

ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА КАК ГАЗОМОТОРНОГО ТОПЛИВА НА АВТОТРАНСПОРТЕ

Г. М. Дубов[✉], М. Ю. Яцевич, Д. М. Якобсон, Д. А. Бороненков

*Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Российская Федерация*

✉ dubovgm@kuzstu.ru

Аннотация. Приводится анализ экологических преимуществ, экономических аспектов и технических особенностей при использовании сжиженного природного газа как моторного топлива. В частности, обосновывается преимущество использования природного газа по отношению к нефтяному топливу в части снижения вредных выбросов. По ряду факторов обосновывается экономическая целесообразность его внедрения и применения. Приводятся сравнительные данные по эффективности использования природного газа как моторного топлива в зависимости от его агрегатного состояния (сжатого и сжиженного). Особое внимание уделяется состоянию инфраструктуры и ситуации рынка сжиженного природного газа России. Обобщены данные по газификации технологического транспорта в России. Обосновывается утверждение о том, что по отношению к зарубежным странам российский рынок сжиженного природного газа как газомоторного топлива недостаточно развит. И это, в частности, подтверждается слабо развитым производством малотоннажного СПГ и заправочной инфраструктуры. На основе проведенного анализа представлены выводы о том, что в настоящее время недостаточно научных исследований в части оценки и обоснования особенностей и перспектив применения сжиженного природного газа как моторного топлива, в том числе и на технологическом карьерном транспорте.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, сжатый природный газ, технологический карьерный транспорт, экологические преимущества, экономические аспекты, технические особенности

Для цитирования: Дубов ГМ, Яцевич МЮ, Якобсон ДМ и др. Особенности и перспективы использования сжиженного природного газа как газомоторного топлива на автотранспорте. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(2):41-48. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-41-48>.

PECULIARITIES AND PROSPECTS FOR THE USE OF LIQUEFIED NATURAL GAS AS A GAS MOTOR FUEL IN MOTOR VEHICLES

G. M. Dubov, M. Yu. Yatsevich, D. M. Yakobson, D. A. Boronenkov

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation

dubovgm@kuzstu.ru

Abstract. The article analyzes the environmental advantages, economic aspects and technical features of using liquefied natural gas as a motor fuel. In particular, the advantage of using natural gas in relation to petroleum fuel in terms of reducing harmful emissions is substantiated. The economic feasibility of its introduction and application is substantiated by a number of factors. Comparative data on the efficiency of natural gas use as a motor fuel depending on its aggregate state (compressed and liquefied) are given. Special attention is paid to the state of infrastructure and the situation on the LNG market in Russia. Data on gasification of technological transport in Russia are given. The article substantiates the assertion that the Russian LNG market as a gas motor fuel is underdeveloped in relation to foreign countries. And this, in particular, is confirmed by the underdeveloped production of low-tonnage LNG and refueling infrastructure. On the basis of the analysis the conclusions are presented that at present there is insufficient scientific research in terms of assessment and substantiation of features and prospects of LNG application as a motor fuel, including technological quarry transport.

Keywords: liquefied natural gas, compressed natural gas, technological quarry transportation, environmental benefits, economic aspects, technical features

For citation: Dubov GM, Yatsevich MYu, Yakobson DM, et al. Peculiarities and prospects for the use of liquefied natural gas as a gas motor fuel in motor vehicles. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(2):41-48. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-41-48>.

Введение

Сегодня экологические проблемы находятся в центре глобальной повестки дня, что приводит к изменениям в традиционных источниках энергии, используемых в качестве топлива для автомобилей и технологических транспортных средств. Позитивные изменения в «зеленой» повестке дня способствовали ужесточению стандартов качества топлива и воздействия его использования на окружающую среду. Наряду с экологическими проблемами существуют также проблемы экономической эффективности, где ключевым моментом является достижение максимальной энергоэффективности при минимальных затратах. Другими словами, важно обеспечить наилучший баланс между расходом топлива и эффективностью грузоперевозок.

Сжиженный природный газ (СПГ) является одной из наиболее перспективных альтернатив традиционному дизельному и бензиновому топливу. Интерес России к использованию его в качестве моторного топлива в последние годы значительно возрос. Однако переход на новые виды топлива всегда происходит постепенно. Первым шагом является оценка целесообразности такой трансформации с учетом основных требований рынка: экологической безопасности, экономической выгоды, практической эффективности и доступности ресурсов.

Россия обладает большими запасами природного газа, в несколько раз превышающими ее запасы нефти, что делает его использование для технического транспорта экономически выгодным. После финансово-экономического анализа следующим шагом является оценка ожидаемых результатов и показателей эффективности. Последний шаг – расчет времени, необходимого для создания качественной инфраструктуры, способной обеспечить широкое использование СПГ в транспортном секторе.

Сегодня дизельных заправок больше, чем газовых, не говоря уже о станциях с СПГ. Хотя автомобили, работающие на газомоторном топливе, уже проходили испытания, активный интерес к переходу на альтернативные виды топлива начал формироваться лишь в середине 2010-х годов. Рост цен на дизельное топливо и экологические проблемы увеличивают спрос на экологически чистые источники энергии, что делает решение этих проблем более актуальным.

Цель исследований: изучить особенности и перспективы использования сжиженного природного газа (СПГ) в качестве газомоторного топлива на автотранспорте с акцентом на его экономическую эффективность, экологические преимущества и технические характеристики, а также определить влияние внедрения СПГ на развитие автомобильного сектора в контексте современных тенденций и законодательных инициатив.

Методы исследований

В настоящей работе при помощи анализа вторичных данных был произведен обзор литературы: сбор и анализ существующих научных статей, отчетов и исследований по СПГ,

его свойствам и применению, оценка предыдущих экспериментов и результатов.

Кроме того, осуществлен и статистический анализ – изучение официальной статистики и отчетов по использованию СПГ в разных странах, включая данные о выбросах, затратах и экономической эффективности.

Методом кейс-стадий произведены анализ конкретных примеров применения СПГ в различных областях автотранспорта, оценка результатов внедрения и выявление ключевых факторов успеха.

Методом сравнительного анализа было произведено сравнение с другими видами топлива, а именно выявлены различия между СПГ и другими альтернативными топливами (КПГ, СУГ) и оценка плюсов и минусов каждого топлива.

Результаты исследований

В данной статье представлены результаты исследований состояния и перспектив использования сжиженного природного газа (СПГ) в качестве моторного топлива для автотранспортных средств. Подчеркнуты экологические преимущества его использования, экономическая целесообразность и необходимость развития соответствующей инфраструктуры.

Полученные результаты могут быть полезными для разработки стратегий внедрения СПГ в автотранспортной отрасли, особенно в сфере горно-технологического транспорта. Это создает фундамент для устойчивого развития автотранспорта и уменьшения негативного влияния на окружающую среду.

Экологические преимущества

С целью обеспечения энергетической безопасности многие страны активно диверсифицируют энергетические ресурсы в транспортном секторе. Одним из наиболее перспективных вариантов является использование природного газа в качестве моторного топлива.

Здесь можно выделить два основных направления:

- использование природного газа (метана),
- использование углеводородных газов (пропан-бутановых смесей).

Опыт показал, что сжатый природный газ (СПГ) и сжиженный углеводородный газ (СУГ) уже могут использоваться в двигателях внутреннего сгорания (ДВС). В ближайшем будущем ожидается широкое использование сжиженного природного газа (СПГ). По мнению экспертов, индустрия сжиженного газа потенциально способна оказать долгосрочное влияние на мировую культуру энергопотребления и ознаменовать начало новой эры безопасной и экологически чистой энергетики [1].

КПГ и СПГ – экологически чистое автомобильное топливо на основе метана. Его использование позволяет снизить вредное загрязнение в десятки раз по сравнению с традиционными нефтепродуктами. Кроме того, использование газомоторного топлива может помочь снизить выбросы парниковых газов от транспортных средств более чем на 25 % [2].

Использование природного газа в качестве автомобильного топлива имеет множество существенных преимуществ:

- в 2–3 раза меньше токсичных веществ в атмосфере (в 2,5 раза меньше оксидов азота, в 10 раз меньше выбросов углекислого газа, в 3–5 раз меньше выбросов свинца, серы и горючих соединений);

- снижается на 3–5 дБ (А) шум двигателя;
- температура самовозгорания метана составляет 550 °С, пропан-бутана – 450 °С, а дизельного топлива и бензина – 250–300 °С.

Значительная часть мирового потребления энергии приходится на автомобили. Транспортные средства, работающие на бензине, играют важную роль в повседневной жизни, но также являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды. Ежегодно автомобильные двигатели выбрасывают в атмосферу 11,2 млн тонн токсичных веществ. Большую часть этих выбросов составляют: диоксид углерода (CO) – 9 млн тонн, углеводороды (CH) – 1,23 млн тонн и диоксид азота (NO₂) – 1,63 млн тонн. Кроме того, в воздух попадает 27 тысяч тонн бензола, 17 500 тонн формальдегида и 1,5 тонны бензопирена. Согласно исследованиям, от 50 до 90 % загрязнения воздуха происходит из-за выхлопов автомобилей.

Эксперты полагают, что экологические проблемы можно решить только за счет развития экологически чистых транспортных технологий и внедрения чистых видов топлива. Для стабилизации экологической обстановки в городских местностях при минимальных финансовых затратах газомоторное топливо является единственной реальной альтернативой традиционным нефтяным топливам. Исследования показывают, что широкое использование бензина и дизельного топлива на 60 % вреднее для здоровья человека, чем широкое использование природного газа в качестве газомоторного топлива (ГМТ) [3].

Информация, представленная в таблице 1, показывает, что транспортные средства, работающие на сжиженном природном газе, снижают выбросы вредных веществ по сравнению с автомобилями, работающими на бензине. Например, автомобиль Chevrolet Lacetti, производства АО «Дженерал Моторс Узбекистан» (ныне АО «УЗАВТО МОТОРС»), подходит для двух видов топлива: бензина и сжиженного природного газа (метана). Эксперимент выявил, что при его использовании на метане концентрация CO, CH и NO₂ снизилась в среднем на 22–65 % и составила 1,174 тонн в год [4].

Таблица 1 / Table 1

Выбросы вредных веществ и их сокращение при переоборудовании автомобилей Chevrolet Lacetti на газовое топливо / Emissions of harmful substances and their reduction when converting cars Chevrolet Lacetti to gas fuel

Компонент	Выбросы вредных веществ автомобиля на нефтяном (бензиновом) топливе, т/год	Выбросы вредных веществ автомобиля на СПГ, т/год	Сокращение выбросов вредных веществ при эксплуатации автомобиля на СПГ, т/год
CO	1,704	0,587	1,117 (65 %)
CH	0,284	0,207	0,077 (27 %)
NO ₂	0,113	0,138	0,025 (22 %)
SO ₂	0,005	-	-
C ₂₀ H ₁₂	0,54 × 10 ⁻⁶	-	-
Всего	2,106	0,932	1,174 (56 %)

Проанализировав использование природного газа в качестве автомобильного топлива, можно сделать вывод, что негативное воздействие на окружающую среду будет значительно снижено. Использование природного газа снижает выбросы более чем на 25 %, а двигатели, работающие на сжиженном природном газе (СПГ), производят меньше шума, что также снижает акустическое воздействие. Однако для комплексной оценки необходимо учитывать и другие аспекты.

Экономические преимущества

Природный газ (метан) используется в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания в двух формах: сжатый природный газ (КПГ) и сжиженный природный газ (СПГ).

Опыт отечественных и зарубежных специалистов подтверждает то, что природный газ с точки зрения эксплуатационных и экологических свойств имеет существенные преимущества перед другими видами топлива. К ним относятся: снижение эксплуатационных расходов, снижение вредных выбросов транспортных средств, частичная замена нефтяного топлива и соответствие самым строгим экологическим стандартам, таким как «Евро-5» и в некоторых случаях «Евро-6».

В качестве преимуществ использования природного газа как транспортного топлива выступают следующие факторы:

- с точки зрения энергетической ценности цена природного газа значительно ниже, чем эквивалентное количество топлива, получаемого из нефти;
- переоборудование автомобиля на природный газ не требует существенных изменений конструкции двигателя, за исключением установки специального газового оборудования;
- мощность двигателя остается на изначальном уровне;
- ресурс двигателя повышается в 1,5 раза;
- расход топлива снижается на 20–30 %;
- сокращаются общие транспортные и эксплуатационные расходы;
- снижается объем затрат на техническое обслуживание.

В соответствии с рядом объективных показателей, сжиженный природный газ (СПГ) является одним из наиболее перспективных видов газообразного топлива, отвечающим экологическим нормам и обеспечивающим высокую экономическую выгоду. При тех же темпах потребления цена СПГ в 1,5–2 раза ниже, чем у дизеля. Наибольшая экономия может быть достигнута при переводе на СПГ тяжелых и сверхтяжелых грузовиков и автобусов, курсирующих по маршрутам дальнего следования. Эти автомобили имеют большой ежедневный пробег и высокий расход топлива, поэтому перевод их на СПГ может существенно снизить эксплуатационные расходы перевозчика [5].

За рубежом наблюдается четкая тенденция использования СПГ в грузовом и общественном транспорте. Такие страны, как Франция, Великобритания, Нидерланды, Германия, Япония и США, активно используют СПГ для городских и междугородних дизельных транспортных средств. Исследования, проведенные в последние годы компаниями Ford, MAN, Saviem, Toyo Menka и другими, подтвердили техническую осуществимость и экономическую выгоду от масштабного применения СПГ в автомобильном транспорте.

Многие страны активно работают над переводом на сжиженный природный газ (СПГ) специальной техники, такой как тракторы, буксиры, бульдозеры, тяжелые грузовики и карьерные самосвалы. Например, в Китае имеется 240 тысяч тяжелых грузовиков, работающих на СПГ, в США – 5 тысяч, а в Европе – 1 500.

Китайские карьерные самосвалы HOWO компании SINOTRUK также используют СПГ. По результатам испытаний было выявлено, что экономия топлива в денежном выражении увеличилась вдвое. Для СПГ используются топливные баки стандартных форм и размеров, сравнимые с баками для дизельного топлива, что обеспечивает значительный объем хода при одной заправке [6, 7].

В России СПГ широко применяется в карьерной технике, например на самосвалах «БелАЗ». Экономия топлива и повышение периода до следующей заправки являются основными факторами активного внедрения этого вида газомоторного топлива для техники, применяемой при осуществлении открытых работ по разработке ископаемых.

Технические особенности при использовании

Современные исследования, проведенные зарубежными компаниями, показывают, что переход на сжиженный природный газ (СПГ) позволяет устранить недостатки использования сжатого природного газа (КПГ). Замена КПГ на СПГ существенно улучшает технические параметры автомобиля: уменьшает объем и вес топливной системы, увеличивает грузоподъемность и запас хода на одной заправке. За счет сжижения количество газа уменьшается почти в 600 раз по сравнению с его нормальным состоянием, в результате чего топливная система становится в 3–4 раза легче системы при использовании СПГ. При переходе на СПГ дальность хода автомобиля, при одной заправке, значительно превышает дальность хода аналогичного автомобиля, использующего традиционные виды топлива, такие как бензин или дизельное топливо.

В таблице 2 представлены сравнительные характеристики распространенных топливных систем грузовых автомобилей, использующих КПГ и СПГ в качестве моторного топлива [8].

Таблица 2 / Table 2

Сравнительные характеристики топливных систем автомобиля при использовании компримированного природного газа и сжиженного природного газа / Comparative characteristics of vehicle fuel systems when using CNG and LNG

Показатель	КПГ	СПГ
Запас газа, кг	75	75
Вместимость л	400	175
Рабочее давление, МПа	20	1,05
Число емкостей, шт.	8	1
Объем пространства, необходимый для размещения, м ³	1,4	0,6
Масса, кг	740	85
Удельная металлоемкость, кг массы / кг газа	10	1,15

Сегодня заводские грузовики, работающие на сжиженном природном газе (СПГ), обладают такой же мощностью и крутящим моментом, что и дизельные грузовики.

В ходе эксплуатации автомобилей с двигателями в 330 и 400 л. с., относящихся к классам «Евро-5» и «Евро-6», установлено, что средний расход сжиженного газа на 100 километров составляет 25,9 кг. На уровень расхода топлива влияют такие факторы, как тип и вес груза, характеристики маршрута, наличие заправочной инфраструктуры, рельеф местности и климатические условия.

Основным параметром для грузовика является пробег между заправками. Сегодня СПГ представляет достаточный уровень автономности: «КамАЗ» – 1 600 км; «Урал» – 1 000 км; Scania – 1 000 км; Iveco – 1 500 км; Volvo – 1 000 км.

Важным аспектом является хранение СПГ в автомобиле. Природный газ должен поступать в двигатель при определенных температуре, давлении и расходе. В простейшей системе давления в топливном баке он используется для преодоления гидравлических потерь в теплообменнике и трубах и подачи необходимого количества топлива.

Для улучшения характеристик расхода топлива, особенно в высокоэффективных двигателях с искровым зажиганием, применяется так называемый «теплый» СПГ. Сложные топливные системы могут работать на «холодном» СПГ. «Холодный» СПГ применяется при температуре ниже -142 °С и давлении 3–6 атмосфер, а «теплый» СПГ – при температуре от -125 до -135 °С и давлении 6–12 атмосфер. «Холодный» СПГ характеризуется более высокой плотностью, чем «теплый» СПГ, что позволяет хранить больше топлива на борту автомобиля и в течение более длительных периодов. Однако это топливо имеет низкое давление и требует дополнительного оборудования для его поднятия перед попаданием в двигатель. Заправка автомобиля «холодным» СПГ увеличивает запас хода на 12 % по сравнению с «горячим» СПГ и продлевает срок хранения с 5 до 10 дней (рис. 1) [9].

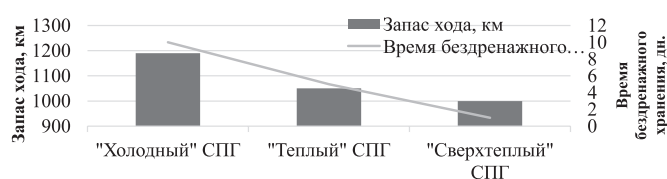


Рис. 1. Влияние типа заправки сжиженным природным газом на дальность движения транспортного средства и время бездренажного хранения / Fig. 1. Effect of LNG fuelling type on vehicle range and drainage-free storage time

Работа двигателя в газодизельном режиме на сжиженном природном газе (СПГ) обеспечивает более стабильные температурные характеристики для каждого ряда цилиндров двигателя внутреннего сгорания по сравнению с работой на дизельном топливе. Кроме того, экологическая эффективность и экономическая выгода от эксплуатации такой техники, как, например, газодизельные самосвалы «БелАЗ», на участках технических трасс значительно выше, чем у таких же машин, работающих только на дизеле [10].

За счет более высокого октанового числа газообразного топлива степень сжатия газовых двигателей может быть увеличена на 25–40 % по сравнению с бензиновыми двигателями. Высокая взрывостойкость сжиженного газа и его способность хорошо смешиваться с воздухом значительно

улучшают работу газовых двигателей за счет увеличения степени сжатия. Кроме того, при работе на СПГ шум двигателя снижается на 7–8 дБ [11].

Состояние российского рынка СПГ

На сегодняшний день наиболее эффективной считается технология малотоннажного производства СПГ, реализуемая в виде компактных модулей, располагаемых на открытых площадках. Данное решение не требует масштабных строительных работ, поэтому существенно снижает объем необходимых инвестиций. Природный газ сжижается для транспортировки, а после регазифицируется в месте потребления. В настоящее время большая часть природного газа используется для производства электроэнергии. Однако при использовании СПГ в качестве автомобильного топлива процесс регазификации происходит непосредственно в топливной системе автомобиля.

В мировой практике СПГ активно используется, особенно для заправки судов и в качестве топлива для грузоперевозок на дальние расстояния. Китай является бесспорным лидером по использованию СПГ на транспорте: около 6 миллионов автомобилей используют газомоторное топливо, в стране имеется более 3 тысяч заправочных станций СПГ. Это делает Китай крупнейшим рынком газомоторного топлива в мире (для сравнения: в Европе всего 212 станций). Потребление природного газа в транспортной отрасли растет с каждым годом. Основную долю потребления составляют большегрузные магистральные тягачи, работающие на СПГ, количество которых в Китае превысило 240 тысяч единиц. В России сеть криогенных автозаправочных станций все еще находится на стадии развития и расширения своей географии [12].

Сейчас Евросоюз обсуждает возможность запрета продажи автомобилей с бензиновым двигателем к 2035 году. Некоторые страны ЕС планируют ввести данные ограничения раньше. Если такие меры будут приняты, это приведет к годовому снижению продаж автомобилей, работающих на традиционных видах топлива.

Россия занимает восьмое место среди 17 стран-экспортеров сжиженного природного газа (СПГ). По оценкам экспертов, доля отечественных производителей на мировом рынке СПГ составляет около 4–5 %, но есть планы увеличить эту долю до 20 % к 2030 году.

На рисунке 2 представлен прогноз развития транспорта СПГ в России [13].

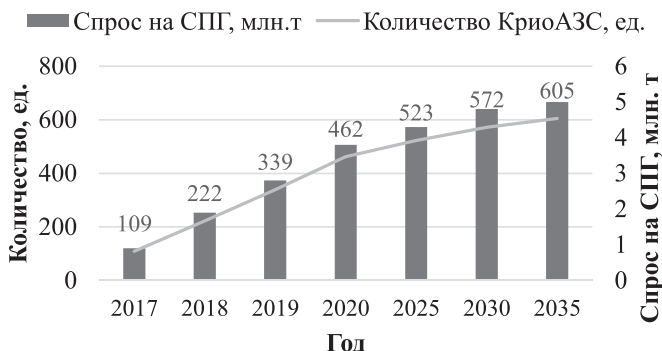


Рис. 2. Прогноз спроса на сжиженный природный газ и количества криоавтозаправочных станций к 2035 году /

Fig. 2. Forecast of LNG demand and number of cryo-fuelling stations by 2035

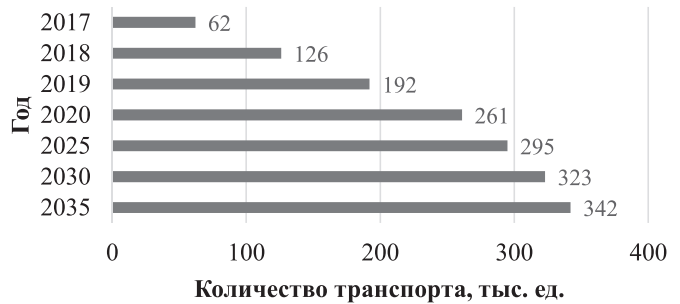


Рис. 3. Прогноз количества транспорта, работающего на сжиженном природном газе в России к 2035 году /

Fig. 3. Forecast of the number of LNG-fuelled vehicles in Russia by 2035

Расширение сети АЗС

Увеличение количества заправок сжиженного природного газа (СПГ) привело к повышению его использования на технологическом транспорте, что, в свою очередь, ускорило переход на такое топливо.

Каковы реальные показатели развития рынка СПГ?

По данным правительственных источников, в настоящее время только 8 из 11 небольших заводов производят сжиженный нефтяной газ для внутреннего потребления. Количество криогенных автозаправок также остается небольшим: в России действуют всего 24 такие станции. Если разобраться, то, например, 14 криогенных АЗС «НОВАТЭКа» обслуживают всего 156 юридических лиц. При этом продажи СПГ поставщика в 2021 году выросли в 9,6 раза по сравнению с прошлым годом [14].

Какие проблемы тормозят развитие рынка СПГ?

Во-первых, основным препятствием является подключение производственных мощностей (заводов, производящих СПГ) к газотранспортной системе. Во-вторых, существенным ограничением является то, что стандарты проектирования и эксплуатации объектов СПГ слишком строгие, что напрямую влияет на стоимость проектирования и строительства объекта. В целях снижения затрат «НОВАТЭК» отказался от строительства стационарных низкотемпературных АЗС и перешел на полностью модульные АЗС. Решение также позволяет ускорить ввод в эксплуатацию нового объекта. Таким образом, компания обеспечила сеть заправок между Уральским и Северо-Западными регионами. Например, «НОВАТЭК» поставляет СПГ для трассы Москва – Санкт-Петербург и трассы «Урал» (Москва – Челябинск – Екатеринбург). Решен также вопрос с дозаправкой автомобилей на трассе М7 «Волга». Компания активно строит заводы по производству СПГ в Московской и Самарской областях проектной мощностью 14 тысяч тонн в год каждый.

Что касается Санкт-Петербурга, где дневной пассажиропоток составляет 2,4 млн, он может стать первым городом, в котором автобусов на СПГ будет больше, чем автобусов на дизельном топливе. Этот проект привлек внимание «ЛиАЗа», «Волгабаса», «НЕФАЗа», «МАЗа» и других производителей. Городские автобусы, работающие на сжиженном газе, уже курсируют в Челябинске. Город закупил 87 автобусов, работающих на сжиженном газе, марок «МАЗ», «ЛиАЗ» и «Волгабас», что составляет треть от общего автобусного парка.

Анализ показывает, что СПГ наиболее эффективен на дальнемагистральных маршрутах, на которых работают ма-

гистральные тягачи и междугородные автобусы. Учитывая широкий модельный ряд отечественных производителей, можно ожидать повышения интереса к расширению рынка СПГ. Однако рынок средних и легких коммерческих автомобилей пока останется в стороне из-за экономических факторов, связанных со стоимостью сжатого природного газа (КСПГ) по сравнению со сжиженным природным газом (СПГ).

Большие перспективы есть у железнодорожного и водного транспорта по переходу на СПГ. Еще одно перспективное направление – коммунальное и строительное машиностроение. Нельзя исключать возможности применения СПГ в авиационной отрасли. Однако эксперты считают, что для устранения ограничений развития необходимо скоординировать деятельность различных отраслей, создать соответствующую инфраструктуру и облегчить требования к строительству АЗС [15].

Высокий спрос на 90-тонные самосвалы побудил «БЕЛАЗ» разработать газовую версию этой модели. Этот тип самосвалов остается одним из популярных автомобилей на мировом рынке, занимая почти 50 % рынка. «БелАЗ-7558Н», первый в мире 90-тонный самосвал, работающий на сжиженном природном газе, был представлен на выставке угольной и горнодобывающей промышленности России в Новокузнецке в 2022 году. Автомобиль оснащен большим криогенным резервуаром, которого хватает на полную смену продолжительностью около 10 час. Этот самосвал имеет газовый двигатель мощностью 1 068 л. с. и современный тяговый привод переменного тока. В проект включена IMS – интеллектуальная система мониторинга и прогнозной аналитики, разработанная компанией. Автомобиль соответствует всем стандартам безопасности, эффективности и производительности, необходимым для открытых горных работ. Испытания показали, что газовые двигатели на 35 % экономичнее дизельных. С учетом роста цены на дизтопливо и постоянных затрат на сжиженный газ при эксплуатации «БелАЗ-7558Н» можно добиться ежегодной экономии в размере 10 миллионов рублей на один автомобиль. В 2024 году на Международной конференции «Электрификация горного транспорта» «БЕЛАЗ» представил первый в мире 130-тонный самосвал «БелАЗ-7513Р», работающий на сжиженном природном газе. Белорусский производитель уверенно удерживает лидерство на мировом рынке в наиболее популярном сегменте грузоподъемно-

стью 130–136 тонн, что составляет более 70 % от общего предложения грузовиков этого класса [16].

Заключение

1. При анализе современного состояния вопроса применения СПГ, как возможного альтернативного топлива для транспортного сектора, возникает закономерный вывод, а именно применение СПГ является конкурентоспособным решением, реализуемым в сфере транспорта. Это связано прежде всего с решением экологических проблем в части снижения выбросов вредных веществ, в способности газа адаптироваться к транспортным средствам, в увеличении времени работы транспорта без дозаправки и наконец в более низкой стоимости по отношению к нефтяным видам моторных топлив (бензин и дизель).

2. Одной из проблем в России, связанной с масштабным использованием СПГ на транспорте, является медленное развитие крио-АЗС. Хотя их численность увеличивается с каждым годом, она намного ниже, чем в Китае, Европе и США. Планируется, что к 2030 году Россия займет 20 % мирового рынка СПГ, что в 4–5 раз превышает нынешний показатель. Следует также отметить, что на сегодняшний день проводится недостаточно исследований связанных с эффективностью использования СПГ в качестве моторного топлива для транспортных средств.

3. Растущий интерес к альтернативным источникам энергии и планы правительства по развитию отрасли неизбежно приведут к активизации исследований и оптимизации перехода на сжиженный природный газ, как одного из перспективных видов моторного топлива. Особенно это касается технологического карьерного транспорта, используемого в горнодобывающей отрасли.

Выводы

1. В статье приведены результаты исследований состояния и перспектив использования сжиженного природного газа (СПГ) как моторного топлива на автотранспорте, подчеркнуты его экологические преимущества, экономическая целесообразность и необходимость развития инфраструктуры.

2. Результаты исследований могут быть полезными при разработке стратегий по внедрению СПГ в автотранспортной отрасли и, в частности, на горно-технологическом транспорте, а также для формирования государственной политики, направленной на поддержку экологически чистых технологий и оптимизацию использования природных ресурсов в России и мире.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Федорова ЕБ. Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование. Москва, 2011:159. [Fedorova EB. Modern state and development of the world industry of liquefied natural gas: technologies and equipment. Moscow, 2011:159 (In Russ.)]
2. Климентьев А, Ишмуратова М, Сун Д и др. Справочные материалы. Карта российской СПГ отрасли – 2022 [Klimentiev A, Ishmuratova A, Sun D, et al. Reference materials. Map of the Russian LNG industry 2022 (In Russ.)]. URL: <http://nasslng.ru/assets/files/spravochnye-materialy-spgkarta2022-14.02.2022.pdf>
3. Ростех создал оборудование для контроля утечек газа для газомоторного транспорта. [Rostec has created the equipment for gas leakage control for gas motor transport (In Russ.)]. URL: <https://rostec.ru/media/pressrelease/rostekh-sozdal-oborudovanie-dlya-kontrolya-utechek-gaza-dlya-gazomotornogo-transporta>.
4. Марков ВА. Проблемы использования природного газа в качестве моторного топлива для городского автотранспорта. *Грузовик*. [Markov VA. Problems of using natural gas as motor fuel for urban motor. *Truck*. 2015;4:6-12 (In Russ.)]
5. Голубенко НВ. Об использовании природного газа в качестве моторного топлива в целях экологизации автотранспорта. *Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ-2015): сб. ст. VII Межд. науч.-техн. конф.* Курск, 2015: 32-4. [Golubenko NV. On the use of natural gas as motor fuel for the purpose of ecologisation of motor transport. *Modern Automobile Materials and Technologies (SAMIT-2015): collection of articles of the VII International Scientific and Technical Conference*. Kursk, 2015: 32-34 (In Russ.)]

6. Кузнецов ДВ, Одаев ДГ, Линьков ЯЕ. Особенности выбора технологического автотранспорта для разработки глубоких карьеров Севера. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017;5:54-65. [Kuznetsov DV, Odaev DG, Linkov YE. Features of the choice of technological vehicles for the development of deep quarries of the North. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2017;5:54-65 (In Russ.)]
7. Воронцова СД. Развитие новых автодорожных направлений международных транспортных коридоров в Российской Федерации. *Транспорт Российской Федерации*. 2016;1(62):10-15. [Vorontsova SD. Development of new road directions of international transport corridors in the Russian Federation. *Transport of the Russian Federation*. 2016;1(62):10-15 (In Russ.)]
8. Технология получения малотоннажного СПГ с двумя контурами охлаждения. *Neftegaz.ru*. 2018;2:50-4. [Technology of low-tonnage LNG production with two cooling circuits. *Neftegaz.ru*. 2018;2:50-4 (In Russ.)]
9. Узнардов ИМ. Энергетический кризис в Европе и перспективы низкоуглеродной экономики. *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Общественные науки*. 2022;2:95-101. [Uznarodov IM. Energy crisis in Europe and the prospects of low-carbon economy. *News of higher educational institutions. North Caucasus region. Social Sciences*. 2022;2:95-101 (In Russ.)]. DOI: 10.18522/2687-0770-2022-2-95-101.
10. Дубов ГМ, Трухманов ДС, Чегошев АА и др. Снижение техногенного воздействия на окружающую среду посредством использования альтернативных видов энергоносителей при эксплуатации тяжелых карьерных самосвалов. *Горное оборудование и электромеханика*. 2021;5(157):19-28. [Dubov GM, Trukhmanov DS, Chegoshev AA, et al. Reduction of technogenic impact on the environment through the use of alternative types of energy carriers in the operation of heavy dump trucks. *Mining equipment and electromechanics*. 2021;5(157):19-28 (In Russ.)]. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-5-19-28.
11. Кондратенко АД, Карпов АБ, Козлов АМ и др. Российские малотоннажные производства по сжижению природного газа. *Нефтегазохимия*. 2016;4:31-6. [Kondratenko AD, Karpov AB, Kozlov AM, et al. Russian low-tonnage natural gas liquefaction production. *NefteGaz-okhimiya*. 2016;4:31-6 (In Russ.)]
12. Кириллов НГ. Рынок сжиженного газа: российские перспективы. *Энергетика и промышленность России*. 2009;1:31. [Kirillov NG. Liquefied gas market: Russian prospects. *Energy and Industry of Russia*. 2009;1:31 (In Russ.)]
13. Девяткин ДВ, Мовчан ЯЮ, Сметанина ЕВ. Рынок СПГ: влияние пандемии и тенденции развития. *Инновации. Наука. Образование*. 2021;34:2781-8. [Devyatkin DV, Movchan YaYu, Smetanina EV. LNG market: pandemic impact and development trends. *Innovations. Science. Education*. 2021;34:2781-8 (In Russ.)]
14. Джурхабаев РР, Кулмагамбетов АБ, Баринов НВ. СПГ как замена традиционному топливу. *Студенческий форум*. 2020;30(123):56-7. [Dzhurkhabaev RR, Kulmagambetov AB, Barinov NV. LNG as a replacement for traditional fuel. *Student Forum*. 2020;30(123):56-7 (In Russ.)]
15. Пономарев АВ. Перспективы развития СПГ в России. *Вестник науки*. 2021;4(45):185-90. [Ponomarev AV. Prospects of LNG development in Russia. *Science bulletin*. 2021;4(45):185-90 (In Russ.)]
16. Газовые самосвалы «БелАЗ». *Горная промышленность*. 2024;2:14. [Gas dump trucks BelAZ. *Mining industry*. 2024;2:14 (In Russ.)]

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Георгий Михайлович Дубов –

канд. техн. наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, Российская Федерация, e-mail: dubovgm@kuzstu.ru

Мария Юрьевна Яцевич –

канд. философ. наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, Российская Федерация, e-mail: yamu.phil@kuzstu.ru

Даниил Максимович Якобсон – аспирант, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, Российская Федерация, e-mail: daneel3000@gmail.com

Данил Александрович Бороненков – аспирант, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, Российская Федерация, e-mail: danil.boronenkov@inbox.ru

Критерии авторства / Contribution:

Г. М. Дубов – научный менеджмент, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, выводы; М. Ю. Яцевич – постановка исследовательской задачи, выводы, написание текста; Д. М. Якобсон – проведение исследований, обработка результатов; Д. А. Бороненков – обзор литературы, сбор и анализ данных. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи. / G. M. Dubov – research management, conceptualisation of the study, data collection and analysis, conclusions; M. Yu. Yatsevich – setting the research problem, conclusions, writing the text; D. M. Yakobson – research management, processing of results; D. A. Boronenkov – literature review, data collection and analysis. All authors read and approved the final version of the manuscript.

ABOUT THE AUTHORS

Georgy M. Dubov –

C. Sc. in Engineering, Associate Professor, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: dubovgm@kuzstu.ru

Maria Yu. Yatsevich –

C. Sc. in Philosophy, Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: yamu.phil@kuzstu.ru

Daniil M. Yakobson –

Post-graduate Student, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: daneel3000@gmail.com

Danil A. Boronenkov –

Post-graduate Student, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: daneel3000@gmail.com

Конфликт интересов / Conflict of interest:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 13.03.2025.

Поступила после рецензирования: 07.04.2025.

Принята к публикации: 23.04.2025.

Article info

Received: 13.03.2025.

Revised: 07.04.2025.

Accepted: 23.04.2025.