для арматуры».

Выбранная толщина защитного бетонного слоя превышает минимальные значения:

армированный и преднапряженный бетон (внутренние и наружные поверхности емкости): 50 мм; армированные сваи: 75 мм. Для предварительного напряжения железобетонной стены используются семипроволочные арматурные тросы диаметром 15,7 мм (0.62”) как для горизонтального, так и вертикального напряжения. Горизонтальная система включает в себя 27 арматурных прядей, вертикальная система - 19 арматурных прядей на напрягаемый элемент. В соответствии с приложением С стандарта EN 1992-1-1, для нормального армирования всего железобетонного резервуара используется арматурная сталь марки B500B. Для внутренней поверхности железобетонной стены, арматуры стен для восприятия напряжений сдвига, а также для армирования внутренней кольцевой балки, принимается сталь, предназначенная для эксплуатации при температуре - 165 °С. Критерии определены стандартом EN 14620-3, разделом 6.3.2. и приложением А.

Для защиты горизонтальных и вертикальных напрягаемых элементов, как правило, используются полужесткие каналы (гофрированные металлические каналы с гальванизированным покрытием). Такие каналы обеспечивают вторичную защиту от коррозии, в то время как первичная защита от коррозии обеспечивается щелочными свойствами цементного раствора и бетона. Горизонтальные напрягаемые элементы располагаются на 180° по периметру резервуара, поэтому для формирования полного кольца необходимы два напрягаемых элемента.

Соседние кольца располагаются в шахматном порядке шагом в 90° по отношению друг к другу, чтобы обеспечить равномерное распределение нагрузки в стене резервуара (рис. 4). Вертикальные напрягаемые элементы выполнены в виде прямых элементов и проходят от верхней части стены до плиты основания. Они оборудованы либо тяговым анкером в верхней части стены и U-образными петлями у плиты основания, либо в виде сквозных элементов с тяговым анкером в верхней части стены и глухим анкером в плите основания.

**Рис. 4. Схема расположения горизонтальных и вертикальных напрягаемых элементов****Fig. 4. Layout of horizontal and vertical prestressing elements**

Напряжение элементов выполняется только после достижения бетоном требуемых и заданных показателей прочности. Когда бетон достигает требуемой прочности, арматура натягивается на анкеры. Такую систему иногда называют «натяжением на бетон». Напряжение элементов выполняется при помощи гидравлического домкрата. Натяжение горизонтальных напрягаемых элементов выполняется с обоих концов таким образом, чтобы натяжение с обоих концов должно быть примерно одинаковое. В отдельных случаях допускается натяжение с одного конца, например, для испытания трением. Натяжение вертикальных напрягаемых элементов с обоих концов выполняется сверху и одновременно в случае использования решения с U-образными петлями. После успешного завершения процесса напряжения и приемки актов предварительного напряжения конструкций, арматурные пряди обрезаются и напрягаемые элементы заливаются цементным раствором для их сцепления с бетонной конструкцией.

Внутренний резервуар – это вертикальная цилиндрическая конструкция с плоским дном, без крыши. Днище внутреннего резервуара выполняется из плоских листов, расположенных внутри кольца из кольцевых окراек, уложенных на фундамент с термоизоляцией. Оно располагается над несущей термоизоляцией днища внешнего резервуара. Внутренние стенки и кольцевые окрайки поддерживаются бетонной кольцевой балкой, распределяющей нагрузку на термоизоляцию. Материалы, минимальная толщина и ширина кольцевых окраек и нижних листов резервуара должны соответствовать расчетным требованиям EN 14620-2.

Вертикальная цилиндрическая оболочка изготавливается из изогнутых листовых секций, устанавливаемых слоями или рядами. Первый ряд устанавливается на листах кольцевых окраек на дне резервуара. Листы оболочки собираются таким образом, чтобы обеспечить расчетный диаметр и, следовательно, вместимость резервуара под заданную высоту продукта. Листы укладываются по центру, их длина должна быть одинаковой, с учетом требования к временным проемам для доступа во внутренний резервуар и для установки внутреннего оборудования.

Размер резервуара и уровни продукта устанавливаются на основе требований по максимальной вместимости жидкости, равной 240 000 м³. Оболочка проектируется на максимальную высоту продукта, определяемую по расчетам емкости, и на условия гидроиспытаний, при которых масса воды в 1,25 раза превышает массу продукта. Методика расчета определяет толщину листов на высоту оболочки, количество рядов, конструктивную устойчивость и условия испытания. Это позволяет определить требования к ребрам жесткости резервуара и их расположению. Межстенное пространство между резервуарами заполняется перлитом в качестве термоизоляционного материала, что оказывает давление на внутренний резервуар. Исходя из общего давления на оболочку, требуется установка ребер жесткости для сопротивления воздействующей нагрузке и сохранения круглой формы резервуара. Вторичное днище, выполненное из стали с 9% содержанием никеля, устанавливается и соединяется с окружной стальной стенкой на уровне 5,0 м над верхом бетонной плиты. Оно располагается над системой термоизоляции днища и аналогично днищу внутреннего резервуара, как в части конструкции, так и в части материала изготовления (рис. 5).

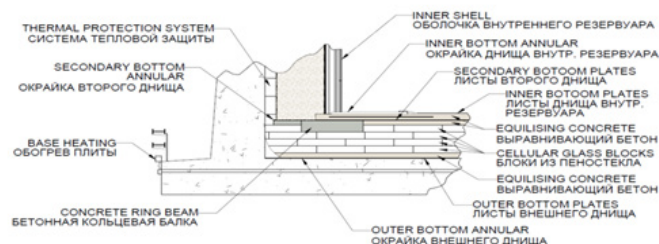


Рис. 5. Система термоизоляции дна резервуара

Fig. 5. Tank bottom thermal insulation system

К кольцевым окрайкам приваривается ряд облицовочных листов, смещенных относительно внешней обшивки резервуара, а образовавшиеся пустоты заполняются изоляцией из пеностекляных блоков. Толщина кольцевых окراек должна быть минимум 8 мм согласно EN 14620-2 5.2.1.1.1.

СПГ необходимо хранить в течение длительного периода времени при температуре точки кипения или ниже. Процесс «выкипания», переход из жидкости в газ, автоматически означает значительное поглощение энергии для поддержания продукта в жидком состоянии. Чтобы уменьшить скорость «выкипания», крупногабаритные резервуары проектируются с такой схемой термоизоляции, которая минимизирует потери продукта. Термоизоляция дна резервуара необходима для защиты фундамента от криогенных температур. Все конструктивные элементы резервуара способствуют термоизоляции и защите продукта. Система термоизоляции состоит из следующих основных компонентов:

1. Термоизоляция дна выполнена из пеностекляных блоков и выравнивающего слоя бетона, входящих в систему теплозащиты угловых зон.
2. Термоизоляция стен выполняется из упругого мата и порошок материал из вспученного перлита, укладываемых в межстенное пространство между внешним и внутренним резервуарами.
3. Термоизоляция перекрытия выполнена из стекловолоконных матов, закрепленных в верхней части подвесного перекрытия.

Облицовка внешней стенки резервуара изготавливается из марганцево-углеродистой стали. Облицовочные листы из углеродистой стали, находящиеся в непосредственном контакте с бетонной плитой, стенкой и крышей обеспечивают паронепроницаемый барьер. Облицовочные листы крепятся к арматуре, монтируемой в бетонную стену во время строительства. Листы укладываются ряд за рядом, формируя нужную высоту оболочки, также учитывается крепление уплотняющего кольца и элементы конструкции крыши.

Толщина листов рассчитывается таким образом, чтобы при простой нагрузке в виде давления пара и давления перлита сохранялась целостность конструкции. Все нагрузки передаются на бетон.

Облицовка дна внешнего резервуара располагается ниже термоизоляции дна и выше бетона фундамента. Она изготавливается из того же материала, что и облицовка внешней оболочки, и таким же образом, что и дна внутреннего резервуара.

Термоизоляция крыши над внутренним резервуаром поддерживается подвесным перекрытием. Подвесное перекрытие изготавливается из сваренных вместе алюминиевых пластин и поддерживается подвесными узлами, которые крепятся к лучевым балкам крыши. Чтобы избежать проникновения изоляционного материала, подвесное перекрытие герметично соединяется с внутренним резервуаром при помощи воздухопроницаемой мембраны из стекловолокна. Аналитики из Института энергетических исследований Российской академии наук и Центра энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО в прогнозе развития энергетики мира и России оценивают потребление газа в 2030 году в 4,6 трлн куб. м, в 2040 году — 5,1 трлн кубометров (рис. 6). Региональный

рост потребления ожидается в государствах Азиатско-Тихоокеанского региона в 1,6 раза к 2030 году по сравнению с 2018 годом, а в странах Африки 2050 году — в 2,8 раза [4]. Планируется что развитие производства СПГ до 140 млн т должно привести к росту его экспорта в период до 2030 года на сумму порядка \$150 млрд в ценах 2019 года и обеспечит не менее \$150 млрд инвестиций в российскую экономику. Ожидается, что прогнозный спрос на сжиженный природный газ превысит производство к 2027 году.

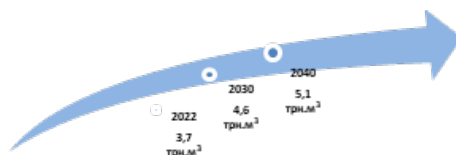


Рис. 6. Прогноз потребления газа в период 2022-2040 г.г.

Fig. 6. Forecast of gas consumption for the period 2022-2040

Потенциальными точками крупнотоннажного производства сжиженного природного газа с учетом логистической доступности газозовозов являются месторождения полуостровов Ямал и Гыдан, а также север Красноярского края, побережье Дальнего Востока (включая Сахалин), побережье Балтийского моря, а также шельфовые проекты (включая побережья Охотского моря и Северного Ледовитого океана). Сейчас в РФ идет непрерывное возведение заводов СПГ вблизи морских газовых месторождений. Создаются гигантские кластеры по его добыче, очищению, сжижению и транспортировке. Нарастить мощность как минимум до 46 млн. тонн к 2025 году, возможно только при вводе в эксплуатацию крупнотоннажных заводов таких как «Арктик СПГ-2» (плавучие платформы на полуострове Гыдан) и «Балтийский СПГ» (в Усть-Луге) [5].

Для поддержки крупнотоннажных проектов производства СПГ применяются широкие меры государственной поддержки, включая специальные налоговые режимы, Соглашения о разделе продукции, государственные займы и инвестиции в объекты инфраструктуры [6].

Вывод. Возведение крупнотоннажных резервуаров для хранения СПГ является актуальным вопросом на долгую перспективу.

Для эффективного проектирования, выбора конструктивных решений, строительства и эксплуатации таких объектов необходимо:

- разработать отечественную нормативную базу проектирования, строительства и эксплуатации изотермических стальных вертикальных резервуаров для хранения - СПГ при криогенных температурах и давлении, близком к атмосферному, в наземном или подземном исполнении объемом 100000 м³ и более;
- разработать отечественное программное обеспечение для анализа больших и сложных конструкций для использования при проектировании резервуаров СПГ;
- определить порядок размещения крупнотоннажных изотермических хранилищ на территории комплекса СПГ в зоне хранения в соответствии требованиям безопасности, предъявляемым на законодательном уровне в РФ;
- определить требования к конструкциям и материалам защитных ограждений крупнотоннажных изотермических хранилищ СПГ;
- разработать комплекс мероприятий для снижения уровня техногенных рисков при разливе СПГ из крупнотоннажных изотермических резервуаров, аварийных ситуаций от воздействия внешних источников, недопустимых деформаций;
- сформировать комплекс мер по защите персонала и технических средств объектов, населения прилегающих территорий, снижения социального ущерба на всех этапах развития аварии на крупнотоннажных изотермических хранилищ СПГ.

Рассмотренные конструктивные решения крупнотоннажных резервуаров СПГ, позволят обеспечить полную герметизацию пожаровзрывоопасного продукта, обеспечивая безопасную, длительную, безаварийную работу предприятий газодобывающей отрасли.

Библиографический список:

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года: утверждена и введена в действие Распоряжением Правительства Российской Федерации от 09 июня 2020г. N 1523-р // Правительство России: [сайт]. – URL: <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf> (дата обращения: 29.03.2023)
2. СП 495.1325800.2020. Резервуары изотермические для хранения сжиженных газов. Правила проектирования: свод правил: утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2020 г. N 916 /пр :дата введения 2021-01-06 / подготовлен Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/603121179> (дата обращения: 29.03.2023)
3. Определение оптимальной толщины теплоизоляционного слоя резервуара для хранения СПГ при крупнотоннажном производстве / Шестаков Р.А., Резанов К.С., Назарова А.И.// Деловой журнал Neftegaz.RU.2022. –№ 9 (129).С.42–47.URL: https://magazine.neftegaz.ru/upload/iblock/a56/fnnrqfufynmp1t3vnb5wsvbf6apzh0q/NeftegazRU_09_2022.pdf (дата обращения: 29.03.2023)
4. Пимонов В. Российский СПГ нацелен на лидерство// Журнал ТЭК России. – 2021. –№ 5 . – URL: и https://www.cdu.ru/tek_russia/issue/2021/5/901/ (дата обращения: 29.03.2023)
5. Приказ «Об утверждении свода правил «Резервуары изотермические для хранения сжиженных газов. Правила проектирования», №916, от 30 декабря 2020 года.
6. Карта российской СПГ отрасли 2021 / Союз организаций нефтегазовой отрасли «Российское газовое общество» [сайт]. – URL: <https://gazo.ru/upload/iblock/da1/da153d043ef74dcda8d1cc34bf2c1345.pdf> (дата обращения: 29.03.2023)

References

1. Energy strategy of the Russian Federation for the period until 2035: approved and put into effect by Order of the Government of the Russian Federation dated June 9, 2020. N 1523-r // Government of Russia: [website]. – URL: <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf> (access date: 03/29/2023) (In Russ)
2. SP 495.1325800.2020. Isothermal tanks for storing liquefied gases. Design rules: set of rules: approved and put into effect by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated December 30, 2020 N 916 /pr: implementation date 2021-01-06. prepared by the Department of Urban Planning and Architecture Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation. Electronic fund of normative, technical and regulatory information of the Code Consortium: URL: <https://docs.cntd.ru/document/603121179> (date of access: 03.29.2023) (In Russ).
3. Determination of the optimal thickness of the thermal insulation layer of an LNG storage tank for large-scale production. Shestakov R.A., Rezanov K.S., Nazarova A.I. *Business magazine Neftegaz.RU.* 2022; 9 (129):42–47.– URL: https://magazine.neftegaz.ru/upload/iblock/a56/fnnrqfufynmp1t3vnb5wsvbf6apzh0q/NeftegazRU_09_2022.pdf (access date: 03/29/2023) (In Russ)
4. Pimonov V. Russian LNG is aimed at leadership. Russian Fuel and Energy Complex magazine. 2021; 5. – URL: and https://www.cdu.ru/tek_russia/issue/2021/5/901/ d (date of access: 03/29/2023) (In Russ)
5. Order “On approval of the set of rules “Isothermal tanks for storing liquefied gases. Design Rules”, No. 916, dated December 30, 2020. (In Russ).
6. Map of the Russian LNG industry 2021 / Union of oil and gas industry organizations “Russian Gas Society” [website]. – URL: <https://gazo.ru/upload/iblock/da1/da153d043ef74dcda8d1cc34bf2c1345.pdf> (access date: 03/29/2023) (In Russ)

Сведения об авторе:

Бареева Эльвира Рустамовна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры строительства, института градостроительства; e_bareeva@mail.ru

Information about author:

Elvira R. Bareeva, Cand. Sci.(Pedagogical), Assoc. Prof., Department of Construction, Institute of Urban Planning e_bareeva@mail.ru

Конфликт интересов/ Conflict of interest.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов/The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 16.06.2023.

Одобрена после рецензирования Revised 12.07.2023.

Принята в печать/ Accepted for publication 12.07.2023.