

Казанский Федеральный Университет
Кафедра высоковязких нефтей и природных битумов¹
Kazan Federal University,
Department of high-viscosity oils and natural bitumen
Российское газовое общество²
Russian Gas Society

Хранение сжиженного природного газа
Storage of liquefied natural gas

Тухбиев Рамиль Фанисович, Tukhbiev Ramil Fanisovich ^c

Кемалов Руслан Алимович, Kemalov Ruslan Alimovich ^b

Кемалов Алим Фейзрахманович, Kemalov Alim Feizrahmanovich ^a,

Master's degree of the department of high-viscosity oils and natural bitumen^{1,c}

Doctor of technical sciences, professor of the department of high-viscosity oils and natural bitumen ^{1,a},

Candidate of technical sciences,

Associate professor of the department of high-viscosity oils and natural bitumen ^{1,2,b}

Member of the RGS Expert Council, Acting Head of the Hydrogen and Alternative Energy Group^{2,b}

Kazan, Russia

E-mail: kemalov@mail.ru

Аннотация: Значение сжиженного природного газа (СПГ) в энергетической отрасли все возрастает. Более высокая теплота сгорания, более высокий тепловой КПД и экологичность являются его основными преимуществами перед нефтью и углем. СПГ не только обеспечивает более высокую гибкость при организации снабжения, но и оказывается дешевле при поставках на расстояние более 2 тыс. км морем и более 4 тыс. км по суше. Рынок СПГ будет в ближайшие десятилетия развиваться более быстро, чем рынки двух других источников энергии - нефти и угля. Для использования природного газа необходимо оборудовать надежные и выгодные маршруты транспортировки от месторождения до конечного потребителя. Одной из возможностей является транспортировка газа в сжиженной форме при низкой температуре. Для обеспечения безопасного и надежного хранения СПГ при температуре -168°C необходимы очень хорошие механические свойства основного материала и сварного соединения на резервуарах.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, хранение, энергетическая отрасль

Abstract: The importance of liquefied natural gas (LNG) in the energy industry is increasing. Higher heat of combustion, higher thermal efficiency and environmental friendliness are its main advantages over oil and coal. LNG not only provides higher flexibility in the organization of supply, but also turns out to be cheaper for deliveries over a distance of more than 2 thousand km by sea and more than 4 thousand km by land. Therefore, the LNG market will develop more rapidly in the coming decades than the markets of two other energy sources - oil and coal. In order to use natural gas, it is necessary to equip reliable and economically profitable transportation routes from the field to the final consumer. One of the possibilities is the transportation of gas in liquefied form at low temperature. To ensure safe and reliable storage of liquefied gas at a temperature of $-168\text{ }^{\circ}\text{C}$, very good mechanical properties of the base material and the welded joint on the tanks are necessary.

Keywords: liquefied natural gas, storage, energy industry

Введение (Introduction)

Хранение СПГ - важный элемент как завода СПГ, так и приемного терминала и осуществляется в резервуарах, которые занимают огромную площадь и являются одним из потенциальных источников основных производственных рисков.

СПГ поступает на хранение с установок сжижения по продуктовым линиям с помощью перекачивающих насосов, производительностью 1100-1200 м³/ч. СПГ хранится в резервуарах или танках, при температуре около $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении чуть выше атмосферного.

Наиболее востребованными и мощными служат изотермические резервуары.

Основная часть

1. Общие положения, нормы хранения СПГ

Под изотермическим способом хранения СПГ следует понимать способ его хранения в резервуарах при постоянно поддерживаемом незначительном избыточном давлении, близким к атмосферному - $4,9 \times 10^3$, $6,8 \times 10^3$ Па (500 , 700 мм вод. ст.), и соответствующей этому давлению температуре кипения.

Количество резервируемого для хранения СПГ в резервуарах изотермического хранилища комплекса в каждом конкретном случае определяется проектом на стадии технико-экономического обоснования, в зависимости от функционального назначения комплекса СПГ, конкретной структуры и видов потребления СПГ в качестве моторного и резервного топлива, общей структуры топливо - и газопотребления промышленного района или региона в целом, инфраструктуры и других факторов, но рекомендуется не более, чем 30-ти суточный запас.

При организации производства СПГ на двух и более независимых технологических линиях число суток, резервируемых для хранения СПГ, может быть пропорционально снижено, соответственно, до 15 и менее суток.

За объем изотермического резервуара принимается геометрический объем его внутренней емкости. Максимальный уровень заполнения резервуара продуктом должен быть не менее, чем на 1 м ниже узла сопряжения цилиндрической стенки с самонесущим купольным перекрытием или внутренней поверхности подвесного перекрытия.

При проектировании хранилища комплекса СПГ следует стремиться к использованию однотипных резервуаров равного объема и к сокращению их общего количества за счет увеличения единичных объемов резервуаров в пределах, допустимых нормами.

Хранилища СПГ могут быть укомплектованы резервуарами следующих основных типов:

-двухстенными металлическими, с внутренней самонесущей емкостью из хладостойкой стали и внешней (герметизирующей) емкостью из углеродистой стали;

-двухстенными комбинированного типа, с внутренней самонесущей емкостью из хладостойкой стали и внешней емкостью (цилиндрическим "стаканом") из железобетона;

-одностенными комбинированного типа, с внутренней герметизирующей тонколистовой гофрированной оболочкой из хладостойкой стали и внешней, несущей гидростатическую нагрузку, емкостью (цилиндрическим "стаканом") из железобетона;

-двухстенными, с внутренней емкостью (цилиндрическим "стаканом") из предварительно напряженного железобетона, с дополнительной ее облицовкой (при необходимости) тонколистовой хладостойкой или углеродистой сталью, и внешней емкостью (цилиндрическим "стаканом") из обычного или предварительно напряженного железобетона, с дополнительной ее облицовкой (при необходимости) тонколистовой углеродистой сталью [1].

В зависимости от расположения резервуаров относительно поверхности материкового грунта, хранилища СПГ могут быть:

-подземными (заглубленными в грунт относительно дневной поверхности в пределах цилиндрической части или на определенную ее высоту, с дополнительной обсыпкой незаглубленной цилиндрической части грунтом) - если наивысший уровень жидкости в резервуаре ниже наинизшей планировочной отметки прилегающей территории (в пределах 6 м от стенки резервуара) не менее, чем на 0,2 м;

-надземными - на свайном или ином основании, обеспечивающим естественную вентиляцию пространства между поверхностью грунта и донной опорной плитой резервуара.

Вертикальные цилиндрические изотермические резервуары классифицируют по следующим признакам:

-конструктивному исполнению стенок резервуара – одностенные, двустенные, с внутренней мембраной;

-конструктивному исполнению внутренней крыши – самонесущая и подвесная;

-типу изоляции – экранная, пористая, засыпная, жесткая;

-применяемому материалу – металлические, железобетонные, комбинированные.

2. Подземные и надземные резервуары

Оба вида резервуаров имеют высокий уровень фактической безопасности.

Подземные резервуары (рисунок 1) хранения СПГ, безусловно, имеют некоторые преимущества с точки зрения охраны окружающей среды. Такие резервуары хранения признаны соответствующими европейскому стандарту EN 1473, и считаются наиболее безопасным способом хранения СПГ. При землетрясениях подземные резервуары хранения меньше страдают от смещения почвы, чем надземные сооружения, из-за чего в сейсмоопасных зонах подземные резервуары более безопасны.

Тем не менее, затраты на строительство подземных резервуаров при определенных геологических условиях могут быть довольно высоки. По этой причине, а также на основании оценки риска применительно к месту расположения тех или иных резервуарных парков СПГ, большинство резервуаров выполняются надземными. При условии, что при строительстве таких резервуаров используются надлежащие материалы и предусматриваются сооружения для локализации разливов СПГ, например, дамбы обвалования, они вполне могут эффективно и безопасно эксплуатироваться без серьезных последствий для безопасности и экологии, даже в случае попыток совершения террористических актов [2].

Резервуары для хранения СПГ могут отличаться по конструкциям применяемых крыш. В зарубежной практике наибольшее распространение получили конструкции крыш, собираемые и свариваемые из отдельных элементов на днище резервуара с последующим пневмоподъемом в проектное положение. В конструкции с самонесущей внутренней крышей избыточное давление газа воспринимается внутренним резервуаром. В межстенное пространство подается инертный газ, например азот, который сушит теплоизоляцию в процессе эксплуатации. Для хранения азота используют специальный газгольдер.

В мировой практике также широко распространена конструкция подвесной плоской крыши. Принципиальное отличие такой конструкции от конструкции с самонесущей внутренней крышей заключается в том, что пары продукта свободно проникают в межстенное пространство через зазор между крышей и стенкой или через специальные отверстия в подвесной крыше.

Разновидностью наземных изотермических резервуаров являются металлические вертикальные цилиндрические резервуары, заглубленные в грунт, обычно на высоту корпуса (это делается по соображениям безопасности, для того, чтобы максимальный уровень разлива продукта не превышал уровня поверхности земли).

Различают два типа конструкции заглубленных изотермических резервуаров: с подвесной платформой и с крышей, имеющей внутреннюю изоляцию. Заглубленные резервуары принципиально не отличаются от наземных резервуаров открытой установки, но из-за необходимости проведения сложных и трудоемких земляных работ, устройства специальных фундаментов с дренажем и гидроизоляцией более дороги, хотя вместе с тем более надежны, особенно в районах с повышенной сейсмичностью. Заглубленные резервуары не нуждаются в обваловании, и обязательное пространство между резервуарами и объектами, чтобы обезопасить объекты, относительно небольшое, что позволяет сохранить место.

С точки зрения безопасности резервуары СПГ с двойной стенкой, внутренний резервуар которых изготовлен из стали с содержанием никеля 9%, а внешний из предварительно напряженного бетона, имеющий обкладку от утечек на внутренней поверхности, бетонную крышу и днище, с системой защиты углов и днища – это эффективное, а также долговечное экономическое решение.

Внутренний резервуар выполнен из стали с 9%-ным содержанием никеля, отличающейся высокой упругостью, необходимой для хранения криогенных жидкостей. Внешний резервуар представляет собой бетонное сооружение, состоящее из железобетонной фундаментной плиты, стенки из преднапряженного бетона и железобетонной крыши. Бетонный резервуар дополнительно облицован изнутри углеродистой сталью, для того чтобы была

возможность сбора жидкости в случае протечки. Нижняя часть облицовки может быть выполнена из стали с 9%-ным содержанием никеля (из соображений безопасности). Теплоизоляционный слой между внутренней и внешней стенкой предотвращает температурную компенсацию.

Конструкция резервуаров обеспечивает поддержание СПГ в холодном состоянии. Расчетная температура хранения составляет -165°C .

Резервуары хранения СПГ – Проект Сахалин-2

Конструкция резервуаров для хранения сжиженного природного газа напоминает матрешку: каждый состоит из трех вложенных друг в друга отдельных емкостей.

Крыши резервуаров СПГ двухслойные — сверху они покрыты слоем бетона толщиной 0,4 метра, а снизу находится тот же пароизоляционный барьер. Вес каждой крыши — 600 тонн [3].

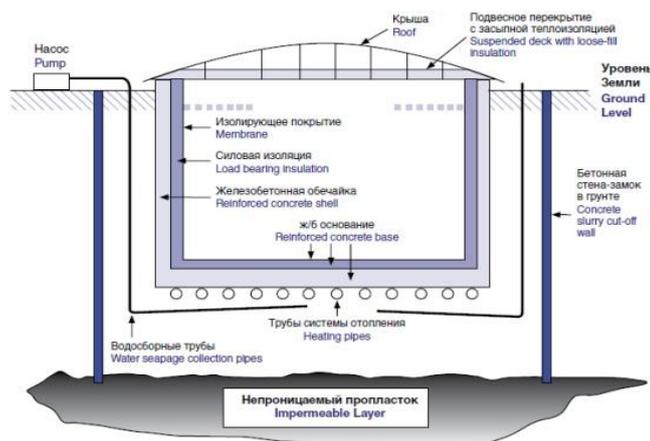


Рисунок 1- Подземные резервуары

3 Факторы, влияющие на хранение СПГ

Основным материалом для внутренних стенок резервуаров для хранения СПГ она стала тогда, когда для сверхнизких температур начали применять ферритную сталь. Была тщательно изучена склонность стали к хрупкому излому, что имеет непосредственное отношение к прочности конструкции. В результате выяснилось, что сталь и ее сварные соединения устойчивы к хрупкому излому и могут применяться в резервуарах для хранения СПГ. Низкое содержание углерода в стали с 9%-ным содержанием никеля (таблица 1) гарантирует хорошую свариваемость и незначительное повышение твердости в околошовной

зоне (зоне термического влияния).

Эти специально предназначенные для хранения СПГ резервуары размещаются неподалеку от установок для сжижения, приема и регазификации. После сжижения СПГ хранится в хранилище в ожидании погрузки в заказанный газовоз. По прибытии в пункт назначения газовоз швартуется, к нему подсоединяются сливные рукава, и судовые насосы перекачивают СПГ в береговые резервуары для хранения. СПГ может храниться в резервуарах различного типа: надземных и подземных. Надземные резервуары широко распространены во всем мире благодаря своей экономичной конструкции и простоте технического обслуживания. Подземные резервуары – более дорогостоящие и более сложные в плане технического обслуживания. Разновидностями подземных резервуаров являются заглубленные, подпочвенные и полостные резервуары. В то время, как крыша заглубленного резервуара расположена над землей, подземные резервуары полностью скрыты под землей. Подземные полостные резервуары имеют двойную металлическую оболочку с внутренним и внешним резервуаром. Внутренний резервуар изготавливается из металла, стойкого к воздействию низких температур. Пространство между внутренним и внешним резервуаром заполняется дополнительной изоляцией в виде теплоизоляционных материалов и сухого азота. СПГ охлажден до низкой температуры, что означает, что нет необходимости хранить его под давлением.

Хранение СПГ в резервуарах может осуществляться с непрерывным или периодическим газосбросом образующихся паров и отведением их в систему утилизации или на факельное устройство (на свечу). Во всех случаях давление в резервуаре не должно падать ниже 0,11 МПа (0,1 ати) [4].

Степень заполнения резервуара сжиженным газом не должна превышать установленной документацией величины и выбирается аналогично п. 2.3.3.

В процессе хранения СПГ должны контролироваться давление и уровень жидкости в резервуаре и состояние его тепловой изоляции.

Давление в резервуаре должно поддерживаться автоматическим

регулятором давления.

Перед дозаправкой резервуара из цистерны следует брать анализ жидкости в цистерне на содержание примесей, если отсутствует сертификат на доставленный продукт.

Экономически эффективным техническим решением являются резервуары СПГ с двойной стенкой: внутренний резервуар изготовлен из стали с содержанием никеля 9 %, а внешний – из предварительно напряженного бетона с обкладкой от утечек на внутренней поверхности. Сооружение имеет бетонную крышу и днище, оснащено системой защиты углов и днища. Подобные резервуары безопасны в работе и характеризуются весьма большими периодами безаварийной эксплуатации.

В зарубежной практике наибольшее распространение получили конструкции крыш, собираемые и свариваемые из отдельных элементов на днище резервуара с последующим пневмоподъемом в проектное положение. В конструкции с самонесущей внутренней крышей избыточное давление газа воспринимается внутренним резервуаром. В межстенное пространство подается инертный газ, например азот, который сушит теплоизоляцию в процессе эксплуатации. Для хранения азота используют специальный газгольдер. В мировой практике широко распространена также конструкция подвесной плоской крыши.

Принципиальное отличие такой конструкции от конструкции с самонесущей внутренней крышей заключается в том, что пары продукта свободно проникают в межстенное пространство через зазор между крышей и стенкой или через специальные отверстия в подвесной крыше [5].

Заключение

Сжиженный природный газ (СПГ) – природный газ, переведенный в жидкое состояние при температуре $-161,5^{\circ}\text{C}$, который после регазификации имеет те же свойства, что и обычный природный газ. При сжижении объем газа уменьшается в 600 раз, что позволяет организовать его транспортировку, не прибегая к помощи газопроводов.

Использование СПГ позволяет решать проблему обеспечения различных

объектов, в том числе промышленных предприятий, не имеющих централизованного газоснабжения, бытовым газом, теплом и электричеством посредством установки автономных теплоэлектростанций.

На данный момент в России реализован только один крупномасштабный проект по производству сжиженного природного газа - «Сахалин-2», и еще два на стадии реализации - «Ямал СПГ» и Штокмановский СПГ. В перспективе, к 2020 году производство СПГ в России должно вырасти почти в четыре раза до 38 млн тонн. Гарантированность спроса обуславливается спросом на СПГ со стороны стран Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР). Воплощение задуманных проектов идет на пользу не только регионам, где они реализуются, но и стране в целом.

Подземный резервуар представляет собой стальной горизонтальный цилиндрический сосуд с высокой горловиной, предназначенный для размещения под землей. Особенностью монтажа подземных резервуаров является его размещение, в соответствии с которым верхняя точка резервуара находится как минимум в 20 сантиметрах от поверхности земли. Покрытие стального резервуара выбирается в зависимости от влажности грунта, в который резервуар будет погружен. Для этих целей может применяться специальное антикоррозийное покрытие различной степени защиты, либо гидроизоляция аппарата.

Для хранения в подземных резервуарах нефтепродуктов, пространство вокруг резервуаров должно быть залито бетоном в целях обеспечения безопасности хранения продуктов. Емкости заглубляются в грунт или обсыпаются грунтом, при этом наивысший уровень жидкостей, которые хранятся в подземном резервуаре, находится более чем на 0,2 метра ниже минимальной планировочной отметки площадки, прилегающей к резервуару.

В зависимости от условий внешней среды, в которой будет эксплуатироваться стальной резервуар, а также требуемого срока службы, аппараты изготавливаются из малоуглеродистой стали, низколегированной стали, нержавеющей стали. Таким образом, подземные резервуары и емкости имеют ряд преимуществ, а также особенностей установки и эксплуатации.

Удобство использования резервуаров, размещаемых под землей, состоит, в первую очередь, в экономии пространства на территории, где устанавливается стальной резервуар.

Список литературы

1. Акимова И.Ю. Экспорт российского природного газа: Проблемы и перспективы. М.: Олимп-Бизнес, 2005 г.

2. Касаткин Р.Г. Система морской транспортировки сжиженного природного газа из Арктики. М.: Издательство ЛКИ, 2008 г.

3. Лазарев Л.Я. Сжиженный природный газ – топливо и энергоноситель. М.: НПКФ “ЭКИП”, 2006 г.

4. Перспективы и опыт применения СПГ на объектах народного хозяйства. М.: ИРЦ Газпром, 2004 г.

5. Ходорков И.Л. Сжиженный природный газ в России. М.: НПКФ “ЭКИП”, 2007 г.