

УДК 656.13:656.065.3

Е. С. Сытник, канд. техн. наук, В. В. Борисов, Д. Р. Федоров,
А. В. Васильченко, Н. А. Романько, Д. Ю. Пашенко

Автомобильно-дорожный институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Донецкий национальный технический университет»
в г. Горловка

ГАЗОМОТОРНОЕ ТОПЛИВО КАК ФАКТОР ДИВЕРСИФИКАЦИИ ТОПЛИВНОЙ БАЗЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА РОССИИ

Анализируется потенциал газомоторного топлива как ключевого фактора диверсификации топливной базы автомобильного транспорта России. Выявлены преимущества и ограничения трех основных его видов: сжиженного углеводородного газа, компримированного природного газа и сжиженного природного газа. Исследуются экологические, экономические и инфраструктурные аспекты их применения, а также динамика изменения структуры топливного потребления в России. Определены стратегические направления развития топливно-энергетического баланса автотранспортного комплекса страны и предложены рекомендации по масштабированию использования газомоторных топлив на автомобильном транспорте.

Ключевые слова: газомоторное топливо, диверсификация, топливная база, автомобильный транспорт, сжиженный углеводородный газ, компримированный природный газ, сжиженный природный газ, экологичность, декарбонизация, инфраструктура

Введение

Автомобильный транспорт РФ традиционно использует нефтепродукты в качестве основного источника топлива. Однако истощение запасов углеводородов и ужесточающиеся экологические требования создают предпосылки для пересмотра существующей модели топливообеспечения автомобильного транспорта (АТ). Согласно последним оценкам экспертов [1, 2], разведанных запасов нефти в России при текущем уровне добычи хватит лишь на 26 лет. Это означает, что уже к 2050 году страна может столкнуться с серьезным дефицитом углеводородного сырья, если не будут найдены новые крупные месторождения или не произойдет масштабного перехода на альтернативные источники энергии.

Проблема усугубляется тем, что сжигание традиционных углеводородных топлив (бензина и дизельного топлива), несмотря на постоянное совершенствование их характеристик, остается основной причиной загрязнения атмосферного воздуха. Отработавшие газы двигателей внутреннего сгорания (ДВС) содержат опасные вещества: оксиды азота (NO_x), оксид углерода (СО), углеводороды (C_mH_n), парниковый газ – диоксид углерода (CO_2); канцерогены (сажа С, бенз(а)пирен) и др. [3], которые не только ухудшают качество воздуха в городах, но и вносят существенный вклад в глобальное изменение климата.

Наибольшая нагрузка на экосистему, в первую очередь в части загрязнения атмосферного воздуха выбросами NO_x , СО и твердых частиц (сажи), приходится на городской транспорт, в особенности на автобусы и грузовую технику, работающие на дизельном топливе [3].

В условиях нестабильности мирового рынка нефтепродуктов и ужесточения экологических нормативов особую актуальность приобретает диверсификация топливного обеспечения АТ – стратегическое расширение используемых видов топлива, позволяющее снизить зависимость от традиционных нефтепродуктов и создать более устойчивую к колебаниям рынка и геополитическим кризисам энергетическую систему.

Альтернативные виды моторного топлива, замещая нефтепродукты в автотранспортном секторе, способствуют сохранению нефтяных ресурсов для нефтехимической промышленности и других высокотехнологичных отраслей. Такой процесс трансформации топливно-энергети-

ческого комплекса (ТЭК) АТ позволит обеспечить три ключевых эффекта: рациональное использование углеводородного сырья, снижение антропогенной нагрузки на экосистемы за счет сокращения эмиссии парниковых газов и токсичных соединений, а также диверсификацию топливной базы. Такие изменения соответствуют глобальным направлениям декарбонизации, ужесточению экологических регламентов и принципам устойчивого развития, что определяет их соответствие долгосрочным национальным интересам Российской Федерации в области ресурсосбережения и экологической безопасности.

Цель исследования – оценка потенциала газомоторного топлива как ключевого направления диверсификации топливного обеспечения автомобильного транспорта Российской Федерации.

Основная часть

Среди перспективных направлений для России особое место занимает использование газомоторного топлива (ГМТ), представленного тремя основными видами: сжиженным углеводородным газом (СУГ), компримированным природным газом (КПГ) и сжиженным природным газом (СПГ). ГМТ выступают ключевым фактором диверсификации ТЭК АТ, что обеспечивается сырьевой доступностью, экологической эффективностью, экономической целесообразностью. Развитие рынка ГМТ остается одним из ключевых направлений энергетической политики России, утвержденных президентом и правительством РФ [4].

Анализ статистических данных за пятилетний период [5] свидетельствует о значительной трансформации топливного баланса страны. На фоне глобальных энергетических трендов и изменений внутренней экономической политики в России происходит перераспределение долей различных видов топлива (рисунки 1, 2).

Как видно из рисунка 1 и рисунка 2, традиционные нефтепродукты сохраняют доминирующие позиции в структуре ТЭК АТ, формируя его энергетическую основу. Дизельное топливо, оставаясь безусловным лидером, увеличило свою долю с 24,8 % в 2019 году до 26,3 % в 2023 году. Автомобильный бензин стабильно удерживает второе место, демонстрируя незначительный рост с 20,4 % до 21,8 % за анализируемый период (2019–2023 гг.). В совокупности эти два вида традиционных моторных топлив обеспечивают более 48 % всего топливного потребления, что подчеркивает их ключевую роль в энергобалансе автотранспортного сектора. Особого внимания заслуживает динамика использования СУГ, демонстрирующая устойчивую положительную тенденцию. За пять лет их доля в общем объеме ТЭК АТ увеличилась с 14,9 % до 16,6 %, что отражает растущую популярность этого вида топлива.

СУГ представляет собой современный вид топлива, получаемый в процессе нефтепереработки (как побочный продукт), а также в виде жидкой фракции при добыче нефти и природного газа. За период (2019–2024 гг.) объем его производства в стране увеличился с 15,8 до 17,8 млн тонн в год, демонстрируя устойчивый рост [6]. Основу СУГ составляют пропан и бутан, а их оптимальное соотношение определяет ключевые преимущества топлива – высокую энергоэффективность, стабильность при хранении и экологичность.

Среди различных видов ГМТ СУГ представляет интерес благодаря своей универсальности и относительно простой схеме внедрения. Ключевыми преимуществами газа являются простота переоборудования автомобильных транспортных средств (АТС) (установка газобаллонного оборудования занимает 1–2 дня) и быстрая его окупаемость (в среднем 1,5–3 года). Согласно статистическим данным [7], в 2023 году на АТ приходилось 33 % общего потребления СУГ, что соответствует второму месту в структуре потребления после нефтехимической промышленности. При этом доля автомобильных транспортных средств, использующих СУГ в качестве моторного топлива, по состоянию на конец 2023 года достигла 7,4 % от общего парка (1,5 млн единиц автомобильной техники).

Устойчивый рост доли СУГ свидетельствует о постепенном переходе к более экологичным и экономичным вариантам топлива и отражает начальный этап трансформации топливного рынка в условиях ужесточения экологических требований. При этом стабильность потребления бензина подчеркивает инерционность рынка, обусловленную развитой заправочной инфраструктурой и преобладанием АТС с ДВС.

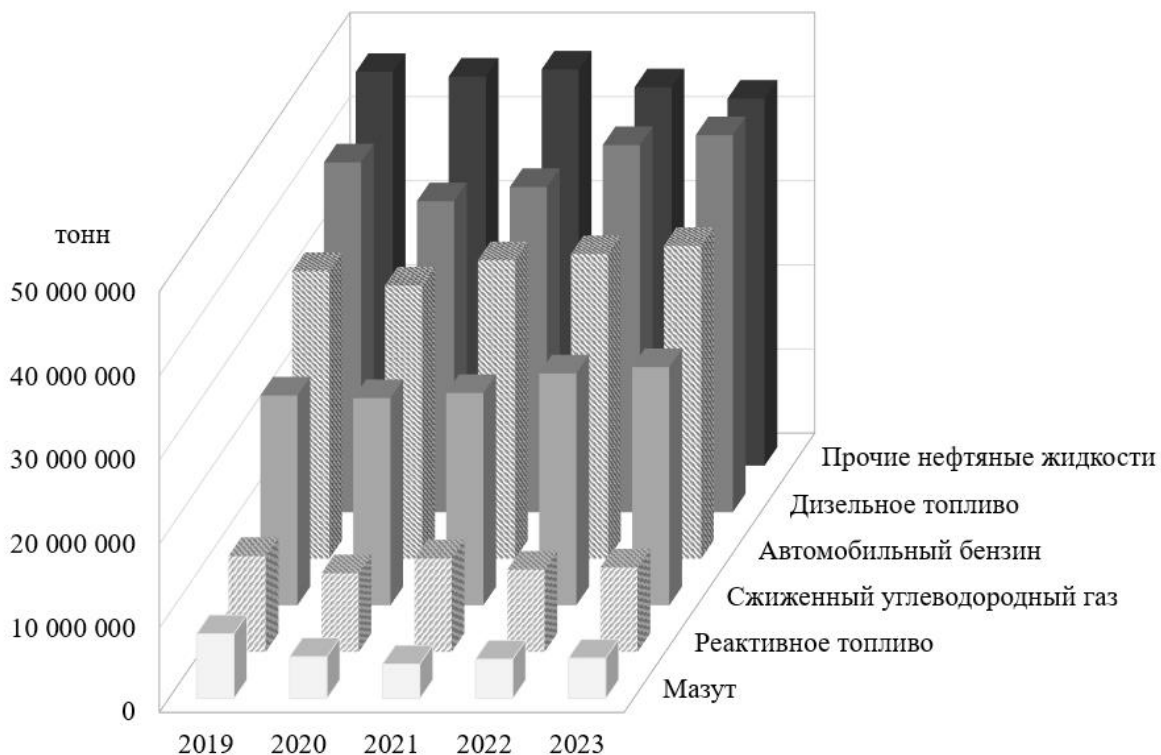
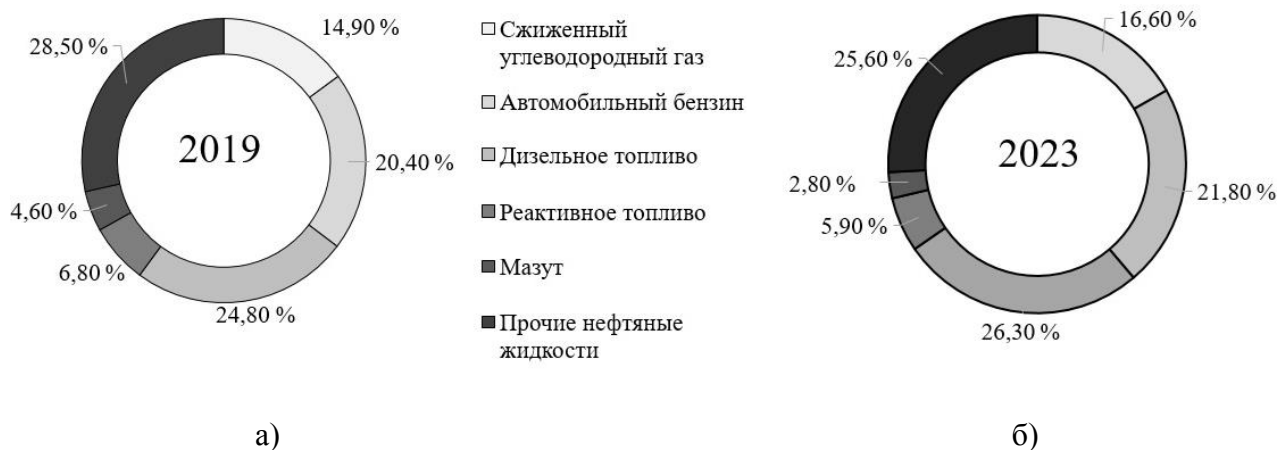


Рисунок 1 – Динамика структуры потребления моторных топлив (2019–2023 гг.)



а) 2019 год; б) 2023 год

Рисунок 2 – Профиль распределения долей потребления нефтепродуктов в России

Сравнительный анализ эксплуатационных характеристик бензиновых ДВС и систем, переведенных на питание СУГ, выявляет комплексное влияние альтернативного топлива на технико-экономические показатели АТС (таблица 1) [8, 9]. Ключевые изменения перевода бензинового ДВС на питание СУГ затрагивают три аспекта [8]:

1. Экологический эффект. Наиболее значимое преимущество СУГ – радикальное снижение вредных выбросов: оксид углерода CO сокращается в 3–4 раза, что особенно важно

для городского транспорта; оксиды азота NO_x уменьшаются вдвое, снижая вклад в образование смога, углеводороды C_mH_n снижаются в 4 раза, минимизируя канцерогенные риски.

2. Ресурсные показатели. Увеличение межремонтного пробега АТС в 1,4–2 раза обусловлено отсутствием разжижения моторного масла топливом, более «чистым» сгоранием без сажевых отложений, сниженной коррозионной активностью газа.

3. Экономическая целесообразность. Несмотря на потери мощности на 5–8 % и рост трудозатрат на техническое обслуживание (ТО) на 3–5 % суммарная экономия достигает 20–30 % за счет низкой стоимости СУГ, удлинённых сервисных интервалов и повышенного ресурса деталей ДВС.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики двигателей на бензине и СУГ

Параметр		Бензин	СУГ	Изменения при переходе на СУГ	Примечания
Температурный диапазон холодного пуска		До −20 °С в базовом оснащении	До −5 °С	Ограничение холодного пуска	Требуется подогрев
Мощность ДВС		100 %	92–95 %	Снижение на 5–8 %	Из-за меньшей энергоплотности СУГ
Максимальная мощность ДВС		100 %	93–95 %	Падение на 5–7 %	При стандартной степени сжатия
Выбросы	CO	Базовый уровень	В 3–4 раза ниже	Улучшение	При корректной настройке системы
	NO _x		В 1,2–2 раза ниже		
	C _m H _n		В 1,2–4 раза ниже		
Ресурс моторного масла		1 межсервисный интервал	1,5–2 межсервисных интервала	Увеличение	Нет разжижения топливом
Межремонтный пробег		1	1,4–2	Увеличение	Меньший износ ЦПГ и свечей
Затраты на ТО		Базовый уровень	увеличение на 3–5 %	Увеличение	Компенсируется увеличенными интервалами

При этом следует учитывать, что более низкая энергоэффективность СУГ, которая проявляется в повышенном расходе на 10–20 % относительно бензина, компенсируется его меньшей стоимостью и умеренными затратами на переоборудование существующих бензиновых ДВС.

Экономическая целесообразность перевода АТ на питание СУГ подтверждается значительным снижением эксплуатационных затрат – в ряде случаев на 35–50 %. Однако степень экономии варьируется в зависимости от стоимости топлив, особенностей ДВС и условий эксплуатации АТС. Данные показатели, в совокупности с экологическими и ресурсными преимуществами, подтверждают перспективность широкого внедрения СУГ. Кроме того, еще одним преимуществом АТС, работающих на СУГ, является то, что после израсходования газа можно быстро перейти на полноценную работу ДВС на бензине, что важно в условиях недостаточно развитой заправочной инфраструктуры.

В сравнении с традиционным дизельным топливом СУГ демонстрирует значительно более низкий уровень вредных выбросов с отработавшими газами АТС: содержание твердых частиц (С) ниже на 90 %, выбросы оксидов азота (NO_x) – на 90 %, углекислого газа (CO_2) –

на 60 % [9]. Эти показатели делают СУГ важным инструментом в борьбе с загрязнением воздуха, а также позволяют существенно сократить углеродный след. Отметим важное преимущество СУГ – его экологическую безопасность для окружающей среды: в случае утечки газ не растворяется в воде и не просачивается в грунт, что исключает риск загрязнения почвы и грунтовых вод.

Для полноценного перехода на СУГ требуется преодолеть ряд инфраструктурных ограничений, включая необходимость оснащения АТС дополнительным оборудованием и неравномерное распределение заправочных станций между регионами. Хотя инфраструктурные ограничения остаются существенными, позитивные изменения уже осуществляются, в том числе и на региональном уровне. В частности, значительный прогресс в развитии газозаправочной сети демонстрирует Дальний Восток. Так, в 2024 году в Дальневосточном федеральном округе введено четыре новые автомобильные газозаправочные станции (АГЗС) (общее число – 12), с планами постройки еще 12 в Амурской области, ЕАО и Якутии [10]. Завершенное строительство газохранилища в Уссурийске (объем 200 м³) обеспечит стабильность поставок для растущего парка газомоторных АТС. Эти инфраструктурные изменения приобретают особую значимость в свете прогнозируемого роста производства СУГ в России на 65 % (до 24 млн тонн к 2030 году) [10]. Однако для полной реализации потенциала ГМТ требуется ускоренное расширение сети АГЗС и внедрение мер государственной поддержки и стимулирования перевода коммерческого транспорта на СУГ.

Для крупнотоннажных грузовых АТС (полной массой свыше 16 тонн), спецтехники и городских автобусов оптимальным решением выступает компримированный природный газ, основу которого составляет метан.

По данным [11], в 2025 году Россия сохраняет второе место в мире по объему добычи природного газа – 617,83 млрд м³ в год. При этом, согласно [12], наша страна обладает крупнейшими в мире подтвержденными запасами этого ресурса – 47,8 трлн м³ (по состоянию на 1 января 2024 года). Добыча природного газа в РФ, по данным Росстата, в 2023 году составила 638 млрд м³ [13].

Учитывая значительные запасы газа, перевод АТ на питание КПП выглядит логичным шагом, особенно для коммерческого транспорта и общественных перевозок.

По энергетическим параметрам 1 м³ метана эквивалентен 1 л бензина. Его ключевыми преимуществами являются экологичность (выбросы СО снижаются в 3–4 раза, NO_x – в 1,2–2,0; C_mH_n – в 1,2–1,4 раза) [14] и доступность ресурсной базы (запасы природного газа в России вдвое превышают нефтяные).

Экологические преимущества КПП обусловлены максимальным содержанием водорода на один атом углерода в молекуле метана и особенностями сгорания последнего (высокая теплопроводность, широкие пределы воспламеняемости, низкое содержание токсичных компонентов в отработавших газах), вследствие чего происходит более полное сгорание КПП в цилиндрах ДВС, чем СУГ и бензина. При этом высокая детонационная стойкость метана допускает форсирование ДВС по степени сжатия (в пределах 9,5–10,5 единиц) [8].

Анализ динамики развития рынка КПП по данным мониторинга ПМЭФ-2025 [15] свидетельствует о формировании устойчивой положительной тенденции. Наиболее показательным является опыт Санкт-Петербурга, где зафиксирована максимальная концентрация АТС, работающих на КПП, – 3 124 единицы пассажирского транспорта, что соответствует 18,7 % общероссийского парка газомоторной техники по состоянию на конец 2024 года.

Заслуживает внимания комплексный подход, реализованный в Ленинградской области, включающий системную модернизацию парка специализированной техники предприятий ЖКХ; создание логистических центров, ориентированных на использование ГМТ; разработку и внедрение региональных экологических стандартов.

Региональная дифференциация показателей развития рынка КПП проявляется в следующих аспектах [15]:

- Ростовская область демонстрирует максимальные абсолютные значения прироста парка газомоторной техники на 427 единиц по данным за отчетный период;
- Республика Башкортостан выделяется наиболее интенсивными темпами развития заправочной инфраструктуры (прирост на 23 %);
- Сахалинская область характеризуется наилучшими результатами по соотношению количества АТС на КПП к численности населения.

Экологические аспекты применения КПП и СУГ принципиально отличаются от традиционных нефтепродуктов. Современные методы экологической оценки позволили определить совокупную экологическую опасность вредных выбросов с отработавшими газами АТС на окружающую среду и здоровье населения с учетом трех ключевых параметров [16]: концентрации вредных веществ, уровня токсичности составляющих отработавших газов и класса опасности соединений.

Посредством интегрального показателя экологической опасности выполнено объективное сравнение различных видов топлива (рисунок 3). Показатель нормирован относительно КПП – топлива, демонстрирующего наименьший уровень экологической опасности среди представленных видов моторного топлива, получивших коммерческое распространение. Данные для этилированного бензина приведены в качестве исторической справки.

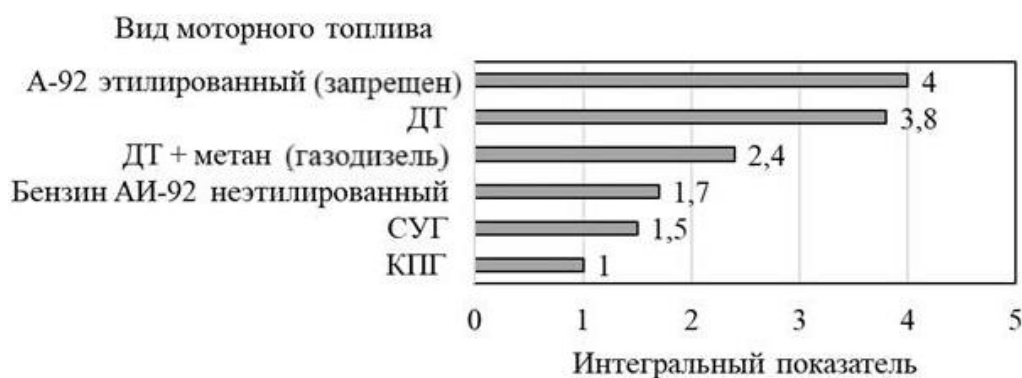


Рисунок 3 – Сравнение экологической опасности моторных топлив посредством безразмерного показателя

Как видно из рисунка 3, обладая значительными экологическими преимуществами перед традиционными бензинами и дизельными топливами, СУГ несколько уступает КПП по показателям экологичности. Особенно наглядно это проявляется при сравнении с запрещенным в РФ этилированным бензином, который демонстрирует максимальные значения опасности. Газодизельные смеси занимают промежуточное положение между чистыми газовыми видами топлива и традиционными нефтепродуктами. При работе на газодизельной смеси дымность отработавших газов газодизельного ДВС в режиме свободного ускорения в 2–4 раза ниже по сравнению с работой на дизельном топливе [14]. Такие различия объясняются особенностями химического состава и процесса сгорания топлив, что делает ГМТ перспективным направлением для экологизации АТ.

Исследования [17] также подтверждают экологический эффект от применения КПП: использование бедных газозводушных смесей с избытком кислорода позволяет достичь следующих значительных показателей:

- практически исключить образование продуктов неполного сгорания;
- снизить выбросы NO_x в 1,5–2 раза по сравнению с бензиновыми смесями;
- уменьшить эмиссию CO в 5–10 раз;
- сократить выбросы C_mH_n в 2–3 раза;
- уменьшить объем CO_2 на 13 %.

Такие особенности делают КПП наиболее экологически безопасным вариантом среди

традиционных моторных топлив. Однако широкое распространение КПГ затрудняют технические особенности (крупногабаритные газовые баллоны), ограниченный запас хода, требующий частой дозаправки топливом, недостаточно развитая заправочная инфраструктура сети автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) по стране в целом.

Среди альтернативных видов моторного топлива наиболее перспективным решением для магистральных перевозок и специализированной техники выступает СПГ – сжиженный природный газ, искусственно переведенный в жидкое состояние для удобства хранения и транспортировки. Вследствие того, что температура кипения основного компонента СПГ, метана, составляет $-158...-161,5$ °С [8], для его хранения требуются специализированные криогенные резервуары с высокоэффективной вакуумно-многослойной изоляцией, обеспечивающей минимальный приток тепла.

Хотя СПГ и КПГ являются формами хранения метана, между ними есть существенные различия (таблица 2). СПГ превосходит КПГ по компактности хранения: масса системы снижается в 3–4 раза, объем – в 1,5–3 раза, что обусловлено переходом газа в жидкую фазу при криогенных температурах. Благодаря высокой энергетической плотности в жидком состоянии (до 600 кг/м³ против 200 кг/м³ для КПГ), СПГ позволяет увеличить запас хода АТС в 2 раза при сопоставимых габаритах топливных баков и равном объеме топлива. Несмотря на то, что производство и хранение КПГ дешевле, СПГ эффективнее для коммерческого транспорта, обеспечивая экономию пространства и увеличенную автономность.

Таблица 2 – Сравнение СПГ и КПГ для автомобильного транспорта

Критерий	Компримированный природный газ	Сжиженный природный газ
Агрегатное состояние	Газообразное под высоким давлением	Жидкое при сверхнизкой температуре (-162 °С)
Давление хранения	До 250 кгс/см ²	$10-20$ кгс/см ² (низкое)
Требования к хранению	Прочные баллоны, выдерживающие высокое давление	Криогенные резервуары, теплоизоляция
Энергоемкость	Меньшая (требует большего объема)	Выше (в 2 раза больше пробега при том же объеме)
Габариты и масса топливной системы	Тяжелые и объемные баллоны	Компактные и легкие баки
Экологичность	Стандартная очистка газа	Более глубокая очистка перед сжижением
Стоимость производства и инфраструктуры	Дешевле (нет сложного охлаждения)	Дороже (криогенные технологии)
Применение	Локальный транспорт, легковые АТС	Дальнобойные грузовые АТС

Природный газ обладает высокой энергоэффективностью: его теплотворная способность (около 48 МДж/кг) практически не уступает дизельному топливу (51 МДж/кг) [18]. Энергетический эквивалент 1 м³ КПГ равен $0,78$ л дизельного топлива, а 1 л СПГ равен $0,47$ л дизельного топлива.

Современные экологические требования акцентируют внимание на снижении выбросов парниковых газов и токсичности выхлопов. По европейским исследованиям, использование СПГ в тяжелых грузовых АТС обеспечивает значительное сокращение вредных выбросов при эксплуатации в смешанном цикле движения: NO_x – с 122 до 38 г/100 км, CO_2 – с 93 до 82 кг/100 км (снижение на $10-12$ %), сажа – практически до нуля [18]. Основной экологиче-

ский эффект: уменьшение дымности, снижение углеродного следа, соответствие строгим экологическим стандартам. Таким образом, СПГ демонстрирует существенные преимущества перед дизельным топливом с точки зрения экологии.

Формирование сети криогенных автозаправочных станций (криоАЗС) в России происходит относительно медленными темпами, что пока не позволяет говорить о создании условий для массового перехода транспорта на СПГ-топливо. Характерно, что данный сегмент развивается преимущественно за счет частного капитала [19], в отличие от традиционных АЗС, где значительная доля принадлежит государственным компаниям. Такой подход, хотя и соответствует мировой практике частного финансирования СПГ-инфраструктуры, в российских условиях приводит к ограниченным темпам ее расширения.

По данным [20], компания «НОВАТЭК-СПГ топливо» – основной оператор на этом рынке – в настоящее время эксплуатирует лишь 15 криоАЗС. Согласно заявленным планам, к 2026 году их количество должно увеличиться до 36, а в перспективе – до 54 станций, преимущественно в Южном, Центральном и Уральском федеральных округах. Однако даже при полной реализации этих планов создаваемая инфраструктура останется недостаточной для формирования национальной сети, учитывая территориальные масштабы страны.

Факторы, сдерживающие развитие СПГ на автотранспорте [19]:

- высокая стоимость криогенного оборудования (криоАЗС, транспортные цистерны);
- технологические сложности, связанные с длительным хранением и заправкой сверхохлажденного топлива;
- повышенные требования к безопасности эксплуатации СПГ-инфраструктуры;
- слабая законодательная база – отсутствие четких норм и стимулов для использования СПГ;
- недостаточная ценовая разница с дизельным топливом – СПГ должен быть дешевле на 25–75 %, чтобы быть экономически выгодным;
- ограниченная дилерская сеть – незначительное количество точек продаж техники на СПГ из-за низкого спроса;
- проблемы перевода существующего автопарка на питание СПГ – технические ограничения и высокий износ АТ;
- нехватка сервисных центров – сложности с ТО газомоторной техники;
- неразвитая заправочная инфраструктура – ключевой барьер, так как потребители готовы переходить на СПГ только при наличии доступных заправок;
- монополизация заправочной инфраструктуры – доминирование ограниченного количества компаний, отсутствие рыночного ценообразования и трудности для новых участников.

С позиций технологической реализации процесс использования СПГ сопряжен с большими техническими сложностями в сравнении с КПГ и СУГ, что связано с особенностями его криогенного хранения и транспортировки. Тем не менее, в условиях глобального энергетического перехода СПГ приобретает ключевое значение как экологичное альтернативное топливо, способствующее решению задач энергобезопасности и реализации программ декарбонизации экономики.

Применение ГМТ на АТ является одной из важнейших государственных проблем, связанных с необходимостью сбережения топлив нефтяного происхождения. Анализ российских энергетических ресурсов и транспортной инфраструктуры показывает, что газовое топливо обладает наибольшим потенциалом для массового внедрения в качестве альтернативы традиционным нефтепродуктам. Различные виды ГМТ обладают уникальными эксплуатационными свойствами, которые определяют их преимущества и недостатки при использовании на АТ. Важно подчеркнуть, что между СПГ, КПГ и СУГ не существует конкурентного противостояния – каждый вид топлива занимает свою оптимальную нишу применения в зависимости от специфики потребительского сегмента, демонстрируя дифференцированный потенциал по

снижению вредных выбросов автомобилями, что коррелирует с задачами декарбонизации отрасли.

СУГ – наиболее распространенное решение в сегменте легкового и легкого коммерческого транспорта, для полной реализации потенциала которого требуется решение проблем холодного пуска и ускоренное развитие заправочной инфраструктуры, особенно в регионах.

КПГ – экологически эффективное решение для городского пассажирского транспорта и коммунальной техники. Благодаря совершенствованию композитных баллонов нового поколения, а также расширению сети АГНКС, КПГ продолжает набирать популярность в коммерческом транспорте.

Сжиженный природный газ обладает наибольшим стратегическим потенциалом для тяжелого и магистрального автотранспорта, предлагая существенные преимущества по энергетической плотности и дальности пробега. Однако его широкое внедрение сдерживается высокой капиталоемкостью криогенной инфраструктуры и технологическими сложностями хранения топлива.

Эффективное внедрение ГМТ требует реализации комплексной программы, включающей:

- дифференцированную государственную поддержку;
- гармонизацию нормативно-технической базы;
- развитие сопутствующей инфраструктуры;
- стимулирование научных исследований в области совершенствования технологий хранения и использования ГМТ.

Выводы

Проведенное исследование подтверждает высокий потенциал газомоторного топлива в качестве ключевого фактора диверсификации топливной базы автомобильного транспорта России.

Установлено, что различные виды ГМТ (СУГ, КПГ, СПГ) функционально дополняют друг друга, формируя мультитопливную систему. Каждый тип топлива занимает экономически целесообразную нишу в зависимости от типа транспортных средств и условий эксплуатации.

Экономическое обоснование перехода на ГМТ является комплексным. На микроуровне оно подтверждается значительным снижением эксплуатационных затрат для конечных потребителей (за счет разницы в стоимости топлива и увеличенного ресурса агрегатов), что обеспечивает окупаемость инвестиций в переоборудование в среднесрочной перспективе.

На макроуровне ключевым аргументом является сохранение дефицитных нефтяных ресурсов и снижение зависимости от конъюнктуры мирового нефтяного рынка. Это позволяет перенаправить нефть в высокотехнологичные и высокомаржинальные отрасли, повышая устойчивость экономики.

Для успешной реализации этого перехода необходима реализация комплексной государственной программы, включающей меры инфраструктурной и экономической поддержки, что позволит обеспечить плавный переход к более устойчивой модели топливообеспечения без дестабилизирующих последствий для экономики.

Список литературы

1. О проблеме истощения мировых запасов нефти / Д. Л. Рахманкулов, С. В. Николаева, Ф. Н. Латыпова, Ф. Ш. Вильданов // Башкирский химический журнал. – 2008. – Т. 15, № 2. – С. 5–35. – EDN KALZSZ. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_11902449_14311807.pdf (дата обращения: 19.06.2025).
2. Степанов, Г. Нефть близка к кончине / Г. Степанов. – Май/23. – 2025. – Текст : электронный // Pressa.ru : [сайт]. – URL: <https://pressa.ru/ru/top10/detail/neft-blizka-k-konchine-26540#/> (дата обращения: 19.06.2025).
3. Сытник, Е. С. Характеристика автомобильного транспорта как искусственного источника загрязнения окружающей среды / Е. С. Сытник. – Текст : электронный // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2023 : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. (заочно-дистанционная) в рамках 9-го Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы

- Донбасса: инфраструктурное и социально-экономическое развитие», Горловка, 25 мая 2023 г. – Горловка : АДИ ДонНТУ, 2023. – С. 96–101. – EDN XRJLIX. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54656668> (дата обращения: 19.06.2025).
4. Развитие рынка газомоторного топлива – в числе стратегических целей, поставленных Президентом и Правительством РФ. – Текст : электронный // Государственная Дума : [сайт]. – URL: <http://duma.gov.ru/news/61694/> (дата обращения: 20.06.2025).
 5. Потребление нефтепродуктов по видам : Россия : 2023 : [статистические данные]. – Текст : электронный // Statbase : [сайт]. – URL: <https://statbase.ru/data/rus-petroleum-products-consumtion/> (дата обращения: 20.06.2024).
 6. Производство СУГ в России выросло с 15,8 млн тонн в 2019 г. до 17,8 млн тонн в 2024 г. / CREON Group. – Текст : электронный // Дзен : [блог-платформа]. – 2024. – 22 мая. – URL: <https://dzen.ru/a/aC8jzSULO2OTnWSh> (дата обращения: 23.07.2025).
 7. В 2023 году на долю автотранспорта пришлось 33 % потребления СУГ в РФ. – 25.06.2024. – Текст : электронный // RCC : новости и обзоры нефтегазохимической отрасли : [сайт]. – URL: <http://rcc.ru/article/v-2023-godu-na-dolyu-avtotransporta-prihodilos-33-potrebleniya-sug-v-rf-104401> (дата обращения: 20.06.2025).
 8. Васильева, Л. С. Эксплуатационные материалы для подвижного состава автомобильного транспорта / Л. С. Васильева. – Москва : Наука, 2014. – 423 с. – ISBN 978-5-02-039130-7.
 9. Сжиженный углеводородный газ (СУГ), сжиженный нефтяной газ (СНГ). – 03.11.2012. – Текст : электронный // Neftegaz.RU : [сайт]. – URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/energoresursy-toplivo/141734-szhizhenny-uglevodorodnyy-gaz-sug-szhizhenny-neftyanyy-gaz-sng/> (дата обращения: 15.06.2025).
 10. «Трансгаз» развивает в ДФО технологии газификации транспорта. – Текст : электронный // Рамблер/личные финансы : [сайт]. – 03.09.2024. – URL: <https://finance.rambler.ru/economics/53349786-transgaz-razvivaet-v-dfo-tehnologii-gazifikatsii-transporta-i-avtonomnyh-obektov/> (дата обращения: 20.06.2025).
 11. Natural Gas Production by Country (2024). – Текст : электронный // Global Firepower : [сайт]. – URL: <https://www.globalfirepower.com/natural-gas-production-by-country.php> (дата обращения: 20.06.2025).
 12. Кондратов, Д. Российский газ против американского : каковы перспективы добычи природного газа в России / Д. Кондратов. – 12.04.2024. – Текст : электронный // ИНОДОТЕК : [сайт]. – URL: <https://itek.ru/analytics/rossijskij-gaz-protiv-amerikanskogo/> (дата обращения: 20.06.2025).
 13. Росстат оценил добычу газа в России в 2023 г. в 638 млрд кубометров : экономика. – 31.01.2024. – Текст : электронный // Интерфакс : [сайт]. – URL: <https://www.interfax.ru/business/943942> (дата обращения: 20.06.2025).
 14. Морев, А. И. Эксплуатация и использование газобаллонных автомобилей / А. И. Морев, В. И. Ерохов. – Москва : Транспорт, 1988. – 184 с.
 15. Краев, В. На ПМЭФ презентовали рейтинг регионов по уровню развития рынка газомоторного топлива / В. Краев. – Текст : электронный // Российская газета. – 2025. – 20 июня. – URL: <https://rg.ru/2025/06/20/na-pmef-prezentovali-rejting-regionov-po-urovniu-razvitiia-rynka-gazomotornogo-topliva.html> (дата обращения: 23.07.2025).
 16. Коротков, М. В. Сравнительный анализ использования КПП и СУГ в качестве моторного топлива. Продуктовая конкуренция или взаимное дополнение? / М. В. Коротков. – Текст : электронный // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 2(56). – С. 7–20. – EDN YUNIBX. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29452649> (дата обращения: 20.06.2025).
 17. Перспективы и риски перевода автомобильного транспорта на газомоторное топливо / И. В. Макарова, Р. Г. Хабибуллин, Л. М. Габсалихова, И. И. Валиев. – Текст : электронный // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10–6. – С. 1209–1214. – EDN REEHRZ. – URL: <https://elibrary.ru/reehrz> (дата обращения: 20.06.2025).
 18. О применении сжиженного природного газа (СПГ) в качестве моторного топлива : [аналитический обзор] / НПК «Ленпромавтоматика». – URL: <https://lenprom.spb.ru/upload/iblock/a60/%D0%A1%D0%9F%D0%93%D0%81%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D> (дата обращения: 05.07.2025). – Текст : электронный.
 19. Шестаков, Р. А. Крио-АЗС: российские и зарубежные технологии : газоподготовка / Р. А. Шестаков, Л. А. Мкртчян. – 11.04.2022. – Текст : электронный // Neftegaz.RU : [сайт]. – URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/gazopodgotovka/733446-krio-azs-rossiyskie-i-zarubezhnye-tehnologii/> (дата обращения: 05.07.2025).
 20. Шевченко, А. НОВАТЭК-СПГ Топливо планирует увеличить сеть криоАЗС до 54 станций : заправочные станции (АЗС, АГНКС, ТЗК, Бункеровка) / А. Шевченко. – 09.11.2024. – Текст : электронный // Neftegaz.RU : [сайт]. – URL: <https://neftegaz.ru/news/gas-stations/865360-novatek-spg-toplivo-planiruet-uvlichit-set-krioazs-do-54-stantsiy/> (дата обращения: 05.07.2025).

Е. С. Сытник, В. В. Борисов, Д. Р. Федоров, А. В. Васильченко, Н. А. Романько, Д. Ю. Пащенко
Автомобильно-дорожный институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Донецкий национальный технический университет» в г. Горловка
Газомоторное топливо как фактор диверсификации топливной базы
автомобильного транспорта России

В условиях истощения запасов нефти и ужесточения экологических норм Россия сталкивается с необходимостью диверсификации топливного обеспечения автомобильного транспорта. Газомоторное топливо (ГМТ) рассматривается как перспективная альтернатива традиционным нефтепродуктам, способствующая снижению вредных выбросов и повышению энергетической устойчивости.

Цель исследования – комплексная оценка потенциала основных видов ГМТ – сжиженного углеводородного газа (СУГ), компримированного природного газа (КПГ) и сжиженного природного газа (СПГ) для возможностей диверсификации топливной базы автомобильного транспорта Российской Федерации.

Проведенный анализ позволил сделать вывод о четком функциональном распределении различных видов ГМТ в топливной системе автомобильного транспорта. СУГ, демонстрируя высокую экономическую эффективность и относительную простоту внедрения, в секторе легкового и легкого коммерческого транспорта требует развития заправочной инфраструктуры для полноценной реализации своего потенциала. КПГ, обладая существенными экологическими преимуществами, особенно востребован в сегменте городского транспорта, однако его массовому распространению препятствуют технические ограничения, ограниченный запас хода на одной заправке и недостаточное количество АГНКС. СПГ наиболее эффективен для магистральных перевозок, но дефицит криоАЗС и высокая стоимость создания криогенной инфраструктуры остается основным сдерживающим фактором для масштабного внедрения.

Особое место в исследовании занимает сравнительный анализ эксплуатационных характеристик двигателей, работающих на разных видах топлива, который дополняется подробной оценкой экологических параметров.

Методологическая основа исследования включает комплексный статистический анализ, сравнительную оценку технико-экономических показателей и детальный анализ экологической эффективности. Выводы работы подкреплены конкретными цифровыми данными и статистическими выкладками, что позволило составить объективную картину текущего состояния и перспектив развития газомоторного топлива в России.

Результаты подтверждают, что каждый вид ГМТ занимает свою нишу в топливном балансе автомобильного транспорта, а их комплексное внедрение способно обеспечить плавный переход к более устойчивой и экологичной модели топливообеспечения.

ГАЗОМОТОРНОЕ ТОПЛИВО, ДИВЕРСИФИКАЦИЯ, ТОПЛИВНАЯ БАЗА, АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ, СЖИЖЕННЫЙ УГЛЕВОДОРОДНЫЙ ГАЗ, КОМПРИМИРОВАННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ, СЖИЖЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ, ЭКОЛОГИЧНОСТЬ, ДЕКАРБОНИЗАЦИЯ, ИНФРАСТРУКТУРА

E. S. Sytnik, V. V. Borisov, D. R. Fedorov, A. V. Vasilchenko, N. A. Romanko, D. Iu. Pashchenko
Automobile and Road Institute (Branch) of the Federal State Budget Educational Institution
of Higher Education «Donetsk National Technical University» in Gorlovka
Gas Motor Fuel as a Factor in Diversifying the Fuel Base of Russian Automobile Transport

In the context of depleted oil reserves and tightening environmental regulations, Russia is faced with the need to diversify fuel supplies for motor transport. Natural gas motor fuel (NMF) is considered a promising alternative to traditional petroleum products, helping to reduce harmful emissions and increase energy sustainability.

The aim of the study is a comprehensive assessment of the potential of the main types of NMF – liquefied petroleum gas (LPG), compressed natural gas (CNG) and liquefied natural gas (LNG) – for the possibilities of diversifying the fuel base of motor transport in the Russian Federation.

The conducted analysis allowed us to draw a conclusion about a clear functional distribution of different types of natural gas-motor fuel in the fuel system of motor vehicles. LPG, demonstrating high economic efficiency and relative ease of implementation in the passenger and light commercial transport sector, requires the development of filling infrastructure to fully realize its potential. CNG, with its significant environmental benefits, is especially in demand in the urban transport segment, but its mass distribution is hampered by technical limitations, limited range on one filling and an insufficient number of CNG filling stations. LNG is most effective for long-haul transportation, but the shortage of cryogenic filling stations and the high cost of creating cryogenic infrastructure remain the main restraining factor for its large-scale implementation.

A special place in the study is occupied by a comparative analysis of the performance characteristics of engines running on different types of fuel, which is supplemented by a detailed assessment of environmental parameters.

The methodological basis of the study includes a comprehensive statistical analysis, a comparative assessment of technical and economic indicators and a detailed analysis of environmental efficiency. The conclusions of the work are supported by specific digital data and statistical calculations, which made it possible to create an objective picture of the current state and prospects for the development of natural gas motor fuel in Russia.

The results confirm that each type of LNG fuel occupies its own niche in the fuel balance of motor vehicles, and their comprehensive implementation can ensure a smooth transition to a more sustainable and environmentally friendly fuel supply model.

NATURAL GAS MOTOR FUEL, DIVERSIFICATION, FUEL BASE, AUTOMOBILE TRANSPORT, LIQUEFIED PETROLEUM GAS, COMPRESSED NATURAL GAS, LIQUEFIED NATURAL GAS, ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS, DECARBONIZATION, INFRASTRUCTURE

Сведения об авторах:

Е. С. Сытник

SPIN-код РИНЦ: 2595-6775
 AutorID: 1209280
 Телефон: +7 949 720-59-57
 Эл. почта: ess007@bk.ru

В. В. Борисов

Телефон: +7 949 369-83-95
 Эл. почта: vlad-borisov02@mail.ru

Д. Р. Федоров

Телефон: +7 949 497-13-65
 Эл. почта: ess007@bk.ru

А. В. Васильченко

Телефон: +7 949 342-28-27
 Эл. почта: vav.21@bk.ru

Н. А. Романько

Телефон: +7 949 303-91-57
 Эл. почта: ess007@bk.ru

Д. Ю. Пащенко

Телефон: +7 949 314-09-10
 Эл. почта: andr_e@mail.ru

Статья поступила 21.07.2025

© Е. С. Сытник, В. В. Борисов, Д. Р. Федоров, А. В. Васильченко, Н. А. Романько, Д. Ю. Пащенко, 2025

*Рецензент: С. В. Никульшин, канд. техн. наук, доц.,
 Автомобильно-дорожный институт
 (филиал) ДонНТУ в г. Горловка*