

**УДК 621.59:621.642.03**

**КРУПНОТОННАЖНОЕ ХРАНИЛИЩЕ СПГ: ИЗОТЕРМИЧЕСКИЕ РЕЗЕРВУАРЫ,  
ПРОЦЕССЫ ПРИ НАКОПЛЕНИИ И ВЫДАЧЕ ПРОДУКЦИИ**

**Балук А.А.** (Университет ИТМО, факультет энергетики и экотехнологий)

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Зайцев А.В.**

(Университет ИТМО, факультет энергетики и экотехнологий)

Описываются типы изотермических резервуаров для хранения сжиженного природного газа (СПГ). Рассматриваются процессы, происходящие при накоплении и выдаче продукции из крупнотоннажного хранилища.

Помимо добычи, сжижения и транспортировки природного газа, важным аспектом также является его хранение. Неотъемлемой частью высокотехнологичных комплексов по сжижению, выдаче и приему СПГ являются изотермические резервуары (ИР).

Изотермический способ хранения сжиженного природного газа заключается в том, что природный газ сжижается и в таком состоянии хранится при небольшом избыточном давлении (до 29 кПа) и температуре, близкой к температуре насыщения при данном давлении. Температура насыщения метана - основного компонента СПГ - при таком давлении составляет - 161,5 °С.

В соответствии с международной классификацией EN14620 изотермические стационарные резервуары подразделяются на четыре типа по конструктивному исполнению. Наиболее распространенным является свободно стоящий цилиндрический одностенный резервуар, вокруг которого возведена земляная или железобетонная дамба. Наружная оболочка резервуара выполняется из углеродистой стали, внутренняя несущая оболочка - из алюминия или хладостойкой стали с 9% никеля. Кольцевое пространство между оболочками заполнено перлитной изоляцией.

К следующему типу относятся двустенные резервуары, которые являются результатом усовершенствования конструкции резервуара первого типа – дамба, заменяется железобетонными дном и внешней стеной. Данная доработка конструкции позволяет существенно снизить площадь, занимаемую резервуаром, а также обеспечить лучшую защиту от внешних опасностей.

Третий тип – резервуары с цельной железобетонной защитной оболочкой – отличается от предыдущих двух наличием железобетонной крыши вокруг металлического резервуара, повышающей защищенность от опасностей извне, а также позволяющей удерживать как жидкость, так и пары СПГ в случае аварийных ситуаций.

Четвертый тип представляет собой мембранные резервуары, выполняемые по технологии, используемой в морском транспорте СПГ. Мембранная оболочка крепится на внутреннюю сторону железобетонной оболочки через слой изоляции. Верхний слой из гофрированного листа нержавеющей стали толщиной 1,2 мм контактирует с СПГ и компенсирует температурные деформации. Изоляционная панель состоит из слоя фанеры, двух слоев усиленного пенополиуретана и слоя триплекса. Гидростатические напряжения от СПГ передаются на слой изоляции и внешнюю оболочку, состоящую из армированного бетона и обеспечивающую устойчивость к внутренним и внешним нагрузкам. Гидроизолирующий слой, покрывающий предварительно напряженный бетон, предотвращает попадание влаги в резервуар.

Рассматривая классификацию хранилищ СПГ в зависимости от их расположения относительно поверхности грунта, следует отметить, что помимо наиболее часто встречающихся наземных резервуаров, существуют также подземные и надземные.

Подземные (заглубленные в грунт относительно дневной поверхности в пределах цилиндрической части или на определенную ее высоту, с дополнительной обсыпкой незаглубленной цилиндрической части грунтом) характеризуются тем, что 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.

Надземные – хранилища на свайном или ином основании, обеспечивающим естественную вентиляцию пространства между поверхностью грунта и донной опорной плитой резервуара.

Резервуары для хранения СПГ являются одним из потенциальных источников основных производственных рисков, а также источником потерь хранимого продукта. В частности при таких технологических операциях как накопление и выдача СПГ из хранилища наблюдаются процессы, приводящие к вышеотмеченным неблагоприятным последствиям. Данные процессы следует рассмотреть подробно.

- Стратификация СПГ – обусловлена, как правило, закачкой без перемешивания новой порции продукта в уже частично заполненный сосуд, где хранится СПГ, физические параметры которого отличаются от параметров жидкости, поступающей в емкость.

- Ролловер – явление, появляющееся вслед за стратификацией, характеризующееся резким самопроизвольным смешением слоев, фазовым переходом жидкости в газ с интенсивным повышением давления в газовой подушке.

- Мгновенное (полное) испарение жидкости (СПГ) при ее подаче в теплый резервуар, в режиме его предварительного захлаживания, за счет распыливания жидкости, или при прямом заполнении резервуара жидкостью.

- Образование вакуума за счет подачи (распыливания) в паровое пространство резервуара переохлажденного СПГ.

- Образование вакуума, возникающее при отборе жидкости с производительностью выше номинальной.

- Гидравлический удар и гейзерные эффекты – при первоначальном охлаждении и заполнении трубопровода. Возникают из-за разницы температур между поступающим на заполнение сжиженным природным газом и трубопроводом, из-за чего часть СПГ перегревается и начинает интенсивно кипеть. Давление резко возрастает и происходит выброс жидкости обратно в опорожняемое хранилище. Из-за циклического характера действующих эффектов возникают пульсации давления.

- Образование двухфазного потока в трубопроводах, приводящее к возникновению кавитации и срыву работы насосов.

- Образование отпарного газа за счет теплопритоков извне.

Вышеописанные и прочие процессы, происходящие при накоплении и выдаче сжиженного природного газа из крупнотоннажного хранилища, должны быть рассмотрены, проанализировано их влияние на общие потери продукта с целью определения приоритетов по борьбе с тем или иным неблагоприятным процессом или явлением для минимизации потерь СПГ и производственных рисков.

Балук А.А. (автор)

Подпись

Зайцев А.В. (научный руководитель)

Подпись