

УДК 338.47

© В. Ю. Хатков, начальник Департамента 817  
(ПАО «Газпром»  
Санкт-Петербург, Россия)  
E-mail: V.Khatkov@adm.gazprom.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-4-161-171

© V. Y. Khatkov, Head of Department 817  
(PJSC «Gazprom»,  
St. Petersburg, Russia)  
E-mail: V.Khatkov@adm.gazprom.ru

## **АНАЛИЗ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ГАЗОМОТОРНОГО РЫНКА В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНЫХ СЦЕНАРИЕВ «ЗЕЛЕННОГО ПЕРЕХОДА» ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ**

### **ANALYSIS OF STRATEGIC PROBLEMS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE GAS ENGINE MARKET IN THE CONTEXT OF VARIOUS SCENARIOS OF THE «GREEN TRANSITION» OF THE ENERGY SECTOR IN RUSSIA AND ABROAD**

В работе рассмотрены состояние и основные подходы к решению проблем снижения выбросов парниковых газов в мире и Российской Федерации с учетом возможных сценариев «зеленого перехода», стратегии низкоуглеродного развития России до 2050 г. и перспектив использования природного газа как моторного топлива. Целью данного исследования является анализ международных и российских подходов, а также инструментов регулирования выбросов парниковых газов. В исследовании были обобщены административно-технические и рыночные меры, используемые в мировой практике для снижения выбросов парниковых газов. Сделан вывод об актуальности исследований, направленных на изучение коммерческого потенциала использования природного газа с целью достижения планируемых показателей снижения выбросов парниковых газов. Результаты исследования открывают новое теоретическое направление в изучении проблем снижения выбросов парниковых газов.

*Ключевые слова:* газомоторный рынок, «зеленый энергопереход», энергетика, парниковый газ, углерод, энергоэффективность, декарбонизация, биотопливо, углеродный налог.

The paper considers the status and main approaches to solving the problems of reducing greenhouse gas emissions in the world and the Russian Federation, taking into account possible scenarios of the «green transition», the strategy of low-carbon development of Russia until 2050 and the prospects for using natural gas as a motor fuel. The purpose of this study is to analyze international and Russian approaches, as well as the tools for regulating greenhouse gas emissions. The study has summarized the administrative, technical and market measures used in the world practice to reduce greenhouse gas emissions. The conclusion is made about the relevance of research aimed at studying the commercial potential of using natural gas in order to achieve the planned indicators for reducing greenhouse gas emissions. The results of the study open up a new theoretical direction in the study of the problems of reducing greenhouse gas emissions.

*Keywords:* NGV market, «green transition», energy, greenhouse gas, carbon, energy efficiency, decarbonization, biofuels, carbon tax.

#### **Введение**

Повсеместный рост выбросов парниковых газов приводит, по заключению многих специалистов, к значительным климатическим изменениям, в том числе к росту среднегодовой температуры в большинстве регионов мира. Основную долю в этих выбросах составляет диоксид углерода (CO<sub>2</sub>), который является продуктом конечного окисления углеводородных топлив, используемых в промышленности и для генера-

ции энергии (тепловой, механической, электрической). Политика ограничения этих выбросов стала доминирующим императивом, который вносит существенный вклад в модернизацию мирового производства и экономики.

Россия участвует в международных соглашениях по вопросам климата и снижения выбросов парниковых газов. В частности, Российская Федерация является Стороной РКИК ООН (Федеральный закон от 4 ноября 1994 г. № 34-ФЗ

«О ратификации рамочной Конвенции ООН об изменении климата»), Киотского протокола (Федеральный закон от 4 ноября 2004 г. № 128-ФЗ «О ратификации Киотского протокола к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата») и Парижского соглашения (постановление Правительства Российской Федерации от 21 сентября 2019 г. № 1228 «О принятии Парижского соглашения»).

Для Российской Федерации характерен большой объем выбросов и значительный ресурс поглощения  $\text{CO}_2$  [1, 2] (рис. 1).

Структура вклада различных отраслей в общий объем выбросов парниковых газов в каждой стране мира имеет свою специфику. Выбросы парниковых газов в пересчете на  $\text{CO}_2$  по отраслям в Российской Федерации представлены согласно [2] на рис. 2. На долю транспорта приходится около 9,7 % всех выбросов, при этом не менее 97 % из них — на долю автомобильного транспорта.

#### Методы исследования

В статье применялся аналитический метод исследования, который заключался в рассмотрении основных подходов к решению проблем снижения выбросов парниковых газов в мире и Российской Федерации.

#### Результаты исследования

Для снижения выбросов парниковых газов используются административно-технические и экономические (рыночные) способы.

Экономические (рыночные) инструменты нацелены на создание стимулов снижения выбросов за счет использования инновационных технологий с меньшими выбросами, минимизации производств или потребления грязной (в отношении выбросов) продукции и включают:

- углеродные налоги (carbon tax);
- системы торговли квотами (emissions trading system) с установлением «потолка» выбросов (cap-and-trade) или определением базовых линий (baseline-and-credit);
- субсидии на сокращение выбросов;
- налог на грязную продукцию;
- субсидии на чистую продукцию.

Экономические (рыночные) инструменты (т. е. такие, которые создают фактическую «цену на углерод») считаются наиболее гибкими и эффективными. Это позволяет заложить в стоимость продукции те внешние издержки, которые экономике и обществу в целом придется понести для преодоления последствий выбросов, «монетизировав» тем самым урон окружающей среде.

К наиболее популярным инструментам относятся углеродные налоги и системы торговли квотами (СТК, emissions trading system, ETS). По состоянию на октябрь 2020 г. Всемирный банк насчитал 64 действующие или имеющие дату начала действия инициативы по углеродному ценообразованию [2]. Инициативы охватывают 46 национальных и 35 субнациональных

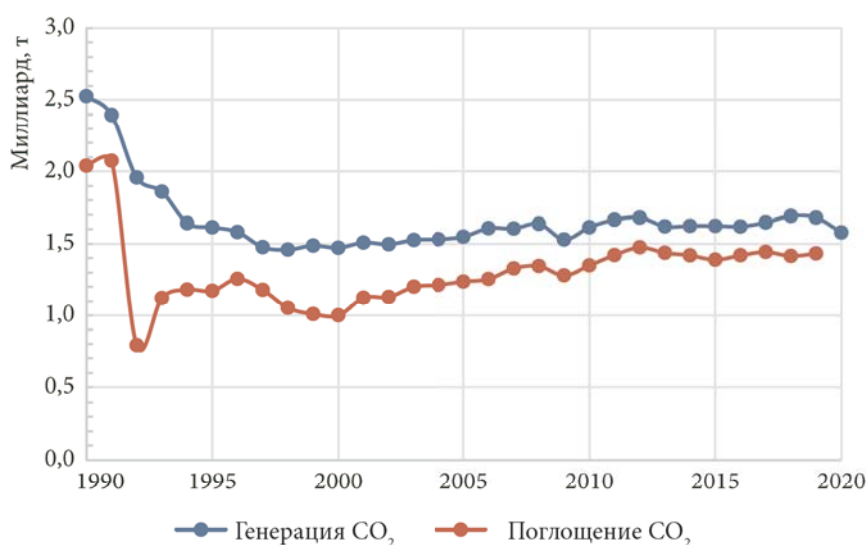


Рис. 1. Динамика генерации (производства) и поглощения  $\text{CO}_2$  в России

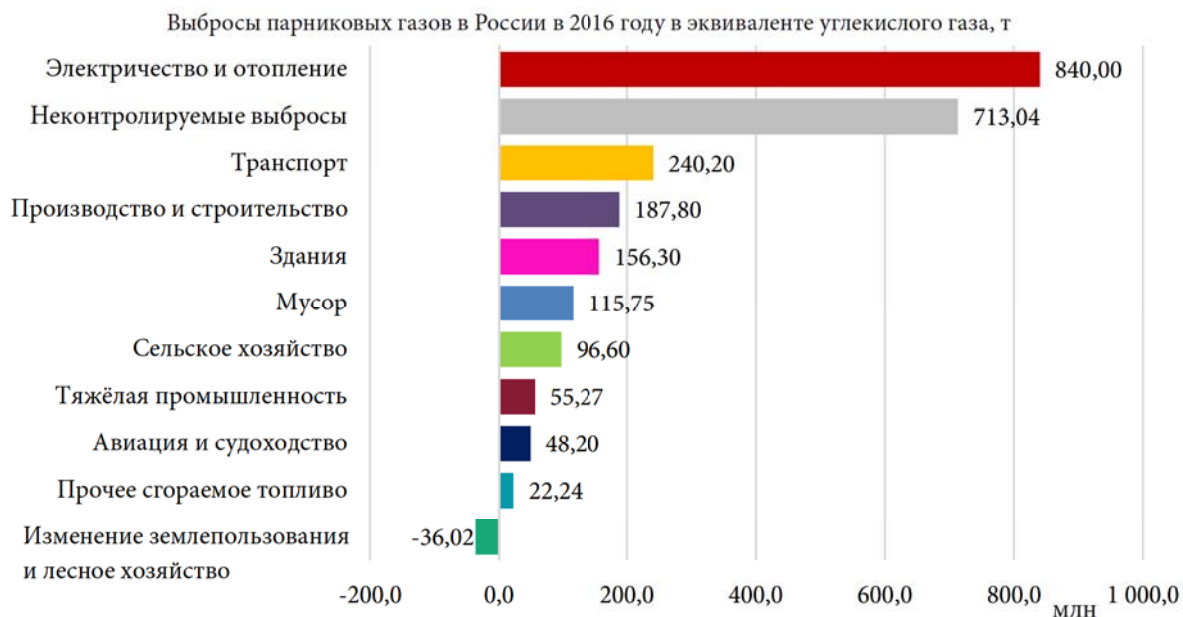


Рис. 2. Структура выбросов парниковых газов в России в эквиваленте углекислого газа

юрисдикций и покрывают 22,3 % глобальных выбросов парниковых газов (22 Гт  $\text{CO}_{2\text{-экв}}$ ).

В настоящее время складывается мировая торговля выбросами диоксид углерода. На рис. 3 [1] приведены доли диоксид углерода, вклю-

ченные в мировую торговлю. При этом их доля (экспортируемая или импортируемая) измеряется в процентах от выбросов внутреннего производства. Положительные значения (красные) представляют чистых импортеров  $\text{CO}_2$  (т. е. 20 %

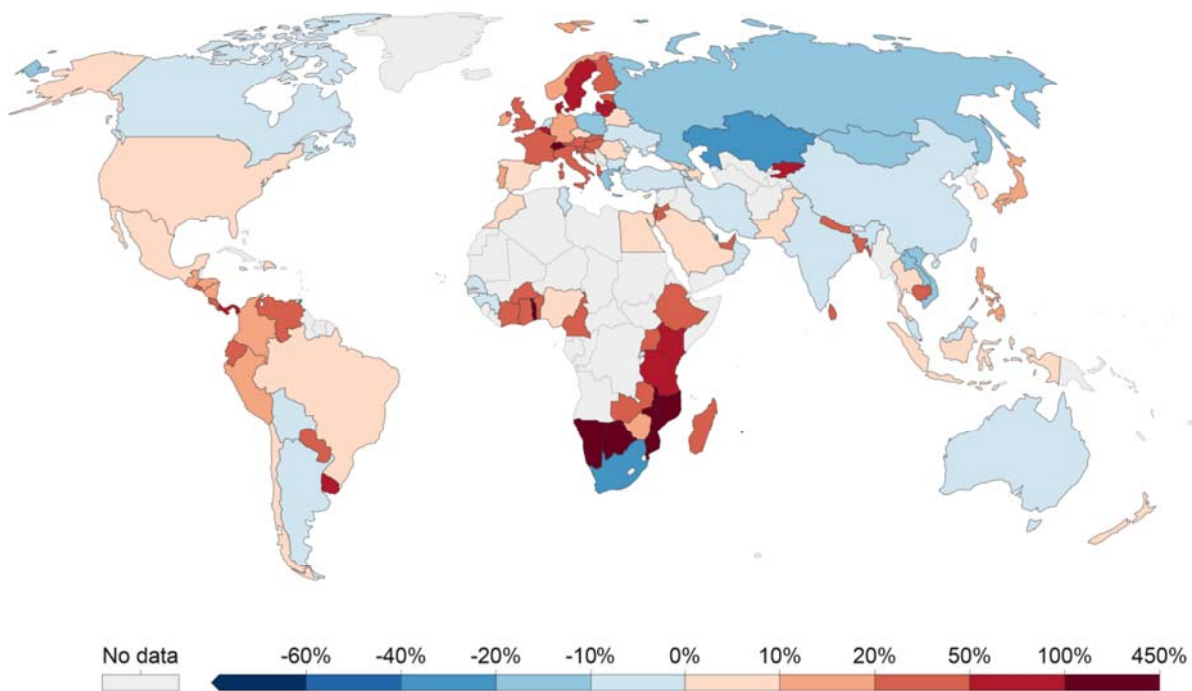


Рис. 3. Доля выбросов диоксид углерода, включенная в мировую торговлю в процентах от выбросов внутреннего производства в 2019 г.

означало бы, что страна импортировала выбросы, эквивалентные 20 % ее внутренних выбросов). Отрицательные значения (синие) представляют чистых экспортеров CO<sub>2</sub>, к которым относятся и Россия.

Каждая страна разрабатывает собственные подходы к решению задачи снижения выбросов парниковых газов (так называемый «зеленый переход») с учетом специфики ее индустрии, экономики, планов социально-экономического развития, внутренней и внешней политики. В частности, на рис. 4 структурно представлена климатическая политика Европейского союза [3].

Применительно к наземному транспорту нужно отметить, что начиная с 2025 г. в ряде стран ЕС будет полностью запрещена регистрация транспортных средств, использующих двигатели внутреннего сгорания в качестве силовой установки, работающей на углеводородном топливе. Эта политика предполагает также достижение 100-процентной климатической нейтральности во всех странах ЕС к 2050 г.

Применительно к автомобильному рынку регулирующие органы ужесточают правила вы-

бросов для грузовых автомобилей на дорогах на многих крупнейших мировых рынках (рис. 5) [3]. Начиная с 2030 г. регулирующие органы в Европе потребуют от производителей сократить выбросы CO<sub>2</sub> для новых грузовых автомобилей на дорогах на 30 % по сравнению с уровнем 2019 г.

В настоящее время в мире рассматриваются следующие основные сценарии глобального энергетического «зеленого» перехода [4, 5]:

- базовый инерционный сценарий, при котором страны ограничиваются базовыми национальными вкладами в сокращение парниковых эмиссий, предусмотренными Парижским соглашением;
- кооперативный сценарий, при котором все страны, включая Россию, вводят всеобщую «цену на углерод» (каждая страна свою);
- некооперативный инерционный сценарий 1, при котором «цену на углерод» вводят только страны — чистые импортеры топлива;
- некооперативный инерционный сценарий 2, при котором в дополнение к предыдущему вводятся еще и пограничные корректирующие

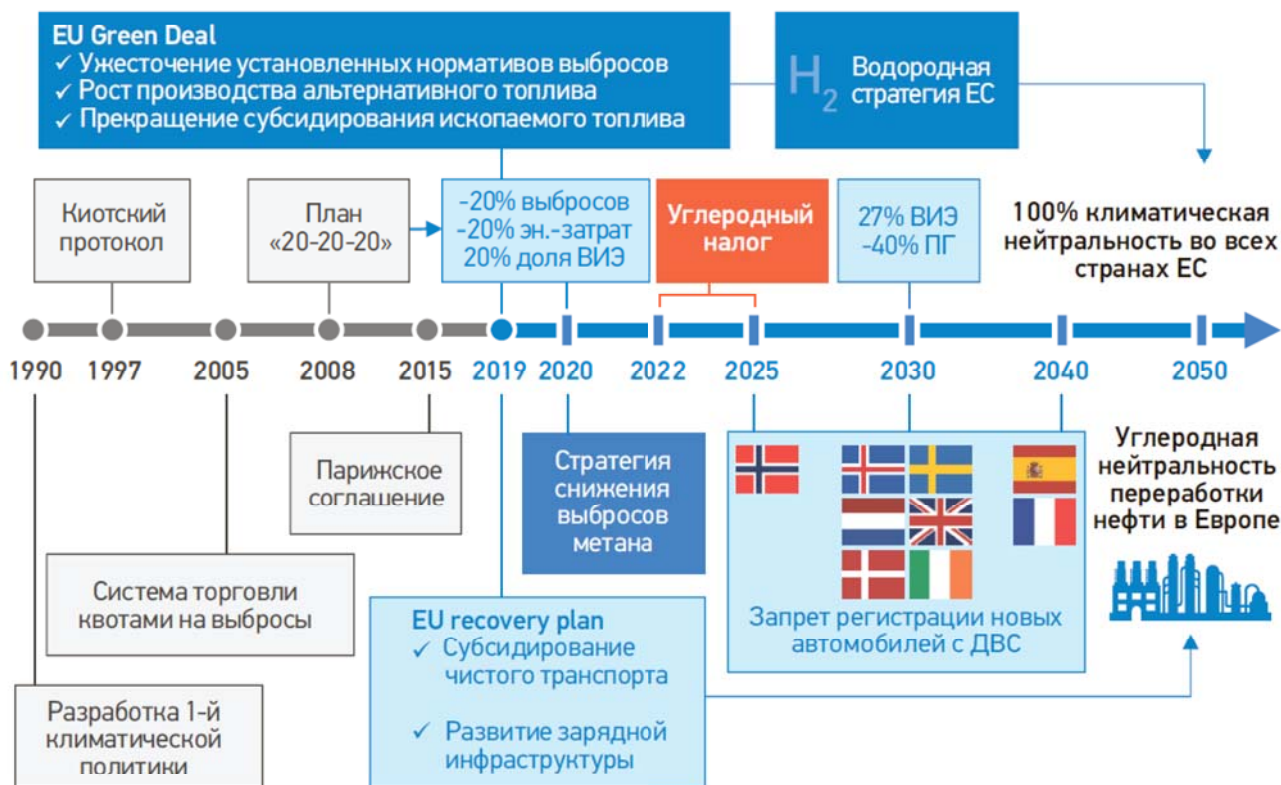


Рис. 4. Основные вехи климатической политики Европейского союза

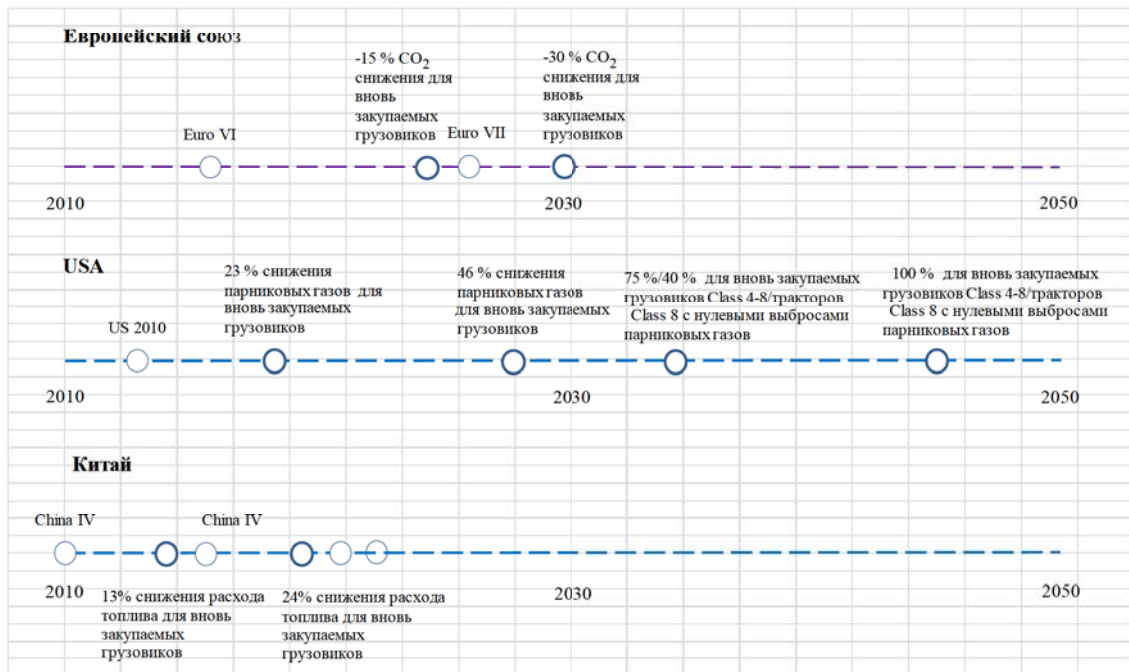


Рис. 5. График политики в отношении стандартов выбросов парниковых газов грузовиками

углеродные налоги на углеродоемкую продукцию из стран-экспортеров;

– дополнительный кооперативный сценарий, при котором страны мира не только вводят единую плату за углерод, но и устанавливают ее на высоком уровне, чтобы удержать рост глобальной температуры в пределах 1,5 °C по сравнению с доиндустриальной эпохой.

Рекомендация Всемирного банка применительно к РФ сводится к введению налога либо платных разрешений на углерод в отраслях с высокими парниковыми выбросами (топливно-энергетический комплекс, транспорт и крупные промышленные предприятия), на долю которых приходится 79 % всех выбросов [6, 7].

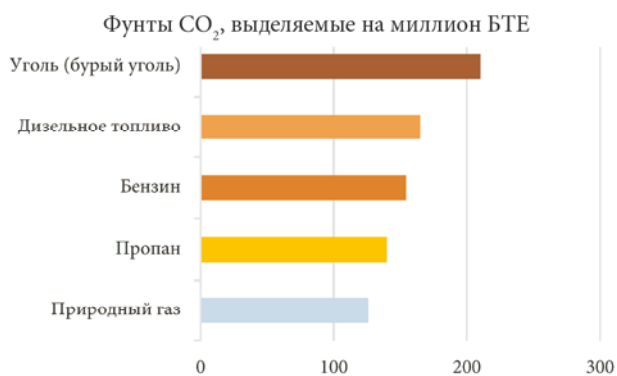
Россия, исходя из условий системного подхода к проблеме, идет по пути региональных экспериментов и инициатив, которые в случае успеха будут расширены на большее количество территорий. Правительством РФ принят закон о введении экспериментального углеродного регулирования в Сахалинской области. В рамках эксперимента устанавливаются целевые показатели по сокращению выбросов парниковых газов и увеличению их абсорбции (цель — достичь углеродной нейтральности региона к концу декабря

2025 г.) и предусматривается создание инфраструктуры для поддержки климатических проектов и обращения углеродных единиц.

Учет углеродных единиц планируется вести с использованием специализированного реестра, что позволит распространить действие системы обращения углеродных единиц в последующем на всю территорию России [7, 8].

Природный газ имеет одно из самых низких соотношений эмиссии CO<sub>2</sub> к выделяющейся при сгорании энергии среди всех видов углеводородных топлив [9, 10] (рис. 6), поэтому использование газообразного топлива, включая природный газ, приводит к снижению выбросов парниковых газов по сравнению с дизельным топливом.

Вместе с тем, использование природного газа в качестве моторного топлива не приведет к полному снижению выбросов парниковых газов и поэтому рассматривается как основное топливо на довольно длительный переходный период с одновременным освоением технологий использования в качестве топлива водорода, метано-водородных смесей и развития электротранспорта [11, 12]. В силовых установках транспортных средств известны четыре технологии с нулевым уровнем выбросов парниковых газов: электромо-

Рис. 6. Сравнение выбросов CO<sub>2</sub> различных видов топлив

били на аккумуляторах (BEVS), электромобили на водородных топливных элементах (FCEVs), водородные двигатели внутреннего сгорания (H<sub>2</sub>-ICE) и двигатели внутреннего сгорания на биотопливе или синтетическом топливе [13].

Упомянутые технологии с нулевым уровнем выбросов имеют свои преимущества и недостатки, что определяет приоритет использования в различных типах транспортных средств (табл. 1).

Хотя приведенные технологии и классифицируются как технологии нулевых выбросов, нужно иметь в виду, что при их реализации имеют место выбросы CO<sub>2</sub>, образующиеся в процессе производства самих технических средств, электроэнергии, водорода, синтетического биотоплива (производимого из биомассы) и др. Поэтому окончательный выбор технического решения должен включать в себя количественный анализ затрат на производство техники и всей цепочки производства, хранения, транспортировки и использования энергоносителей [14, 15].

Так, например, экологические показатели за период жизненного цикла [16] свидетельствуют о большем по сравнению с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) объеме выбросов парниковых газов у электромобилей, что связано с высокой электроемкостью производства аккумуляторов. В сравнении с электромобилями компримированный природный газ (КПГ) имеет (рис. 7) преимущества при значительной доле угля в энергобалансе.

Проведенные исследования по оценке комплексного экологического эффекта замещения нефтяных топлив свидетельствуют о том, что использование газомоторного топлива как наи-

более безопасного для окружающей среды и экономически целесообразного в ближайшие десятилетия приведет к определенной тенденции его более широкого внедрения [15, 16]. Вместе с тем, разнообразный набор видов топлива и технологий, начиная от дизельного топлива и природного газа, водорода и заканчивая возобновляемыми источниками энергии, будет сосуществовать, конкурируя в снижении воздействия на окружающую среду с учетом местных условий, вида транспорта и финансовых условий для участников рынка транспортных средств и заправочных мощностей [17].

### Обсуждение

Правительство РФ утвердило 1 ноября 2021 г. Стратегию социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. Согласно этому документу, к 2050 г. парниковые выбросы будут сокращены на 60 % от уровня 2019 г. и на 80 % от уровня 1990 г., что можно обеспечить одновременно с ростом экономики. К 2060 г. планируется достичь углеродной нейтральности, предполагающей равенство производства и поглощения CO<sub>2</sub> [18].

В стратегии также вводятся основные индикаторы ее реализации, определяющие траекторию устойчивого развития с низким уровнем выбросов парниковых газов. Для автомобильного транспорта повышение энергоэффективности означает снижение потребления условного топлива с 1,4 тыс. т на 1 тыс. автомобилей в год в 2017 г. до 1,2 тыс. т в 2030 г. и 1,1 тыс. т в 2050 г. В прогнозный период ожидается существенное увеличение потребления газомоторного топлива (природного газа) по инерционному и инновационному сценариям по сравнению с 2015 г.: инерционный сценарий — в 4,31 раза, инновационный — в 6,2 раза [19]. Но при реализации сценария «1,5 градуса» потребление на автомобильном транспорте газомоторного топлива в 2030 г. может достигнуть максимума (8,63 млн т), а затем сократиться до нуля к 2050 г. [20].

С учетом вышеизложенного приведены составленные автором характеристики технологий поэтапного перехода к углеродной нейтральности (табл. 2).

### Выводы

С учетом изложенного в статье материала, можно сделать вывод о том, что актуальными

## Преимущества и недостатки четырех технологий с нулевыми выбросами веществ

Показатели	Био/синтетическое топливо	Водородные двигатели внутреннего сгорания (H <sub>2</sub> -ICE)	Водородные топливные элементы	Электрические батареи
<b>Выбросы</b>				
Концентрация CO <sub>2</sub>	Концентрация CO <sub>2</sub> зависит от источника биомассы/углерода	Нулевое/минимальное содержание CO <sub>2</sub> при использовании зеленого/голубого H <sub>2</sub>	Нулевое/минимальное содержание CO <sub>2</sub> при использовании зеленого/голубого H <sub>2</sub>	Концентрация CO <sub>2</sub> зависит от различия электросети; отсутствие выбросов при использовании возобновляемой энергии
Качество воздуха	Количество выбросов NO <sub>x</sub> и твердых частиц схоже с дизелем	Незначительные выбросы NO <sub>x</sub> при использовании системы нейтрализации выхлопных газов	Отсутствие выбросов	Отсутствие выбросов
<b>Общая стоимость для потребителя</b>				
Эффективность	~ 20 %	~30 % возобновляемого производства H <sub>2</sub>	~35% возобновляемого производства H <sub>2</sub>	75–85 % + в зависимости от привода и зарядки
Капитальные затраты на силовую установку	Как у современных ДВС	Водородный двигатель с капитальными затратами, схожими с дизельным ДВС, но с необходимым водородным топливным баком	Высокие капитальные затраты на водородные топливные элементы и батареи, но более масштабируемые, чем у электроавтомобиля	Чем больше необходимо батарей, тем выше капитальные затраты
Ограничения (пространство/полезная нагрузка)	Размер и вес схожи с современными ДВС	Размер схож с современными ДВС, но необходим водородный топливный бак	Необходимо больше пространства, чем для ДВС, для установки водородных топливных элементов и водородного топливного бака	Вес больше, чем у ДВС; ограничения полезной нагрузки зависят от варианта использования
Время заправки	<15 минут, зависит от размера бака	<15–30 минут, зависит от размера бака	<15–30 минут, зависит от размера бака	3+ часа, зависит от возможности быстрой зарядки.
Затраты на инфраструктуру	Может использовать существующую инфраструктуру	Требуется распределение водорода и создание заправочной инфраструктуры	Требуется распределение водорода и создание заправочной инфраструктуры	Требуется зарядная инфраструктура и модернизация электросети
<b>Примечание:</b> Вариативность категорий: <input type="checkbox"/> Высокая эффективность <input type="checkbox"/> Выше среднего <input type="checkbox"/> Ниже среднего <input type="checkbox"/> Низкая эффективность				

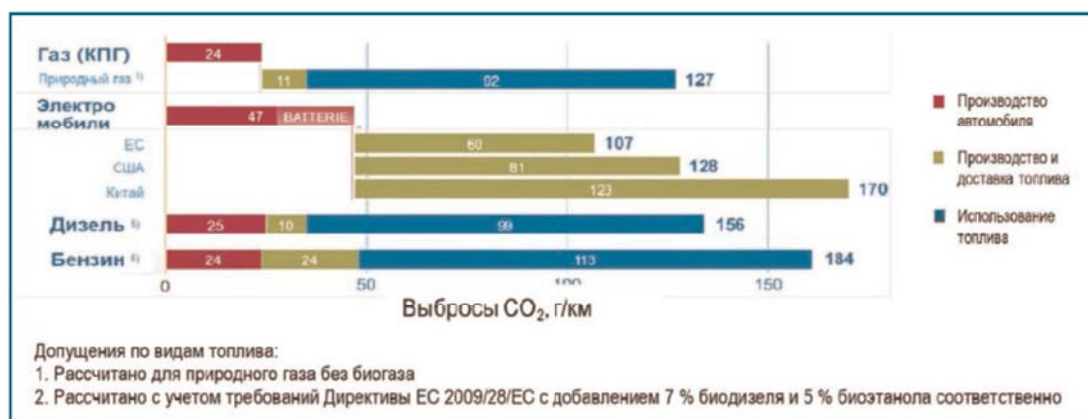


Рис. 7. Сравнение углеродного следа автотранспорта с ДВС и электромобилей [16]

являются исследования, направленные на интенсификацию развития коммерческого потенциала использования природного газа в качестве моторного топлива в основных секторах автотранспорта на важном и длительном по времени этапе «зеленого перехода» экономики и достижение планируемых показателей снижения выбросов парниковых газов.

Важно отметить, что в целом газомоторное топливо имеет весомые основания быть наиболее

востребованным в ближайшей перспективе. Развитию газомоторного рынка в России будут способствовать следующие механизмы:

- разработка и контроль за реализацией региональных программ по расширению использования газомоторного топлива;
- выделение субсидий регионам на закупку и переоборудование техники, работающей на газомоторном топливе;

Таблица 2

**Характеристика технологий поэтапного перехода к углеродной нейтральности**

Характеристики	ДВС с переходом на природный газ	Водородные двигатели внутреннего сгорания (H <sub>2</sub> -ICE)	Водородные топливные элементы	Электрические аккумуляторные батареи
Способы снижения выбросов CO <sub>2</sub>	Снижение выбросов при переходе на ПГ, МВС и зеленый СПГ, использование более эффективных и более экологически чистых энергоэффективных ДВС	Минимизация выбросов CO <sub>2</sub> за счет частичного или полного использования зеленого/голубого H <sub>2</sub>	Снижение выбросов CO <sub>2</sub> при расширении использования зеленого/голубого H <sub>2</sub>	Снижение концентрации CO <sub>2</sub> с развитием в РФ АЭС, ГЭС, ВИЭ, генерации энергии на основе природного газа вместо угля и мазута
Мероприятия по реализации способов снижения выбросов CO <sub>2</sub>	Реализация государственных планов и программ по газификации, строительству газовых заправочных станций, установок по производству СПГ, в том числе зеленого. Разработка ДВС нового поколения	Развитие местных установок производства H <sub>2</sub> , адаптация автомобилей и заправочных газовых станций для возможностей работы на водороде и МВС. Строительство водородных заправочных станций	Развитие местных установок производства H <sub>2</sub> , создание в промышленных масштабах автомобилей на топливных элементах и адаптация заправочных газовых станций для возможностей заправки водородом и МВС	Развитие станций зарядки АКБ. Формирование системы обмена АКБ на станциях. Разработка АКБ с ускоренным временем зарядки и большей емкости. Развитие интеллектуальных электросетей с использованием АКБ автомобилей в режиме зарядки и пикового источника энергии



Характеристики	ДВС с переходом на природный газ	Водородные двигатели внутреннего сгорания (H <sub>2</sub> -ICE)	Водородные топливные элементы	Электрические аккумуляторные батареи
Степень разработанности	Обработанность технологий, возможность использования существующего парка автомобилей, наибольший пробег на одной заправке, доступность, низкая стоимость, высокие, по сравнению с другими углеводородами, экологические показатели и признание ЕС газового топлива зеленым. На переходный период формируют устойчивый тренд на широкое применение природного газа в виде основного топлива в РФ на ближайшие 15–20 лет	Возможность, после реконструкции, использования существующего парка автомобилей при переходе, значительный пробег на одной заправке, отсутствие инженерной инфраструктуры, высокая стоимость водорода	Разработаны опытные образцы техники. Отсутствие заправок, высокая стоимость водорода	Обработанность технологий, промышленный выпуск электромобилей. Недостаточность заправок
Экономическое и нормативное стимулирование	Постановления Правительства РФ, Программы газификации, развития СПГ, заправок станций (низкая стоимость газа)	Отсутствие плат при введении углеродного налога, дорожная карта развития водородных технологий, льготное финансирование	Отсутствие плат при введении углеродного налога, дорожная карта развития водородных технологий, льготное финансирование	Постановления Правительства РФ, льготы на электроэнергию, на стоянках, на приобретение электромобилей
Примечание: Вариативность характеристик перехода: <div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 5px;"> <span><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #f4a460; border: 1px solid black;"></span> Высокая</span> <span><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #00a0e3; border: 1px solid black;"></span> Выше среднего</span> <span><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #d9d9d9; border: 1px solid black;"></span> Ниже среднего</span> <span><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #a0c4ff; border: 1px solid black;"></span> Низкая</span> </div>				

– снижение размера оплаты транспортного налога для транспортных средств;

– расширение использования газомоторного транспорта в зоне с установленными ограничительными мерами и др.

### Библиографический список

1. *Ritchie H. and Roser M.* CO<sub>2</sub> and greenhouse gas emissions. URL: [https:// ourworldindata.org /co2-and-other-greenhouse-gas-emission](https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emission)

2. Экология и экономика: тенденция к декарбонизации. Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. 2020. № 66. 18 с.

3. *Heid B., Martens C., Orthofer A.* How hydrogen combustion engines can contribute to zero emissions. Automotive & Assembly Insights. 2021. June 25.

4. *Лушко В.А.* Комплексный метод повышения энергоэффективности газовых двигателей с высокой степенью сжатия и укороченными тактами впуска и выпуска: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.04.02. М.: ФГУП «НАМИ», 2015. 42 с.

5. *Ерохов В.И.* Токсичность современных автомобилей: методы и средства снижения вредных выбросов в атмосферу. М.: Форум, 2017. 448 с.

6. *Stenersen D., Thonstad O.* GHG and NO<sub>x</sub> emissions from gas fuelled engines. Report. OC2017F – 108. SINTEF. 2017. 52 p.

7. *Митрова Т. А.* Энергопереход и риски для России // Нефтегазовая магистраль. 2021. № 6. С. 28–34.

8. ESG и декарбонизация. Отчет АО «ВТБ Капитал». URL: <https://www.vtbcapital.ru/products-services/research/research-department/analytical-reviews/>

9. U.S. Environmental Protection Agency. How much carbon dioxide is produced when different fuels are burned. URL: <https://www.epa.gov/>

10. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. и др. Машиностроение. Энциклопедия. Том IV. Двигатели внутреннего сгорания. М.: Машиностроение, 2013. 784 с.

11. Аконова Г.С., Власенко Н.Л., Тетеревлев Р.В. Перспективы замены дизельного топлива природным газом на транспорте // Вести газовой науки: Охрана окружающей среды, энергосбережение и охрана труда в нефтегазовом комплексе: инновации, технологии, перспективы. 2013. № 2 (13). С. 56–62.

12. Конопляник А.А. Декарбонизация газовой отрасли в Европе и перспективы для России // Нефтегазовая вертикаль. 2020. № 20. С. 63.

13. Концепция по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 23 августа 2021 г. № 2290-р. URL: <http://static.government.ru/media/files/bW9wGZ2rDs3BkeZHf7ZsaxnlbJzQbJt.pdf>

14. Долгосрочная программа развития производства сжиженного природного газа в Российской Федерации. Распоряжение Правительства Российской Федерации № 640-р от 16 марта 2021 г. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202103230009?rangeSize=20>

15. Экологический отчет ПАО «Газпром» за 2020 год. URL: <https://krasnodar-dobycha.gazprom.ru/d/textpage/66/102/gazprom-environmental-report-2020-ru.pdf>

16. Ишков А.Г., Пыстина Н.Б., Романов К.В. Экологические аспекты использования природного газа в качестве моторного топлива на основе оценки полного жизненного цикла // Транспорт на альтернативном топливе. 2018. № 6 (66). С. 45–55.

17. Синяк Ю.В. Эффективность альтернативных топлив и технологий в развитии пассажирского автотранспорта в средне- и долгосрочной перспективе. ИИП РАН, 2019. URL: <https://ecfor.ru/wp-content/uploads/2019/01/sinyak-yu.v.-alternativnye-topliva-i-tehnologii-v-razvitiya-passazhirskogo-avtotransporta.pdf>

18. Стратегия долгосрочного развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. URL: [https://www.economy.gov.ru/material/file/babacbb75d32d90c28d3298582d13a75/proekt\\_strategii.pdf](https://www.economy.gov.ru/material/file/babacbb75d32d90c28d3298582d13a75/proekt_strategii.pdf)

19. Разработка сценариев низкоуглеродного развития автомобильного транспорта в Российской Федерации, включая города Российской Федерации с населением более 1 миллиона человек. Этап 1. Разработка концепции и прогнозов выбросов CO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub> от

автомобильного и наземного городского электрического транспорта в РФ в целом и отдельно в Москве и Санкт-Петербурге на период до 2030 и 2050 год. Отчет АО «НЦТИ». М., 2020. URL: [https://greenpeace.ru/wp-content/uploads/2020/06/greenpeace\\_%D0%BE%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82\\_Second.pdf](https://greenpeace.ru/wp-content/uploads/2020/06/greenpeace_%D0%BE%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82_Second.pdf)

20. Щербатюк А. П. Топливная экономичность и экологическая эффективность перевода автомобилей на газовое топливо // Экология. 2015. № 6 (95). С. 22–24.

## References

1. Ritchie H. and Roser M. CO<sub>2</sub> and greenhouse gas emissions. Available at: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emission>.

2. *Ekologiya i ekonomika: tendentsiya k dekarbonizatsii* [Ecology and economics: the trend towards decarbonization]. *Byulleten' o tekushchikh tendentsiyakh rossiyskoy ekonomiki – Bulletin on current trends in the Russian Economy*, 2020, no. 66.

3. Heid B., Martens C., Orthofer A. How hydrogen combustion engines can contribute to zero emissions. *Automotive & Assembly Insights*, 2021, June 25.

4. Luksho V. A. *Kompleksniy metod povysheniya energoeffektivnosti gazovykh dvigateley s vysokoy stepenyu szhatiya i ukorochennymi taktami vpuska i vypuska. Avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk* [Comprehensive method to improve the energy efficiency of gas engines with high compression ratio and short intake and exhaust strokes. Author's thesis of Dr. Sci. Tech. diss.]. Moscow, FGUP NAMI Publ., 2015, 42 p.

5. Erokhov V.I. *Toksichnost' sovremennykh avtomobiley: metody i sredstva snizheniya vrednykh vybrosov v atmosferu* [Toxicity of modern cars: Methods and means of reducing harmful emissions into the atmosphere]. Moscow, Forum Publ., 2017, 448 p.

6. Stenersen D., Thonstad O. GHG and NO<sub>x</sub> emissions from gas fuelled engines. Report. *OC2017F – 108. SINTEF*, 2017, 52 p.

7. Mitrova T. A. *Energo perekhod i riski dlya Rossii* [Energy transition and risks for Russia]. *Neftgazovaya magistral' – Oil and gas pipeline*, 2021, no. 6, pp. 28–34.

8. *ESG i dekarbonizatsiya. Otchet AO «VTB Kapital»* [ESG and decarbonization. Report of VTB Capital JSC]. Available at: <https://www.vtbcapital.ru/products-services/research/research-department/analytical-reviews>

9. U.S. Environmental Protection Agency. How much carbon dioxide is produced when different kinds of fuel are burnt. Available at: <https://www.epa.gov/>

10. Grekhov L. V., et al. *Mashinostroenie. Entsiklopediya. Tom IV. Dvigateli vnutrennego sgoraniya* [Mechanical engineering. Encyclopedia. Volume IV.

Internal combustion engines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2013, 784 p.

11. Akopova G. S., Vlasenko N. L., Teterevlev R. V. *Perspektivy zameny dizel'nogo topliva prirodnym gazom na transporte* [Prospects for replacing diesel fuel with natural gas in transport]. *Vesti gazovoy nauki: Okhrana okruzhayushchey sredy, energosberezhenie i okhrana truda v neftegazovom komplekse: innovatsii, tekhnologii, perspektivy – News of Gas Science: Environmental protection, energy conservation and safety in the oil and gas sector: innovation, technology, and prospects* 2013, no. 2 (13), pp. 56–62.

12. Konoplyannik A. A. *Dekarbonizatsiya gazovoy otrasli v Evrope i perspektivy dlya Rossii* [Decarbonization of the gas industry in Europe and prospects for Russia]. *Neftegazovaya vertikal' – Oil and gas vertical*, 2020, no. 20, p. 63.

13. *Kontseptsiya po razvitiyu proizvodstva i ispol'zovaniya elektricheskogo avtomobil'nogo transporta v Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda, utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 23 avgusta 2021, no. 2290*. [The concept for the development of production and use of electric road transport in the Russian Federation for the period up to 2030, approved by the order of the Government of the Russian Federation of August 23, 2021 no. 2290]. Available at: <http://static.government.ru/media/files/bW9wGZ2rDs3BkeZHf7ZsaxnlbJzQbJt.pdf>

14. *Dolgosrochnaya programma razvitiya proizvodstva szhizhenmogo prirodnogo gaza v Rossiyskoy Federatsii* [Long-term program for the development of liquefied natural gas production in the Russian Federation]. *Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii no. 640-r ot 16 marta 2021 g.* [Decree of the Government of the Russian Federation no. 640-r of March 16, 2021]. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202103230009?rangeSize=20>

15. *Ekologicheskiy otchet PAO «Gazprom» za 2020 god* [PJSC Gazprom's Environmental Report for 2020]. Available at: <https://krasnodar-dobycha.gazprom.ru/d/textpage/66/102/gazprom-environmental-report-2020-ru.pdf>

16. Ishkov A. G., Pystina N. B., Romanov K. V. *Ekologicheskie aspekty ispol'zovaniya prirodnogo gaza*

*v kachestve motornogo topliva na osnove otsenki polnogo zhiznennogo tsikla* [Environmental aspects of the use of natural gas as a motor fuel based on a full life cycle assessment]. *Transport na al'ternativnom toplive – Alternative Fuel Transport*, 2018, no. 6 (66), pp. 45–55.

17. Sinyak Yu.V. *Effektivnost' al'ternativnykh topliv i tekhnologiy v razvitii passazhirskogo avtotransporta v sredne- i dolgosrochnoy perspektive* [Efficiency of alternative fuels and technologies in the development of passenger transport in the medium and long term]. INP RAN, 2019. Available at: <https://ecfor.ru/wp-content/uploads/2019/01/sinyak-yu.v.-alternativnye-topliva-i-tehnologii-v-razvitiya-passazhirskogo-avtotransporta.pdf>

18. *Strategiya dolgosrochnogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii s nizkim urovnem vybrosov parnikovyykh gazov do 2050 goda* [Strategy for the long-term development of the Russian Federation with low greenhouse gas emissions until 2050]. Available at: [https://www.economy.gov.ru/material/file/babacbb75d32d90e28d3298582d13a75/proekt\\_strategii.pdf](https://www.economy.gov.ru/material/file/babacbb75d32d90e28d3298582d13a75/proekt_strategii.pdf).

19. *Razrabotka stsenarijev nizkouglerodnogo razvitiya avtomobil'nogo transporta v Rossiyskoy Federatsii, vkluchaya goroda Rossiyskoy Federatsii s naseleniem bolee 1 milliona chelovek* [Development of scenarios for low-carbon development of road transport in the Russian Federation, including cities of the Russian Federation with a population of more than 1 million people]. *Etap 1. Razrabotka kontseptsii i prognozov vybrosov SO2 i NOx ot avtomobil'nogo i nazemnogo gorodskogo elektricheskogo transporta v RF v tselom i ot del'no v Moskve i Sankt-Peterburge na period do 2030 i 2050 god* [Stage 1, Development of a concept and forecasts of CO2 and NOx emissions from road and ground urban electric transport in the Russian Federation as a whole and separately in Moscow and St. Petersburg for the period up to 2030 and 2050]. Moscow, Otchet AO «NTsTI» Publ., 2020. Available at: [https://greenpeace.ru/wp-content/uploads/2020/06/greenpeace\\_%D0%BE%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82\\_Secnd.pdf](https://greenpeace.ru/wp-content/uploads/2020/06/greenpeace_%D0%BE%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82_Secnd.pdf).

20. Shcherbatyuk A. P. *Toplivnaya ekonomichnost' i ekologicheskaya effektivnost' perevoda avtomobiley na gazovoe toplivo* [Fuel efficiency and environmental efficiency of transferring vehicles to gas fuel]. *Ekologiya – Ecology*, 2015, no. 6 (95), pp. 22–24.