

DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-2-247-261

THE CURRENT STATE AND POSSIBLE PROSPECTS FOR USING LIQUEFIED NATURAL GAS TANK CONTAINERS

N. V. Kuptsov¹, A. V. Lill²

¹ — Gazpromneft Science & Technology Center, St. Petersburg, Russian Federation

² — Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

One of the ways to reduce emissions of harmful substances into the environment is considered in the paper. This way is connected with the transition from liquid and solid hydrocarbon fuels to liquefied natural gas, which is one of the reasons for the increase in gas fuel consumption with the observed growth in the last decade for its transportation in liquefied form in tank containers. The main countries owning tank containers are the USA, Germany and the UK. It is noted that tank containers are used for transportation and storage of liquefied gas in small volumes for end users; this method of transportation is mobile, since sea, rail and automobile transport can be used for this; storage of liquefied gas in tank containers does not require the construction of additional infrastructure. Further prospects of tank containers for liquefied natural gas are considered. The possibility of supplying gas by tank containers, especially for autonomous remote settlements and regions of the Russian Federation with a low population density, while in these regions the population needs gas for heating residential buildings, is discussed. The use of tank containers, due to its advantages, may have the potential for use in the Russian Federation. Thus, within the framework of the review study, the issues of the current state and prospects for the use of tank containers for LNG transportation are considered in detail. It is noted that the mobility and flexibility of transportation ensures storage without additional refrigeration systems for about three months, including that LNG tank containers are used for gas supply to sparsely populated and hard-to-reach points without connection to main gas pipelines, satisfaction of short-term peak gas consumption in winter, and use of gas as motor fuel for the various types of transport.

Keywords: LNG container tank, sea transport, containerization, LNG, gas supply, gas supplies.

For citation:

Kuptsov, Nikolay V., and Artem V. Lill. "The current state and possible prospects for using liquefied natural gas tank containers." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.2 (2023): 247–261. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-2-247-261.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ВОЗМОЖНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТАНК-КОНТЕЙНЕРОВ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Н. В. Купцов¹, А. В. Лилль²

¹ — ООО "Газпромнефть НТЦ", Санкт-Петербург, Российская Федерация

² — ФГБОУ ВО "ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова",
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Рассмотрен один из способов сокращения выбросов вредных веществ в окружающую среду: переход с жидких и твердых видов углеводородного топлива на сжиженный природный газ, являющийся одной из причин увеличения потребления газового топлива при наблюдающемся увеличении в последнее десятилетие темпов его перевозки в сжиженном виде в танк-контейнерах. Основными странами — владельцами танк-контейнеров являются США, Германия и Великобритания. В работе отмечается, что танк-контейнеры используются для перевозки и хранения сжиженного газа в малых объемах для конечных потребителей; данный способ перевозки является мобильным, так как для этого может использоваться морской, железнодорожный и автомобильный транспорт; хранение сжиженного газа в танк-контейнерах не требует строительства дополнительной инфраструктуры. Рассмотрены дальнейшие перспективы танк-контейнеров для сжиженного природного газа. Обсуждается возможность поставки газа танк-контейнерами в особенности для автономных отдаленных населенных пунктов и регионов Российской Федерации с малой плотностью населения, при этом в данных регионах требуется проведение газа населению для отопления жилых домов. Использование

танк-контейнеров в силу своих преимуществ имеет потенциал для развития в Российской Федерации. Таким образом, в рамках обзорного исследования подробно рассмотрены вопросы современного состояния и перспектив использования танк-контейнеров для перевозки СПГ. Отмечается, что мобильность и гибкость перевозок обеспечивает хранение без дополнительных рефрижераторных систем порядка трех месяцев, в том числе поэтому танк-контейнеры СПГ используют для газоснабжения малонаселенных и труднодоступных пунктов без подключения к магистральным газопроводам, удовлетворения краткосрочного пикового потребления газа в зимний период, использования газа в качестве моторного топлива для различных видов транспорта.

Ключевые слова: танк-контейнер СПГ, морской транспорт, контейнеризация, СПГ, газоснабжение, поставки газа

Для цитирования:

Купцов Н. В. Современное состояние и возможные перспективы использования танк-контейнеров сжиженного природного газа / Н. В. Купцов, А. В. Лилль // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 2. — С. 247–261. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-2-247-261.

Введение (Introduction)

Начиная с 2000 г. газ является одним из основных источников энергии, занимая в мире третье место по потреблению. По данным BP Statistical review of World Energy 2022 [1], объемы потребления энергоносителей в 2021 г. (возобновляемая энергия, атом, вода, газ, уголь, нефть) составили (рис. 1, а): нефть 184 эксаДж¹, уголь 160 эксаДж, газа 145 эксаДж. При этом среди ископаемых видов топлива природный газ имеет наибольший коэффициент полезного использования топлива 99,7–99,8 % [2], оказывая минимальное воздействие на экологию при энергогенерации (антропогенные выбросы при сжигании природного газа в 1,7 раза меньше угля и в 1,4 раза меньше нефти) [3]. Эти факты, а также возможность транспортировки газа на дальние расстояния по трубопроводам в сжатом виде подтверждают возрастающий на него спрос. Являясь одним из основных энергоносителей — по прогнозам компании BP [4], к 2035 г. газ имеет потенциал опережения угольной генерации по объемам потребления (рис. 1, б).

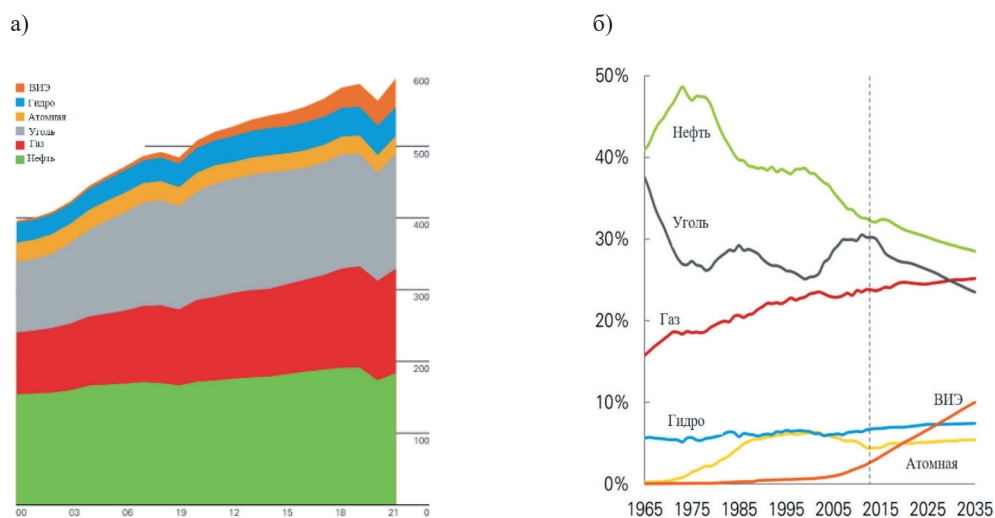


Рис. 1. Современное состояние и прогноз использования энергоресурсов в мире:
а — мировое потребление в 2000–2021 гг., эксаДж; б — прогноз потребления к 2035 г., %

Существуют различные варианты транспортировки газа. Магистральный трубопроводный транспорт, используемый для крупных объемов газа 10–30 млрд м³/год, является приоритетным при транспортировке на расстояния до 2000 км [5]. Помимо этого сжиженный природный газ (далее — СПГ) перевозят с использованием морского и внутреннего водного транспорта. СПГ транспортируется охлажденным при температуре –162 °С и менее, при этом происходит его сжатие в объемах до в 600 раз,

¹ экса = 10¹⁸.

что является одним из основных преимуществ этой технологии [6], [7]. Судовая партия СПГ составляет 170–260 тыс. м³. СПГ не имеет цвета, он нетоксичен, не имеет запаха и не подвержен коррозии, что обеспечивает его широкое применение [8]. В течение последних 10 лет импорт крупнотоннажного СПГ увеличивается ежегодно примерно на 5 % и в 2021 г. достиг 516,2 млрд м³, при этом в 2011 г. импорт составлял 328 млрд м³ (рис. 2).

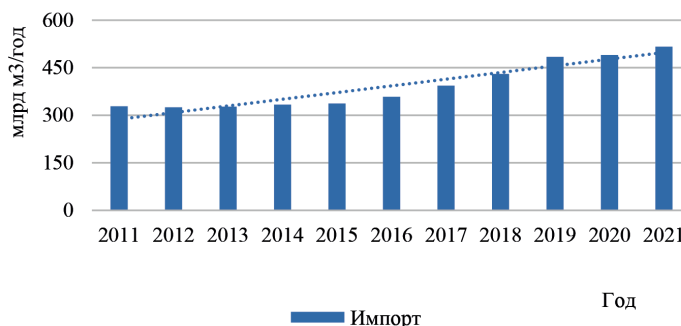


Рис. 2. Импорт сжиженного природного газа, млрд м³/год

Транспортировка малотоннажного СПГ (объемом менее 20 тыс. м³) осуществляется железнодорожным транспортом, автомобильным, внутренним водным, а также морским с использованием танк-контейнеров ISO [6] при мультимодальных перевозках с перевалкой груза с одного вида транспорта на другой, при этом погрузочно-разгрузочные операции выполняются с контейнером, а не с его содержимым. При этом контейнер является одновременно средством транспортировки и хранения.

Контейнеризация была впервые коммерчески внедрена в США в середине 1950-х гг. Американский предприниматель Малком Маклин является основоположником современных контейнерных перевозок. В 1956 г. судно «Идеал-Х» с 58 контейнерами на борту отправилось из Нью-Йорка в Хьюстон. Контейнеризация способствовала значительному снижению транспортных расходов. Так, в 1956 г. стоимость перевозки грузов составляла 5,8 долл./т, а с использованием контейнеров на «Идеал-Х» составила 0,2 долл./т. Стоимость перевозки груза в 40-футовом контейнере до глобального логистического кризиса 2020 г. составляла порядка 50 долл./т при стоимости перевозки контейнера порядка 1200–1500 долл.) [9].

Контейнерные перевозки оказали влияние не только на судоходство, но и в целом на международную экономику. Контейнеризация позволила увеличить доступность доставки грузов в различные точки мира. Производители, имеющие ограниченный доступ к мировому рынку из-за удаленности и отсутствия транспортной инфраструктуры, получили новые возможности в связи с распространением контейнеров как глобальной транспортной единицы. Благодаря контейнеризации участники перевозок теоретически имеют одинаковый уровень доступа к глобальной системе распределения грузов [10], [11]. Согласно данным 2019 г., в течение последнего десятилетия суммарная пропускная способность контейнерных терминалов в мире увеличилась с 540 млн TEU/год (2010 г.) до 810 млн TEU/год [12] — рис. 3.

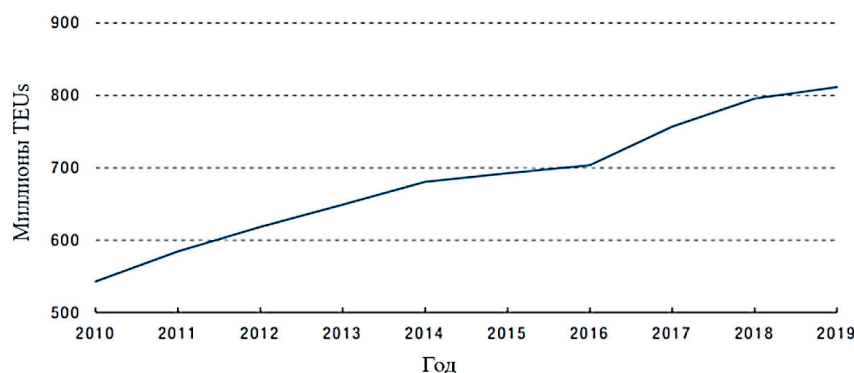


Рис. 3. Пропускная способность контейнерных терминалов в мире

Развитие технологий транспортировки газообразной продукции в сжатом виде и контейнеризации привело к синергетическому эффекту с возникновением танк-контейнеров СПГ для малотоннажной транспортировки и хранения. В научных исследованиях тематика танк-контейнеров получила развитие в течение последних 10–20 лет. В ходе изучения научных источников было выявлено, что исследователи в основном обращают внимание на нагрузки и конструктивные особенности танк-контейнера СПГ.

В исследованиях E. Lisowski и W. Czyzycki [13] приведены основные требования к танк-контейнерам СПГ, выполнение которых может свести к минимуму вероятность поломки. Танк-контейнер в течение расчетного срока службы должен выдерживать количество циклов наполнения и опорожнения (операций охлаждения и нагрева) и быть изготовлен из рекомендованных для этой цели материалов. В исследованиях J. Peng [14], Z. Wang и C. Qian [14] проанализированы нагрузки и давление в танк-контейнере СПГ при транспортировке водным и железнодорожным транспортом, выполнен анализ напряжений и оценка прочности танк-контейнера при перевозке СПГ, сформулированы предложения по обеспечению безопасности транспортировки СПГ в танк-контейнерах для обеспечения контроля транспортных рисков. Z. Wang [15] приводит рекомендации по конструкции танк-контейнеров. В статье F. Meng, L. Ma и X. Wang [16] рассмотрены факторы, влияющие на безопасность морской транспортировки танк-контейнеров СПГ, а также создана модель *рекуррентной нейронной сети* (англ. Recurrent neural network, RNN), на основе которой создана *индексная система* (данная модель создана для оценки безопасности). В статье J. Wang и Y. Sang [17] представлена модель оптимизации мультимодальной транспортировки танк-контейнеров СПГ с наименьшими транспортными расходами и рисками, а также выполнена оценка транспортных рисков.

В исследованиях Y. Peng, Y. Yin, Q. Yue и S. Wu [18] было экспериментально рассмотрено влияние движения судна на давление и время выдержки танк-контейнеров во время морской транспортировки с помощью трех экспериментов, а именно с опытными образцами, полевыми испытаниями и экспериментами по самонапряжению. Установлено, что движение судна облегчает испарение СПГ за счет усиления теплообмена при динамических условиях. Более сильное движение судна вызывает повышенное образование парных газов. Тем не менее установлено, что скорость испарения является стабильной даже в самых жестких динамических условиях. В полевых условиях прогнозируемое время выдержки составило 92 дня. На основании данных исследований было установлено, что транспортировка СПГ в танк-контейнерах является наиболее безопасным и доступным способом.

В исследованиях российских ученых Л. Мамедовой и М. Гоголухиной [19] была проведена оценка транспортировки СПГ в мембранных танк-контейнерах, изготовленных из алюминиево-скандиевого сплава 1580 нового поколения с низким содержанием скандия (не более 0,1 %). Использование такой технологии по сравнению с традиционными стальными конструкциями позволяет обеспечить высокий уровень адаптации к резким изменениям температуры, повышение ударопрочности, так как мембрана может удлиняться и равномерно распределять динамические нагрузки, обеспечение высокого уровня безопасности и снижение вероятности утечки СПГ, а также снижение веса танк-контейнера СПГ за счет использования

Целью работы является изучение устройства и характеристик танк-контейнеров основных производителей, создание логистической цепочки с их использованием, а также поиск решений возможности использования танк-контейнеров для транспортировки сжиженного природного газа в целях последующего изучения и применения в проектах в РФ.

Методы и материалы (Methods and Materials)

В статье выполнен обзор международного опыта, научных достижений и имеющихся технологий перевозки СПГ в танк-контейнерах с использованием методов системного анализа и систематизации научных исследований.

Результаты (Results)

Танк-контейнеры СПГ обеспечивают транспортировку (автомобильный, железнодорожный, водный виды транспорта или их комбинация) в малых объемах до конечных потребителей. Преимуществом их является непосредственное использование в качестве резервуара для хранения без создания дорогостоящей дополнительной инфраструктуры [20]. При общей мобильности и гибкости также обеспечивается хранение без дополнительных рефрижераторных систем порядка трех месяцев, в том числе поэтому танк-контейнеры СПГ используют следующим образом: для газоснабжения малонаселенных и труднодоступных пунктов, которые не подключены к магистральным газопроводам; для удовлетворения краткосрочного пикового потребления газа в зимний период; для подачи потребителям, временно отключенным от магистральных газопроводов (например, в связи с ремонтом или техническим обслуживанием); для использования газа в качестве моторного топлива для различных видов транспорта. На основе проведенного исследования были получены сведения об устройстве и характеристиках танк-контейнеров, мировом парке танк-контейнеров (в том числе по производителям и владельцам), функциональной сущности логистической цепочки поставки СПГ в танк-контейнерах, выполнен анализ и обзор логистических цепочек в мире и РФ.

Устройство и характеристики танк-контейнеров. В большинстве случаев танк-контейнеры предназначены для перевозки грузов в жидком агрегатном состоянии. В них перевозят пищевые и промышленные продукты [21]:

- пищевые: спиртосодержащие жидкости (алкогольные напитки), пищевые масла, пищевые добавки, концентрированные фруктовые соки, минеральные воды, молоко и др.;
- промышленные: нефть, нефтепродукты, масла, смазки, сжиженные газы, химические вещества, краски, солевые растворы, жирные кислоты, гранулированные и сыпучие вещества и др.

Танк-контейнер является транспортной единицей. Он состоит из рамы (защищает резервуар от повреждений при перевозках, обеспечивает штабелирование для складирования) и цистерны (со сливной арматурой и устройствами для безопасного заполнения и разгрузки СПГ, отвода отпарных газов). Перевозки СПГ в танк-контейнерах осуществляют при температуре не менее $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$, плотности $0,43\text{--}0,47\text{ т/м}^3$. Резервуар является криогенным, он обеспечивает уменьшение расхода тепла в соответствии с эксплуатационными требованиями с предотвращением образования наледи. Танк-контейнеры по типоразмерам стандартизированы в соответствии с нормативами ISO (International Organization for Standardization) для унификации при мультимодальных перевозках. Танк-контейнеры обеспечивают изоляцию СПГ, что снижает скорость статического испарения газа [22], они оснащены системами безопасности и устройствами аварийного отключения, что гарантирует безопасность при транспортировке СПГ [23]. На рис. 4 приведена конструкция танк-контейнера.

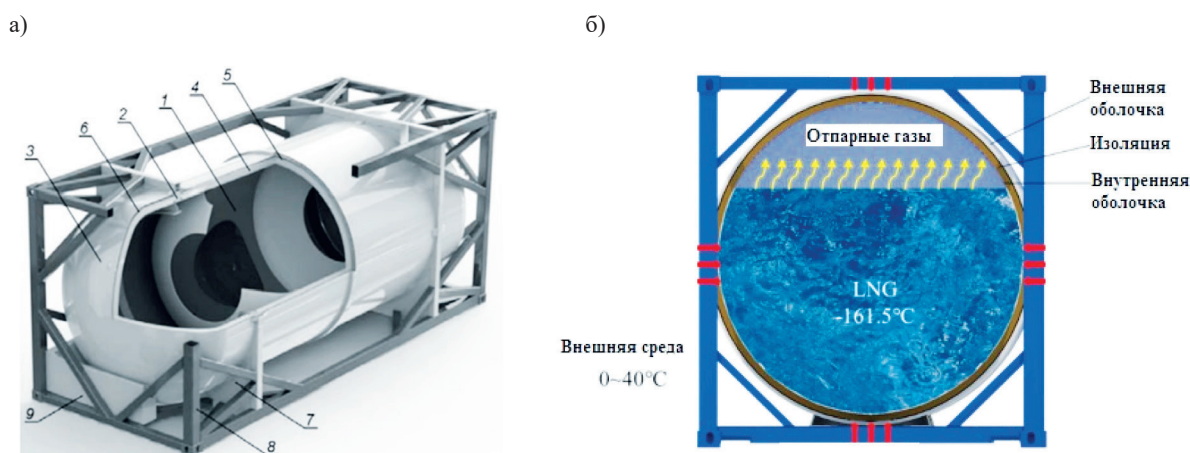


Рис. 4. Устройство танк-контейнера для перевозки и хранения СПГ:

- 1 — внутренний резервуар; 2 — внутренние опоры из полимерных материалов;
3 — наружный резервуар; 4 — изоляция;
5 — радиационные экраны; 6 — вакуум; 7 — наружные опоры;
8 — каркас контейнера; 9 — фиттинги

Танк-контейнеры изготавливают стандартных 20- и 40-футового размеров, характеристики которых приведены в табл. 1 [24]. Для перевозок СПГ в основном используют 40-футовые криогенные танк-контейнеры объемом 43,5 м³, стоимость которых составляет 50–120 тыс. долл.

Таблица 1

Размеры танк-контейнеров

Тип танк-контейнера	Объем, м ³	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Грузы для перевозок	Время хранения без рефрижераторных систем
20-футовый	20,7	6,058	2,438	2,591	Метан (СПГ), этан, этилен, азот, аргон, кислород, углекислый газ	109 дней
40-футовый	43,5	12,192	2,438	2,591	Метан (СПГ), этан, этилен, азот	109 дней

Мировой парк танк-контейнеров. По данным ITCO (International Tank Container Organization) [25], в 2021 г. в мире насчитывается 737 тыс. танк-контейнеров, при этом из открытых источников невозможно определить долю танк-контейнеров под СПГ. По сравнению со стандартными контейнерами, которых в мире насчитывается порядка 100 млн танк-контейнеры занимают малую долю, обладая при этом высокими темпами роста — их ежегодный выпуск составляет 53 тыс. шт./год, что позволяет наращивать количество мирового парка контейнеров на 6–10 % ежегодно. На рис. 5 показана статистика ежегодного производства и накопленного количества танк-контейнеров в мире.

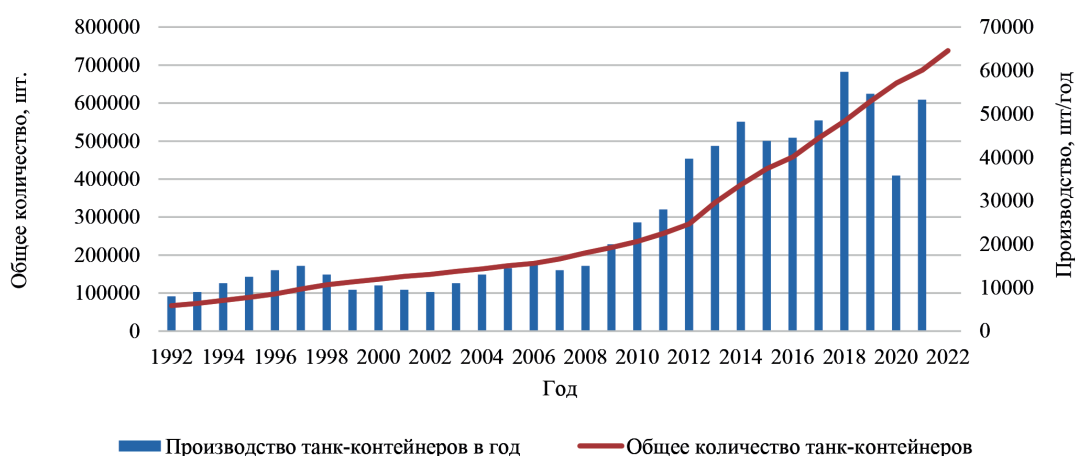


Рис. 5. Производство и накопление танк-контейнеров в 1992–2022 гг.

Производители и владельцы (операторство, лизинг). Производство танк-контейнеров на 90 % сосредоточено в Китае. Крупнейшими компаниями являются: CIMC (29,5 тыс. шт./год; Китай), NT Tank (9 тыс. шт./год; Китай), JJAP (5,6 тыс. шт./год; Китай), Welfit Oddy (4 тыс. шт./год; ЮАР). Необходимо отметить, что шесть крупнейших компаний производят 97 % танк-контейнеров от общего мирового объема 53 тыс. шт./год.

Виды владения танк-контейнерами: *операторство* (полное владение) и *лизинг* (передача пользования на длительный срок за вознаграждение). В большей степени распространено операторство с мировым парком 490 тыс. шт. (крупнейшие компании имеют в распоряжении 20–43 тыс. шт.). В лизинг предоставляется меньшее количество — 323 тыс. шт. (крупнейшие компании владеют 40–71 тыс. шт.). При этом среди стран-владельцев преобладают США, Германия, Великобритания, Нидерланды, Франция и Швейцария, в то время как в Азиатско-Тихоокеанском регионе (АТР) существует несколько компаний в Китае и Сингапуре (владение 20–30 тыс. шт.).

Логистическая цепочка поставки СПГ с использованием танк-контейнеров. СПГ с морскими поставками в крупнотоннажных судах-газовозах (дедвейт 80–130 тыс. т) в основном предназначен

для энергогенерирующих предприятий, готовых использовать данный энергоноситель в больших объемах. Поставки СПГ в танк-контейнерах на данном этапе являются малотоннажными, так как потребителями являются *индивидуальными* (суда, автотранспорт, коммунально-бытовые пользователи).

Идентифицирована общая функциональная сущность логистической цепочки поставки СПГ в танк-контейнерах (рис. 6). В любом случае добыча и подготовка природного газа происходят на крупных месторождениях. Возникновение танк-контейнера в логистической цепочке возможно в двух ситуациях, при которых в танк-контейнеры происходит налив части объема крупнотоннажного СПГ: в порту приемки (регазификация) или в порту отправки (экспорт). В первом случае при отправке СПГ крупнотоннажными судами-газовозами импортеру потребуются вместительные резервуары СПГ, чтобы осуществить частичный налив объемов в танк-контейнеры. На современных терминалах регазификации СПГ вводятся дополнительные функции и услуги: перевалка на малые суда-газовозы, бункеровка судов, заправка автомобильных и железнодорожных цистерн, заправка танк-контейнеров ISO. Во втором случае при нахождении танк-контейнеров в экспортном порту требуется применение судов-контейнеровозов, при этом у импортера не возникает необходимости в крупнотоннажных резервуарах, так как фактически происходит мультимодальная перевозка и распределение контейнеров до конечного потребителя.



Рис. 6. Логистическая цепочка поставки СПГ с использованием танк-контейнеров

Танк-контейнеры СПГ от портового терминала поступают к потребителю напрямую через мультимодальную транспортировку контейнера (железнодорожный, автомобильный, водный) или требуют дополнительного хранения (склад регазификации, штабелирование контейнеров, крио-заправка). Унифицированные танк-контейнеры крановыми средствами монтируются на борт автомобиля, палубу судна контейнеровоза или на железнодорожную платформу для перевозок. На рис. 7 показана цепочка распределения танк контейнеров СПГ от портового терминала до конечных потребителей.

Анализ логистических цепочек с морским транспортом СПГ в танк-контейнерах. СПГ активно развивается в Азиатско-Тихоокеанском регионе (АТР). Во многом связано с тем, что развивающиеся страны являются крупнейшими импортерами. В 2021 г. основными странами мира по приемке СПГ были: Китай — 110 млрд м³, Япония — 101 млрд м³, Южная Корея — 64 млрд м³, Индия — 34 млрд м³, Тайвань — 27 млрд м³. На рис. 8 [1] приведена динамика увеличения ежегодных объемов импорта СПГ в Китае, Японии и Южной Корее. Ежегодный прирост в 2011–2021 гг. при относительно стабильной стоимости СПГ составил 5–10 %, при этом наибольшее увеличение объемов импорта СПГ за указанный период отмечалось в Китае (16,9 млрд м³ в 2011 г., 110 млрд м³ в 2021 г.). В течение ближайших 10–15 лет потребление газа и его доля в энергобалансе этих стран будет увеличиваться несмотря на краткосрочные ценовые всплески и кризисы (пандемия Covid-19, энергетический кризис 2022 г. В частности, в 2022 г. текущая стоимость на рынке на СПГ достигла 1,1 долл./м³, что почти в 4 раза превышает средние показатели за последние десять лет.



Рис. 7. Распределение танк-контейнеров от портового терминала до потребителя

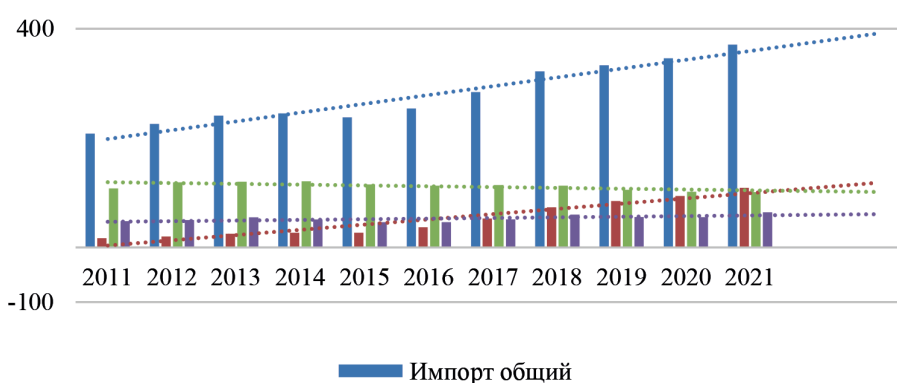


Рис. 8. Объемы ежегодного импорта СПГ в Азиатско-Тихоокеанском регионе, млрд м³

Широкое применение судов-контейнеровозов для морской транспортировки танк-контейнеров СПГ наблюдается в течение последних пяти лет в особенности в Азиатско-Тихоокеанском регионе (АТР). Несмотря на растущее потребление СПГ в энергобалансе этих стран сеть магистральных газопроводов в них развита неравномерно или отсутствует в отдельных локациях. Первые тестовые морские поставки СПГ в танк-контейнерах в АТР выполнены в 2007 г. через три китайских порта: Weizhou Island — Guangzhou — Haining и в 2014 г. (44 контейнера за тринадцать кругорейсов между китайскими портами Dongguan и Haikou). В табл. 2 приведены данные, полученные из открытых источников интернета, о проектах морской транспортировки СПГ судами-контейнеровозами. На рис. 9 приведены логистические цепочки в АТР с нумерацией в соответствии с табл. 2.

Таблица 2

Поставки СПГ в танк-контейнерах

№ п/п.	Оператор (компания)	Статус	Количество танк-контейнеров	Регион (страны)	Год
1	Tiger Gas	Тестовая поставка	200	Малайзия – Китай	2021
2	Tiger Gas	Тестовая поставка	205	Малайзия – Китай	2021
3	COSCO	Тестовая поставка	130	Китай (юг – север)	2018
4	FortisBC	Подписано соглашение	60 ед. в неделю	Канада – Китай (Шанхай)	2019–2021
5	Gaslink	На регулярной основе	Оборот из 55 танк-контейнеров	Португалия (Лиссабон – Мадейра)	С 2017 г.
6	CNOOC	Тестовая поставка	5	Китай – Камбоджа	2020
7	Novatek&Power Asia, Saibu Gas и Tiger Gas	Тестовая поставка	Нет данных	Япония – Китай	2020



Рис. 9. Карта логистических цепочек с морским транспортом СПГ в танк-контейнерах в Азиатско-Тихоокеанском регионе

В настоящее время в АТР не существует постоянных линий для перевозки танк-контейнеров СПГ, однако тестовые перевозки уже были успешно осуществлены. Основными заинтересованными в этом судоходными компаниями являются китайские Tiger Gas и Cosco, которые занимаются тестовым пилотированием подобных перевозок на обычных судах-контейнеровозах. Компанией Cosco в 2018 г. была выполнена перевозка 130 танк-контейнеров СПГ (рис. 10, а) — танк-контейнеры перевезены из порта Янпу (провинция Хайнань на юге Китая) в порт Цзиньчжоу (провинция Ляонин на севере Китая). Данная поставка выполнена для тестирования схемы обеспечения севера страны энергоресурсами для сглаживания пиков потребления в осенне-зимний период [26]. Компания Tiger Gas выполнила в 2020 г. несколько тестовых поставок, сконцентрировав свои усилия в 2021 г. на создании танк-контейнерной линии Малайзия – Китай совместно с нефтегазовой компанией Petronas: в январе 2021 г. было перевезено из Бинтулу (Малайзия) в Китай 200 танк-контейнеров СПГ, в апреле 2021 г. — 205 танк-контейнеров [27]. Для обеспечения долгосрочных поставок малайзийской нефтегазовой компании Petronas компания Tiger Gas создала собственный флот, в состав которого в ближайшее время войдут четыре специализированных СПГ-контейнеровоза (первое судно было спущено на воду китайской верфью Yangzijiang Shipbuilding в ноябре 2021 г., остальные три — в течение 2022 г.). Суда-контейнеровозы имеют идентичные характеристики (рис. 10, б): дедвейт 25 000 т, вместимость 690 танк-контейнеров (40-футовые), эквивалент 15 000 т СПГ, скорость 16 уз. Стоимость строительства судна составляет 115 млн долл. США.

а)



б)



Рис. 10. Контейнеровозы китайских судовладельцев для транспортировки танк-контейнеров СПГ:
а — Cosco; б — Tiger Gas

В Европе первая цепочка по морской перевозке танк-контейнеров СПГ появились в 2017 г. в Португалии [28] для газификации автономного отдаленного о-ва Мадейра. Логистическая цепочка является замкнутой, она обеспечивает кругооборот 55 танк-контейнеров и двух судов-контейнеровозов. Этого вполне достаточно для того, чтобы обеспечить потребность в объемах СПГ с необходимым количеством грузовой и порожней тары. Действие логистической цепочки приведено на рис. 11. СПГ поступает на крупнотоннажных судах на морской терминал регазификации в порту Синиш 1, на котором одной из операций предусмотрен налив СПГ в танк-контейнеры СПГ, автотранспортом танк-контейнеры доставляют по маршруту Синиш – Лиссабон (150 км) 2, на контейнерном терминале в порту Лиссабон происходит погрузка на контейнеровоз 3, затем морская транспортировка в порт Канисад на о-ве Мадейра (960 км) 4, перевалка танк-контейнеров с морского транспорта на автомобильный в порту Канисал 5, автотранспортом танк-контейнеры доставляют по маршруту порт Канисал – накапливающая станция регазификации (40 км), с которой осуществляются поставки СПГ местным потребителям 6, затем происходит дальнейший возврат порожней тары танк-контейнеров, заполнение и транспорт по кольцевому маршруту 7.

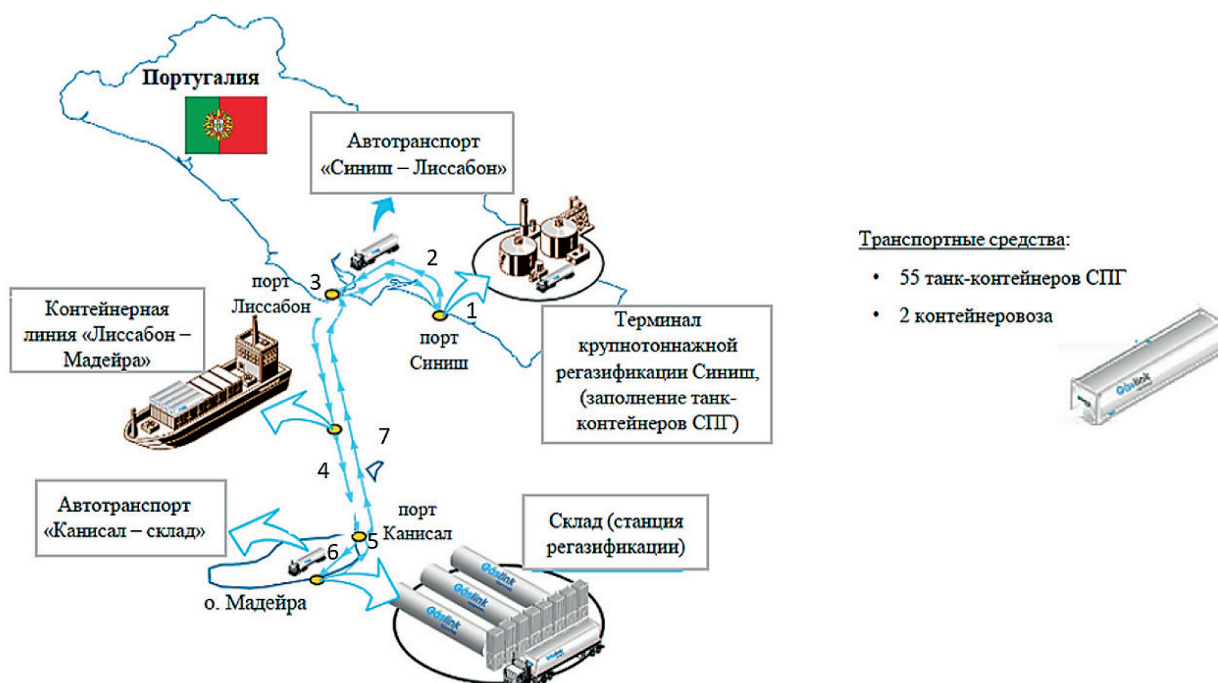


Рис. 11. Логистическая цепочка с танк-контейнерами СПГ в Португалии

Использование танк-контейнеров СПГ в РФ. По данным справочных материалов [29], с начала 2010-х гг. в РФ построено более пятнадцати малотоннажных заводов (менее 160 тыс. т/год) по сжижению СПГ. Все они расположены вблизи единой системы газоснабжения «Газпром», осуществляют прием сырьевого газа из магистральных газопроводов и его дальнейшее сжижение. Деятельность осуществляют крупные холдинги: «Газпром» (КСПГ «Канюсята», КСПГ «Владивосток» и др.), «Новатэк» (КСПГ «Челябинск») и независимые компании: «Криогаз», «Сибирь-Энерго» и др.

Примеры применения танк-контейнеров СПГ в Российской Федерации:

1. «Криогаз» в 2021 г. проводил тестирование мультимодальной перевозки для определения оптимальной логистической цепочки (заправка СПГ в Новокузнецке с отправкой автомобильным и речным транспортом на 3000 км до Усть-Кута и В. Муны) — рис. 12, а.

2. «Газпром СПГ-технологии» с 2021 г. для криогенных топливозаправочных пунктов в Перми и Тюмени использует танк-контейнеры для хранения СПГ совместно с модульными блоками заправки мобильной техники (рис. 12, б).

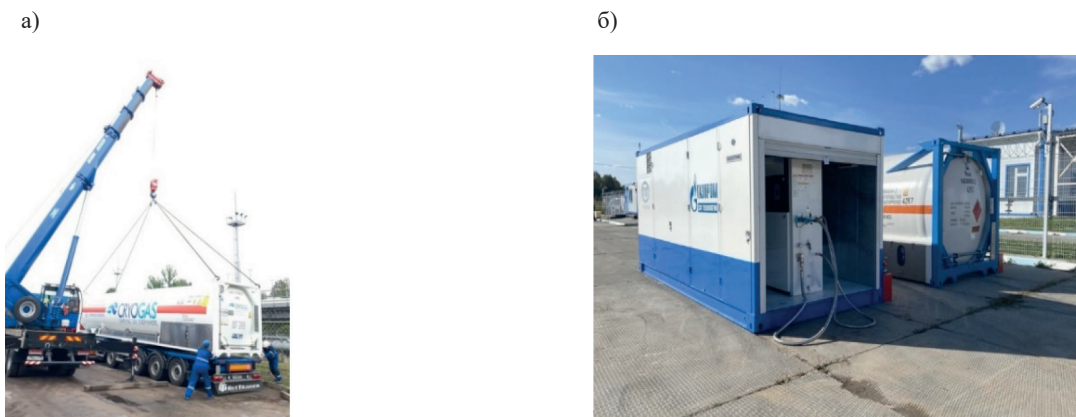


Рис. 12. Использование танк-контейнеров СПГ в РФ:
а — «Криогаз»; б — «Газпром СПГ-технологии»

Обсуждение (Discussion)

Танк-контейнеры предназначены для мобильной транспортировки и кратковременного хранения СПГ в малых объемах. С помощью данного способа перевозки СПГ газифицируют малые или отдаленные населенные пункты — для них таким образом обеспечивается энергетическая независимость [30]. Помимо этого танк-контейнеры активно начинают использовать на криогенных заправочных пунктах в качестве моторного топлива для автотранспорта или судов. К примеру, в АТР данная технология развивается на стыке крупнотоннажных регазификационных терминалов СПГ с дальнейшим распределением конечным потребителям. На примере РФ возможно применение вблизи магистральных газопроводов.

На территории РФ существует сеть магистральных газопроводов «Газпром» и крупнотоннажные экспортные СПГ заводы (более 2 млн т/год), например, Ямал СПГ 18,9 млн т/год и Сахалин-2 10,4 млн т/год. Масштабная ресурсная база газа и разветвленная транспортная сеть создают возможности для развития производственно-логистических цепочек с применением танк-контейнеров СПГ в РФ, в особенности для автономных отдаленных населенных пунктов и регионов с малым количеством населения. В связи с этим система газопроводов в подобных регионах развита в меньшей степени. В этом случае целевыми регионами могут являться Сибирский федеральный округ (6,8 % уровень газификации, плотность населения 3,9 чел./км²) и Дальневосточный федеральный округ (13 % уровень газификации, плотность населения 1,2 чел./км²). Для сравнения: в европейской части России газификация достигает 70–90 % при плотности населения 27 чел./км².

Для Дальнего Востока использование танк-контейнерной «виртуальной газовой трубы», т. е. газ для домовладений или предприятий поступает не из трубопроводной системы, а с помощью ритмичных поставок танк-контейнеров по круговой системе, позволит обеспечить газификацию населения. В настоящее время большинство объектов малотоннажного сжижения и потребления СПГ находится в Европейской части РФ, однако появилась тенденция и желание инвесторов создать подобные системы на Дальнем Востоке. Технологии поставок СПГ в танк-контейнерах должны способствовать подобному развитию событий. Основной задачей руководства страны является газификация всего населения, поэтому использование танк-контейнеров для перевозки СПГ позволит малонаселенным регионам использовать газ как основной источник энергии. В Российской Федерации основными регионами для реализации данного решения являются Дальний Восток, Сибирь и Крайний Север.

Заключение (Summary)

В работе приведены и проанализированы основные характеристики танк-контейнеров, показана логистическая цепочка с использованием танк-контейнеров, а также проанализирован международный опыт их использования и применения. Рассмотрены регионы Российской Федерации, в которых могут быть использованы танк-контейнеры СПГ для обеспечения населения Дальнего

Востока газом. Необходимо отметить, что в настоящее время в России проводится пока только тестирование данного вида поставки в малых объемах.

В результате проведенного обзорного анализа получены следующие результаты:

- отмечено развитие логистических цепочек с применением танк-контейнеров СПГ;
- рассмотрены ключевые характеристики танк-контейнера СПГ;
- проанализирован мировой парк танк-контейнеров и производственные мощности (53 тыс. шт./год);
- выполнен обзор морской транспортировки танк-контейнеров СПГ на судах-контейнеровозах, которые получили основное развитие в Китае.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. BP Statistical review of World Energy 2022. — 71st edition. — London: Whitehouse Associates, 2022. — 58 p.
2. *Smil V.* Natural gas: fuel for the 21st century / V. Smith. — Wiley-Blackwell, 2015. — 264 p.
3. *He T.* LNG cold energy utilization: Prospects and challenges / T. He, Z. R. Chong, J. Zheng, Y. Ju, P. Linga // *Energy*. — 2019. — Vol. 170. — Pp. 557–568. DOI: 10.1016/j.energy.2018.12.170.
4. BP Energy Outlook. — 2017 edition. — BP, 2017. — 103 p.
5. *Mokhatab S.* Handbook of liquefied natural gas / S. Mokhatab, J. Y. Mak, J. V. Valappil, D. A. Wood. — Gulf Professional Publishing, 2016. — 624 p.
6. *He T.* Review on the design and optimization of natural gas liquefaction processes for onshore and offshore applications / T. He, I. A. Karimi, Y. Ju // *Chemical Engineering Research and Design*. — 2018. — Vol. 132. — Pp. 89–114. DOI: 10.1016/j.cherd.2018.01.002.
7. *Khan M. S.* Retrospective and future perspective of natural gas liquefaction and optimization technologies contributing to efficient LNG supply: A review / M. S. Khan, I. A. Karimi, D. A. Wood // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. — 2017. — Vol. 45. — Pp. 165–188. DOI: 10.1016/j.jngse.2017.04.035.
8. *Lin W.* LNG (liquefied natural gas): a necessary part in China's future energy infrastructure / W. Lin, N. Zhang, A. Gu // *Energy*. — 2010. — Vol. 35. — Is. 11. — Pp. 4383–4391. DOI: 10.1016/j.energy.2009.04.036.
9. *Candela R. A.* Malcom McLean, containerization and entrepreneurship / R. A. Candela, P. J. Jacobsen, K. Reeves // *The Review of Austrian Economics*. — 2020. — Vol. 35. — Pp. 445–465. DOI: 10.1007/s11138-020-00529-2.
10. *Bernhofen D. M.* Estimating the effects of the container revolution on world trade / D. M. Bernhofen, Z. El-Sahli, R. Kneller // *Journal of International Economics*. — 2016. — Vol. 98. — Pp. 36–50. DOI: 10.1016/j.jinteco.2015.09.001.
11. Review of maritime transport 2021 // UNCTAD. — Geneva: United Nations, 2021. — 151 p.
12. *Notteboom T.* Containerisation, box logistics and global supply chains: The integration of ports and liner shipping networks / T. Notteboom, J. P. Rodrigue // *Maritime economics & logistics*. — 2008. — Vol. 10. — Pp. 152–174. DOI: 10.1057/palgrave.mel.9100196.
13. *Lisowski E.* Transport and storage of LNG in container tanks / E. Lisowski, W. Czyzycki // *Journal of KONES*. — 2011. — Vol. 18. — No. 3. — Pp. 193–201.
14. *Peng J.* Test and Analysis of LNG Tank Container Waterway Transport / J. Peng // *International Conference on Transportation Engineering 2009*. — American Society of Civil Engineers, 2012. — Pp. 1844–1848. DOI: 10.1061/41039(345)305.
15. *Wang Z.* Strength analysis of LNG tank container for trains under inertial force / Z. Wang, C. Qian // *Journal of Physics: Conference Series*. — IOP Publishing, 2020. — Vol. 1549. — No. 3. — Pp. 032107. DOI: 10.1088/1742-6596/1549/3/032107.
16. *Meng F.* An Approach on the Evaluation of LNG Tank Container Transportation Safety / F. Meng, L. Ma, X. Wang // *International Journal of Engineering and Management Research*. — 2019. — Vol. 9. — Is. 5. — Pp. 44–53. DOI: 10.31033/ijemr.9.5.8.
17. *Wang J.* Route optimization of LNG tank container multimodal transport considering transportation safety. / J. Wang, Y. Sang // *2nd International Conference on Internet of Things and Smart City (IoTSC 2022)*. — SPIE, 2022. — Vol. 12249. — Pp. 942–949. DOI: 10.1117/12.2637034.
18. *Yu P.* Experimental Study of Ship Motion Effect on Pressurization and Holding Time of Tank Containers during Marine Transportation / P. Yu, Y. Yin, Q. Yue, S. Wu // *Sustainability*. — 2022. — Vol. 14. — Is. 6. — Pp. 3595. DOI: 10.3390/su14063595.

19. Mamedova L. Advantages of Production and Operation of Innovational Storage Systems in Multimodal LNG-Transportation / L. Mamedova, M. Gogolukhina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — IOP Publishing, 2020. — Vol. 459. — No. 6. — Pp. 062074. DOI: 10.1088/1755-1315/459/6/062074.
20. Lee C. Y. Ocean container transport in global supply chains: Overview and research opportunities / C. Y. Lee, D. P. Song // Transportation Research Part B: Methodological. — 2017. — Vol. 95. — Pp. 442–474. DOI: 10.1016/j.trb.2016.05.001.
21. Пономаренко М. А. Перевозки химических наливных грузов в танк-контейнерах: проблемы безопасности и особенности их транспортировки / М. А. Пономаренко, И. А. Русинов // Транспортное дело России. — 2017. — № 5. — Pp. 156–160.
22. Chen Q. S. Analysis of temperature and pressure changes in liquefied natural gas (LNG) cryogenic tanks / Q. S. Chen, J. Wegrzyn, V. Prasad // Cryogenics. — 2004. — Vol. 44. — Is. 10. — Pp. 701–709. DOI: 10.1016/j.cryogenics.2004.03.020.
23. Guo J. Analysis of handling and storage of liquefied natural gas tank container / J. Guo, H. Tang, H. Song, G. Sun // International Journal of Smart Grid and Clean Energy. — 2021. — Vol. 10. — No. 4. — Pp. 310–315. DOI: 10.12720/sgece.10.4.310–315.
24. Сайт компании “Chart industries” [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.chartindustries.com/Products/ISO-Containers> (дата обращения: 31.07.2022).
25. 2022 Global tank container fleet survey. — Surbiton, United Kingdom: ITCO, 2022. — 15 p.
26. Алифирова Е. Чтобы не было как прошлой зимой. Китай тестирует доставку СПГ танк-контейнерами с юга на север // Neftegaz.ru [Электронный ресурс] / Е. Алифирова. — Режим доступа: <https://neftegaz.ru/news/transport-and-storage/196527-chtoby-ne-bylo-kak-proshloy-zimoy-kitay-testiruet-dostavku-spg-tank-konteynerami-s-yuga-na-sever/> (дата обращения: 05.07.2022).
27. Алифирова Е. Tiger Gas получила второй контейнеровоз для поставок СПГ в ISO-контейнерах // Neftegaz.ru [Электронный ресурс] / Е. Алифирова. — Режим доступа: <https://neftegaz.ru/news/transport-and-storage/725755-tiger-gas-poluchila-vtoroy-konteynerovoz-dlya-postavok-spg-v-iso-konteynerakh/> (дата обращения: 05.07.2022).
28. Сайт компании “Gaslink” [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.gaslink.pt/gasoduto-virtual/> (дата обращения: 08.07.2022).
29. Климентьев А. Справочные материалы. Карта российской СПГ отрасли 2022 / А. Климентьев, М. Ишмуратова, Д. Сун, А. К. Хауг, И. Кирилкина, А. Талипова, Д. Хусейнов, В. Киушкина, С. Лентьев, А. Сульдин, В. Карасевич. — 2022. — 112 p.
30. Alderman J. A. Introduction to LNG safety / J. A. Alderman // Process Safety Progress. — 2005. — Vol. 24. — Is. 3. — Pp. 144–151. DOI: 10.1002/prs.10085.

REFERENCES

1. BP Statistical review of World Energy 2022. 71st edition. London: Whitehouse Associates, 2022.
2. Smil, Vaclav. *Natural gas: fuel for the 21st century*. Wiley–Blackwell, 2015.
3. He, Tianbiao, Zheng Rong Chong, Junjie Zheng, Yonglin Ju, and Praveen Linga. “LNG cold energy utilization: Prospects and challenges.” *Energy* 170 (2019): 557–568. DOI: 10.1016/j.energy.2018.12.170.
4. BP Energy Outlook. 2017 edition. BP, 2017.
5. Mokhtab, Saied, John Mak, Jaleel Valappil, and David A. Wood. *Handbook of Liquefied Natural Gas*. Gulf Professional Publishing, 2016.
6. He, Tianbiao, Iftexhar A. Karimi, and Yonglin Ju. “Review on the design and optimization of natural gas liquefaction processes for onshore and offshore applications.” *Chemical Engineering Research and Design* 132 (2018): 89–114. DOI: 10.1016/j.cherd.2018.01.002.
7. Khan, Mohd Shariq, I. A. Karimi, and David A. Wood. “Retrospective and future perspective of natural gas liquefaction and optimization technologies contributing to efficient LNG supply: A review.” *Journal of Natural Gas Science and Engineering* 45 (2017): 165–188. DOI: 10.1016/j.jngse.2017.04.035.
8. Lin, Wensheng, Na Zhang, and Anzhong Gu. “LNG (liquefied natural gas): a necessary part in China’s future energy infrastructure.” *Energy* 35.11 (2010): 4383–4391. DOI: 10.1016/j.energy.2009.04.036.
9. Candela, Rosolino A., Peter J. Jacobsen, and Kacey Reeves. “Malcom McLean, containerization and entrepreneurship.” *The Review of Austrian Economics* 35 (2020): 445–465. DOI: 10.1007/s11138-020-00529-2.

10. Bernhofen, Daniel M., Zouheir El-Sahli, and Richard Kneller. "Estimating the effects of the container revolution on world trade." *Journal of International Economics* 98 (2016): 36–50. DOI: 10.1016/j.jinteco.2015.09.001.
11. *Review of maritime transport 2021*. UNCTAD. Geneva: United Nations, 2021.
12. Notteboom, Theo, and Jean-Paul Rodrigue. "Containerisation, box logistics and global supply chains: The integration of ports and liner shipping networks." *Maritime economics & logistics* 10 (2008): 152–174. DOI: 10.1057/palgrave.mel.9100196.
13. Lisowski, Edward, and Wojciech Czyżycki. "Transport and storage of LNG in container tanks." *Journal of KONES* 18.3 (2011): 193–201.
14. Peng, Jianhua. "Test and Analysis of LNG Tank Container Waterway Transport." *International Conference on Transportation Engineering 2009*. American Society of Civil Engineers, 2012. 1844–1848. DOI: 10.1061/41039(345)305.
15. Wang, Zhiqiang, and Caifu Qian. "Strength analysis of LNG tank container for trains under inertial force." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1549. No. 3. IOP Publishing, 2020. DOI: 10.1088/1742-6596/1549/3/032107.
16. Meng, Feiyu, Li Ma, and Xuefeng Wang. "An Approach on the Evaluation of LNG Tank Container Transportation Safety." *International Journal of Engineering and Management Research* 9.5 (2019): 44–53. DOI: 10.31033/ijemr.9.5.8.
17. Wang, Jie, and Yan Sang. "Route optimization of LNG tank container multimodal transport considering transportation safety." *2nd International Conference on Internet of Things and Smart City (IoTSC 2022)*. Vol. 12249. SPIE, 2022. DOI: 10.1117/12.2637034.
18. Yu, Peng, Yuanchao Yin, Qianjin Yue, and Shanghua Wu. "Experimental Study of Ship Motion Effect on Pressurization and Holding Time of Tank Containers during Marine Transportation." *Sustainability* 14.6 (2022): 3595. DOI: 10.3390/su14063595.
19. Mamedova, L., and M. Gogolukhina. "Advantages of Production and Operation of Innovational Storage Systems in Multimodal LNG-Transportation." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 459. No. 6. IOP Publishing, 2020. DOI: 10.1088/1755-1315/459/6/062074.
20. Lee, Chung-Yee, and Dong-Ping Song. "Ocean container transport in global supply chains: Overview and research opportunities." *Transportation Research Part B: Methodological* 95 (2017): 442–474. DOI: 10.1016/j.trb.2016.05.001.
21. Ponomarenko, M., and I. Rusinov. "Transport of chemical liquid cargoes in tank-containers: security issues and especially their transportation." *Transport business of Russia* 5 (2017): 156–160.
22. Chen, Q.-S., J. Wegrzyn, and V. Prasad. "Analysis of temperature and pressure changes in liquefied natural gas (LNG) cryogenic tanks." *Cryogenics* 44.10 (2004): 701–709. DOI: 10.1016/j.cryogenics.2004.03.020.
23. Guo, Jian, Haiqi Tang, Hui Song, and Guoqing Sun. "Analysis of handling and storage of liquefied natural gas tank container." *International Journal of Smart Grid and Clean Energy* 10.4 (2021): 310–315. DOI: 10.12720/sgce.10.4.310-315.
24. Chart industries official website. Web. 31 July 2022 <<https://www.chartindustries.com/Products/ISO-Containers>>.
25. *2022 Global tank container fleet survey*. Surbiton, United Kingdom: ITCO, 2022.
26. Alifirova, E. "Chtoby ne bylo kak proshloi zimoi. Kitai testiruet dostavku SPG tank-konteinerami s yuga na sever." *Neftegaz.ru*. Web. 5 July 2022 <<https://neftegaz.ru/news/transport-and-storage/196527-chtoby-ne-bylo-kak-proshloy-zimoy-kitay-testiruet-dostavku-spg-tank-konteynerami-s-yuga-na-sever>>.
27. Alifirova, E. "Tiger Gas poluchila vtoroi konteynerovoz dlya postavok SPG v ISO-konteinerakh." *Neftegaz.ru*. Web. 5 July 2022 <<https://neftegaz.ru/news/transport-and-storage/725755-tiger-gas-poluchila-vtoroy-konteynerovoz-dlya-postavok-spg-v-iso-konteynerakh>>.
28. Gaslink official website. Web. 8 July 2022 <<https://www.gaslink.pt/gasoduto-virtual>>.
29. Klimentiev, A. M. Ishmuratova, D. Sun, A. K. Haug, I. Kirilkina, A. Talipov, D. Huseinov, V. Kiushkina, S. Lentiev, A. Suldin, and V. Karasevich. *Spravochnye materialy. Karta rossiiskoi SPG otrasli 2022*. 2022.
30. Alderman, John A. "Introduction to LNG safety." *Process Safety Progress* 24.3 (2005): 144–151. DOI: 10.1002/prs.10085.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Купцов Николай Владимирович —
кандидат технических наук, руководитель
направления по планированию и инвестициям
ООО «Газпромнефть НТЦ»
190000, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
наб. реки Мойки, 75–79
e-mail: kuptsov.nv@gazprom-neft.ru,
kuptsov.nikolay@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Kuptsov, Nikolay V. —
PhD,
Planning & Investment Manager
Gazpromneft Science & Technology Center
75–79 Moika River Emb., St. Petersburg,
19000, Russian Federation
e-mail: kuptsov.nv@gazprom-neft.ru,
kuptsov.nikolay@gmail.com

Лилль Артем Викторович — техник
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: artemgift890@gmail.com

Lill', Artem V. — Technician
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: artemgift890@gmail.com

*Статья поступила в редакцию 26 сентября 2022 г.
Received: September 26, 2022.*