

Казанский (Приволжский) Федеральный Университет

Кафедра высоковязких нефтей и природных битумов

ХРАНЕНИЕ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Тухбиев Р.Ф.

Научный руководитель - канд.техн.наук, доцент кафедры ВВН и ПБ Кемалов Р.А
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. Потому 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 в экономическом плане 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 сжиженного газа при температуре -168°C необходимы очень хорошие механические свойства основного материала и сварного соединения на резервуарах.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, хранение, энергетическая отрасль
Введение

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°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].

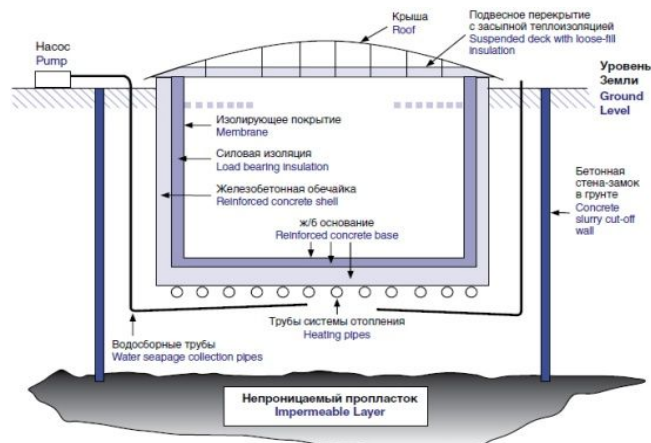


Рисунок 1- Подземные резервуары

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 околосварной 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.