

УДК 65.011.12

*А.М. Вербо***ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ МОРСКОЙ ПЕРЕВОЗКИ  
СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА**

Сегодня мировая экономика все больше использует природный газ как альтернативу постоянно дорожающим нефтяным ресурсам. Основная проблема состоит в том, что ресурсы природного газа расположены в труднодоступных отдаленных и неосвоенных районах. Поэтому транспортировка его до потребителя является не только экономически мало эффективной, но и технологически сложной задачей.

Традиционно природный газ транспортировался по трубопроводам. Но в 60-х годах появилась новая технология его транспортировки в жидком виде. Для сжижения газ охлаждается до температуры  $-163^{\circ}\text{C}$  и сжимается в 600 раз на специальных заводах. Далее сжиженный природный газ (СПГ) перевозится морскими судами-газовозами в порты, где на специальных терминалах по регазификации СПГ вновь преобразуется в газообразную форму для поставки по трубам конечным потребителям (рис. 1). Необходимо также отметить, что данный способ транспортировки становится экономически эффективным на расстоянии, превышающем 2200 морских миль [1].

По подсчетам крупнейшего российского судовладельца ОАО «Совкомфлот» [2] стоимость морской транспортировки природного газа составляет до 25 % от конечной стоимости ресурса. Поэтому, сегодня морская транспортировка, её экономическая эффективность

и технологическая выполнимость, напрямую решают судьбу проекта разработки газового месторождения.

История морских перевозок СПГ насчитывает чуть более 50 лет, но уже сегодня качественное и количественное развитие газового флота далеко опередило любой другой сегмент судоходства. Далее в данной работе будет проанализирована история и будущее инноваций в области перевозки СПГ, а также факторы, препятствующие гармоничному развитию данной отрасли.

*Факторы появления СПГ-альтернативы.*

История развития морского транспорта для перевозки СПГ была спровоцирована различными факторами такими, как: развитие смежных отраслей, экономические и географические задачи, мировое регулирование и архитектурное развитие [3].

Первый и наиболее важный фактор, который спровоцировал появление технологии СПГ стал растущий спрос на природный газ и тот факт, что его доставка в регион наибольшего потребления была не всегда возможна. Стало очевидным, что трубопроводные технологии не достаточны для удовлетворения растущего спроса на мировом рынке, и ученые искали иные способы транспортировки природного газа. Одной из новых технологий, которая в последствии оказалась экономически эффективной и

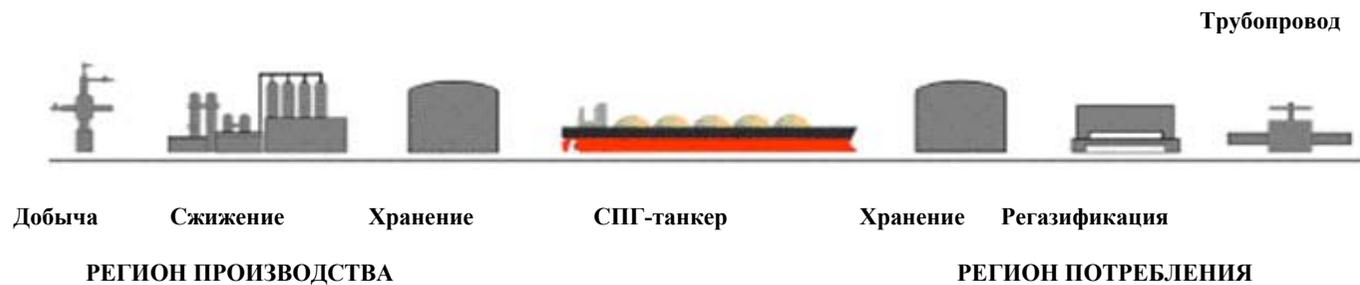


Рис. 1. Производственная цепочка СПГ

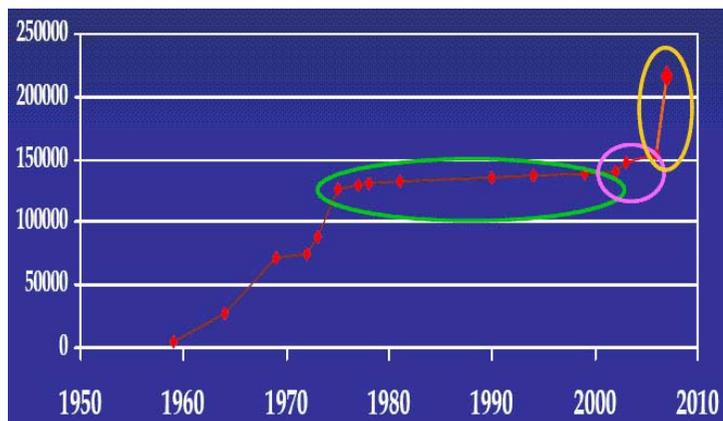


Рис. 2. Развитие вместимости СПГ-танкеров (вместимость, м³) [4]

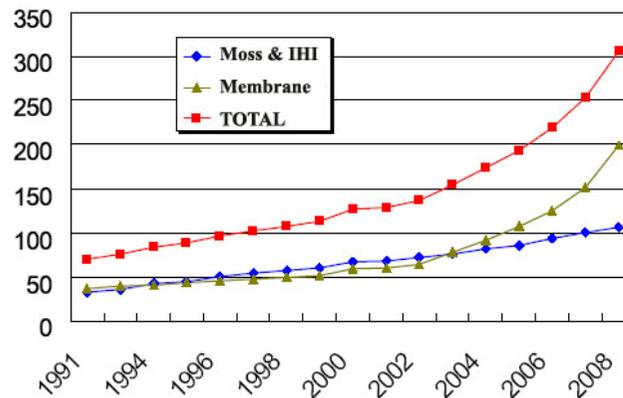


Рис. 3. Структура СПГ флота и портфеля заказов (количество судов) [5]

конкурентоспособной, стала технология перевозки сжиженного природного газа. Другим существенным инновационным фактором стало изобретение криогенных технологий, на основе которых появилась возможность охлаждения газа до экстремальных температур и его последующее сжижение. Впервые природный газ был преобразован в жидкую форму в начале 19 века британским ученым Майклом Фарадеем, позднее в 1873 году немецкий инженер Карл ван Линде построил первый холодильный компрессор. Первый же экспериментальный завод СПГ был построен в Америке в 1912 году, тогда как первый коммерческий завод был запущен в эксплуатацию там же, но уже в 1941 году.

После изобретения и опробования технологий СПГ дальнейшее инновационное развитие отрасли морских перевозок стимулировалось необходимостью удешевить технологию и сделать её конкурентной с трубопроводной альтернативой. Таким образом, экономический фактор стал наиболее существенным инновационным стимулом развития СПГ транспортировки.

*Вместимость, как основной экономический параметр судна.*

Исходная экономическая аксиома судоходства говорит о том, что большие по вместимости суда более эффективны, т.к. инвестиции на тонну перевозимого груза снижаются с ростом объема перевозимых грузов, так же как уменьшаются эксплуатационные и рейсовые расходы. Поэтому необходимость увеличения масштабного фактора послужила серьезным толчком развития инноваций в СПГ-танкерах.

Первый в мире СПГ танкер, “Метан Пионер”, был построен в 1959 году путем конверсии из многоцелевого судна

времен второй мировой войны с использованием мембранной технологии хранения жидкого газа. Он использовался в перевозке СПГ груза из Америки в Англию. Первый специально построенный СПГ танкер, названный “Метан Принцесс”, был спущен на воду в 1964 году и использовался до 1998 года, после чего он был разобран на металлолом. Вместимость данных танкеров была сравнительно небольшой - 27,4 тыс. м<sup>3</sup>. Первым же в мире импортером стало Соединенное Королевство, которое использовало данные танкеры до 1979 года для перевозки природного газа из Алжира. В 1969 году сошли на воду два новых СПГ танкера японской постройки, “Поляр Аляска” и “Арктик Токио”, со значительно большей вместительностью в 71,5 тыс. м<sup>3</sup> каждый. Они обслуживали торговый поток СПГ между Аляской и Японией. Позднее в 1971 году норвежская фирма «Кварнер» разработала новый сферический дизайн танка с вместимостью 88 тыс. м<sup>3</sup>. В 1975 году вместимость в 100 тыс. м<sup>3</sup> была превышена с появлением танкера французской постройки “Бэн Франклин”. На протяжении следующих 30 лет вместимость 135 тыс. м<sup>3</sup> стала стандартным размером СПГ танкера не зависимо от системы хранения груза, мембранной или сферической. Построенный в 2005 году СПГ танкер для французского газового проекта задал новый стандарт вместимости современных СПГ-танкеров - 153 тыс. м<sup>3</sup>. Сегодня управляющая компания крупнейшего СПГ проекта в мире, расположенного в Катаре, разместила заказы на суда размерами 210 тыс. м<sup>3</sup> («К-флекс») и 250 тыс. м<sup>3</sup> («К-макс»).

Таким образом, экономический фактор, а именно эффект масштаба, стимулировал инновации в области повышения вместимости судов и сформировал развитие СПГ флота на протяжении 50

лет. Выше описанное развитие размеров СПГ-танкеров может быть представлено на рис. 2.

В настоящее время дальнейший рост размеров СПГ-танкеров сдерживается портовыми и канальными мощностями и глубинами, т.к. большие по размеру суда просто не смогут заходить в порты с низкими глубинами и проходить узкие каналы. Таким образом, можно сделать вывод о том, что экономический эффект масштаба существенно повлиял на инновационное развитие размеров СПГ-танкеров, но в дальнейшем данный рост будет ограничен географическими факторами.

*Система хранения СПГ на борту, как основная инженерно-инновационная задача.*

Сегодня стоимость одного стандартного СПГ-танкера вместимостью 150-160 тыс. м<sup>3</sup> достигает 200 млн. долл. США, что делает данный вид судов одним из самых дорогих в современном судоходстве. Наиболее дорогостоящая часть СПГ-танкера – это его криогенный танк, который способен перевозить природный газ при температуре минус 163 градуса. В связи с этим усилия многих инженеров направлены на оптимизацию системы хранения сжиженного газа. На сегодняшний день разработаны три различные конкурирующие системы СПГ-танков. *Мембранная система* была первым технологическим решением для транспортировки СПГ. Существует три различных подтипа данной системы, но все они являются неотъемлемой частью целостной конструкции судна. *Кварнер-Мосс сферический дизайн* танка был разработан позднее в 1971 году в Норвегии и является отдельной независимой конструкцией от судна. *Призматические* танки были изобретены сравнительно недавно и так же являются независимыми конструкциями, изготовленными из алюминия. На рис. 3 представ-

лено применение данных систем за последние 17 лет.

На данном графике видно, что сегодня мембранные танки используются чаще, чем другие две системы, что обусловлено более низкой себестоимостью первых. Процесс инноваций в системе танков был преимущественно мотивирован поиском более дешевого решения, и сегодня экономический фактор так же превалирует при выборе танковой системы.

Помимо эффекта масштаба и снижения себестоимости, инновационный процесс развития СПГ-танкеров шагнул дальше. Сегодня в одном судне можно объединить не только функции перевозки, но и регазификации СПГ. Такая технология была запущена в 2004 году компанией «Энерджи Бридж», её идея состоит в том, что судно напрямую подключается к системе трубопровода и разгружается самостоятельно.

Основной недостаток существующего проекта, это длительное время разгрузки и ограниченное количество портов с необходимой инфраструктурой. Данная инновация была также мотивирована экономическими факторами, т.к. она позволяет уменьшить инвестиции в береговую инфраструктуру и предоставляет судовладельцу более высокую коммерческую гибкость.

*Сжиженный газ и верхушка айсберга.*

“Эра легкой нефти и газа окончилась” [6] и сегодня “Арктика имеет 24 процента оставшихся нераскрытых мировых ресурсов” [7]. Крупнейшие запасы природного газа находятся в России, из которых 90 % расположены в Арктических и Субарктических районах страны [8]. И сегодня перед мировым судоходством стоит новая задача – безопасная и экономически эффективная транс-



Рис. 4. СПГ танкер с функцией регазификации на борту

портировка природного газа в арктических водах. Таким образом, географический фактор инициировал появление нового поколения СПГ-танкеров, способных плавать в ледовых условиях. Первые СПГ-танкера с ледовым классом были построены в 2005 году специально для норвежского проекта «Сноувит», а в 2007 войдут в эксплуатацию СПГ-танкера для проекта «Сахалин-2». Данные суда способны пройти ледовые условия в регионах, граничащих с Арктическими, но уже сегодня разрабатываются модели судов, способных самостоятельно плавать в суровых Баренцевом и Карском морях. Именно в этих районах у России крупнейшие запасы газа – Штокмановское и Ямальское месторождения.

Итак, СПГ-танкера продолжают развиваться, они растут в размере и становятся более специализированными. В свою очередь все более и более жесткое регулирование в области морского транспорта делает СПГ-танкера более технологичными и безопасными для окружающей среды.

*Новая морская альтернатива перевозке газа.*

В поисках более высокой экономической эффективности морских перевозок природного газа в настоящее время разработана новая концепция – компресированный природный газ (КПГ). КПГ технология является более дешевой в разрезе как капитальных затрат на строительство судна, так и эксплуатационных расходов.

Основной недостаток системы, что вместимость природного газа в сравнение с СПГ-танкерами в разы меньше. В итоге, при пересчет затрат на тонну перевозимого ресурса, эффективность значительно снижается. Впервые технология была опробована еще в 1960-х годах, но тогда цены на газ были слишком низкие, и перевозка оказалась экономически неэффективной. Сегодня, существует порядка 10 различных концепций КПГ-судов, но не один не находится в эксплуатации. Как показал анализ [9] КПГ- суда могут быть эффективны на расстояниях не более 2500 морских миль, когда как СПГ-танкера эффективны на любом расстоянии превышающем 2200 морских миль. Таким образом, КПГ технология скорее всего станет дополняющим способом транспортировки, нежели альтернативой СПГ.

Эволюция морской транспортировки СПГ и факторы, влияющие на инновации и сформировавшие сегодняшнее состояние отрасли, приведены на рис. 5.

Развитие отрасли морской транспортировки качественно может быть так же представлено в виде S-кривой, которая представляет собой синусоидную линию и показывает отношения между усилием, затраченным на улучшение эффективности продукта, и существующими результатами (рис. 6).

Изначально, большие затраты на развитие СПГ технологии давали незначительную отдачу. После первого экспериментального завода, построенного в 1912 году, прошло более 30



Рис. 5. Инновации в СПГ судоходстве

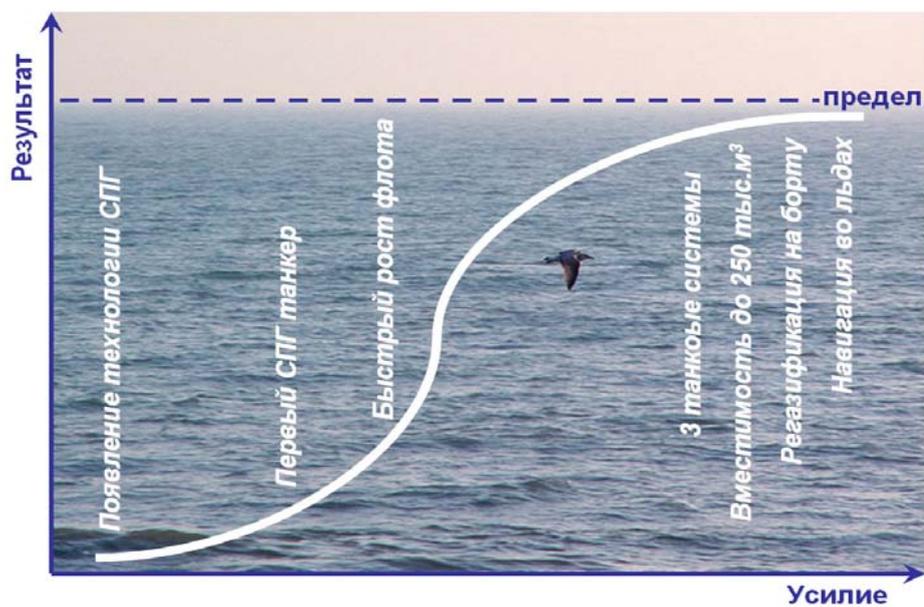


Рис. 6. S-кривая развития СПГ транспортировки

лет до того, как был возведен коммерческий проект, и еще 20 лет, когда сошло на воду первое судно по перевозке СПГ. Но далее, когда все технологии стали общедоступными и опробованными, за 20 лет единичные экспериментальные СПГ-танкера переросли в массивный флот и устойчиво вошли в мировой судовой бизнес.

Сегодня, большее количество усилий на развитие СПГ транспортировки не дает ожидаемой отдачи. Развитию флота препятствуют технологические, географические и экономические факторы.

Теория S-кривой говорит о том, что, когда достигнут некий предел развития, дальнейший существенный инновационный прогресс возможен только в случае появления абсолютно нового технологического решения. Данное решение сдвинет синусоиду вправо вверх и откроются новые горизонты для инновационного прорыва в морской транспортировке СПГ. Но, какого рода инновации сдвинут кривую вверх и позволят более эффективно перевозить природный газ на больших расстояниях, покажет время.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. По информации Института газовых технологий.
2. [www.sovcomflot.ru](http://www.sovcomflot.ru).
3. Вижнолст Н. «Инновации в судоходстве», Нидерланды, 2002.
4. Lloyd's Register EMEA.
5. Mitsui Sumitomo Insurance Co Ltd. presentation "Changing and Expanding Risks for LNG Carriers".
6. The statement by Chevron C.E.O. David J. O'Reilly.
7. [www.hydro.com](http://www.hydro.com).
8. [www.gazprom.com](http://www.gazprom.com).
9. Petroleum Economist 'Fundamentals of the World Gas Industry, 2006. **ГИАБ**

#### Коротко об авторах

Вербю А.М. – аспирант, Московский государственный горный университет.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Ж.К. Галиев.



#### ДИССЕРТАЦИИ

##### ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

| Автор  | Название работы   | Специальность | Ученая степень |
|--|---|---------------|----------------|
| <b>МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ</b> |   |               |                |
| ПЕРФИЛЬЕВА<br>Евгения<br>Николаевна                  | Повышение энергоэффективности горных предприятий на основе управления энергетическими ресурсами | 05.09.03      | к.т.н.         |