

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 339.166.2

Хранение сжиженного природного газа: инновационные решения системы хранения

А.Н. Сытенко

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация

Рассматривается актуальная проблема хранения сжиженного природного газа, важная для сырьевой промышленности. Процесс хранения усложняется необходимостью соблюдения определенных параметров температуры и давления, а также обеспечения надежности и безопасности резервуаров. Автор исследовал процесс хранения сжиженного природного газа и представил инновационную разработку системы хранения сырья — изотермический резервуар. Осуществлен обзор наиболее надежной и безопасной конструкции наземного изотермического (теплоизолированного) резервуара полного сдерживания с подвесной газонепроницаемой крышей.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, хранение газа, транспортировка газа, сырьевая промышленность, изотермический резервуар, система хранения сырья, герметичность, температура, давление

Для цитирования. Сытенко А.Н. Хранение сжиженного природного газа: инновационные решения системы хранения. *Молодой исследователь Дона*. 2025;10(3):22–25.

Storage of Liquefied Natural Gas: Innovative Storage System Solutions

Alexander N. Sytenko

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract

The article studies the problem of liquefied natural gas storage, which is relevant for the raw material industry. The storage process is complicated by the necessity to observe the certain temperature and pressure parameters, as well as to ensure the reliability and safety of tanks. The author has studied the storage process of liquefied natural gas and made a review of an innovative raw material storage system — an isothermal tank. The review of the most reliable and safe design of an above-ground isothermal (thermally insulated) full containment tank with a suspended gas-tight roof has been presented.

Keywords: liquefied natural gas, gas storage, gas transportation, raw material industry, isothermal tank, raw material storage system, tightness, temperature, pressure

For Citation. Sytenko AN. Storage of Liquefied Natural Gas: Innovative Storage System Solutions. *Young Researcher of Don*. 2025;10(3):22–25.

Введение. Природный газ является важным источником энергии, использование которого в качестве топлива помогает решить значимые проблемы: загрязнение атмосферы и парниковый эффект. На сегодняшний день сжиженный природный газ (СПГ) используется в больших количествах, и его главным преимуществом становится упрощение транспортировки сырья на дальние расстояния.

Хранение сжиженного природного газа представляет собой значимую проблему. Это этап, который играет важную роль в технологической цепи «добыча-переработка-потребление». При хранении СПГ необходимо обеспечивать определенные параметры температуры и давления, а также гарантировать надежность и безопасность резервуаров. Данная проблема становится особенно актуальной, поскольку процесс добычи природного газа является непрерывным производственным циклом.

Целью данной статьи является изучение процесса хранения сжиженного природного газа и проведение обзора эффективной инновационной разработки системы хранения сырья — изотермического резервуара.

Описание проблемы. В свете текущей политической обстановки в стране, в частности отказа большинства государств от импорта российского газа, возникает необходимость в длительном хранении сырья. Наиболее целесообразным является осуществление этого процесса в сжиженном состоянии, так как в таком виде газ может оставаться в резервуарах более 20 лет.

Хранение природного газа возможно и в сжатом состоянии. Однако сжиженный и сжатый газ представляют собой жидкое топливо. Основное различие между ними заключается в способе получения: сжиженный газ получается путем охлаждения газообразного вещества, тогда как сжатый — под воздействием давления в специальных баллонах. В отрасли резервуаростроения необходимо внедрять наиболее надежные конструкции, которые обеспечат безопасность и длительное хранение сжиженного природного газа.

Основная часть. Сжиженный природный газ обладает несколькими преимуществами при использовании:

1. Возможность газификации объектов, расположенных вдали от магистральных трубопроводов, благодаря созданию резервов СПГ непосредственно у потребителя, что исключает необходимость строительства трубопроводов.
2. Компактность хранения СПГ и экономическая выгода при транспортировке на большие расстояния.
3. Исключение опасности воспламенения сырья, что повышает безопасность транспортировки.
4. Возможность перевозки СПГ в танкерах между континентами.
5. Минимизация выбросов парниковых газов и углекислого газа [4].

Однако процесс хранения сжиженного природного газа имеет свои сложности, которые необходимо учитывать для обеспечения безопасности технологического процесса:

1. Поддержание строгих температурных режимов и давления: СПГ хранится при температуре около $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$, для чего при проектировании систем хранения требуется использование изоляционных материалов. Давление при этом должно приближаться к атмосферному, составляя примерно $6,8 \times 10^3\text{ Па}$.

2. Обеспечение необходимого объема резервуаров в соответствии с геометрическим объемом внутренней емкости: максимальный уровень заполнения должен быть не менее чем на 1 м ниже узла соприкосновения стенки с внутренним перекрытием ёмкости.

3. Обеспечение герметичности емкости с использованием различных систем. Единая система герметизации включает внутренний резервуар, предназначенный для хранения жидкости и являющийся непроницаемым. Двойная герметизация состоит из встроенной системы, помимо вторичного контейнера, который герметичен для жидкости, и самого резервуара, где жидкость хранится герметично, без накопления газов. Полная система герметизации включает первичный резервуар, герметичный для жидкости, и вторичный резервуар, который также герметичен для жидкостей и паров.

4. Обеспечение безопасности хранилищ и специализированных транспортных средств для перевозки СПГ, что требует применения систем контроля и аварийного реагирования, датчиков утечки и систем пожаротушения [1].

На данный момент выделяется наиболее эффективная конструкция — наземный теплоизоляционный изотермический резервуар (ИР) для хранения СПГ. ИР состоит из двух металлических оболочек и подвесной газонепроницаемой крыши с объемом до 60 тыс. м³. В местах хранения СПГ также предусматривается наличие дополнительных пустых ИР, которые могут использоваться при выходе из строя основных резервуаров. Несмотря на то что наличие запасных ИР требует значительных капиталовложений и занимает определенное пространство, это является необходимым элементом системы хранения.

Рассмотрим инновационную разработку изотермического резервуара, предложенную Х.М. Хануховым, Н.В. Четвертухиным, А.В. Алиповым [и др.] в научной статье «Инновационные решения систем хранения сжиженного природного газа». Разработанный ими изотермический резервуар включает основной и запасной (аварийный) резервуары с равнопрочными стенками, без теплоизоляции и со единым дном. Устройство ИР представлено на рис. 1 [2].

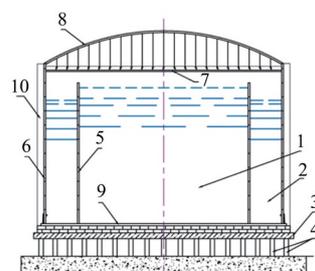


Рис. 1. Устройство для хранения сжиженных газов: 1 — основной резервуар для хранения СПГ; 2 — межстенное (резервное) пространство, или аварийный резервуар; 3 — железобетонный ростверк; 4 — сваи; 5 — внутренняя стенка аварийного резервуара; 6 — наружная стенка аварийного резервуара; 7 — внутренняя подвесная крыша устройства; 8 — наружная купольная самонесущая крыша устройства; 9 — общее днище устройства; 10 — наружная теплоизоляция

Авторы выделяют следующие конструктивные особенности ИР. Крыша и днище основного и аварийного резервуаров являются едиными, что обеспечивает удержание СПГ в случае аварии и исключает необходимость оперативного слива сырья в другой резервуар. В правой части ИР располагается аварийная ёмкость, готовая принять СПГ из основного резервуара, находящегося слева на рисунке. Функции дополнительного резервуара не ограничиваются только резервированием: он также увеличивает объем газового пространства и время нарастания давления в резервуаре и служит предохранителем при отказе предохранительных клапанов.

Конструкция ИР, благодаря свободному доступу к поверхности резервуара, позволяет в режиме реального времени контролировать состояние изоляции и добавлять датчики мониторинга в наиболее уязвимых местах, где наблюдается повышенное давление.

Для доказательства эффективности применения изотермического резервуара с основной и аварийной ёмкостями с одним дном, авторы провели расчет конструктивных особенностей. Применяв равное соотношение диаметра ёмкости и высоты резервуара, было установлено шесть ИР с подобными параметрами, один из которых должен быть резервным; учитывая это, межстенное пространство должно составлять 1 м.

Тем не менее, была предложена иная конструкция ИР, значительно сокращающая затраты ресурсов и занимаемое место в хранилищах. Увеличение ширины межстенного пространства до 1,8 м позволяет применять три основных ИР без второго запасного резервуара. Однако авторы отмечают, что этот подход менее эффективен: в случае аварийного освобождения одного резервуара ёмкостью 10 тыс. м³ потребуются примерно 153 цистерны или восемь маршрутов, что требует больших временных затрат, не сопоставимых с понятием аварийного освобождения [5].

Для правильного выбора технологических и конструкционных особенностей ИР необходимо обратиться к таблице 1, которая содержит информацию об изменении объема межстенного пространства в зависимости от его ширины [3].

Таблица 1

Изменение объема межстенного пространства в зависимости от его ширины для ИР постоянного объема 10 000 м³

К	29,6/14,5=2			26,6/18=1,48			23,35/23,35=1,0			21,7/27,1=0,8			19/35,3=0,54		
D _{нар} ,М	31,6	34,2	36,3	28,6	30,7	32,6	25,35	26,9	28,6	23,7	25,0	26,6	21	21,9	23,3
h _{межст} ,М	1,0	2,3	3,3	1,0	2,0	3,0	1,0	1,8	2,6	1,0	1,7	2,4	1,0	1,5	2,1
V _{межст} ,М ³	1366	3300	5000	1560	3300	5000	1785	3300	5000	1932	3300	5000	2217	3300	5000
V _{межст} ,%	13,7	33	50	15,6	33	50	17,9	33	50	19,3	33	50	22,2	33	50
N _{эк} /N _{полн}	6/7	3/4	2/3	6/7	3/4	2/3	5/6	3/4	2/3	4/5	3/4	2/3	4/5	3/4	2/3

Примечание: N_{эк} — количество ИР с резервным объемом, замещающих полное количество ИР в парке N_{полн}

Заключение. Таким образом, изотермический резервуар представляет собой технологическую ёмкость, предназначенную для хранения и транспортировки сжиженных природных газов при давлении, близком к атмосферному, и при низких отрицательных температурах. Применение сжиженного природного газа не только позволяет хранить сырье на длительное время, но и расширяет возможности источников и форм энергетического обеспечения потребителей. Реализация описанной в данной статье инновационной технологии обеспечит ресурсосбережение, энергосбережение, а также повысит промышленную и экологическую безопасность объектов.

Список литературы

1. Ханухов Х.М., Алипов А.В., Четвертухин Н.В. Конструкционные мероприятия по повышению безопасности и снижению риска эксплуатации изотермических резервуаров для хранения жидкого аммиака. *Безопасность труда в промышленности*. 2015;(8):74–82.
2. Ханухов Х.М., Алипов А.В., Зимина С.В., Четвертухин Н.В., Герасимова Т.Л. *Устройство для хранения сжиженных газов*. Патент РФ, №153344. 2015. 7 с. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU153344U1_20150710.pdf (дата обращения: 05.05.2025).
3. Федорова Е.Б. *Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование*. Москва: РТУ нефти и газа им. И.М. Губкина; 2011. 159 с. URL: <https://djvu.online/file/5OGZhLsZCZsmp?ysclid=maccl1qgha189000189> (дата обращения: 05.05.2025).
4. Бармин И.В., Кунис И.Д. *Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра*. Архарова А.М. Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана; 2009. 256 с. URL: <https://djvu.online/file/1UmKb4ZMUK4IS?ysclid=macctpqw2n161724894> (дата обращения: 05.05.2025).
5. Ханухов Х.М., Четвертухин Н.В., Алипов А.В., Симонов И.И., Коломьцев А.В., Чернобров А.Р. Инновационные решения систем хранения сжиженного природного газа. *Вести газовой науки*. 2020;1(42):103–109.

Об авторе:

Александр Николаевич Сытенко, студент кафедры автоматизации и математического моделирования в нефтегазовой отрасли» Донского государственного технического университета, (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), sytenko112@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Author:

Alexander N. Sytenko, Student of the Automation and Mathematical Modeling in the Oil and Gas Industry Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), sytenko112@mail.ru

Conflict of Interest Statement: the author declares no conflict of interest.

The author has read and approved the final manuscript.