

**Анализ влияния текущего уровня заполнения на время бездренажного хранения СПГ в малотоннажных стационарных цилиндрических горизонтальных резервуарах**

Иванов Л.В. (Университет ИТМО, Санкт-Петербург)

Научный руководитель – д. т. н. проф. Баранов А. Ю. (Университет ИТМО, Санкт-Петербург)

В работе проведен анализ влияния изменения высоты границы раздела фаз на время бездренажного хранения сжиженного природного газа (СПГ). В представленных в научной литературе моделях, изменение границы раздела фаз учитывается только при моделировании вертикальных цилиндрических или призматических резервуаров. При изменении границы раздела фаз площадь контакта между материалом резервуара и фазы представляется боковой поверхностью цилиндра, у которого меняется только один параметр – высота. Однако такие вычислительные методы не применимы для горизонтальных цилиндров.

Разработана вычислительная модель, определяющая время бездренажного хранения СПГ в малотоннажных цилиндрических резервуарах, традиционно применяемых на криоАЗС. Подобные резервуары работают при постоянно изменяющемся уровне заполнения и критически важно иметь возможность расчета времени бездренажного хранения при любых режимах работы. Точное определение времени бездренажного хранения позволяет избежать превышения максимально допустимого давления, и, как следствие, сброса образовавшихся паров СПГ в окружающую среду.

Математическая модель резервуара подразумевает отсутствие термодинамического равновесия между СПГ и его паром. Предполагается, что пар перегрет по отношению к жидкости. Дополнительным теплопритоком к жидкости является передача тепла от перегретого пара. По этой причине теплопритоки рассчитываются отдельно к обеим фазам.

При росте давления в резервуаре из-за увеличения температуры насыщения жидкости, плотность СПГ снижается, что приводит к увеличению уровня заполнения танка. Из-за этого высота границы раздела фаз увеличивается с ростом давления, что влияет на площади контакта жидкой и паровой фаз с металлом резервуара. Из-за изменения площади контакта – меняются и подходящие к системе теплопритоки.

Вычислительная модель выполнена в итеративном виде, когда на каждом временном слое рассчитываются параметры жидкой и паровой фазы и новые значения теплопритоков.

СПГ рассматривается как чистый сжиженный метан, поскольку к качеству СПГ, применяемого в качестве топлива, применяются высокие требования. Содержание метана в таком СПГ составляет 98-99%. Температура металла танка в зоне контакта с фазой принимается равной средней температуре фазы.

Вычислительная модель реализована на языке программирования Python. Для определения термодинамических параметров метана применена библиотека CoolProp.

Вычислительный эксперимент показал разницу между временем бездренажного хранения, определенным по сложной модели, учитывающей изменение текущего уровня заполнения и простой моделью, не учитывающей изменений. График изменения давления при расчете разными моделями приведен на рисунке.

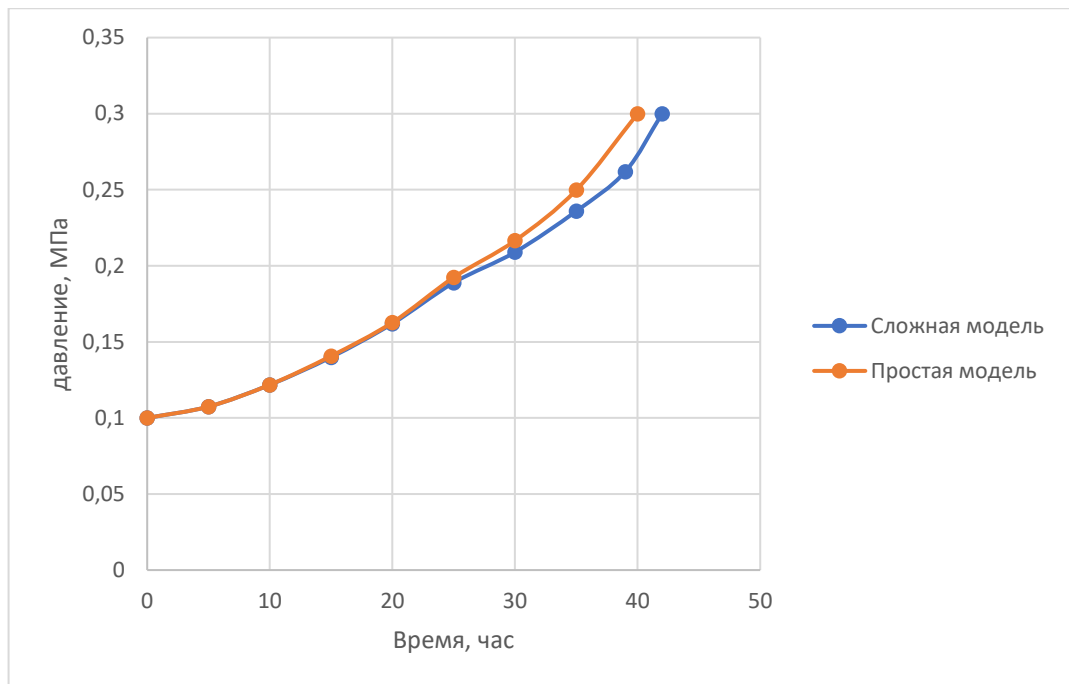


Рисунок. Графики роста давления для простой и сложной расчетной модели.

При расчете сложной моделью время бездренажного хранения оказалось на 2 часа больше. Уровень жидкости вырос с 2,618 м до 2,826. Изменение во времени бездренажного хранения может быть объяснено снижением площади контакта между паровой фазой и металлом танка.