Мобильные газопроводы: перспективы развития рынка

Тарас Вдовенко
глава представительства АО *«LS Networks»* (Республика Корея) в Москве

Юрий Иванов
генеральный директор ООО «Вторая розничная генерирующая компания» (РГК-2)

Олег Ильин
генеральный директор ООО «Инженерный центр — Газотурбинные технологии», АО «Первая розничная генерирующая компания» (РГК-1)

Ольга Селляхова
заместитель председателя правления Ассоциации ГП и ЭСК по развитию

Ольга Юрчук
директор по развитию РГК-1

Транспортно-логистические комплексы «Мобильный газопровод» (МГ, *Mobile Pipeline, Virtual Pipeline, Off-Pipeline NG*) предназначены для газоснабжения автономных газораспределительных сетей и крупных потребителей, не присоединенных к стационарной газораспределительной сети, с использованием имеющихся автомобильных, железнодорожных и водных транспортных путей в условиях, когда строительство обычного газопровода нецелесообразно. Технологии МГ широко используют за рубежом (США, ЕС, КНР, Латинская Америка, Израиль, Южная Африка). Перспективы применения МГ в Российской Федерации, связаны в основном с формированием локальной газораспределительной инфраструктуры на осваиваемых территориях.

Технические решения

Технология МГ основана на доставке природного газа (ПГ) потребителю доступными видами транспорта в компримированном (КПГ, при давлении 200—250 бар) либо сжиженном (СПГ, при температуре –160/–162 °С и давлении до 10 бар) состоянии, с последующими соответственно редуцированием или регазификацией в точке передачи ПГ в автономную систему газоснабжения. Компримирование или сжижение ПГ производится с целью снижения удельных транспортных затрат и требует применения специального технологического оборудования. В качестве источников ПГ, принимаемого к доставке по технологии МГ, используют:

- стационарные магистральные или распределительные газопроводы;
- газоперерабатывающие заводы и установки по переработке попутного нефтяного газа;
- заводы по производству СПГ;
- морские терминалы для приемки СПГ, КПГ;
- установки для производства биометана.

Перечень основных технологических процессов и оборудования приведен в табл. 1, а на рис.1 изображена схема МГ в варианте с транспортировкой КПГ.

На рис. 2—5 приведены примеры используемого в МГ технологического оборудования, в основном зарубежного производства. Российскими производителями предлагается изготовление мини-заводов по производству СПГ (АО «Криогенмаш», ООО «Криомаш-БЗКМ»), блоков подготовки газа, компрессорного оборудования; кассетных сборок на основе композитных газовых баллонов (АО «Газсервискомпозит», ООО «НПФ «Реал-Шторм»).

Информация о некоторых производителях технологического оборудования и поставщиках услуг МГ представлена в табл. 2.

В РФ работы по созданию систем автономного газоснабжения объектов коммунальной энергетической инфраструктуры и автомобильные газонаполнительные компрессорные станции (АГНКС) с применением технологий МГ были начаты в середине 1990-х гг. ОАО «Газпром» (ОАО

«Оргэнергогаз», ООО «Уралтрансгаз», ООО «Лентрансгаз»), АО «Сигма-газ», НПФ «Экип», ОАО «Гелиймаш», ОАО «Криогенмаш» [1] и продолжаются в настоящее время с участием ПАО «Газпром» (ООО «Газпром Газэнергосеть», ООО «Газпром газомоторное топливо»), ПАО «НК «Роснефть», АО «Криогаз», ЗАО «Газсервискомпозит», ОАО «Криогенмаш».

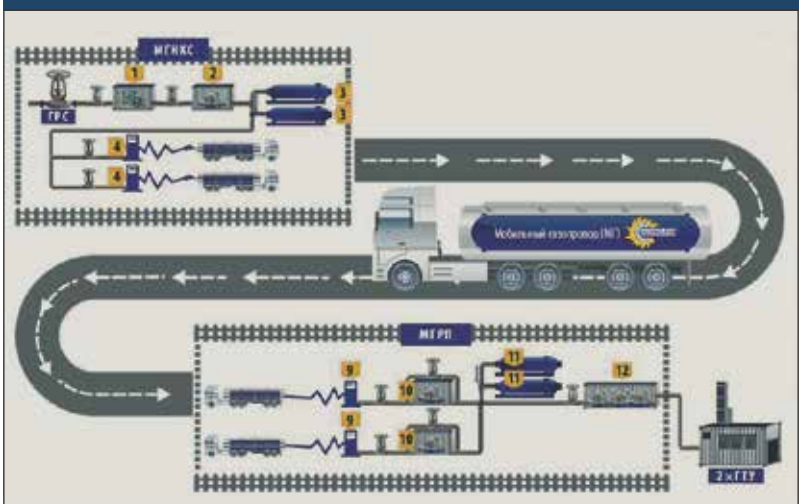
В последнее десятилетие рынок услуг МГ стал развиваться ускоренными темпами [2—7] благодаря следующим факторам:

- модернизация газотранспортной инфраструктуры в США и Канаде в ходе «сланцевой революции» и вследствие увеличения объемов внутреннего рынка ПГ;
- значительное расширение мирового рынка СПГ, рост флота морских перевозчиков и сети терминалов для приемки СПГ, формирование газотранспортной сети на прилегающих территориях;
- реализация программ газификации в развивающихся странах;
- развитие новых технологий.

В числе новых технологий особую роль в расширении рынка услуг МГ сыграло создание облегченных кассетных сборок, контейнеров для перевозки КПГ с использованием композитных газовых баллонов третьего и четвертого типов на основе высокопрочного карбонового волокна, что обеспечило возможность выполнения требований к максимальной нагрузке на ось при перевозке КПГ автотранспортом, а также малотоннажных производств и средств перевозки СПГ автотранспортом, транспортабельных (или передвижных) пунктов регазификации СПГ.

Развитие технологий морских перевозок ПГ направлено в основном на повышение эффективности межтерминальной транспортировки СПГ на линиях большой протяженности с использованием крупнотоннажных танкеров. Но и на коротких линиях

Рис. 1. Схема газоснабжения транспортабельной газотурбинной электростанции с применением технологии «Мобильный газопровод» в варианте с транспортировкой КПГ



МГНКС — мобильная (транспортабельная) газонаполнительная компрессорная станция, МГРП — мобильный (транспортабельный) газораспределительный пункт.

Табл. 1. Перечень основных технологических процессов и используемого в МГ оборудования

Технологические процессы	Целевые параметры	Технологическое оборудование	Примечания
МГ на основе технологии транспортировки КПГ			
Компримирование ПГ	Давление КПГ — 200—250 бар	Модульные компрессорные станции	Размещение — в точке присоединения МГ к источнику ПГ
Транспортировка КПГ	Удаленность потребителя до 200 км	Кассетные сборки *(Tube Skids)*, контейнеры	Включая средства перевозки контейнеров и кассетных сборок
Редуцирование КПГ и выдача потребителю	В соответствии с режимом потребления	Модульные газорегу-ляторные пункты (ГРП)	Размещение — в точке присоединения основного потребителя к МГ
МГ на основе технологии транспортировки СПГ			
Сжижение ПГ	Работа только в непрерывном режиме	Установки для сжижения СПГ. Возможно получение на приемном морском терминале СПГ	Размещение — в точке присоединения МГ к магистральному газопроводу или терминалу СПГ
Транспортировка СПГ	Удаленность потребителя — по результатам ТЭО	Специализированные емкости для транспортировки СПГ	Включая средства перевозки емкостей с СПГ
Регазификация СПГ и выдача ПГ потребителю	В соответствии с режимом потребления	Установки регазификации. Модульные ГРП	Размещение — в точке присоединения основного потребителя к МГ

Табл. 2. Производители технологического оборудования и поставщики услуг МГ

Наименование	Технические решения	Контакты
Производство, поставка технологических комплексов МГ		
GE Power&Water	Производство, хранение, перевозка и редуцирование, регазификация КПГ, СПГ	*www.ge.com*
CIMC Enric		*www.enricgroup.com*
Galileo Technologies	Производство, хранение, перевозка и редуцирование, КПГ	*www.galileoar.com*
Vitkovice		*www.vitkovice.com*
LS Group		*http://lsholdings.com*
Praxair	Малотоннажное производство, хранение, перевозка и регазификация СПГ	*www.praxair.com*
Wartsila		*www.wartsila.com*
Производители технологического оборудования для транспортировки КПГ, СПГ		
Hexagon Lincoln Inc.,	Кассетные сборки для КПГ на базе баллонов третьего и четвертого типов (композитные, с алюминиевым или полиэтиленовым лайнером). Контейнеры, трейлеры на их основе	*www.hexagonlincoln.com*
Alpha Composites		*www.xtrade-energy.ru*
Galileo Technologies		*www.galileoar.com*
ILJIN Composites		*www.iljin.co.kr*
ООО «НПФ «Реал-Шторм»		*www.realstorm.ru*
АО «Газсервискомпозит»		*http://gassc.com*
SINOMA Group	Кассетные сборки для КПГ на базе баллонов второго типа (стальные бесшовные). Контейнеры, трейлеры на их основе	*www.sinoma.cn*
Sinocleansky		*www.sinocleansky.com*
Vitkovice		*www.vitkovice.com*
CIMC Enric	Трейлеры для перевозки КПГ, СПГ	*www.enricgroup.com*
Поставщики услуг МГ		
NG Advantage, США	Транспортировка КПГ автотранспортом в кассетных сборках, контейнерах, трейлерах	*www.ngadvantage.com*
Xpress Natural Gas, США		*http://xng.com*
Agira, Аргентина		*www.agira.com.ar*
АО «Газсервискомпозит», РФ		*http://gassc.com*
ООО «Газпром ГМТ», РФ		*http://gazprom-gmt.ru*
ПАО «НК «Роснефть», РФ		*www.rosneft.ru*
China Gas Holdings, КНР		*www.chinagasholdings.com.hk*
Perusahaan LN, Индонезия		*www.pln.co.id*
INGL, Израиль		*www.ingl.co.il*
Verdek, США	Транспортировка охлажденного КПГ автотранспортом в изотермических контейнерах (поставщик оборудования *Galileo Technologies*)	*www.verdek.com*
Galileo Technologies, Аргентина		*www.galileoar.com*
CNG Holdings, ЮАР		*www.cngholdings.co.za*
Sabah Energy Corp., Малайзия		*www.sabahenergycorp.com*
ООО «Газпром энергосеть», РФ	Транспортировка СПГ автотранспортом в криоцистернах *(Road LNG Carrier),* танк-контейнерах	*www.gazpromlpg.ru*
YPFB, Боливия		*www.ypfb.gob.bo*
АО «Криогаз», РФ		*www.cryogas.ru*
Evol LNG, Австралия		*www.evollng.com.au*
LNGTainer Ltd, Финляндия (стартап ИЦ «Сколково»)		*www.lngtainer.com*
Sea NG Corporation (стартап), Канада	Транспортировка КПГ морскими судами *(Sea CNG Carrier)* в модульных кассетных сборках*	*www.coselle.com*
Enersea (стартап), США		*http://enersea.com*
CIMC Enri, КНР — первый реализованный проект, 2016 г.		*www.enricgroup.com*

* Рынки морских перевозок КПГ, а также мало- и среднетоннажных перевозок СПГ находятся в начальной фазе развития. При этом существующий флот морских перевозчиков СПГ *(Sea LNG Carrier)* на 2016 г. включает свыше 400 судов различных типов, предназначенных в основном для крупно- и среднетоннажных межтерминальных перевозок.

протяженностью до 1000—1500 миль использование технологий морской перевозки КПГ также имеет большие перспективы. Например, в 2016 г. введены в коммерческую эксплуатацию новые МГ:

- в Индонезии — морской МГ на основе технологии перевозки КПГ эффективной производительностью около 15 тыс. нм^3/ч (производитель оборудования — *CIMC Enri,* КНР, эксплуатирующая организация *Perusahaan LN,* Индонезия);
- в Боливии — МГ на основе технологии перевозки СПГ эффективной производительностью около 12 тыс. нм^3/ч (рис. 6; заказчик, эксплуатирующая организация — государственная газотранспортная компания *YPFB*);
- в Российской Федерации (Псковская область) — МГ на основе технологии перевозки СПГ эффективной производительностью около 4 тыс. нм^3/ч (АО «Криогаз»).

Нормативные требования и техническое регулирование

КПГ и СПГ являются опасными грузами. Их перевозка относится к регулируемым видам деятельности и производится специализированными перевозчиками. Отдельные нормативные акты в области перевозки опасных грузов автомобильным и морским транспортом представлены в [8—10].

Транспортные средства для перевозки КПГ, СПГ требуют сертификации. В некоторых странах не разрешено использование кассетных сборок, контейнеров на основе композитных газовых баллонов (третьего и четвертого типов) для транспортировки КПГ автомобильным транспортом. В РФ к настоящему времени сертифицированы и разрешены для применения при автоперевозках кассетные сборки ряда отечественных и зарубежных производителей. Технологии перевозки КПГ, СПГ железнодорожным транспортом требуют испытаний и отработки в опытно-промышленном режиме.

Объектами технического регулирования и технического надзора являются:

- проектная документация МГ;
- выполнение требований к опасным производственным объектам при создании и эксплуатации МГ.

Газотранспортная организация контролирует режимы потребления ПГ, состояние средств учета, выполнение технических условий и договорных обязательств.

В случаях когда МГ используется для газоснабжения населения и приравненным к нему категорий потребителей, объектов коммунального электро- и теплоснабжения, стоимость услуг МГ и договорные обязательства эксплуатирующей организации могут являться предметом тарифного и антимонопольного регулирования.

Рис. 2. Примеры автотранспортных средств и транспортных контейнеров для перевозки компримированного и сжиженного природного газа



Автоцистерна-полуприцеп для транспортировки СПГ



Трейлер с горизонтальной кассетной сборкой для транспортировки КПГ



40-футовый контейнер для транспортировки СПГ (пилотный проект, стартап ИЦ «Сколково»)



Трейлер с вертикальной кассетной сборкой для транспортировки КПГ

Табл. 3. Результаты расчета топливной составляющей тарифа (без НДС) на электроэнергию, выработанную ГТЭС при работе на ПГ и дизельном топливе (автоперевозка, транспортное расстояние 15 км)

Структура топливной составляющей (на 1 кВт•ч)	Топливная составляющая цены на электроэнергию, руб./кВт•ч						
	работа на природном газе (варианты МГ — на основе транспортировки КПГ, СПГ), в режимах						Работа на ДТ* для всех режимов
	базовом		полупиковом		пиково-резервном		
	КПГ	СПГ	КПГ	СПГ	КПГ	СПГ	
Удельные условно-постоянные затраты	0,55	1,65	1,15	3,35	5,46	14,50	0,30
Удельные топливные затраты с учетом стоимости ПГ, получаемого из газотранспортной системы	1,29	1,26	1,29	1,26	1,29	1,26	8,20
Всего	1,84	2,76	2,44	4,61	6,75	15,76	8,50
В процентах от величины топливной составляющей при работе на ДТ*) – 8,5 руб./кВт•ч	22	32	29	54	79	185	100

* Дизельное топливо.

Конкурентоспособность МГ

Целевые эффекты, достигаемые при применении технологий МГ, заключаются в:

- снижении затрат на покупку топлива;
- увеличении ресурса энергетических установок при его переводе на ПГ;
- уменьшении содержания вредных компонентов в отводимых газах энергетических установок;
- обеспечении возможности применения газоиспользующего технологического оборудования.

В качестве конкурентных видов топлива, как правило, рассматриваются:

- при производстве электрической энергии — дизельное топливо;
- при эксплуатации котельного оборудования — жидкое котельное топливо (топочный мазут).

Ниже представлен пример сравнительного анализа величины топливной составляющей себестоимости электроэнергии модульной газотурбинной электростанции при ее переводе с дизельного топлива на ПГ, поставляемый с применением МГ.

Важные преимущества МГ связаны с возможностью реализации гибких технических и инвестиционных решений, обусловленной тем, что практически все используемое в технологии МГ оборудование является транспортабельным, в частности для газоснабжения по временной схеме в период до выхода потребления ПГ в той или иной локации до уровня, при котором становится целесообразным строительство стационарного газопровода.

Существенным конкурентным преимуществом МГ при использовании для обеспечения экспортных поставок, например, в рамках приграничной торговли, является возможность реализации ПГ небольшими партиями в распределительные сети и потребителям.

Структура цены на природный газ, поставляемый с применением МГ

Авторами была разработана финансовая модель, включающая расчет расходов на создание МГ в вариантах с транспортировкой КПГ и СПГ, а также расчет себестоимости услуг по транспортировке ПГ, используемого для газоснабжения газотурбинной электростанции (ГТЭС) установленной мощностью 2 × 20 МВт, работающей в простом цикле, с эффективным КПД 35%. На этой модели была рассчитана себестоимость производимой ГТЭС электрической энергии в сравнении с производством ее на дизельном топливе.

Полные капитальные затраты на создание МГ были приняты в вариантах (без учета НДС) в следующем размере:

- КПГ — 900 млн руб.;
- СПГ — 2400 млн руб.

Результаты расчета для транспортного расстояния 15 км и начального давления ПГ, отбираемого из магистрального газопровода, в 35 бар представлены в табл. 3.

Удельные энергозатраты на производство КПГ и СПГ при начальном давлении получаемого из магистрального газопровода ПГ в 35 бар были приняты соответственно 95 и 240 кВт•ч/1000 нм^3.

Результаты расчетов показали, что использование МГ для замещения ДТ целесообразно только при базовом или полупиковом режимах потребления, что возможно при наличии «якорного» потребителя ПГ, обеспечивающего гарантированную загрузку МГ в указанных режимах.

Удельные условно-постоянные затраты при использовании технологии КПГ в два—три раза меньше соответствующей величины для технологии СПГ при транспортных расстояниях менее 200 км. В то же время

по указанному показателю обе технологии становятся сравнимы при перевозке автотранспортом на расстояние около 2000 км. При больших расстояниях технология СПГ становится предпочтительнее по данному показателю.

Перспективы применения МГ

К перспективным направлениям использования МГ в Российской Федерации могут быть отнесены:

- развитие сети АГНКС, в том числе на удалении от стационарной газотранспортной сети;
- газификация автономных потребителей и развитие энергетической инфраструктуры на осваиваемых территориях;
- создание локальных морских линий для транспортировки ПГ в сжиженном и компримированном состоянии.

В настоящее время в стадии реализации находятся проекты:

- АО «Криогаз», ООО «Газпром газэнергосеть», ПАО «НК «Роснефть» — по созданию МГ на основе транспортировки СПГ в рамках работ по газификации автономных потребителей в Республиках Карелия, Татарстан, Пермском крае, Калининградской, Ленинградской, Мурманской, Псковской, Свердловской областях;
- ООО «Газпром газомоторное топливо», ПАО «НК «Роснефть» — по созданию МГ на основе технологии транспортировки КПГ для газоснабжения автономных АГНКС;
- по строительству прибрежных среднетоннажных производств СПГ с морскими терминалами в Ленинградской области и созданию морских линии для перевозки СПГ:
  - в Калининградскую область
- морской терминал СПГ, порт Высоцк, Выборгский район Ленинградской области (завод СПГ АО «Криогаз») — плавучий терминал регазификации СПГ в порту Калининград,
- комплекс по производству, хранению и отгрузке СПГ в районе КС «Портовая», пос. Большой Бор, Выборгский район Ленинградской области (ПАО «Газпром») — плавучий терминал регазификации СПГ в порту Калининград;

Рис. 3. Транспортабельные компрессорные станции для производства КПГ



Рис. 4. Малотоннажное производство СПГ и мобильный пункт регазификации СПГ



Мини-завод СПГ производительностью 3 т/ч

Мобильный пункт регазификации СПГ

Рис. 5. Морские перевозки компримированного и сжиженного природного газа



Перспективная разработка — морское судно для перевозки КПГ



Перспективная разработка — морское судно для малотоннажной перевозки СПГ



***Jayanti Baruna* — первый морской перевозчик КПГ (введен в эксплуатацию в 2016 г.)**



Транспортировка трейлеров СПГ на морском пароме

- в пункты бункеровки судов СПГ на Балтике — плавучий завод по производству СПГ в портовом пункте Горская, Санкт-Петербург (ООО «СПГ — Горская») — плавучие терминалы для бункеровки судов СПГ в порту Росток (Германия), в районе Котка-Хамина (Финляндия).

Перспективы применения МГ на Дальнем Востоке могут быть связаны с созданием газораспределительной инфраструктуры на территориях, прилегающих к газопроводу «Сила Сибири», а также с формированием ближних морских линий, в том числе для поставки КПГ.

Одной из основных проблем, препятствующих развитию МГ на внутреннем рынке, является низкая загрузка, не обеспечивающая необходимый уровень эффективности инвестиций.

Успешная реализация инвестиционных проектов по созданию МГ возможна в комплексе с поддержанием платежеспособного спроса на ПГ в базовом режиме нагрузки, например, в составе промышленного производства с расчетным потреблением ПГ, составляющим 65—75% проектной производительности МГ. Эффективным решением является применение в составе создаваемого промышленного производства транспортабельной электростанции, обеспечивающей электро-, тепло- и газоснабжение базового потребителя и прилегающих объектов, для газоснабжения которой используется технология МГ.

Выводы

Создание автономных газораспределительных сетей с применением технологий перевозки ПГ автомобильным и морским транспортом — одно из быстро развивающихся направлений развития региональных энергетических рынков. МГ — эффективный инструмент создания газораспределительной инфраструктуры на осваиваемых территориях.

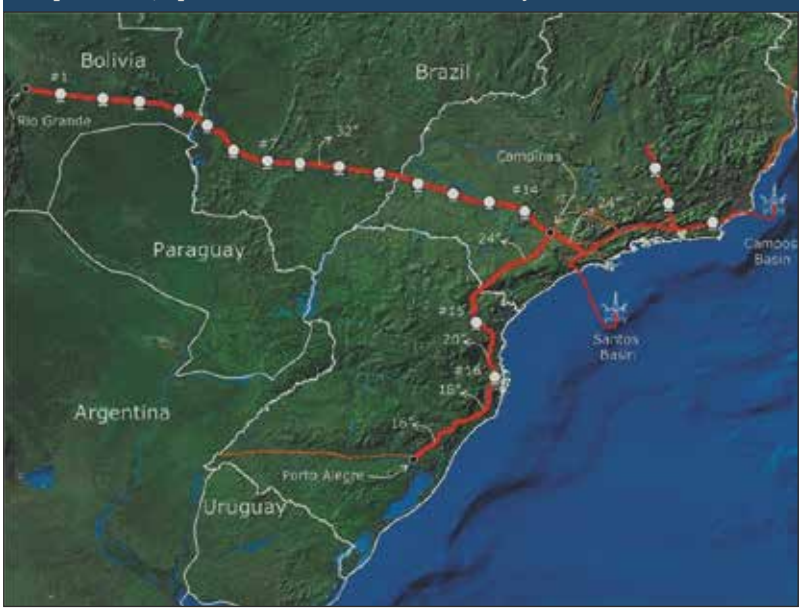
Применение МГ позволяет существенно снизить топливные затраты потребителя, обеспечивает возможность гибкого управления инфраструктурным развитием.

При реализации МГ на основе автоперевозок условно-постоянные затраты в случае использования технологии КПГ существенно ниже, чем при использовании технологии СПГ на малых и средних расстояниях, в то же время на больших расстояниях технология СПГ становится более выгодной.

Необходимым условием достаточной эффективности инвестиций в создание МГ является его эксплуатация для загрузки газотурбинной электростанции в базовом или близком к нему режиме. Одно из возможных решений — строительство и эксплуатация МГ в составе транспортабельной электростанции с необходимым уровнем потребления ПГ.

Очевидно, что при обеспечении в той же локации дополнительных производств и потребителей, подключаемых к газораспределительной сети, проект по созданию МГ становится еще более привлекательным.

Рис. 6. Схема МГ, введенного в эксплуатацию в Боливии в 2016 г.; обеспечивает транспортировку СПГ, его регазификацию и выдачу потребителю; производительность по СПГ 210 т/сут



Литература:

1. *Рачевский Б.С.* Автономное газоснабжение населенных пунктов и промышленных объектов // ЗАО «Нефтегазтоп», 2006.
2. *Mobile Pipeline // Hexagon Composites,* 2014.
3. *Virtual Natural Gas Pipelines // Praxair,* 2014.
4. *Companies providing «Virtual Pipeline» for natural gas», Boston Globe,* 25.09.2014.
5. *Virtual Pipeline // Galileo Tech.,* 2016.
6. *Delivering gas-fired power where no gas has gone before // GE Power&Water. Distributed Power,* 2014.
7. Мобильный газопровод: Материнская и дочерняя станции КПГ // *LS Networks, Unidom,* 2016.
8. Постановление Правительства Российской Федерации от 15.04.11 № 272 «Об утверждении Правил перевозок грузов автомобильным транспортом (ППГ)».
9. Международный кодекс морской перевозки опасных грузов *(International Maritime Dangerous Goods Code),* с изменениями и дополнениями.
10. *Guide for Vessels intended to carry compressed natural gases in bulk // ABS,* 2005.

