

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФАЗОВОГО РАВНОВЕСИЯ В ЗАМКНУТОМ ОБЪЕМЕ ПРИ НЕАДИАБАТНЫХ УСЛОВИЯХ

Сафтли А. (ИТМО)

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Зайцев А.В.
(ИТМО)

Введение. Сжиженный природный газ (СПГ) может заменить дизельное топливо в транспортном секторе. Однако неконтролируемые выбросы, включая отпарной газ (ОГ) по всей цепочке поставок СПГ, выявили неопределенность относительно общих экологических преимуществ такой замены. Обеспечение безопасного и долгосрочного хранения сжиженного природного газа имеет большое значение для повышения экологической и экономической эффективности электростанций на основе СПГ [1].

Управление и сведение к минимуму ОГ является серьезной проблемой, влияющей на операционную эффективность. При неправильном управлении чрезмерный уровень ОГ может привести к превышению проектного давления в резервуарах для хранения СПГ, что приведет к существенным проблемам с безопасностью и риску структурного повреждения резервуаров [2]. Таким образом, существует потребность в методологии для эффективной количественной оценки и управления отпарным газом в резервуарах для хранения СПГ.

Первоначальные упрощенные модели испарения СПГ, разработанные в 1960-х годах, позволили рассчитать максимальные скорости образования ПГ и распределение температуры стенок [3]. Впоследствии многие ученые при разработке моделей теплопередачи для резервуаров СПГ использовали классическую термодинамику и теорию теплопередачи.

Основная часть. В результате анализа большого количества информационных источников сформулирована термодинамическая математическая модель внутренних процессов в ёмкости, представленная в виде нелинейной системы уравнений, включающих уравнения фазового равновесия парожидкостной многокомпонентной смеси, уравнения состояния Пенга-Робинсона, уравнения энергетического баланса (законы термодинамики). Полученная математическая модель реализована в виде компьютерной программы.

Выполнено численное моделирование процесса бездренажного хранения метана с примесью азота, а затем природного газа. Варианты различались объемом резервуара, величиной начального заполнения жидкостью, величиной теплопритоков к ёмкости. Расчет каждого варианта заканчивался при достижении в ёмкости заданного предельно допустимого давления, определяемого конструктивными ограничениями резервуара.

Окончательные значения массы отпарного газа при достижении предельного времени хранения при различных начальных заполнениях образовали на графике точки, лежащие с высокой степенью точности на одной линии. Полученная корреляция массы пара и предельного времени хранения до достижения максимально допустимого давления при различных начальных заполнениях вызывает определенный интерес к более подробному анализу бездренажного хранения СПГ.

Приведен пример результатов численного эксперимента для конкретной ёмкости, рассчитанной на максимальное давление 1 МПа. Анализ динамики нарастания отпарного газа позволил получить аппроксимацию зависимости массы отпарного газа при достижении предельно допустимого давления от времени хранения. Полезное достижение данного результата заключается в том, что зная объём резервуара и начальный состав, можно при заданном давлении по результатам двух численных или натурных экспериментов для разных значений начального заполнения и получить однозначную взаимосвязь массы отпарного газа и времени бездренажного хранения.

Выводы. В результате термодинамического анализа результатов численного моделирования получены не отмеченные ранее закономерности, описывающие корреляцию между количеством отпарного газа и временем его накопления для конкретных криогенных

резервуаров при заданных их рабочих параметрах: составе смеси, объеме ёмкости, величине теплопритока и предельно допустимом давлении.

Список использованных источников:

1. D. A. Uglov, · E. V. Blagin, · A. A. Gorshkalev, · S. S. Korneev, · E. A. Marakhova. Method for determining heat inputs and drainless storage duration of liquefied natural gas in a cryogenic tank // Chemical and Petroleum Engineering, 21, June, 2024.
2. M. S. Khan, D. A. Wood, M. A. Qyyum, K. B. Ansari, W. Ali , A. Wazwaz, A. Dutta. Graphical approach for estimating and minimizing boil-off gas and compression energy consumption in LNG regasification terminals // Journal of Natural Gas Science and Engineering. Volume 101, May 2022, 104539.
3. M. W. Lukaszewski, W. B. J. Zimmerman, M. T. Tennant, M. B. Webster. Application of inverse methods based algorithms to Liquefied Natural Gas (LNG) storage management // Chem. Eng. Res. Des. 91 (2013) 457–463.