

УДК 621.59

## **ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОЙ КОНСТРУКЦИИ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ РЕЗЕРВУАРА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ СПГ**

**Середенко Е.С. (Университет ИТМО)**

**Научный руководитель – доцент, к.т.н. Пахомов О.В. (Университет ИТМО)**

### **Аннотация**

В данной работе предложена конструкция резервуара для хранения СПГ объемом до 200000 м<sup>3</sup>. Предложенная конструкция резервуара с полной герметизацией позволит уменьшить тепловые утечки за счет использования эффективной тепловой изоляции толщиной до 1,2 м.

Утечки тепла были рассчитаны для всех частей резервуара и находятся в допустимом диапазоне. Также, резервуар для хранения СПГ большего объема может уменьшить скорость образования отпарного газа примерно на 15%.

### **Введение.**

Природный газ благодаря своим экономическим и экологическим характеристикам является одним из самых востребованных энергоисточников в мире. Для удобства транспортировки природный газ сжижается и транспортируется в виде жидкости СПГ. После сжижения объем газа сокращается в 600 раз, благодаря чему повышается безопасность и экономичность его транспортировки и хранения.

Учитывая планы строительства сети заводов СПГ в ближайшее десятилетие, все большее значение приобретают вопросы, связанные с хранением больших объемов СПГ и созданием требуемых термобарических условий. В связи с этим растет потребность в криогенных емкостях из аустенитной нержавеющей стали.

Резервуары для хранения СПГ имеют большие размеры и могут достигать до 200 000 м<sup>3</sup>. Как правило, с увеличением объема резервуара для хранения СПГ увеличивается общая стоимость всего оборудования. Однако, цена за единицу произведенного СПГ будет уменьшаться с увеличением объема резервуара для хранения.

Разница в стоимости между резервуаром с одинарной герметизацией и резервуаром с полной герметизацией может находиться в диапазоне от 17% до 12%, т.к. емкость резервуара увеличивается в пределах охваченного диапазона размеров. Двухбололочный резервуар с полной герметизацией является лучшим выбором для резервуаров СПГ большого объема с точки зрения безопасности и условий эксплуатации.

Кроме того, в предыдущих исследованиях отмечалось, что объем резервуара СПГ оказывает влияние на скорость образования отпарного газа. В резервуаре с большим объемом СПГ, по мере испарения легких компонентов, останется больше жидкости. Потребуется больше тепла, чтобы повысить температуру смеси до новой точки кипения. В результате скорость образования отпарного газа будет ниже для резервуара с большим начальным запасом СПГ.

Для разработки энергоэффективной конструкции резервуара для хранения СПГ необходимо учитывать тепловые потери, образующиеся из-за разницы температур между окружающей средой и СПГ. В процессе хранения СПГ вследствие внешних теплопритоков происходит испарение наиболее летучих компонентов смеси и образуется отпарной газ.

Для минимизации тепловых потерь применяется высококачественная тепловая изоляция резервуара. Тепловая изоляция резервуара является важным элементом конструкции, обеспечивающим возможность длительного хранения газов в сжиженном состоянии.

### **Основная часть.**

#### **Требования к материалам**

Большинство материалов, применяемых для производства оборудования, подвержено охрупчиванию при воздействии низких температур. Так как температура хранения СПГ находится в диапазоне от минус 166 °С до минус 157 °С, то материалы, применяемые для

изотермических резервуаров, должны обладать достаточной ударной вязкостью, для обеспечения устойчивости конструкции к хрупкому разрушению.

Выбор материала будет соответствовать нормативу BS-EN-14620, в котором рекомендуется, чтобы все детали, такие как внутренние лестницы резервуара, кожух, нижняя плита были изготовлены из стали с 9% содержанием никеля (при условии, что температура внутри резервуара составляет до  $-180^{\circ}\text{C}$ ). Изоляционное покрытие для предотвращения тепловых утечек будет содержать пенополиуретан, упругое стекловолокно и перлитовый бетон.

Внутренняя часть резервуара будет выполнена из 9% никелевой стали, внешняя часть - из предварительно напряженного бетона, настила подвесного потолка, двойной системы защиты дна и углов, а также системы подогрева дна. Расчетное давление 29 кПа (изб.), Расчетная температура  $-170^{\circ}\text{C}$ . Согласно программе HYSYS, расчетная скорость образования отпарного газа составляет 0,025% по объему в день.

### **Конструкция внутренней части резервуара из 9% никелевой стали**

Диаметр и высота резервуара зависят от технических характеристик технологического процесса. Резервуар для хранения СПГ на 200 000 м<sup>3</sup> будет иметь диаметр 85 м, высоту 37 м и диаметр внутренней части резервуара 84 м.

Расчетный уровень жидкости составляет 36,22 м, максимальный рабочий уровень - 35,92 м.

Расчетное давление составляет 29 кПа. Т.к.  $150\text{ кПа} > 5\%$  от 29 кПа, общее давление составит  $29 + 150 = 179$  кПа.

Толщина оболочки внутреннего резервуара составит 32 мм.

### **Расчет толщины изоляции**

Изоляция боковой стенки расположена между внутренней и внешней оболочкой резервуара. В случае утечки из внутренней части резервуара СПГ может накапливаться в кольцевом пространстве между внутренней и внешней частью резервуара и охлаждать стенку /нижний угол. Для предотвращения тепловых потерь использованы перлитовый бетон, пенополиуретан и эластичное стекловолокно с 9%-ным содержанием никелевых стальных листов.

В предложенной конструкции толщина изоляции боковой стенки составит 1200 мм, в т.ч. 350 мм упругая часть из стекловолокна (30% от общей изоляции).

### **Расчет утечек тепла**

Утечки тепла рассчитаны для изоляционной части резервуара, для нижней плиты резервуара и для трубопроводов. Трубопроводы резервуара - это трубопроводы ввода и вывода СПГ, конденсированного ввода, ввода перлита и трубопроводов для удаления отпарного газа.

Скорость образования отпарного газа принята 0,025 об. % в день.

Общая утечка тепла была рассчитана путем суммирования утечек от всех частей резервуара и составила 320 кВт. Проверка показала, что общая утечка тепла находится в допустимом диапазоне.

### **Выводы.**

В данной работе предложена энергоэффективная конструкция резервуара для хранения СПГ объемом до 200000 м<sup>3</sup>.

Был выполнен анализ нормативно-технической базы в области проектирования, сооружения и эксплуатации резервуаров СПГ затрагивающей вопросы проектирования тепловой изоляции крупных изотермических хранилищ. На основе аналитического обзора современных методик расчета теплопритока через поверхность корпуса изотермического резервуара СПГ, предложена методика расчета толщины изоляционного материала, для обеспечения заданного уровня потерь на испарение 0,025 об. % в день.

Предложенная конструкция резервуара для хранения СПГ объемом до 200000 м<sup>3</sup> позволит уменьшить утечки тепла за счет использования эффективной тепловой изоляции

толщиной до 1,2 м. Для резервуара объемом 200000 м<sup>3</sup> расчетный диаметр составлял 85 м, высота - 37 м. Утечки тепла были рассчитаны для всех частей резервуара и находятся в допустимом диапазоне.

Кроме того, резервуар для хранения СПГ большего объема может уменьшить скорость образования отпарного газа примерно на 15%.

Середенко Е.С.

Подпись

Пахомов О.В.

Подпись