

МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА КАК УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯ И МОТОРНОГО ТОПЛИВА

Н.Г. Кириллов, д.т.н., заслуженный изобретатель РФ, академик АВН, А.Н. Лазарев, к.т.н., доцент, академик МАИ Военный инженерно-технический институт

В статье представлены результаты анализа зарубежного опыта производства и использования сжиженного природного газа (СПГ) в качестве универсального энергоносителя и моторного топлива. Отмечено, что в развитых странах мира интенсивно развиваются новые промышленные отрасли по производству высокоэффективного криогенного оборудования для заправочных станций СПГ и различных видов транспортных средств.

Сжиженный природный газ — перспективный энергоноситель XXI века

Начало XXI века ознаменовалось возрастающим значением в мировой энергетике природного газа, доля которого достигла одной трети в общем объеме производимой энергии. По данным зарубежных аналитиков, в ближайшем будущем газ постепенно оттеснит на второй план наиболее популярные сегодня энергоносители — нефть и уголь. К 2020 г. доля природного газа в общем энергопотреблении достигнет 45–50 %. Все чаще говорят, что на смену «нефтяной эпохи» наступает эпоха «метана» (природного газа). Это связано, прежде всего, с истощением мировых запасов нефти. Так, если промышленных запасов нефти, по различным прогнозам, хватит еще примерно на 30–35 лет, то газа — более чем на 100 лет [1].

По рассмотренному сценарию развития мировой газовой промышленности на 20-й Всемирной газовой конференции потребление природного газа должно возрасти до 4 трлн куб. м к 2030 г. При этом если развитые страны увеличивают долю природного газа в энергобалансе по причинам экологической безопасности и диверсификации поставок, то страны на стадии индустриального развития наращивают потребление газа вследствие роста потребности растущих экономик. В настоящее время в мире потребляется более 2,5 трлн куб. м природного газа в год, из них на долю международной торговли приходится 625–650 млрд куб. м. Из этого количества более 70 % газа

поступает к потребителям по трубопроводной системе и около 27 % продается в виде сжиженного природного газа — СПГ.

Однако по мнению экспертов в недалеком будущем на мировом рынке газа будет доминировать именно сжиженный природный газ. В настоящее время сектор СПГ является одним из самых динамичных в энергетической отрасли: мировое потребление сжиженного газа растет на 10 % в год, тогда как обычного (газопроводного) только на 2,4 %. Согласно существующим прогнозам в 2020 г. доля СПГ в мировой торговле газом составит около 35 %, а в 2030 г. — около 60 %, что будет соответствовать 18–20 % в общем объеме потребляемого природного газа.

Данный прогноз обусловлен, с одной стороны, повышением эффективности технологии сжижения природного газа и постоянным снижением его себестоимости, а с другой — высокой гибкостью каналов поставки СПГ, что позволяет оперативно варьировать обслуживание множества рынков. Технологии получения сжиженного газа превращают данный энергоноситель почти в такой же мобильный вид топлива, как и нефть.

Мировое промышленное производство СПГ в значительной степени стимулировано более экономически выгодной формой транспортировки огромного количества природного газа морским транспортом в сжиженном виде из газодобывающих стран в страны мира, не имеющих своих энергетических ресурсов. Впервые исследования экономической целесообразности морских перевозок СПГ были выполнены американскими и французскими фирмами в середине 60-х годов прошлого века при выборе оптимального решения о путях транспортировки газа из Алжира в Западную Европу. Техничко-экономические расчеты показали, что при годовом объеме транспорта газа до 10 млрд куб. м на расстояние свыше 1500 км доставка сжиженного метана в морских танкерах (с учетом расхода на сжижение и регазификацию) становится более рентабельной, чем доставка трубопроводным транспортом со сложным переходом через Средиземное море (рис. 1).

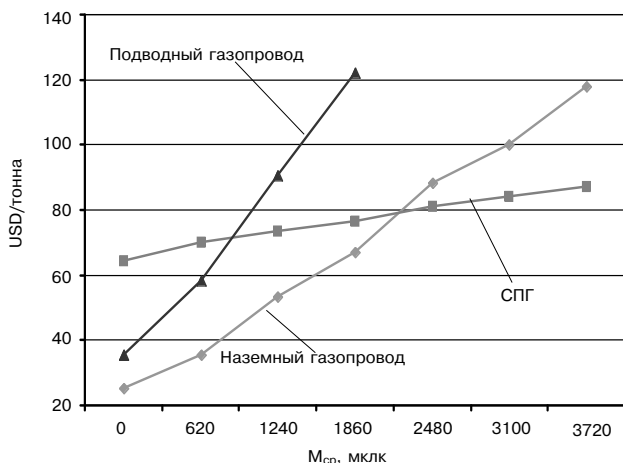


Рис. 1. Увеличение транспортных расходов при увеличении расстояния транспортировки природного газа

На основании этих расчетов в 1964 г. в г. Арзеве (Алжир) был пущен в эксплуатацию первый крупный завод по сжижению природного газа, поставляемого в Англию и Францию. Газ с месторождений Сахары поступал по трубопроводу на завод, а далее уже в жидком виде транспортировался по морю на остров Канвей (в устье р. Темзы) и в г. Гавр. Именно с этого момента СПГ стал восприниматься в мире как один из видов мировых энергоносителей, а морские перевозки — как эффективное средство транспортировки природного газа на большие расстояния.

В общем виде морская доставка газа потребителям может быть представлена следующей схемой: на побережье строится завод по сжижению газа, продукция которого поступает в хранилище. Отсюда с помощью криогенных насосов сжиженный природный газ перекачивается в танкеры-метановозы. Доставленный морским путем СПГ поступает в терминал-хранилище, из которого, по мере надобности, подается на испарительную установку, а далее с помощью компрессорной станции через газораспределительную сеть к потребителям [2].

В настоящее время более 15 стран экспортируют и примерно столько же импортируют этот вид топлива. Кроме этого, разрабатываются новые проекты увеличения экспорта СПГ из Омана, Канады, Австралии, Индонезии, Малайзии, Нигерии и России. Сегодня в мире в эксплуатации находится 24 крупных завода по сжижению природного газа мощностью 220,66 млрд куб. м и строятся еще 17 предприятий мощностью 119,16 млрд куб. м. После ввода их в эксплуатацию общая мощность установок по сжижению природного газа может составить 339,82 млрд куб. м. Кроме этого, в технологической цепочке производства СПГ за рубежом уже построены и эксплуатируются 49 терминалов по испарению СПГ мощностью 232,61 млрд

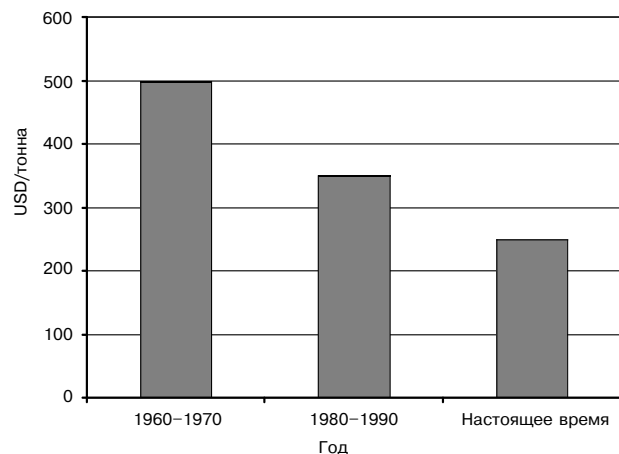


Рис. 2. Удельная себестоимость производства СПГ

куб. м и 25 терминалов мощностью 158,13 млрд куб. м находятся в стадии строительства.

Производительность вновь вводимых установок сжижения газа возросла за последние 20 лет с 0,6 до 6 млн т СПГ в год за счет применения нового более мощного оборудования, что обеспечено снижением расхода энергии на сжижение. В настоящее время на крупных заводах для получения СПГ используют каскадный способ или холодильный цикл на смешанном холодильном агенте с предварительным пропановым охлаждением. В результате на 20–30 % сократились энергетические затраты. Быстрое развитие технологий производства и перевозки сжиженного природного газа привело к снижению их стоимости, которое совпало с очередным глобальным повышением цен на энергоносители [3].

К регионам с наибольшим прогнозируемым ростом спроса на СПГ относятся США и страны Юго-Восточной Азии, в первую очередь Китай и Южная Корея. Уже сейчас в США доля СПГ в общем газопотреблении составляет более 25 %. В Азиатско-Тихоокеанском регионе наиболее крупным потребителем СПГ является Япония. В настоящее время Япония импортирует до 85 % (45 млрд куб. м) природного газа в сжиженном состоянии. По прогнозам Международного энергетического агентства (МЭА), импорт СПГ в Европу к 2030 г. увеличится в 6 раз, а общий объем потребления газа в Европе вырастет на 80 %. В общем объеме добытого в Европе газа доля СПГ вырастет с нынешних 8,6 до 27 %. В странах Западной Европы в настоящее время уже эксплуатируется 12 и в строительстве — 6 крупных терминалов по приемке СПГ. Общая мощность терминалов по испарению СПГ в Западной Европе в 2009 г. составила 127,83 млрд куб. м.

Первое крупномасштабное промышленное производство СПГ и выход России на этот рынок связано с реализацией проекта «Сахалин-2». С 2001 г. компанией «Сахалин Энерджи» было

начато строительство завода по производству СПГ на о. Сахалин. В 2009 г. завод был официально запущен в эксплуатацию. Комплекс завода включает в себя две технологические линии производительностью 4,8 млн т СПГ в год каждая, два резервуара хранения объемом по 100 тыс. куб. м и один причал для отгрузки СПГ.

Кроме этого, ОАО «Газпром» рассматривает возможности разработки Штокмановского месторождения и строительства на Ямале мощностей по сжижению газа. Первым в арктических морях планируется разработка Штокмановского газоконденсатного месторождения, расположенного в центральной части Баренцева моря, в 550 км к северо-востоку от Мурманска на глубине около 350 м. Запасы месторождения оцениваются в 3,2 трлн куб. м газа и 31 млн т конденсата. Месторождение готовится к освоению с учетом последующей реализации сжиженного природного газа в США и возможно в Европу. Для этих целей ОАО «Газпром» намерен построить в Мурманской области завод по производству СПГ. Для добычи углеводородов на месторождении будут установлены три ледостойкие плавучие платформы.

С производством СПГ связана и разработка одного из наиболее перспективных газовых месторождений Ямальского полуострова, расположенного в районе Харасавэя. По оценкам экспертов запасов месторождения достаточно для добычи 30 млрд куб. м газа в год на протяжении более 30 лет. При освоении месторождения экономически целесообразнее транспортировать добытый газ не по газопроводам, а вывозить морским транспортом в виде СПГ в Западную Европу, поскольку месторождение находится на побережье Карского моря, причем треть его приходится на шельф. Для этих целей предполагается построить завод и морской терминал, которые могли бы обслуживать 20–25 криогенных морских метановозов грузоместимостью по 125–135 тыс. куб. м. Ориентировочно проект оценивается в сумму не менее 18–24 млрд долл. США (стоимость одной линии по сжижению природного газа производительностью 6 млн т СПГ в год по мировым ценам обходится примерно в 3 млрд долл. США) [4].

СПГ используется для тех же целей, что и сетевой природный газ: получение электричества, тепловой энергии и промышленного холода, газификация населенных пунктов и промышленных объектов, создание резерва топлива для компенсации пиковых нагрузок (так называемый «пик-шейвинг»), а также в виде сырья для химической промышленности [5].

Однако в последнее десятилетие за рубежом обозначилась и наиболее интенсивно развивается

еще одна область применения СПГ — использование его как универсального моторного топлива для транспортных средств различного функционального назначения. Широкое использование СПГ в качестве моторного топлива обусловлено тем, что по ценам он дешевле традиционных жидких углеводородных топлив и при этом является экологически более чистым видом топлива.

Зарубежный опыт использования СПГ как альтернативного моторного топлива для транспортных средств

Одним из проявлений перехода развитых стран мира на новый технологический уровень является стремительно растущее применение альтернативных видов моторного топлива. В основном ставка делается на природный газ. Так, несколько лет назад Европейская экономическая комиссия приняла резолюцию, согласно которой к 2020 г. только в Западной Европе на газовое топливо должно быть переведено более 25 млн автомобилей.

Природный газ как моторное топливо на транспортном средстве может находиться в двух состояниях: сжиженном (СПГ) и сжатом, т. е. компримированном (КПГ). До начала нашего века на транспорте в основном применялся компримированный природный газ. Однако в связи с развитием в последние годы инфраструктуры производства СПГ в мире и экспортом огромного количества сжиженного газа в развитые страны наметилась явная тенденция перехода на применение сжиженного природного газа как наиболее перспективного вида моторного топлива.

Это связано с тем, что замена КПГ на СПГ позволяет существенно улучшить технические показатели транспортных средств: уменьшить габариты и массу системы хранения бортового топлива; увеличить полезную грузоподъемность и запас хода на одной заправке; сократить за счет более редких заправок непроизводительные затраты, связанные с холостыми пробегами. Преимущества сжиженного природного газа при использовании в качестве моторного топлива объясняются более высокой его плотностью (в 3 раза) по отношению к компримированному природному газу. Сжижение позволяет уменьшить объем газа, занимаемый в обычных условиях, почти в 600 раз, что приведет, по сравнению со сжатием газа, к уменьшению массы системы хранения природного газа на транспортном средстве в 3–4 раза, а объема в 1,5–3 раза [6, 7].

За рубежом разработано достаточно большое количество различных технологий и установок производства СПГ для обеспечения транспорта этим более дешевым и экологически чистым топливом. Лидерами в области производства



Рис. 3. Заправочная станция СПГ в Калифорнии



Рис. 4. Комплекс сжижения природного газа фирмы «Криопак»

таких установок являются фирмы «Криопак», «Криогаз Энженеринг Лтд» и др. Так, заправка СПГ автотранспорта в США осуществляется на многочисленных стационарных автозаправочных станциях, куда СПГ доставляется в специальных криогенных метановозах от крупных морских терминалов. Особенно широкая сеть таких автозаправочных станций создана на юго-западе США в штатах Калифорния, Аризона, Колорадо, Техас, Пенсильвания и т. д. Крупнейшая в мире заправочная станция СПГ в Калифорнии при объеме газа в 60 000 л снабжена шестью СПГ-колонками, что позволяет заправлять в короткие сроки до 200 крупных грузовых автомобилей (рис. 3).

Комплекс сжижения природного газа внешнего охлаждения фирмы «Криопак» (рис. 4) предназначен для сжижения природного газа объемом от 13 626 до 454 200 тыс. куб. м в сутки, при этом объем полученного СПГ составит 22–272 куб. м в сутки.

За рубежом созданы и успешно развиваются многие фирмы, специализирующиеся на производстве газовой аппаратуры и криогенного оборудования для конвертации автомобилей на СПГ. Так, американская фирма «Kaiser Brenca» выпускает криогенные баки емкостью от 70 до 500 л под давлением около 0,15 МПа и топливные системы питания жидким газом, обеспечивающие

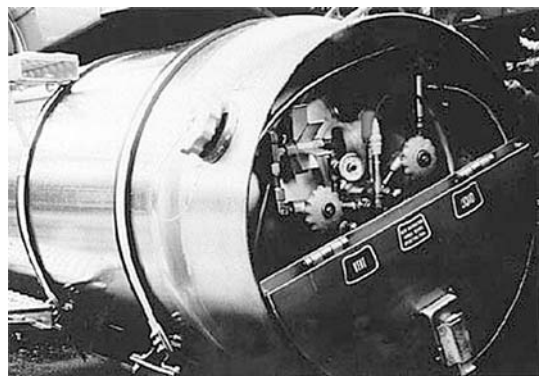


Рис. 5. Криогенный бак СПГ емкостью 500 л

пробег транспортных средств на расстояние до 450 км.

Развивающаяся инфраструктура заправки СПГ и серийное производство широкой номенклатуры сертифицированного газового оборудования позволяет зарубежным странам широко применять криогенное топливо на различных видах транспортных средств. Особенно интенсивно этот процесс идет в автомобильной промышленности. В настоящее время перспективность применения сжиженного природного газа в качестве моторного топлива для автотранспортных средств за рубежом не вызывает ни у кого сомнения. Исследования, выполненные фирмами «Ford», «Toyo Menka», «Mercedes-Benz», MAN, «Messert», BMW и др., показали техническую возможность и экономическую целесообразность использования СПГ на автотранспорте.

СПГ как моторное топливо для автотранспортных средств применяется в США, Германии, Нидерландах, Норвегии, Франции и других странах. В США сжиженный природный газ как моторное топливо используют на 25 % муниципального транспорта, расширяется производство грузовых автомобилей на СПГ. Известная американская компания «Mask» в сотрудничестве с фирмой «Waste Management Inc.» в течение уже многих лет успешно занимается производством двигателей на СПГ. Седельный тягач Mask CH/LNG, работающий на СПГ, является самым чистым грузовым автомобилем на американских дорогах и отличается большим запасом хода, который составляет свыше 1000 км. В настоящее время к использованию СПГ в качестве моторного топлива присоединяются и другие промышленные лидеры США, например «United Parcel Service» (UPS) и «Kenworth Truck Company». Так, корпорация «Kenworth Truck Company» запустила производство грузовиков «Kenworth T800 LNG» (рис. 6), работающих на сжиженном природном газе, на заводе в г. Рентоне (штат Вашингтон). По оценкам многих специалистов, автомобиль «Kenworth T800 LNG» — один из наиболее уни-



Рис. 6. Грузовик «Kenworth T800 LNG» с двигателем на сжиженном природном газе



Рис. 7. Грузовики «Sterling Set-Back 113», работающие на СПГ

версальных грузовиков на современном рынке. Он используется для многих целей: от магистральных тракторов с роскошной кабиной «86 Studio AeroCab» до предназначенных для эксплуатации в тяжелых условиях внедорожных самосвалов, городских пикапов и легких грузовиков. За разработку и запуск в серийное производство этого криогенного грузовика, компания стала лауреатом награды «J.D. Power and Associates 2007» за высшее признание покупателями междугородных, городских, торговых и профессиональных грузовиков.

Грузовик «Kenworth T800 LNG», оснащенный двигателем Cummins ISX и топливной системой HPDI от компании «Westport», представляет собой успешное решение в данной отрасли, обеспечивающее низкий (мирового класса) уровень выбросов и парниковых газов, и в то же время обладает отличной мощностью, крутящим моментом и эффективностью, сравнимыми с характеристиками дизельного двигателя.

В 2009 г. еще одна американская компания «Sterling Trucks» представила свой новый грузовой автомобиль «Sterling Set-Back 113» (рис. 7), работающий на сжиженном природном газе. Новинка агрегируется 8, 9-литровыми двигателями Cummins Westport-ISLG мощностью от 250 до 320 л. с. с системой рециркуляции отработавших



Рис. 8. Седелный тягач Mercedes Econic, работающий на СПГ



Рис. 9. Австралийские тяжелые грузовики на СПГ

газов. Отработавшие газы двигателя, работающего на природном газе, по наиболее вредным компонентам в значительно менее опасны, чем бензиновые или дизельные. Кроме того, автомобили на природном газе являются малозумными. Двигатель Cummins Westport ISL G соответствует действующим нормам Агентства по охране окружающей среды (EPA), а содержание в выбросах NO_x на 85 % меньше, чем у двигателей, работающих на традиционных нефтяных видах топлива.

Значительные результаты в улучшении экологической безопасности и экономической эффективности достигаются при использовании СПГ и на легковых автомобилях. Не случайно ведущая американская автостроительная фирма «General Motors» подготовила к серийному производству новый автомобиль «EV1», оснащенный двигателем ECOTEC с турбонадувом и работающий на СПГ.

Расширяется применение СПГ на автомобильном транспорте и в Западной Европе. Например, городские власти многих городов Германии планируют перевести на СПГ весь муниципальный транспорт. Фирмами «Mercedes-Benz» и «Messer» уже разработаны и производятся городские мусоровозы, работающие на сжиженном природном газе. Сейчас только в г. Франк-



Рис. 10. Австралийский мусоровоз, работающий на СПГ

Western Australia - Infrastructure

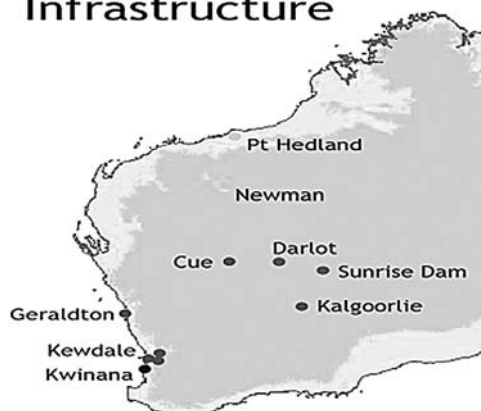


Рис. 11. Карта расположения заправочных станций СПГ в западных регионах Австралии

фурте эксплуатируется более 80 таких муниципальных машин.

На ярмарке «Европейский дорожный транспорт 2007» в Амстердаме (Нидерланды) компания «Даймлер» представила седельный тягач Mercedes Esonic (рис. 5), работающий на СПГ. Автомобиль оснащен рядным 6-цилиндровым газовым двигателем OM 906 LAG объемом 6,88 л. с. распределенной подачей газа, мощностью 250 кВт (279 л. с.), максимальным крутящим моментом 1000 N_m при 1400 об/мин и максимальной скоростью вращения 2200 об/мин. Колесная формула: 4x2 (грузоподъемность 18 т) и 6x2/4 (грузоподъемность 26 т). Пробег на одну заправку СПГ составляет 1100 км. В настоящее время инженеры компании прорабатывают вариант газового магистрального тягача для международного проекта «Голубой коридор», который соединит города Западной Европы и России.

В последние годы СПГ как моторное топливо активно начал использоваться в Австралии. Основным игроком на рынке является компания «EVOL LNG». Только в 2009 г. этой компанией на СПГ было переведено более 200 тяжелых грузовиков, занимающихся транспортировкой продуктов питания (рис 9).



Рис. 12. Танкер для перевозки СПГ, использующий в качестве моторного топлива сжиженный природный газ



Рис. 13. Норвежский паром, работающий на СПГ

В настоящее время в Австралии принята федеральная программа по переводу автотранспорта коммунальных служб на СПГ. Прежде всего это относится к муниципальным автобусам и мусоровозам. Уже начато серийное производство и оснащение австралийских городов мусоровозами, работающими на СПГ (рис. 10).

В связи с началом масштабного использования СПГ в качестве моторного топлива в Австралии создается разветвленная сеть заправочных станций СПГ. На рис. 11 представлена карта западного побережья Австралии, где практически во всех городах данного региона уже эксплуатируются или строятся новые заправочные станции СПГ для автомобильного транспорта.

Основным средством доставки СПГ на большие расстояния является водный транспорт, прежде всего морской (рис. 12). В настоящее время в мире уже эксплуатируется более 200 крупных морских судов-метановозов, предназначенных для перевозки СПГ и использующих его в качестве моторного топлива.

В Норвегии компания «Statoil» приступила к серийному производству средних и малых судов на СПГ (рис. 13). Преимущества СПГ по сравнению с обычным бункерным топливом с экологической точки зрения очевидны: использование его только на двух судах в течение года со-

крашает выбросы окислов азота до 420 т. Кроме того, полностью решается проблема загрязнения морской среды и разлива при возможных аварийных ситуациях. Инициатива «Statoil» активно поддерживается министром нефти и энергетики Норвегии, который считает ее началом полномасштабного перехода судов на СПГ. Экспериментальные суда на СПГ построены и эксплуатируются в США, Германии и ряде других стран.

За рубежом уже накоплен значительный опыт применения сжиженного природного газа на железнодорожном транспорте. Работы по применению природного газа в качестве моторного топлива на тепловозах проводятся в США, Германии, Канаде, Австрии. Так, в США в 1992–1994 гг. переоборудованы для работы по газодизельному циклу два тепловоза серии SD40-2 с двигателями фирмы «General Motors» мощностью 2200 кВт и два маневровых тепловоза МК 1200 с двигателями «Caterpillar» мощностью 1527 кВт. В настоящее время ведутся работы по переводу на газ локомотивных двигателей EMD 645, KTA-SOG3 (Cummins). В Германии для работы на газе переоборудован маневровый тепловоз серии Kof 360, созданы промышленные газотепловозы KG230 и МАК G1600. В Австрии построен магистральный грузовой газотепловоз GE 3000 мощностью 2200 кВт.

Многолетняя безаварийная эксплуатация магистральных и маневровых тепловозов на СПГ железнодорожными компаниями «Берлингтон Нозерн», «Моррисон-Кнудсен», «Санта Фе», «Юнион Пасифик» говорят об объективных преимуществах этого вида топлива.

Сжиженный природный газ как моторное топливо имеет большие перспективы и в авиации. Результаты проведенных за рубежом исследований показывают, что использование СПГ на авиационной технике позволит значительно увеличить скорости и освоить «мертвое» пространство между высотами полетов, достигнутыми авиацией и ракетно-космической техникой. При внедрении СПГ в авиацию экономится топливо: метановое топливо позволит снизить его расход на доставку единицы массы полезной нагрузки на 16–25 % по сравнению с авиакеросином. Резко улучшает-

ся экологическая обстановка. Известно, что современные самолеты летают на высотах, ниже которых находится 80 % всей массы атмосферы. Этот атмосферный слой очень чувствителен к выбросам продуктов сгорания топлива.

Ведущие авиафирмы США, Японии и Западной Европы («Боинг», «Локхид», «Дойче Аэроспейс», «Эрбас Индастри») прогнозируют использование СПГ как основного топлива для авиации. По общему мнению специалистов и экспертов, начиная с 2010–2020 гг., развернется широкое внедрение криогеники в авиастроение.

Заключение

Использование СПГ как универсального моторного топлива XXI века — интенсивно развивающееся направление, которое уже в ближайшее время превратится за рубежом в самостоятельную высокорентабельную отрасль экономик развитых стран. О перспективах развития этой отрасли в России авторами будет подготовлена специальная публикация.

Литература

1. *Леонард Р.* Истощение нефтяных запасов и грядущая эпоха природного газа // Нефтегазовая вертикаль. — 2001. — № 9. — С. 50–59.
2. *Kirillov N. G.* Producing Natural Gas for Vehicles. // Chemical and Petroleum Engineering, May — June, 2001, 37 (5–6): P. 334–337.
3. *Кириллов Н.Г.* Новые технологии в сжижении природного газа // Газовая промышленность. — 2004. — № 4. — С. 58–60.
4. *Кириллов Н.Г.* Рынок сжиженного газа: российские перспективы // Энергетика и промышленность России. — 2009. — № 1. — С. 31.
5. *Кириллов Н.Г.* Состояние топливно-энергетического комплекса России и энергосберегающий путь развития энергетики // Энергетика и промышленность России. — 2002. — № 1. — С. 6–7.
6. *Седых А.Д., Роднянский В.М.* Политика Газпрома в области использования природного газа в качестве моторного топлива // Газовая промышленность. — 1999. — № 10. — С. 8–9.
7. *Кириллов Н.Г.* Сжиженный природный газ как универсальное моторное топливо XXI века: технологии производства и системы долгосрочного хранения. — М. : ИРЦ «Газпром», 2002. — 64 с.