

# СЖИЖЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ (СПГ)



Отрасль СПГ является очень перспективной развивающейся отраслью для арматуростроителей всего мира, но поскольку арматура для СПГ должна отвечать самым строгим требованиям - являет собой высший уровень инженерных задач.

## **Что называют сжиженным природным газом?**

Сжиженный природный газ, или СПГ, представляет собой обычный природный газ, приведенный в жидкое состояния методом охлаждения его до  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В таком состоянии он представляет собой жидкость без запаха и цвета, плотность которой в два раза меньше плотности воды. Сжиженный газ не токсичен, кипит при температуре  $-158\text{...}-163\text{ }^{\circ}\text{C}$ , состоит на 95 % из метана, а в остальные 5 % входят этан, пропан, бутан, азот.

## **Этапы производства СПГ**



1. Первый - добыча, подготовка и транспортировка природного газа по газопроводу к заводу по его сжижению;
2. Второй - обработка, сжижение природного газа и хранение СПГ в терминале.
3. Третий - загрузка СПГ в танкеры-газовозы и морская транспортировка потребителям
4. Четвертый - разгрузка СПГ на приемном терминале, хранение, регазификация и поставка конечным потребителям

## **Технологии сжижения газа.**

Как уже говорилось выше, СПГ получают путем сжатия и охлаждения природного газа. При этом газ уменьшается в объеме почти в 600 раз. Процесс этот сложный, многоступенчатый, и очень энергозатратный - расходы на сжижение могут составлять около 25% энергии, содержащейся в конечном продукте. Иными словами, нужно сжечь одну тонну СПГ, чтобы получить еще три.

В мире в разное время было использовано семь различных технологий сжижения природного газа. В сфере технологий для производства больших объемов СПГ, предназначенных на экспорт, сегодня лидирует компания Air Products.

Разработанные ею процессы AP-SMR™, AP-C3MR™ и AP-X™ составляют 82% всего рынка. Конкурентом данных процессов является технология Optimized Cascade, разработанная компанией ConocoPhillips.

Вместе с тем, большим потенциалом развития обладают малогабаритные установки сжижения, предназначенные для внутреннего использования на промышленных предприятиях. Установки подобного типа можно уже встретить в Норвегии, Финляндии и России.

Кроме того, локальные установки производства СПГ могут найти широкое применение в Китае, где сегодня активно развивается выпуск автомобилей, работающих на СПГ. Внедрение малогабаритных установок может позволить Китаю масштабировать уже существующую транспортную сеть СПГ-автомобилей.

Наряду со стационарными системами, в последние годы активно развиваются плавающие установки сжижения природного газа. [Плавающие заводы](#) открывают доступ к газовым месторождениям, которые недоступны для объектов инфраструктуры ([трубопроводов](#), морских терминалов и т.п.).

На сегодняшний день наиболее амбициозным проектом в данной области является [плавающая платформа СПГ](#), которая строится [компанией Shell](#) в 25 км. от западного берега Австралии (запуск платформы намечен на 2016 год).

## Устройство завода по производству СПГ



**Как правило, завод по сжижению природного газа состоит из:**

- установки предварительной очистки и сжижения газа;
- технологических линий производства СПГ;

- резервуаров для хранения;
- оборудования для загрузки на танкеры;
- дополнительных служб для обеспечения завода электроэнергией и водой для охлаждения.

## С чего все началось?

В 1912 году был построен первый экспериментальный завод, который, однако, еще не использовался для коммерческих целей. Но уже в 1941 году в Кливленде, (США) было впервые налажено масштабное производство сжиженного природного газа.

В 1959 году была осуществлена первая поставка сжиженного природного газа из США в Великобританию и Японию. В 1964 году был построен завод в Алжире, откуда начались регулярные перевозки танкерами, в частности во Францию, где начал работать первый регазификационный терминал.

В 1969 году начались долгосрочные поставки из США в Японию, через два года - из Ливии в Испанию и Италию. В 70-е годы производство СПГ началось в Брунее и Индонезии, в 80-е на рынок СПГ выходят Малайзия и Австралия. В 1990-е Индонезия становится одним из основных производителей и экспортеров СПГ в Азиатско-Тихоокеанском регионе - 22 млн. тонн в год. В 1997 году - Катар становится одним из экспортеров СПГ.

## Потребительские свойства



## **(Хранилища сжиженного газа в США)**

Чистый СПГ не горит, сам по себе не воспламеняется и не взрывается. На открытом пространстве при нормальной температуре СПГ возвращается в газообразное состояние и быстро смешивается с воздухом. При испарении природный газ может воспламениться, если произойдет контакт с источником пламени.

Для воспламенения необходимо иметь концентрацию газа в воздухе от 5 % до 15 % (объемных). Если концентрация менее 5 %, то газа будет недостаточно для начала возгорания, а если более 15 %, то в смеси будет слишком мало кислорода. Для использования СПГ подвергается регазификации - испарению без присутствия воздуха.

СПГ рассматривается как приоритетная или важная технология импорта природного газа целым рядом стран, включая Францию, Бельгию, Испанию, Южную Корею и США. Самый крупный потребитель СПГ - это Япония, где практически 100 % потребностей газа покрывается импортом СПГ.

## **Моторное топливо**

Начиная с 1990-х годов появляются различные проекты использования СПГ в качестве моторного топлива на водном, железнодорожном и даже автомобильном транспорте, чаще всего с использованием переоборудованных газодизельных двигателей.

Уже существуют реально работающие примеры эксплуатации морских и речных судов на СПГ. В России налаживается серийный выпуск тепловоза ТЭМ19-001 работающего на СПГ. В США и Европе появляются проекты по переводу грузового автомобильного транспорта на СПГ. И даже существует проект разработки ракетного двигателя который будет использовать в качестве топлива "СПГ + жидкий кислород".

## **Двигатели работающие на СПГ**



### (Терминал по регазификации в Японии)

Одной из основных задач, связанных с развитием рынка СПГ для транспортного сектора является увеличение числа автомобилей и судов, использующих СПГ в качестве топлива. Главные технические вопросы в данной области связаны с разработкой и совершенствованием различных типов двигателей, работающих на СПГ.

В настоящее время можно выделить три технологии СПГ-двигателей, используемых для морских судов: 1) двигатель с искровым зажиганием на обедненной топливно воздушной смеси; 2) двухтопливный двигатель с запальным дизельным топливом и рабочим газом низкого давления; 3) двухтопливный двигатель с запальным дизельным топливом и рабочим газом высокого давления.

Двигатели с искровым зажиганием работают только на природном газе, в то время как двухтопливные дизельно-газовые двигатели могут работать на дизельном топливе, СПГ и мазуте. На сегодняшний день можно выделить три основных производителя на данном рынке: **Wärtsilä, Rolls-Royce и Mitsubishi Heavy Industries.**

Во многих случаях существующие дизельные двигатели могут быть преобразованы в двухтопливные дизельно-газовые двигатели. Подобное преобразование существующих двигателей может быть экономически целесообразным решением перевода морских судов на СПГ.

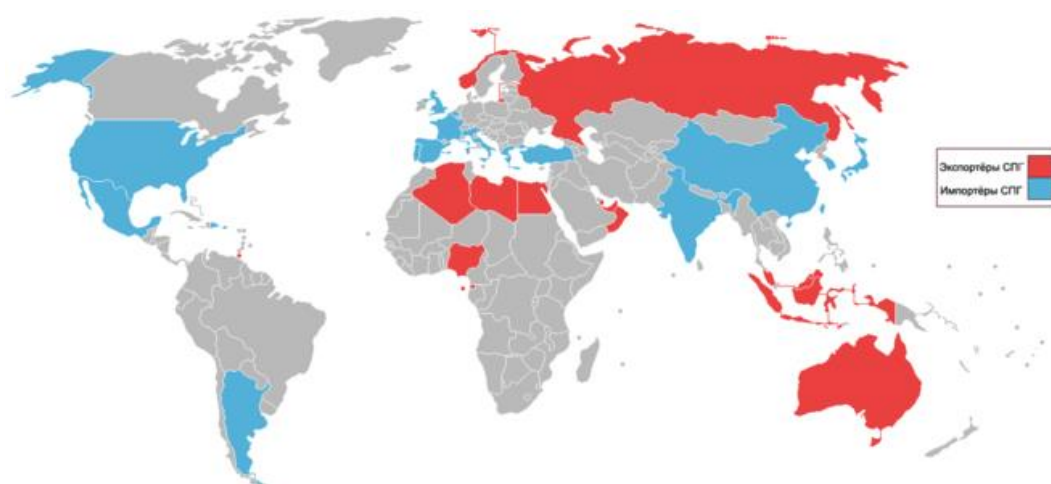
Говоря о развитии двигателей для автомобильного сектора, стоит отметить американскую компанию Cummins Westport, которая разработала линейку СПГ-двигателей, предназначенных для тяжелых грузовиков. В Европе, Volvo запустила производство нового 13-литрового двухтопливного двигателя работающего на дизельном топливе и СПГ.

К заметным инновационным решениям в области СПГ-двигателей можно отнести компактный двигатель с воспламенением от сжатия (Compact Compression Ignition (CCI) Engine), разработанный компанией Motiv Engines. Данный двигатель имеет ряд преимуществ, главное из которых состоит в значительно более высоком значении теплового КПД, чем у существующих аналогов.

По данным компании, тепловой КПД разработанного двигателя может достигать 50%, в то время как тепловой КПД традиционных газовых двигателей составляет около 27%. (Беря в качестве примера американские цены на топливо, можно просчитать, что работа грузовика с дизельным двигателем стоит \$0,17 за лошадиную силу/час, с традиционным СПГ двигателем - \$0,14, с CCEI-двигателем - \$0,07).

Стоит также отметить, что как и в случае морского транспорта, многие дизельные двигатели грузовых автомобилей могут быть преобразованы в двухтопливные дизельно-СПГ двигатели.

## Страны - производители СПГ



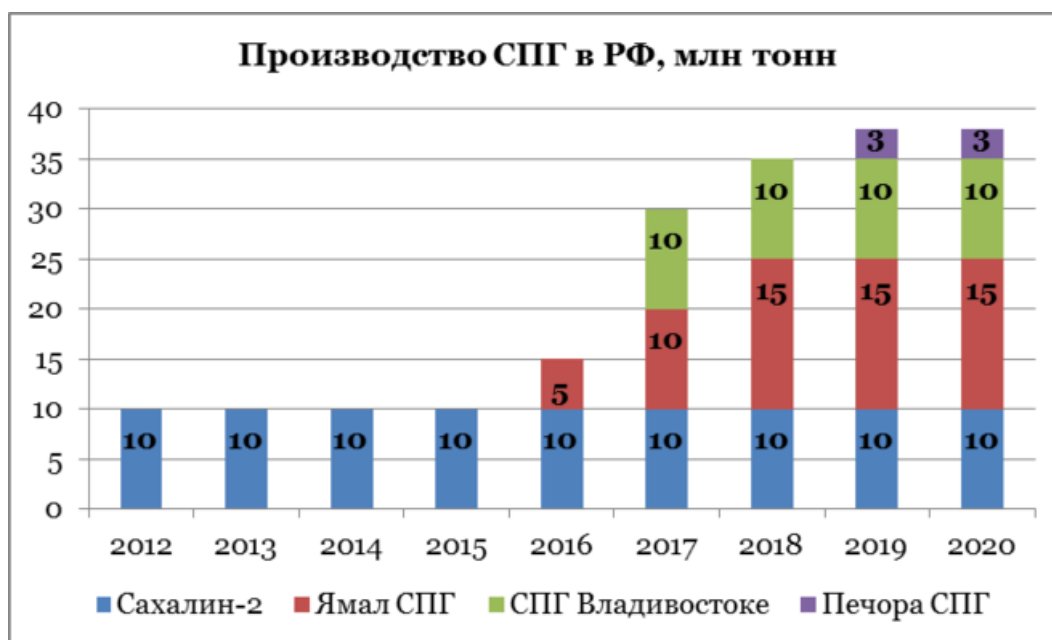
(Страны - экспортеры и импортеры СПГ)

По данным 2009 года, основные страны, производящие сжиженный природный газ, распределялись на рынке так:

Первое место занимал Катар (49,4 млрд м<sup>3</sup>); затем шла Малайзия (29,5 млрд м<sup>3</sup>); Индонезия (26,0 млрд м<sup>3</sup>); Австралия (24,2 млрд м<sup>3</sup>); Алжир (20,9 млрд м<sup>3</sup>).  
Замыкал этот список Тринидад и Тобаго (19,7 млрд м<sup>3</sup>).

Основными импортёрами СПГ в 2009 году были: Япония (85,9 млрд м<sup>3</sup>); Республика Корея (34,3 млрд м<sup>3</sup>); Испания (27,0 млрд м<sup>3</sup>); Франция (13,1 млрд м<sup>3</sup>); США (12,8 млрд м<sup>3</sup>); Индия (12,6 млрд м<sup>3</sup>).

## Производство СПГ в России



### (Производство СПГ в России)

Россия только начинает вхождение на рынок СПГ. Сейчас в РФ действует только один СПГ-завод "Сахалин-2" (запущен в 2009 году, контрольный пакет принадлежит Газпрому, у [Shell](#) 27,5%, японских Mitsui и Mitsubishi - 12,5% и 10% соответственно). По итогам 2015 года производство составило 10,8 млн тонн, превысив проектную мощность на 1,2 млн тонн. Однако из-за падения цен на мировом рынке доходы от экспорта СПГ в долларовом исчислении сократились по сравнению с прошлым годом на 13,3% до 4,5 млрд долларов.

Предпосылок для улучшения ситуации на рынке газа нет: цены продолжают падение. До 2020 года в США будут введены в эксплуатацию пять терминалов по



экспорту СПГ общей мощностью 57,8 млн тонн. На европейском газовом рынке начнется ценовая война.

Вторым крупным игроком на рынке российского СПГ становится компания Новатэк. Новатэк-Юрхаровнефтегаз" (дочернее предприятие Новатэка ) выиграл аукцион на право пользования Няхартинским участком в ЯНАО.

Няхартинский участок нужен компании для развития проекта "Арктик СПГ" (второй проект Новатэка, ориентированный на экспорт сжиженного природного газа, первый - "Ямал-СПГ"): он расположен в непосредственной близости от Юрхаровского месторождения, разработку которого ведет "Новатэк-Юрхаровнефтегаз". Площадь участка - около 3 тыс. кв. километров. По состоянию на 1 января 2016 года его запасы оценивались в 8,9 млн тонн нефти и 104,2 млрд кубометров газа.

В марте компания начала предварительные переговоры с потенциальными партнерами о продаже СПГ. Наиболее перспективным рынком руководство компании считает Тайланд.

## **Транспортировка сжиженного газа**



**(Погрузка сжиженного газа на танкер-газовоз)**

Доставка сжиженного газа потребителю - очень сложный и трудоемкий процесс. После сжижения газа на заводах, СПГ поступает в хранилища. Дальнейшая транспортировка осуществляется при помощи [специальных судов - газовозов](#), оборудованных криоцистернами. Возможно также использование специальных автомобилей. Газ из газовозов поступает в пункты регазификации, и затем транспортируется уже по [трубопроводам](#).

## Танкеры - газовозы.



Танкер-газовоз, или метановоз представляет собой специально построенное судно для перевозки СПГ в резервуарах (танках). Кроме резервуаров газа такие суда оборудованы холодильными установками для охлаждения СПГ.

Крупнейшими производителями судов для перевозки сжиженного природного газа являются японские и корейские верфи: **Mitsui, Daewoo, Hyundai, Mitsubishi, Samsung, Kawasaki**. Именно на корейских верфях было создано более двух третей газовозов в мире. [Современные танкеры серий Q-Flex и Q-Max](#) способны перевозить до 210-266 тыс. м<sup>3</sup> СПГ.

Первые сведения о перевозках сжиженных газов морем относятся к 1929-1931 гг., когда компания Shell временно переоборудовала танкер "Megara" в судно для перевозки сжиженного газа и построила в Голландии судно "Agnita" дедвейтом 4,5 тыс. тонн, предназначенное для одновременной перевозки нефти, сжиженного

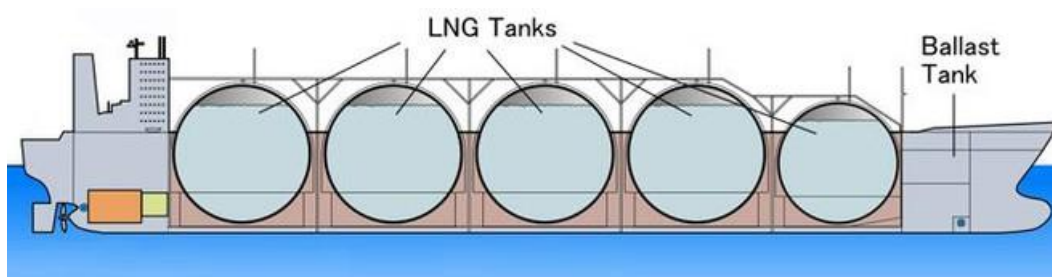
газа и серной кислоты. Танкеры компании Shell назывались в честь морских раковин - ими торговал отец основателя компании Маркуса Самюэля

Широкое развитие морские перевозки сжиженных газов получили лишь после окончания второй мировой войны. Первоначально для перевозок использовались суда, переоборудованные из танкеров или сухогрузных судов. Накопленный опыт проектирования, постройки и эксплуатации первых газовозов позволил перейти к поискам наиболее выгодных способов транспортировки названных газов.

Современный типовой СПГ-танкер (метановоз) может перевозить 145-155 тыс. м<sup>3</sup> сжиженного газа, из чего может быть получено порядка 89-95 млн. м<sup>3</sup> природного газа в результате регазификации. Ввиду того, что метановозы отличаются чрезвычайной капиталоемкостью, их простой недопустим. Они быстроходны, скорость морского судна, перевозящего сжиженный природный газ, достигает 18-20 узлов по сравнению с 14 узлами для стандартного нефтетанкера. Кроме того, операции по наливу и разгрузке СПГ не занимают много времени (в среднем 12-18 часов). На случай аварии СПГ-танкеры имеют двухкорпусную структуру, специально предназначенную для недопущения утечек и разрывов. Груз (СПГ) перевозится при атмосферном давлении и температуре -162°С в специальных термоизолированных резервуарах внутри внутреннего корпуса судна-газовоза.

Система хранения груза состоит из первичного контейнера или резервуара для хранения жидкости, слоя изоляции, вторичной оболочки, предназначенной для недопущения утечек, и еще одного слоя изоляции. В случае повреждения первичного резервуара вторичная оболочка не допустит утечки. Все поверхности, контактирующие с СПГ, изготавливаются из материалов, стойких к чрезвычайно низким температурам.

Поэтому в качестве таких материалов, как правило, используются нержавеющая сталь, алюминий или инвар (сплав на основе железа с содержанием никеля 36%).



### **(СПГ-танкер типа Moss (сферические резервуары))**

Отличительной особенностью судов-газовозов типа Moss, составляющих на сегодняшний день 41% мирового флота метановозов, являются самонесущие резервуары сферической формы, которые, как правило, изготавливаются из алюминия и крепятся к корпусу судна при помощи манжета по линии экватора резервуара.

На 57% танкеров-газовозов применяются системы трехмембранных резервуаров (система GazTransport, система Technigaz и система CS1). В мембранных конструкциях используется гораздо более тонкая мембрана, которая поддерживается стенками корпуса. Система GazTransport включает в себя первичную и вторичную мембраны в виде плоских панелей из инвара, а в системе Technigaz первичная мембрана изготовлена из гофрированной нержавеющей стали.

В системе CS1 инварные панели из системы GazTransport, выполняющие роль первичной мембраны, сочетаются с трехслойными мембранами Technigaz (листовой алюминий, помещенный между двумя слоями стеклопластика) в качестве вторичной изоляции.



### **(СПГ-танкер GazTransport & Technigaz (мембранные конструкции))**

В отличие от судов для перевозки СНГ (сжиженный нефтяной газ), газовозы не оборудуются палубной установкой для сжижения, а их двигатели работают на газе из кипящего слоя. С учетом того, что часть груза (сжиженный природный газ) дополняет мазут в качестве топлива, СПГ-танкеры прибывают в порт назначения не с таким же количеством СПГ, которое было погружено на них на заводе по сжижению.

Предельно допустимое значение показателя испарения в кипящем слое составляет порядка 0,15% от объема груза в сутки. В качестве движительной установки на метановозах применяются в основном паровые турбины. Несмотря на низкую топливную эффективность, паровые турбины могут легко приспособиваться к работе на газе из кипящего слоя.

Еще одна уникальная особенность танкеров-газовозов заключается в том, что в них, как правило, оставляется небольшая часть груза для охлаждения резервуаров до требуемой температуры до погрузки.

Следующее поколение СПГ-танкеров характеризуется новыми особенностями. Несмотря на более высокую грузоподъемность (200-250 тыс. м<sup>3</sup>), суда имеют такую же осадку - на сегодняшний день для судна грузоподъемностью в 140 тыс. м<sup>3</sup> типична осадка в 12 метров ввиду ограничений, применяемых в Суэцком канале и на большинстве СПГ-терминалов.

Однако их корпус будет более широким и длинным. Мощность паровых турбин не позволит таким более крупным судам развивать достаточную скорость, поэтому на них будет применяться двухтопливный газомазутный дизельный двигатель, разработанный в 1980-е годы. Кроме того, многие суда-газовозы, на которых сегодня размещены заказы, будут оснащаться судовой регазификационной установкой.

Испарение газа на метановозах такого типа будет контролироваться таким же образом, как и на судах для перевозки сжиженного нефтяного газа (СНГ), что позволит избегать потерь груза в рейсе.

## **Рынок морских перевозок сжиженного газа**



**(Газовоз GRAND ANIVA)**

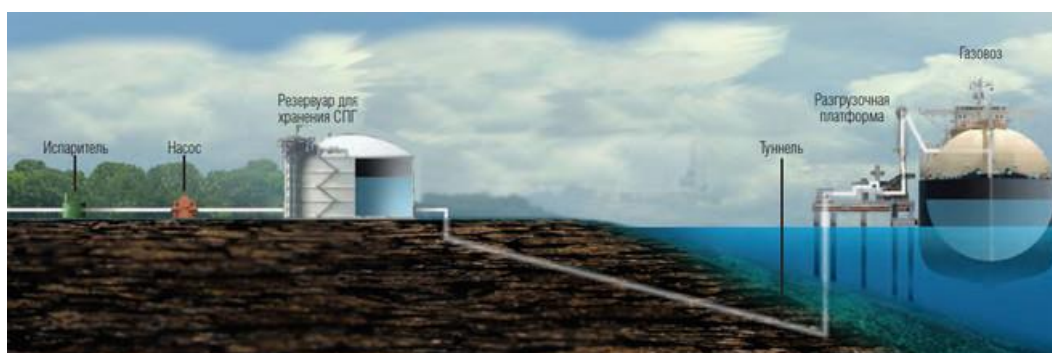
Перевозки СПГ представляют собой его морскую транспортировку от заводов по сжижению газа до регазификационных терминалов. По состоянию на ноябрь 2007 года в мире насчитывалось 247 СПГ-танкеров грузоместимостью свыше 30,8 млн. м<sup>3</sup>. Бум торговли СПГ обеспечил полную занятость всех судов на данном этапе по сравнению с серединой 1980-х годов, когда простаивало 22 судна.

Кроме того, к концу десятилетия должны быть введены в эксплуатацию порядка 100 судов. Средний возраст мирового флота для перевозки СПГ составляет около семи лет. Возраст 110 судов равен четырем и менее лет, а возраст 35 судов колеблется от пяти до девяти лет.

Порядка 70 танкеров эксплуатируются 20 и более лет. Однако впереди у них остается все еще продолжительный срок полезной службы, поскольку срок эксплуатации СПГ танкеров составляет, как правило, 40 лет ввиду их коррозиостойких характеристик. В их числе имеется до 23 танкеров (небольшие старые суда, обслуживающие средиземноморскую торговлю СПГ), которые подлежат замене или существенной модернизации в последующие три года.

Из ныне эксплуатируемых 247 танкеров более 120 обслуживают Японию, Южную Корею и Китайский Тайбэй, 80 - Европу, а остальные суда - Северную Америку. В последние несколько лет наблюдался феноменальный рост числа судов, обслуживающих торговые операции в Европе и Северной Америке, в то время как для Дальнего Востока было характерно лишь его незначительное увеличение ввиду стагнации спроса в Японии.

## Регазификация сжиженного природного газа



### (Этапы регазификации СПГ)

После доставки природного газа в пункт назначения, происходит процесс его регазификации, то есть преобразования из жидкого состояния вновь в газообразное.

Танкер доставляет СПГ на специальные регазификационные терминалы, которые состоят из причала, сливной эстакады, резервуаров для хранения, испарительной системы, установок обработки газов испарения из резервуаров и узла учёта.

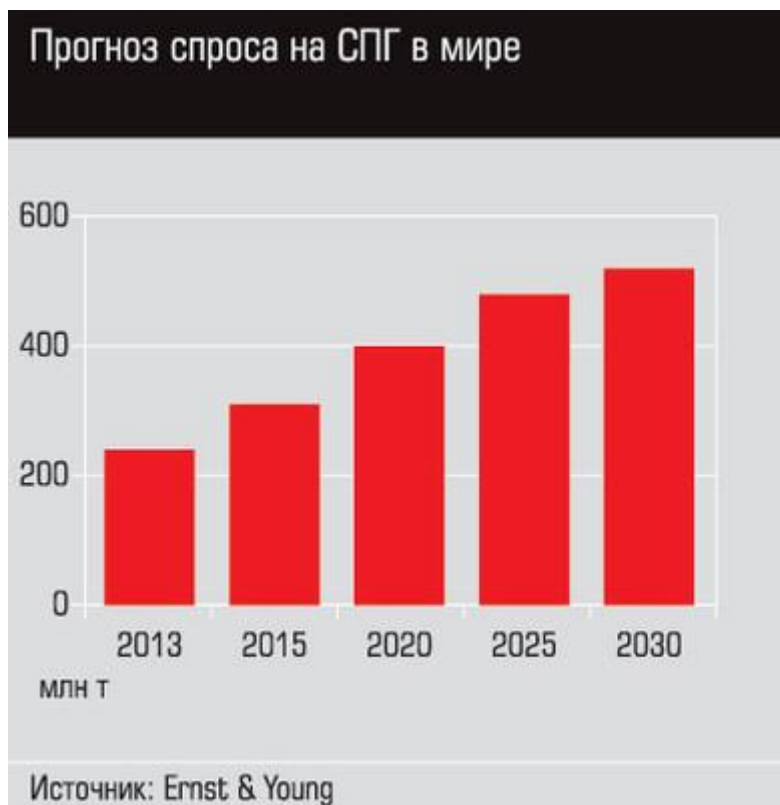
По прибытии на терминал СПГ перекачивается из танкеров в резервуары для его хранения в сжиженном виде, затем по мере необходимости СПГ переводится в газообразное состояние. Превращение в газ происходит в системе испарения с помощью нагрева.

По мощности СПГ терминалов, как и по объёму импорта СПГ, лидирует Япония - 246 млрд кубометров в год по данным 2010 года. На втором месте - США, более 180 млрд кубометров в год (данные 2010 года).

Таким образом, главной задачей в развитии приемных терминалов прежде всего является строительство новых единиц в различных странах. На сегодняшний день 62% приемной мощности приходится на Японию, США и Южную Корею. Вместе с Великобританией и Испанией, приемная мощность первых 5 стран составляет 74%. Оставшиеся 26% распределены между 23 странами. Следовательно, строительство новых терминалов откроет новые и увеличит существующие рынки для СПГ.

## **Перспективы развития рынков СПГ в мире**

Почему отрасль сжиженного газа развивается в мире все возрастающими темпами? Во-первых, в некоторых географических регионах, например в Азии, транспортировка газа танкерами более выгодна. При расстоянии более чем в 2500 километров, сжиженный газ уже может конкурировать по цене с трубопроводным. По сравнению с трубопроводами, СПГ имеет также преимущества модульного наращивания поставок, а также снимает в ряде случаев проблемы пересечения границ.



#### (Прогноз спроса на СПГ в мире)

Однако, есть и подводные камни. Индустрия СПГ занимает свою нишу в отдаленных регионах, не имеющих собственных запасов газа. Большинство объемов СПГ контрактуются еще на стадии проектирования и производства. В отрасли доминирует система долгосрочных контрактов (от 20 до 25 лет), что требует развитой и сложной координации участников производства, экспортеров, импортеров и перевозчиков. Все это рассматривается некоторыми аналитиками, как возможный барьер на пути роста торговли сжиженным газом.

В целом же, для того, чтобы сжиженный газ стал более доступным источником энергии, стоимость поставок СПГ должна успешно конкурировать по цене с альтернативными источниками топлива. На сегодняшний день ситуация складывается противоположным образом, что не отменяет развития этого рынка в будущем.

**При подготовке материала были использованы данные с сайтов:**

- [Ingas.ru/transportation-Ing/istoriya-razvitiya-gazovozov.html](http://Ingas.ru/transportation-Ing/istoriya-razvitiya-gazovozov.html)
- [Ingas.ru/transportation-Ing/morskie-perevozki-spg.html](http://Ingas.ru/transportation-Ing/morskie-perevozki-spg.html)
- [innodigest.com/сжиженный-природный-газ-спг-как-альте/?lang=ru](http://innodigest.com/сжиженный-природный-газ-спг-как-альте/?lang=ru)
- [expert.ru/ural/2016/16/novyij-uchastok-dlya-spg/](http://expert.ru/ural/2016/16/novyij-uchastok-dlya-spg/)