

ВОПРОСЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

А. И. Куданова¹

МГУ имени М. В. Ломоносова (Москва, Россия)

Е. Ю. Яковлева²

МГУ имени М. В. Ломоносова (Москва, Россия)

УДК: 338.14, 338.47, 332.142.6

ЭКОЛОГИЗАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА: ПРЕИМУЩЕСТВА И СЛОЖНОСТИ ПЕРЕХОДА НА АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ АВТОМОБИЛИ

Под экологизацией автомобильного транспорта в данной работе мы подразумеваем процесс замещения автомобилей с двигателями внутреннего сгорания (ДВС), работающих на нефтяном топливе, гибридными автомобилями, электромобилями и автомобилями, работающими на метане, водороде или биотопливе. Рост спроса на автомобили, использующие альтернативные источники топлива, должен стать, с одной стороны, триггером для развития соответствующих технологий и инфраструктуры, альтернативной энергетики и более экологичных способов получения водородного топлива, а с другой — стимулом для снижения зависимости от углеводородов, сокращения нагрузки на окружающую среду и распространения экологичного образа жизни и более экономного стиля вождения автомобиля. В российских климатических и экономических реалиях можно ожидать в первую очередь распространения автомобилей, работающих на метане. Это незначительно сократит выброс парниковых газов на первом этапе, но позволит снизить выброс твердых частиц, а кроме того, повысит осведомленность населения об альтернативных автомобилях.

Ключевые слова: электромобили, гибридные автомобили, биотопливо, водородное топливо, альтернативная энергетика, загрязнение воздуха.

Цитировать статью: Куданова, А. И., & Яковлева, Е. Ю. (2021). Экологизация автомобильного транспорта: преимущества и сложности перехода на альтернативные автомобили. *Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика*, 21(2), 176–198. <https://doi.org/10.38050/01300105202128>.

¹ Куданова Алина Игоревна — студент, экономический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова; e-mail: kudalya@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-1914-6697.

² Яковлева Екатерина Юрьевна — к.э.н., с.н.с. кафедры экономики природопользования, экономический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова; e-mail: e.u.yakovleva@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0624-0246.

A. I. Kudanova

Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

E. Yu. Yakovleva

Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

JEL: L92, O44, Q01, Q56, R41

AUTOMOTIVE INDUSTRY ECOLOGIZATION: ADVANTAGES AND CHALLENGES OF ALTERNATIVE FUEL VEHICLES IMPLICATION

In this research we investigate the ecologization process of automotive market. It is a replacement of internal combustion engine (ICE) working on oil derivatives with hybrid or electric vehicles and automobiles on methane, hydrogen or biofuel. Growing demand for alternative fuel vehicles (AFVs) should trigger technology and infrastructure development, alternative energy elaboration and more environment-friendly means of hydrogen production. Besides, AFVs expansion should be an incentive to decrease hydrocarbons dependence in automotive industry, to diminish anthropogenic influence on environment, as well as to generate eco-friendly lifestyle and driving habits. In Russia's climate and economic conditions, expansion of methane fuel automobiles maybe a priority. At an initial stage it will insignificantly reduce greenhouse gas emission, but later on will lower particulate matters emissions and raise public awareness of AFVs.

Keywords: hybrid vehicles, electric cars, biofuel, hydrogen fuel, alternative energy, air pollution.

To cite this document: Kudanova, A. I., & Yakovleva, E. Yu. (2021). Automotive industry ecologization: advantages and challenges of alternative fuel vehicles implication. *Moscow University Economic Bulletin*, 21(2), 176–198. <https://doi.org/10.38050/01300105202128>.

Экологизация автомобильного транспорта в контексте достижения устойчивого развития

В настоящее время на повестке дня стоят вопросы антропогенного влияния на изменение климата и состояние окружающей среды, это сопровождается нарастающим интересом к здоровому и экологичному образу жизни. Автомобили создают значительную часть загрязнения воздуха, выбросы углекислого газа (CO_2) от использования топлива в 2018 г. составляли 24% от общемировых. Также на долю транспорта приходится более 40% выбросов NO_x (оксидов азота) и твердых взвешенных частиц (Air pollution sources, 2019). Однако в 2019 г. число легковых автомобилей выросло более чем на 90 млн ед., а значит, растет и количество выбросов в атмосферу (Production Statistics, OICA, 2019). При этом повышение экологичности автотранспорта — один из ключевых аспектов в достижении ряда целей в области устойчивого развития (ЦУР). Это цель 3: хорошее

здравье и благополучие (сократится число смертей от воздействия загрязненного и отравленного воздуха), цель 9: создание стойкой инфраструктуры (содействие ее экологически чистому развитию), цель 11: экологическая устойчивость городов (использование экологичного транспорта — составляющая устойчивой урбанизации), цель 12: ответственное потребление и производство, а также цель 13: борьба с изменением климата (снижение выбросов парниковых газов от использования углеводородного топлива) (Sustainable Development Goals, 2015).

В данном исследовании мы рассмотрим динамику перехода на автомобили, работающие на альтернативных источниках энергии, и обратимся к удобству эксплуатации, экологичности и экономической эффективности альтернативных автомобилей. В заключение обсудим особенности рынка альтернативных автомобилей в России с учетом характерных для страны социо-эколого-экономических факторов.

Типы источников энергии, используемых в автомобильном транспорте

На смену устаревшим и неэффективным с точки зрения коэффициента полезного действия (КПД) ДВС на бензине, дизельном топливе или углеводородных газах (Александров и др., 2011; Синяк, Колпаков, 2012; Полищук, 2017) приходят автомобили с более экологичными и экономичными энергетическими системами. Рассмотрим, каких типов они бывают.

Гибридный автомобиль — это автомобиль обычно с двумя источниками энергии, ДВС и электродвигателем. В зависимости от типа гибрида, в нем наряду с ДВС может быть установлен (Раков, 2013):

- 1) электрогенератор, накапливающий энергию при торможении и использующий ее, например, при разгоне («мягкий» гибрид, *mild hybrid*). Известные примеры моделей, оснащенные таким двигателем, — Honda Insight, Honda Civic, Hyundai Elantra Hybrid;
- 2) аккумуляторная батарея, способная обеспечить равномерное движение или движение с малой скоростью («полный» гибрид, *full hybrid*). Известные примеры моделей: Toyota Prius, Lexus RX 450h, Ford Escape Hybrid;
- 3) блок аккумуляторов с необходимостью зарядки от сети, что дает возможность работы автомобиля только от электричества («подзаряжаемый» гибрид, *plug-in hybrid*). Примеры моделей: Chevrolet Volt, Toyota Prius Prime.

Электромобиль — автомобиль с электродвигателем, работающим от аккумулятора (химического источника энергии). В отличие от гибридных автомобилей, выбросы отработанных газов у таких автомобилей полностью отсутствуют (Racz et al., 2015). Зарядка осуществляется либо на спе-

циальных «быстрых» зарядных станциях, либо от домашней бытовой электросети. Примеры моделей: Tesla Model 3/S/X, BMW i3, Jaguar I-Pace, Nissan Leaf.

Автомобили с водородным топливным элементом (ТЭ). Основной источник энергии — электрохимическое устройство, преобразующее сжатый или сжиженный водород в электроэнергию. Пример — Toyota Mirai.

Сжатый природный газ (метан) — еще один вид автомобильного топлива. Среди легковых автомобилей распространена конструкция bi-fuel, подразумевающая, что двигатель работает на одном из двух имеющихся источников энергии (бензин/дизель или метан) в зависимости от условий движения (What fleets need to know..., 2017). Примеры моделей: Audi A3 Sportback g-tron, Volkswagen Golf TGI, Lada Vesta CNG.

В качестве автомобильного топлива может быть использован и сжиженный природный газ, однако такой вид топлива встречается реже, так как он дороже сжатого метана и используется только в грузовиках, позволяя увеличить проходимую между дозаправками дистанцию (How Do Liquefied..., 2021). Поэтому далее в данной статье под природным газом (метаном) мы будем подразумевать его компримированную форму (если не указано иное).

Автомобили, работающие на биотопливе. Под данным видом топлива чаще всего подразумевается либо жидкий вариант — биоэтанол (наиболее распространен) и биодизель, либо газообразный — биогаз (биометан). Биоэтанол — это этанол, являющийся продуктом переработки растительного сырья. Биодизель — метиловые, этиловые или бутиловые эфиры, полученные в результате переработки растительных масел или животных жиров. Также используется смесь растительных масел и обычного нефтяного дизеля (Марков и др., 2012). Биогаз может быть получен либо анаэробной ферментацией или метановым брожением, либо газификацией биомасс (высокотемпературным нагревом с окислителями). Биометан получается из биогаза, он может использоваться в двигателях, работающих на сжатом природном газе (Bordelanne et al., 2011).

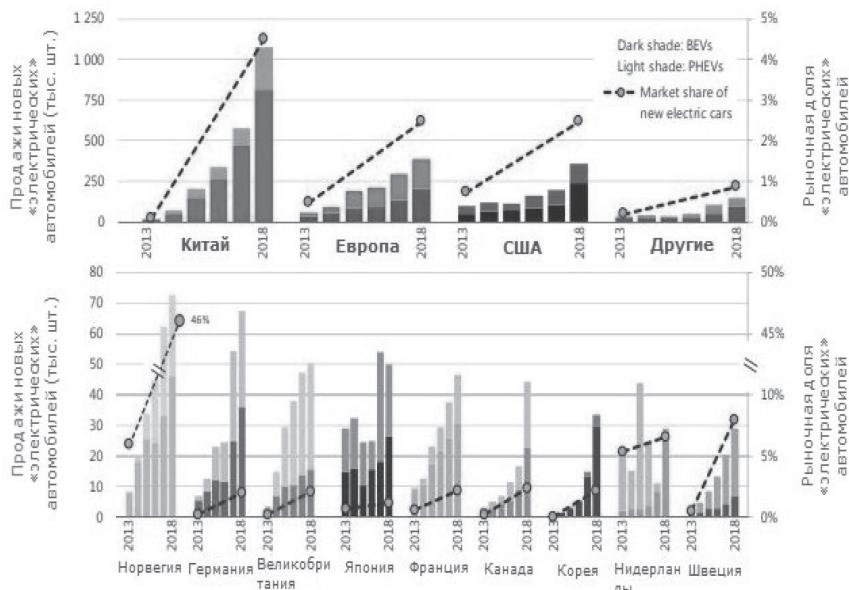
Серийно на данный момент выпускаются автомобили с двигателями с гибким выбором топлива (flex-fuel). Наиболее распространен тип E85 — т.е. смесь из 85% этанола и 15% бензина. Преимущество данных двигателей в том, что они одинаково эффективно способны работать на бензине или его смеси с этанолом (или биоэтанолом) в любых пропорциях. Известные примеры моделей с двигателем flex-fuel: 2020 Chevrolet Impala, 2019 Mercedes-Benz CLA250 4matic, 2019 Toyota Tundra 4WD FFV (Benefits and Challenges. Infographic...). Некоторые из них выпускаются только в отдельных странах.

Существуют также прототипы с установленными солнечными панелями, ветрогенераторами и т.д. Данные автомобили в настоящем исследовании не рассматриваются, так как на данный момент не получили распространения и не выпускаются массово (Sly, 2017).

Статистика продаж и числа автомобилей на альтернативном топливе

Согласно статистике, в США в 2018 г. было продано 343,2 тыс. гибридных автомобилей (Davis, Boundy, 2019). В России за январь–октябрь 2019 г. было продано 266 новых автомобилей с гибридной установкой, что оказалось на 6% меньше, чем аналогичный показатель в 2018 г. (Продажи гибридных автомобилей..., 2019).

Относительно «plug-in» гибридов и электромобилей представлена более детальная мировая статистика. В данном разделе объединим их под термином «электрические автомобили». В 2018 г. в мире было продано почти 2 млн электрических автомобилей, и их общее число достигло 5,1 млн ед. В целом с 2013 по 2018 г. наблюдалась положительная динамика в области продаж легковых автомобилей с установленным электромотором (рис. 1).



Примечание: темными оттенками изображены продажи электромобилей, светлыми — «подзаряжаемых» гибридов (левая ось). Пунктирной линией показана динамика доли рынка электрических автомобилей (правая ось).

Рис. 1. Продажи электрических автомобилей и их доля в 10 странах с наибольшим числом легковых автомобилей данного типа¹

Источник: (Global EV Outlook 2019, p. 10).

¹ Европа: Австрия, Бельгия, Болгария, Хорватия, Кипр, Чехия, Дания, Эстония, Финляндия, Франция, Германия, Греция, Венгрия, Исландия, Ирландия, Италия, Латвия,

45% мировых «запасов» электрических пассажирских автомобилей сконцентрировано в Китае. На втором месте — Европейский союз с долей в 22% (что в абсолютном выражении составляет 1,2 млн ед.), следом идут США, где доля электрических легковых автомобилей равна 21%, или 1,1 млн ед. соответственно (Global EV Outlook, 2019).

Автомобили, использующие водородный ТЭ, демонстрируют гораздо более скромные показатели. Так, в 2018 г. в мире насчитывалось 11 200 таких легковых автомобилей, и больше половины автомобилей на водородном элементе сконцентрированы в США (Global EV Outlook, 2019).

На 31 июля 2019 г. в мире насчитывалось 27,7 млн автомобилей, использующих в качестве источника энергии сжатый или сжиженный природный газ и биометан (Natural Gas Vehicle Knowledge Base, 2019). С 2005 г. доля автомобилей на природном газе от общего числа автомобилей по всему миру увеличилась с 0,5 до 1,5%, в основном за счет роста в странах Азии и Океании (за счет Китая, Ирана и Индии) (рис. 2). В России в 2018 г. доля легковых автомобилей, которые могут использовать в качестве топлива природный газ, составила всего 2,1% от общего числа автомобилей, причем их большая часть используется для сельскохозяйственных нужд (Наличие легковых автомобилей..., 2019).

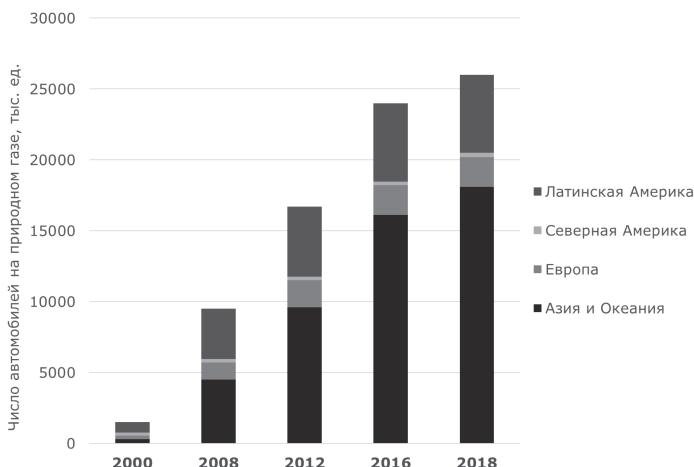


Рис. 2. Изменение числа автомобилей на природном газе (сжатом и сжиженном) в мире в 2000–2018 гг.

Источник: (A review of prospects for..., 2019, р. 2).

Лихтенштейн, Литва, Люксембург, Мальта, Нидерланды, Норвегия, Польша, Португалия, Румыния, Словакия, Словения, Испания, Швеция, Швейцария, Турция, Великобритания. Остальные: Австралия, Бразилия, Чили, Индия, Япония, Корея, Малайзия, Мексика, Новая Зеландия, Южная Африка, Таиланд.

Статистика по числу автомобилей на биотопливе практически отсутствует, так как этот источник остается недостаточно распространенным, а также потому, что биотопливо в смеси с дизелем может использоваться и в обычных ДВС. В мировом масштабе отслеживается объем произведенного биотоплива, и в 2017 г. его доля в общей массе автотранспортного топлива составляла 3% (Global bioenergy statistics 2019, 2019).

Таким образом, в России наибольшее распространение среди автомобилей на альтернативных источниках энергии получили гибриды, а в мире их опережают электромобили. Иные типы экологичных автомобилей лишь начинают развиваться. Так, например, доля автомобилей на природном газе составляет 1,5% от общемирового числа легковых автомобилей.

Пока преждевременно делать выводы о причинах наблюдаемой динамики числа автомобилей на альтернативном топливе в разных регионах мира, но, несомненно, свою роль должны играть как экономические (уровень доходов населения, меры государственного регулирования и стимулирования развития рынка), так и социальные и экологические факторы (экологическая ситуация и отношение населения к ней, сложившиеся паттерны экологического поведения в той или иной стране, особенности климата). В следующем параграфе рассмотрим экологические, социальные и экономические аспекты производства и эксплуатации автомобилей, использующих альтернативные источники энергии. Это позволит пролить свет на причины неравномерного развития сегмента экологичных автомобилей и возможные направления его дальнейшего развития.

Особенности эксплуатации автомобилей, использующих альтернативные источники энергии

Обратимся к преимуществам и недостаткам автомобилей на альтернативных источниках энергии с точки зрения повседневного использования и постараемся выяснить, почему электромобили получили наибольшее распространение в мире и существуют ли их субституты, предлагающие более привлекательные эксплуатационные характеристики. Для сравнения мы выделили ряд общих критерии:

- 1) особенности технической конструкции автомобиля в сравнении с бензиновыми/дизельными транспортными средствами,
- 2) удобство заправки, в том числе развитость инфраструктуры и доступность топлива,
- 3) стоимость автомобиля,
- 4) КПД по сравнению с ДВС (если не указано иное),
- 5) зависимость конструкции от климатических условий (табл. 1).

Таблица 1

**Преимущества и недостатки эксплуатации автомобилей
на разных источниках энергии**

Тип автомобиля	Преимущества*	Недостатки*
Гибриды	(1) комфортная подвеска из-за упрощенной конструкции (Раков, 2013); низкий расход топлива (Alberinia et al., 2019); (2) нет сложностей с заправкой; для «подзаряжаемых» есть возможность переключения между электромотором и батареей	(1) сложность ремонта и утилизации; повышенная вероятность поломки двигателя в связи со сложностью конструкции (Hoen, Koetse, 2014); (2) для «подзаряжаемых» — необходимость зарядки (Раков, 2013; Ge et al., 2018); (3) более высокая цена относительно автомобилей с ДВС; (5) нестабильность работы аккумуляторов зимой
Электромобили	(1) низкий уровень шума при движении; более долговечная конструкция автомобиля (Racz et al., 2015; Пилищук, 2017); нет ряда издержек, связанных с текущим обслуживанием; (4) высокая мощность двигателя и высокий КПД по сравнению с ДВС (All-Electric Vehicles...)	(1) ограниченность пробега (Пилищук, 2017); (2) недостаточно заправочных станций и автосервисов (Завтрашний день..., 2018); расходы времени на поиск «заправки» и длительная перезарядка (Как заряжать электромобиль, 2018); (3) высокая стоимость, относительно гибридных и традиционных автомобилей; (5) нестабильность работы в зимнее время
Автомобили на водородном ТЭ	(1) тихая и мягкая работа энергетической установки; потенциально легкий способ производства топлива, а при условии получения водорода электролизом на станции ветрогенерации и более экологичный (Wind-to-Hydrogen Project); (2) быстрая заправка и высокий лимит хода между перезарядками (400 км); (4) КПД силовой установки более 60% (The Fuel Cell Electric Vehicle...)	(1) ограниченность пробега (120 тыс. км) (Benefits and Challenges...); плохая осведомленность людей о технологии; (2) недостаточное производство водородного топлива; недостаточно заправочных станций и автосервисов; (3) высокая стоимость авто относительно гибридных и традиционных автомобилей; (5) зависимость производительности от климата и погоды

Тип автомобиля	Преимущества*	Недостатки*
Автомобиль на природном газе (метане)	(1) требуется более простая конструкция автомобиля по сравнению с автомобилем на водородном ТЭ; (2) метан дешевле и более распространен, чем водород; процесс сжатия метана дешевле, чем водорода; (3) более низкая стоимость автомобиля с автомобилем на водородном ТЭ (Burke, Zhu, 2015)	(2) невысокий лимит хода между перезарядками (около 280 км) (Using Natural Gas for Vehicles..., 2015); (4) КПД метана ниже, чем водорода; (5) производительность автомобилей на природном газе более устойчива к воздействию холодных температур, чем у автомобилей с гибридными, электрическими или водородными установками.
Автомобиль на биодизеле	(1) безопасность использования и транспортировки благодаря высокой температуре горения; двигатель служит дольше; (2) биодизель имеет более высокое октановое число ¹ , чем нефтяной дизель; многие ДВС работают на смеси с биодизелем до 20% (Biodiesel Handling and Use Guide, 2016)	(2) биодизель дает на 8% меньше энергии на единицу объема, чем дизельное топливо; требует антиокислительных добавок при длительном хранении (Biodiesel Handling and Use Guide, 2016); (5) не применим в холодное время года
Автомобиль на биоэтаноле	(2) смеси с биоэтанолом пригодны для многих ДВС; более высокое октановое число биоэтанола, чем бензина; (4) более высокая мощность ДВС и больший КПД (Ethanol Benefits and Considerations, 2019)	(2) биоэтанол дает меньшее количество энергии (больший расход топлива); (3) высокая стоимость flex-fuel автомобилей относительно гибридных и традиционных (E85 Flex Fuel Specification); (5) зависимость состава топлива от климата и погоды

* Пять критериев для сравнения автомобилей, обозначенных цифрами в круглых скобках, указаны выше в тексте.

Источник: составлено авторами.

Таким образом, отметим, что гибридные автомобили действительно являются наиболее удобными с точки зрения повседневного использования. Поэтому именно с них началась экологизация автомобильного рынка и последующий переход к электромобилям. Водородный легко-

¹ Цетановое число — характеристика воспламеняемости топлива. Чем выше октановое число, тем короче промежуток времени между впрыском топлива и его воспламенением в цилиндре ДВС (Большая советская энциклопедия). Топливо с высоким октановым числом чище и плавнее выгорает, что обеспечивает стабильную, сглаженную и долговечную работу двигателя (Biodiesel Handling and Use Guide, 2016).

вой автотранспорт имеет потенциал для развития, но более высокая стоимость, неосведомленность населения и недостаточная надежность силовой установки сдерживают его развитие. Биодизель и биоэтанол в смеси с нефтяным дизелем (до 20% биодизельного топлива) и бензином (до 15% биоэтанола) соответственно удобнее в использовании в смеси с нефтяным топливом, так как это улучшает его характеристики и не требует дополнительных затрат на переоборудование автомобиля. А автомобили на метане в меньшей степени зависимы от климатических условий. Суммируя представленные выводы, мы выделяем гибридные автомобили как наиболее удобный для конечного потребителя и «подготовленный» к повсеместному распространению вид экологичного транспорта, однако мы допускаем, что благодаря улучшению технических характеристик «зеленых» автомобилей в ближайшем будущем потребитель обратит более пристальное внимание на электромобили и автомобили на сжатом природном газе.

Экологизация автомобильного транспорта: экономический аспект

Наиболее дешевыми источниками автомобильной энергии в Европе в 2017 г. оказались электроэнергия и водород. Далее расположен метан, за ним следует биодизельное топливо (B7), а с отрывом более чем в 2 раза по сравнению с самыми дешевыми источниками энергии следуют топливные смеси бензина и этанола (E10, E5). Можно сделать вывод, что с точки зрения стоимости топлива на 100 км наиболее выгодными вариантами для потребителей являются электромобили и легковые автомобили с водородным ТЭ (Directorate-General for Mobility and transport, 2017).

Согласно исследованию, проведенному центром отраслевых исследований и консалтинга Финансового университета при Правительстве РФ, в российских реалиях в среднем 100 км на электромобиле обойдется в 100 руб., а на бензиновом автомобиле схожих параметров — примерно в 4 раза дороже (Подсчитали, на чем дешевле ездить..., 2019). Гибриды же в среднем по миру на 34–46% эффективнее по сравнению с автомобилями, работающими на ДВС, с точки зрения экономии топлива (Sun et al., 2019).

Однако кроме стоимости топлива на затраты на 100 км пробега влияет еще множество других факторов: марка и модель автомобиля (т.е. его индивидуальные технические характеристики), климатические условия, соотношение езды в условиях города и скоростных трасс и даже характер управления автомобилем (феномен eco-driving) (Zahabi et al., 2014).

В связи с этим сравним стоимости автомобилей похожих габаритов и мощностей, но с различными источниками энергии, доступных для покупки в Европе, с помощью агрегаторов и официальных сайтов производителей. В табл. 2 указаны названия модели и марки, а также стоимость в евро (для сопоставимости данных рассматривали автомобили, продаваемые в Германии).

Из табл. 2 можно сделать вывод о том, что наиболее доступными экологичными автомобилями остаются гибриды, далее по цене следует электромобиль, затем идут образцы на природном газе и топливе Е85. Наиболее дорогим из рассмотренных транспортных средств оказался автомобиль на водородном ТЭ. Однако важно отметить, что полные издержки использования экологичных автомобилей выше за счет ограниченного пути от зарядки до зарядки и, как следствие, дополнительного времени и пробега для заправки.

Таблица 2

Стоимость новых легковых автомобилей с разными типами энергетических установок, евро

Тип энергетической установки (соотв. типам топлива)	Название модели и марки автомобиля, мощность двигателя	Примерная стоимость нового легкового автомобиля (начальная комплектация), евро
Бензин	Audi A3 Sportback, 150 PS	28 900
Дизель	Audi A3 Sportback, 150 PS	34 900
Природный газ (метан)	Audi A3 Sportback g-tron, 131 PS	36 550
Водородный ТЭ	Toyota Mirai, 154 PS	79 590 (\approx 54 000 евро при покупке в США)
Гибрид	Toyota Prius, 122 PS	32 280
Подзаряжаемый гибрид	Toyota Prius plug-in, 122 PS	38 740
Электромобиль	Hyundai IONIQ, 136 PS	35 600
Этанол Е85 (flex fuel)	Kia Soul EX, 147 PS	\approx 23 000 (США*)

* Авторам не удалось найти данные по Европе, при транспортировке из США цена значительно возрастет.

Источник: составлена авторами на основе данных с сайтов «Ауди» (<https://www.audi.de>), «Тойота» (<https://www.toyota.de>), «Хендай» (<https://www.huundai.de>), «Мобайл» (<https://www.mobile.de>) и Cars (<https://www.cars.com>).

К сожалению, найти легковой автомобиль типа flex-fuel и автотранспортное средство с водородным ТЭ на официальных сайтах производителей не удалось. При этом автомобиль Kia Soul EX сопоставим по мощности и габаритам с остальными рассматриваемыми автомобилями, но, как и вся марка, находится в более низком ценовом сегменте по сравнению с Audi или Toyota, которые в целом стоят примерно в 1,5–1,7 раза дороже. Например, автомобиль Kia Cee'd на официальном сайте производителя в Германии в базовой комплектации стоит 16 690 евро, а практически аналогичный Audi A3 Sportback в минимальной комплектации обходится в 28 900. Таким образом, цена на автомобиль типа «flex-fuel» может составить около 34 500–39 100 евро. Департамент энергии США приводит в мето-

дологии расчета цену на новый легковой автомобиль flex-fuel, которая относительно цен на гибридный и подзаряжаемый гибридный автомобили примерно соответствует предложенному нами интервалу (Vehicle Cost Calculator..., 2017). Такой диапазон цен более оправдан, так как альтернативная технология автомобильного двигателя, позволяющего использовать в качестве топлива этанол (как и остальные силовые установки экологичного типа), за счет новизны и сложности должна включать в себя большие издержки на развитие и распространение технологии, а также возможные риски, что приводит к более высокой конечной стоимости всего автомобиля.

Заметим, что найти в продаже экологичные автомобили, за исключением гибридов и электромобилей, довольно проблематично, так как некоторые типы не встречаются ни на сайтах-агрегаторах, ни на официальных сайтах. То есть, кроме неосведомленности клиентов о наличии таких транспортных средств, существует и информационный барьер при покупке. Это одна из основных проблем распространения экологичных автомобилей.

Таким образом, на стоимость владения альтернативным автомобилем влияют его цена, затраты на топливо, марка и модель (индивидуальные характеристики), климатические условия, характер управления автомобилем, соотношение езды в условиях города и скоростных трасс. Наиболее выгодными альтернативными автомобильными источниками энергии в Европе являются электроэнергия и водородное топливо (в расчете на 100 км пробега). Однако в Германии стоимость автомобилей с водородным ТЭ оказалась наиболее высокой (Toyota Mirai), а наиболее доступные — гибридный автомобиль (Toyota Prius) и электромобиль (Hyundai IONIQ). Наиболее ценным для автомобилей с водородным ТЭ является увеличение проходимой дистанции (от зарядки до зарядки). Для электромобилей увеличение данного параметра значительно повышает готовность платить. Для автомобиля типа flex-fuel большую роль играет сокращение времени, затраченного для заезда на заправку. Увеличение числа представленных моделей экологичных автомобилей также оказывает положительный, но небольшой эффект на готовность платить. При отмене транспортного налога готовность платить увеличивается значительно, чем при представлении преференций водителям экологичных автомобилей (например, бесплатная парковка) (Hackbarth, Madlener, 2011; Hoen, Koetse, 2014).

Экологизация автомобильного транспорта: экологические и социальные следствия

Загрязнение атмосферного воздуха автомобильными выхлопными газами приводит к разрушению естественных экосистем, нанося ущерб биологическому разнообразию и здоровью людей. В частности, увеличение концентрации углекислого газа (CO_2) в атмосфере вносит вклад в глобаль-

ное изменение климата, а диоксид серы и оксиды азота могут смешиваться с водой и кислородом в атмосфере и вызывать кислотные дожди. Твердые взвешенные частицы, оседая из воздуха, загрязняют водоемы (Aulinger et al., 2002) и почву, нанося ущерб обитателям водоемов и вызывая гибель диких и сельскохозяйственных растений (Air pollution, NG).

Социальные последствия загрязнения воздуха автомобильным транспортом состоят в том, что отработанные автомобильные газы содержат токсичные химические соединения и мелкодисперсные взвешенные частицы, оказывая отрицательный эффект на здоровье населения (Kim et al., 2015; Ревич, 2018; Ali et al., 2019). По некоторым оценкам, смертность от загрязненного воздуха достигает более 8,8 млн человек в год (Lelieveld et al., 2019).

По данным совместного исследования Всемирного банка и Института медицинских показателей и оценки Вашингтонского университета, загрязнение воздуха обходится мировой экономике в 5 трлн долл. в год в результате снижения производительности труда и ухудшения качества жизни. Однако в исследовании не рассчитываются дополнительные потери, связанные с повышением расходов на здравоохранение, неблагоприятное воздействие на сельское хозяйство. Поэтому фактические издержки для мировой экономики превышают указанную сумму (The Cost of Air Pollution..., 2016).

Таким образом, мы видим, что социальные, экономические и экологические последствия загрязнения воздуха автомобильным транспортом тесно связаны. Обсудим, как экологизация автомобильного транспорта может повлиять на положение дел и смягчить указанные негативные эффекты.

Выбросы, связанные с эксплуатацией автомобиля, использующего тот или иной вид топлива, играют важную роль в оценке его экологичности, но стоит принимать во внимание и выбросы, связанные с производством аккумуляторных батарей, их утилизацию и т.д. На рис. 3 приведено сравнение выбросов парниковых газов бензинового ДВС и некоторых видов альтернативных автомобилей.

Заметим, что для силовой установки любого типа большая часть выбросов парниковых газов действительно связана с использованием топлива, но для альтернативных автомобилей данный вид производимых выбросов снижается как в абсолютном, так и в относительном выражении, а доля загрязнения, связанная с производством и утилизацией автомобиля, растет. Так, для автомобилей с бензиновым ДВС загрязнение, связанное с производством и утилизацией транспортного средства, составляет лишь 18%, а для электромобилей (с ограничением дистанции 200 км) и автомобилей с водородным ТЭ уже 36%. Наибольшее значение достигается у электромобилей с ограничением дистанции 400 км — 43% от общего числа. По результатам данного анализа, меньше всего отработанных парниковых газов исходит от электромобилей и plug-in гибридов, но эта величина может варьиро-

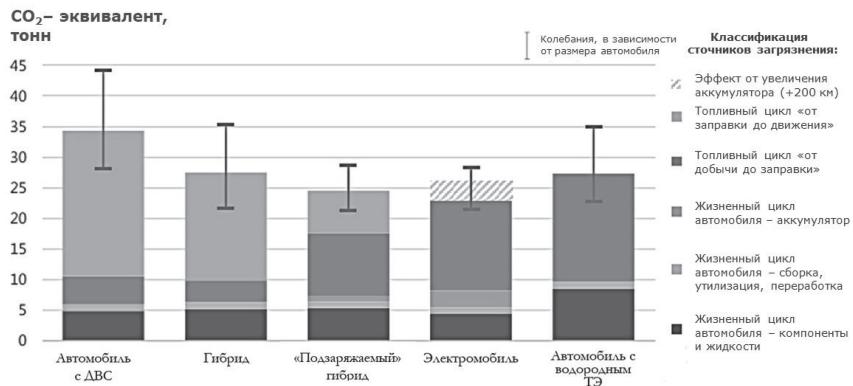


Рис. 3. Сравнение выбросов парниковых газов автомобилями на традиционном и альтернативном топливе за полный жизненный цикл, 2018 г.

Источник: (Global EV Outlook 2019, 2019, р. 21).

ваться в зависимости от региона автопроизводителя и особенностей производства батареи. Что касается автомобилей с водородным ТЭ, в 2015 г. их выбросы CO₂ за время эксплуатации (с учетом сжатия и транспортировки водорода) оказались на 25% выше, чем у гибридов и электромобилей, при условии, что водород получен из природного газа. Таким образом, полный или даже частичный переход автомобилей от сжигания углеводородного топлива на другие источники энергии приводит к снижению выбросов парниковых газов, но производство и эксплуатация электрических автомобилей будут иметь положительный экологический эффект лишь в случае с одновременной декарбонизацией производства электроэнергии и батарей (Burke, Zhu, 2015).

На рис. 4 представлены выбросы парниковых газов на протяжении жизненного цикла автомобилей, использующих бензин, дизель и альтернативные источники энергии. Примечательно, что при условии получения электроэнергии с помощью возобновляемых источников энергии выбросы парниковых газов сокращаются практически вдвое. Легковые автомобили на природном газе экологичнее традиционных, но проигрывают электромобилям. В свою очередь, биометан является наиболее экологичным топливом среди представленных на рис. 4 (A review of prospects for..., 2019).

Кроме парниковых газов, автомобильный транспорт загрязняет атмосферу посредством сажи и взвешенных частиц. Сравнивая силовые установки на дизельном топливе, бензине, сжатом природном газе и гибриды, можно сделать вывод о том, что наибольшие выбросы взвешенных частиц зарегистрированы у автомобилей, работающих на бензине, и в зависимости от его стандарта могут достигать превышения ПДК в 4,5 раза.

При использовании гибридных автомобилей выбросы частиц сокращаются в 4 раза по сравнению с бензином Евро 6b, но могут оказаться выше бензиновых автомобилей с системой распределенного впрыска топлива.

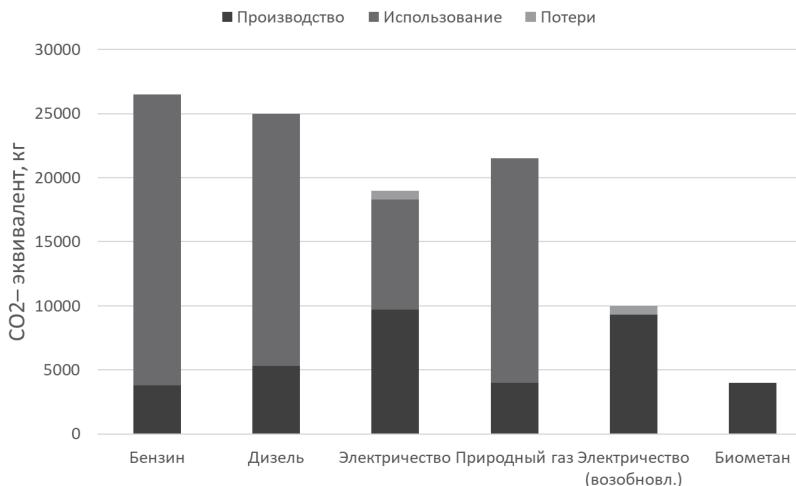


Рис. 4. Сравнение выбросов парниковых газов автомобилями с традиционными и альтернативными источниками энергии за полный жизненный цикл
Источник: (A review of prospects for..., 2019).

Автомобили на дизельном топливе и природном газе производят в 77 раз меньше выбросов взвешенных частиц, чем установлено нормами ПДК. Причем автомобили на метане с точки зрения исследуемой характеристики на 90% экологичнее бензиновых автомобилей с прямым впрыском топлива. Условия эксплуатации также влияют на величину данного показателя. Так, в городском цикле содержание взвешенных частиц в автомобильных выхлопах выше на 63%, чем в условиях скоростной езды по трассе (Kontses et al., 2020).

В контексте альтернативных автомобилей не стоит забывать, что существуют загрязнения, не связанные с атмосферным воздухом. Это выбросы фабрик по производству аккумуляторных батарей для plug-in гибридов и электромобилей. Они в значительной мере загрязняют почву токсичными тяжелыми металлами, в большей степени свинцом, масса которого на единицу массы почвы в несколько раз превышает ПДК. А загрязненная почва встречается на расстоянии вплоть до 65 км от фабрики (Adie, Osibanjo, 2009). Процесс переработки аккумуляторов также приводит к выбросу вредных веществ: от 1 кг переработанной батареи выделяется 0,24 кг шлака в почву и 30 г токсичных соединений, около 0,1 кг сурьмы, ртути, никеля, свинца, кадмия в воду и около 5 г свинца, кадмия, меди, никеля, мышьяка в воздух (Racz et al., 2015).

Стоит упомянуть, что помимо выбросов, связанных с полным жизненным циклом автомобилей, немаловажно, особенно в условиях центральных частей крупных городов, ограничивать объем трафика и переводить общественный и легковой пассажирский транспорт на более экологичные виды с целью улучшения экологической обстановки (Bityukova, Mozgunov, 2019). Однако более подробное рассмотрение данного вопроса выходит за рамки нашего исследования.

Таким образом, с точки зрения выбросов парниковых газов в атмосферу за весь жизненный цикл наиболее экологичными являются электромобили. Однако, чтобы их использование действительно снизило экологическую нагрузку, требуется одновременное развитие возобновляемой энергетики. В России на 2019 г. 63% электричества производится тепловыми электростанциями (ТЭС), 19,3% — атомными электростанциями, а на долю гидро-, ветровых и солнечных электростанций приходятся остальные 17,7% (Основные характеристики..., 2019). В США в 2019 г. на долю электроэнергии, получаемой из угля или природного газа, приходится 62%, с помощью ядерных электростанций вырабатывается 20% и с помощью возобновляемых источников энергии 17,5% (0,5% приходится на прочие источники, например, бензин) (Electricity explained, 2020). А значит, и в РФ, и в США распространение электромобилей, нуждающихся в электроэнергии, увеличит и выбросы в атмосферу, связанные с работой ТЭС, которые все еще составляют большую часть электростанций. Также процесс производства и переработки аккумуляторных батарей несет в себе дополнительные загрязнения природных пресных вод, почвы и воздуха токсичными тяжелыми металлами. Повсеместное использование автомобилей на природном газе незначительно сократит выбросы углекислого газа, но может уменьшить содержание взвешенных частиц в отработанных автомобильных газах на 90%.

Перспективы экологизации автомобильного транспорта в России

Выше мы понаблюдали за мировыми тенденциями в экологизации автомобильного транспорта, обсудили экологические и экономические преимущества и подводные камни альтернативных автомобилей. Рассмотрим, каковы позиции России в данном процессе.

Во-первых, обратим внимание, что все автомобили на альтернативных источниках энергии, кроме автомобилей на метане, чувствительны к погодным условиям и их использование в зимнее время в России затруднительно (табл. 1).

Для страны с большой территорией в особенности осложняющими становятся такие факторы, как недостаток заправочных станций и автосервисов для альтернативных автомобилей, а также лимит хода между

заправками, расходы времени на поиск заправки и длительная перезарядка (для электромобилей и отчасти для «подзаряжаемых» гибридов).

В качестве ограничивающего фактора экологизации автомобильного рынка стоит упомянуть не только сравнительно высокую стоимость «зеленых» транспортных средств относительно традиционных аналогов и узкий модельный ряд, но также слабую осведомленность населения об особенностях автомобилей на альтернативных источниках энергии и возможностях их приобретения, что характерно не только для России, но для рынка в целом. Еще один сдерживающий фактор — отсутствие поддержки перехода на альтернативные автомобили со стороны государства, поэтому число электромобилей в России ничтожно мало. Для стимулирования населения к покупке электромобилей необходимо предоставлять не только бесплатные парковки в ряде крупных городов, но и активно развивать зарядную инфраструктуру не только силами государства, но и посредством предоставления льгот бизнесу, занимающемуся установкой мощных зарядных станций на трассах, отменять (или сильно снижать) таможенные пошлины.

В то же время вслед за мировыми тенденциями наблюдается растущий интерес россиян к альтернативным автомобилям. Стоит отметить, что попытки наладить производство электромобилей предпринимались и в России — были разработаны и выпущены в ограниченном количестве электромобили Lada Ellada и «Ё-мобиль». Вспомним, что в Москве с 2018 г. вводятся в эксплуатацию электробусы, а их число на момент середины 2020 г. составляет 331 ед. (Статистика подвижного состава, 2020). При этом наблюдается растущая заинтересованность инвесторов в электрическом грузовом транспорте, для чего также требуется создание «плодородной почвы» со стороны государства.

В теории электромобили с точки зрения выбросов парниковых газов в атмосферу за весь жизненный цикл наиболее экологичны, но для реализации этого преимущества необходимо минимизировать загрязнение на стадии производства электроэнергии. Пока только 17,7% энергии в России приходится на долю гидро-, ветровых и солнечных электростанций, поэтому распространение электромобилей должно сопровождаться одновременным развитием возобновляемой энергетики. Не стоит также упускать из виду, что процесс производства и переработки аккумуляторных батарей несет в себе дополнительные загрязнения природных пресных вод, почвы и воздуха токсичными тяжелыми металлами.

Учитывая, что Россия богата природным газом, а автомобили на метане менее чувствительны к климатическим условиям, последние могут быть хорошим вариантом в процессе экологизации автомобильного рынка в России. Причем их использование может уменьшить содержание взвешенных частиц в отработанных автомобильных газах на 90%, что актуально особенно для городов-миллионников, в которых проживает без малого

четверть населения страны (Численность населения РФ..., 2019). Дан- ный вывод согласуется с принятыми в РФ на ближайшие 5–15 лет страт-егическими документами, которые выделяют природный газ в качестве одного из наиболее приоритетных видов автомобильного топлива (Рас- поряжение Правительства..., 2018; Распоряжение Правительства..., 2020). Кроме того, в 2020 г. утверждена подпрограмма «Развитие рынка газомо- торного топлива», направленная на субсидирование строительства газоза- правочной инфраструктуры и переоборудование автомобильной техники для использования природного газа в качестве топлива (Постановление Правительства..., 2014).

Несмотря на все сложности, с которыми закономерно может стол- кнуться Россия при переходе на альтернативные автомобили, это может стать толчком для развития многих других отраслей экономики и направ- лений жизни населения:

- 1) стимул к заботе об окружающей среде и развитию экологичных привычек. Так, «эковождение», особенно в случае использова- ния гибридных автомобилей, позволяет сократить расход топлива и снизить отрицательное воздействие на окружающую среду. Кроме того, отмечается, что водители экологичных автомобилей с мень- шей вероятностью попадают в аварии (Hoen, Koetse, 2014; Huang, Wang, 2019);
- 2) если автомобили на метане станут распространены, то вырастет информированность населения и возрастет спрос на другие виды альтернативных автомобилей;
- 3) последнее, в свою очередь, подтолкнет развитие соответствующих технологий и инфраструктуры, альтернативной энергетики и более экологичных способов получения водородного топлива (например, гидролизом на станциях ветрогенераторов).

Список литературы

- Moscow Tesla Club. *Как заряжать электромобиль*. Дата обращения 30.04.2020, <https://moscowteslaclub.ru/charging/faq/>
- PwC. (2018). *Завтрашний день автомобильной отрасли*. Дата обращения 01.05.2020, <https://www.pwc.ru/ru/publications/autotech-russian.pdf>
- Александров, И. К., Раков, В. А., & Щербакова А. А. (2011). Перспективы разви- тия транспортных средств с электроприводом. *Транспорт на альтернативном топливе*, 22(4), 65–69.
- Алексеева, Е. (22.11.2019). Подсчитали, на чем дешевле ездить: бензин, газ или электричество? *Журнал «За Рулем»*. <https://www.zr.ru/content/news/920584-podschitali-na-chem-deshevle-ezd/>
- Аналитическое агентство «Автостат». (2018). *Парк электромобилей в России на 1 июля 2018 года*. Дата обращения 02.02.2020, <https://autostat-ru.turbopages.org/s/autostat.ru/infographics/35747/>

Аналитическое агентство «Автостат». *Продажи гибридных автомобилей в России снизились на 6%*. Дата обращения 16.04.2020, <https://www.autostat.ru/news/41980/>

Городской электротранспорт. *Статистика подвижного состава. Москва, электробус. 2020*. Дата обращения 09.04.2020, <https://transphoto.org/show.php?t=9&cid=1>

Марков, В. А., Девянин, С. Н., Крылов, В. И., & Багров, В. В. (2012). Перспективы использования биотоплив в дизельных двигателях. *Транспорт на альтернативном топливе*, 30(6), 6–10.

Министерство энергетики РФ. *Основные характеристики российской электроэнергетики. Таблица 1*. Дата обращения 29.04.2020, <https://minenergo.gov.ru/node/532>

Полищук, Н. В. (2017). Экологическая логистика: электромобиль, мировой опыт и перспективы использования в России. *Транспортное дело России*, (2), 110–114.

Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 N 321 (ред. от 21.01.2021). (2014). «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие энергетики». Подпрограмма «Развитие рынка газомоторного топлива». http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_162194/

Раков, В. А. (2013). Исследование автопарка гибридных автомобилей. *Транспорт на альтернативном топливе*, 31(1), 18–23.

Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 апреля 2018 г. № 831-р. (2018). *Стратегия развития автомобильной промышленности Российской Федерации на период до 2025 года*. <http://static.government.ru/media/files/EVXNIplqvhAf2Ik5t6l6kWrEIH8fc9v.pdf>

Распоряжение Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р. (2020). *Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. 2020*. <https://minenergo.gov.ru/node/1026>

Ревич, Б. А. (2018). Мелкодисперсные взвешенные частицы в атмосферном воздухе и их воздействие на здоровье жителей мегаполисов. *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, 29(3), 53–78.

Росстат, ЕМИСС. *Наличие автомобильного транспорта*. Дата обращения 07.05.2020, <https://fedstat.ru/indicator/36228>

Росстат. *Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2019 г.* Дата обращения: 30.04.2020, <https://www.gks.ru/compendium/document/13282>

Синяк, Ю. В., & Колпаков, А. Ю. (2012). Экономические оценки использования в автотранспорте альтернативных моторных топлив на базе природного газа. *Проблемы прогнозирования*, (4), 34–48.

Транспорт. Росстат. (2019). *Наличие легковых автомобилей, имеющих возможность использования природного газа в качестве моторного топлива, по субъектам Российской Федерации*. Дата обращения 08.05.2020, <https://www.gks.ru/folder/23455?print=1>

Adie, G. U., & Osibanjo, O. (2009). Assessment of soil-pollution by slag from an automobile battery manufacturing plant in Nigeria, 3(9), 239–250.

Alberini, A., Di Cosmo, V., & Bigano, A. (2019). How are fuel efficient cars priced? Evidence from eight EU countries. *Energy Policy*, 134, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110978>

Ali, M. U., Liu, G., Yousaf, B., Ullah, H., Abbas, Q., & Munir, M. A. M. (2019). A systematic review on global pollution status of particulate matter-associated potential toxic elements and health perspectives in urban environment. *Environmental Geochemistry and Health. Springer Netherlands*, 41(3), 1131–1162. <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0203-z>

Alternative Fuels Data Center. *How Do Liquefied Natural Gas Trucks Work?* Retrieved March 31, 2021, from <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-lng-cars-work>

Aulinger, A., Prange, A., Niedergesäss, R., Schmolke, S., & Einax, J. W. (2002) Characterization of elemental pollution and its variations in sediments and suspended particulate matter from the River Elbe via multi-element analysis combined with chemometric data evaluation. *Journal of environmental monitoring*, 4(6), 942–949. <https://doi.org/10.1039/b205026a>

Bityukova, V. R., & Mozgunov, N. A. (2019) Spatial features transformation of emission from motor vehicles in Moscow. *Geography, environment, sustainability*, 12(4), 57–73. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2019-75>

Bordelanne, O., Montero, M., Bravin, F., Prieur-Vernat, A., Oliveti-Selmi, O., Pierre, H., Papadopoulo, M., & Muller, T. (2011). Biomethane CNG hybrid: A reduction by more than 80% of the greenhouse gases emissions compared to gasoline. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 3(5), 617–624. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2011.07.007>

Burke, A., & Zhu, L. (2015). The economics of the transition to fuel cell vehicles with natural gas, hybrid-electric vehicles as the bridge. *Research in Transportation Economics*, 52, 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2015.10.005>

Davis, S. C., & Boundy, R. G. (2019). *Transportation Energy Data Book* (38th ed.). Oak Ridge National Laboratory. <https://tedb.ornl.gov/data/>

Directorate-General for Mobility and transport. (2017). *Study on the Implementation of Article 7(3) of the «Directive on the Deployment of Alternative Fuels Infrastructure» — Fuel Price Comparison. Final Report*. European Commission. <https://doi.org/10.2832/619284>

European Environment Agency. (2019). *Air pollution sources*. Retrieved February 6, 2020, from <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-sources-1>

Ge, Y., MacKenzie, D., & Keith, D. R. (2018). Gas anxiety and the charging choices of plug-in hybrid electric vehicle drivers. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 64, 111–121. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.08.021>

Hackbarth, A., & Madlener, R. (2011). Consumer Preferences for Alternative Fuel Vehicles: A Discrete Choice Analysis. *FCN Working Paper*, 20. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2236286>

Hoen, A., & Koetse, M. J. (2014). A choice experiment on alternative fuel vehicle preferences of private car owners in the Netherlands. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 61, 199–215. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.01.008>

Huang, J. S., & Wang, K. C. (2019). Are green car drivers friendly drivers? A study of taiwan's automobile insurance market. *Journal of Risk and Insurance*, 86(1), 103–119. <https://doi.org/10.1111/jori.12202>

International Energy Agency (IEA). (2019). *Global EV Outlook 2019*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>

International Organization of Motor Vehicle Manufacturers (OICA). (2019). *2019 Production Statistics*. [Data set]. Retrieved February 22, 2020, from <http://www.oica.net/category/production-statistics/2019-statistics/>

J. P. Morgan. (2018, October 10). *Driving into 2025: The Future of Electric Vehicles*. Retrieved May 2, 2020 from <https://www.jpmorgan.com/global/research/electric-vehicles>

Kim, K. H., Kabir, E., & Kabir, S. (2015). A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment international*, 74, 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.005>

Kontses, A., Triantafyllopoulos, G., Ntziachristos, L., & Samaras, Z. (2020). Particle number (PN) emissions from gasoline, diesel, LPG, CNG and hybrid-electric light-duty

vehicles under real-world driving conditions. *Atmospheric Environment*, 222, 117–126. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117126>

Lelieveld, J., Klingmüller, K., Pozzer, A., Pöschl, U., Fnais, M., Daiber, A., & Münzel, T. (2019). Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions. *European heart journal*, 40(20), 1590–1596. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz135>

National Geographic. *Air Pollution*. Retrieved February 23, 2020, from <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/air-pollution/>

Natural Gas Vehicle Knowledge Base (NGV Global). *Current Natural Gas Vehicle Statistics*. Retrieved May 3, 2020, from <http://www.iangv.org/current-ngv-stats/>

Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. (2015). *Using Natural Gas for Vehicles: Comparing Three Technologies*. U. S. Department of Energy. <https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/64267.pdf>

Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. (2017). *Vehicle Cost Calculator Assumptions and Methodology*. U. S. Department of Energy. https://afdc.energy.gov/calc/cost_calculator_methodology.html

Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. (2017). *What fleets need to know about alternative fuel vehicle conversions, retrofits, and repowers*. U. S. Department of Energy. https://afdc.energy.gov/files/u/publication/afv_conversions_retrifts_repowers.pdf

Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. (2106) *Biodiesel Handling and Use Guide (Fifth Edition)*. U. S. Department of Energy. Retrieved April 16, 2020, from https://afdc.energy.gov/files/u/publication/biodiesel_handling_use_guide.pdf

Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. *All-Electric Vehicles*. U. S. Department of Energy. Retrieved April 12, 2020, from <https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml>

Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. *Benefits and Challenges*. U. S. Department of Energy. Retrieved April 15, 2020, from https://www.fueleconomy.gov/feg/fcv_benefits.shtml

Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. *Benefits and Challenges. Infographic: The Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)*. U. S. Department of Energy. Retrieved May 4, 2020 from https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/07/f24/fcto_fcev_infographic_0.pdf

Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. *E85 Flex Fuel Specification*. U. S. Department of Energy. Retrieved May 2, 2020, from https://afdc.energy.gov/fuels/ethanol_e85_specs.html

Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. *Ethanol Benefits and Considerations*. U. S. Department of Energy. Retrieved April 23, 2020, from https://afdc.energy.gov/fuels/ethanol_benefits.html

Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. *New Flex-fuel Vehicles*. U. S. Department of Energy. Retrieved April 29, 2020, from <https://www.fueleconomy.gov/feg/PowerSearch.do?action=noform&path=1&year1=2019&year2=2020&vtype=E85&srchtyp=newAfv&pageNo=7&sortBy=Comb&tabView=0&rowLimit=10>

Racz, A. A., Muntean, I., & Stan, S.-D. (2015). A Look into Electric/Hybrid Cars from an Ecological Perspective. *Procedia Technology*, 19, 438–443. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2015.02.062>

Scarlat, N., Dallemand, J. F., & Fahl, F. (2018). Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*, 129(PA), 457–472. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.006>

Sly, M. (2017, November 28). *Semi-Solar Powered Cars are the Future*. <http://large.stanford.edu/courses/2017/ph240/sly1/#:~:text=Full%20Solar%20Is%20Not%20Possible&text=The%20reason%20fully%20solar%20powered,efficiency%20of%20the%20>

solar%20panels.&text=If%20the%20solar%20panel%20is,used%20to%20power%20the%20car

Sun, S., Delgado, M. S., & Khanna, N. (2019). Hybrid vehicles, social signals and household driving: Implications for miles traveled and gasoline consumption. *Energy Economics*, 84, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104519>

The National Renewable Energy Laboratory. (n.d.). *Wind-to-Hydrogen Project*. <https://www.nrel.gov/hydrogen/wind-to-hydrogen.html>

The Oxford Institute for Energy Studies. (2019, April). *A review of prospects for natural gas as a fuel in road transport*. Retrieved April 18, 2020, from <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2019/04/A-review-of-prospects-for-natural-gas-as-a-fuel-in-road-transport-Insight-50.pdf>

The World Bank and Institute for Health Metrics and Evaluation, University of Washington, Seattle. (2016). *The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action*. <http://hdl.handle.net/10986/25013>

U. S. Energy Information Administration. *Electricity explained. Electricity in the United States*. Retrieved April 24, 2020, from <https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/electricity-in-the-us.php>

United Nations (UN). (2015). *Sustainable Development Goals*. Retrieved March 31, 2021, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>

World Bioenergy Association. (n.d.). *Global bioenergy statistics 2019*. Retrieved April 28, 2020, from https://worldbioenergy.org/uploads/191129%20WBA%20GBS%202019_HQ.pdf

World Health Organization (WHO). *Ambient Air Pollution: Health Impact*. Retrieved April 11, 2020, from <https://www.who.int/airpollution/ambient/health-impacts/en/>

Zahabi, S. A. H., Miranda-Moreno, L., Barla, P., & Vincent, B. (2014). Fuel economy of hybrid-electric versus conventional gasoline vehicles in real-world conditions: A case study of cold cities in Quebec, Canada. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 32, 184–192. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.07.007>

References

- Alekseeva, E. (2019, November 22) It was calculated what is cheaper to ride: gasoline, gas or electricity? *Za rulem*. <https://www.zr.ru/content/news/920584-podschitali-na-chem-deshevle-ezd/>
- Alexandrov, I. K., Rakov, V. A., Shcherbakova, A. A. (2011). Prospects of development of vehicles with the electric drive. *Alternative Fuel Transport*, 22(4), 70–71.
- Autostat Analytic Agency. (2018, September 10). *Electric vehicle park in Russia on July 1, 2018*. <https://autostat-ru.turbopages.org/s/autostat.ru/infographics/35747/>
- Autostat Analytic Agency. (2019, November 29). *Hybrid car sales in Russia decreased by 6%*. <https://www.autostat.ru/news/41980/>
- Markov, V. A., Devyanin, S. N., Krylov, V. I., & Bagrov, V. V. (2012). Perspective Usage of Biofuels in Diesel Engines. *Alternative Fuel Transport*, 30(6), 6–10.
- Ministry of energy of Russian Federation. *The main characteristics of the Russian power industry. Table 1*. Retrieved April 29, 2020, from <https://minenergo.gov.ru/node/532>
- Moscow Tesla Club. (n.d.). *How to charge an electric car*. Retrieved April 30, 2020, from <https://moscowteslaclub.ru/charging/faq/>
- Order of the Government of Russia dated 15.04.2014 № 321 (edited 21.01.2021). (2014). *“On Approval of the State Program of the Russian Federation “Energy Development”. Subprogram*

"Development of the Gas Vehicle Fuel Market. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_162194/

Order of the Government of Russia dated 28.04.2018. № 831-r. (2018). *Development strategy of the automotive industry of the Russian Federation for the period up to 2025*. <http://static.government.ru/media/files/EVXNIplqvhAfF2Ik5t6l6kWrEIH8fc9v.pdf>

Order of the Government of Russia dated 9.06.2020 № 1523-p. (2020). *Energy Strategy of the Russian Federation until 2035*. <https://minenergo.gov.ru/node/1026>

Polishchuk, N. (2017). Ecological Logistics: Electric Car, World Experience And Prospects In Russia. *Transport business in Russia*, (2), 110–114.

PwC. (2018). *The tomorrow of the automotive industry*. Retrieved January 5, 2020, from <https://www.pwc.ru/ru/publications/autotech-russian.pdf>

Rakov, V. A. (2013). Development of the world fleet of hybrid cars. *Alternative Fuel Transport*, 31(1), 18–23.

Revich, B. A. (2018). Fine suspended particulates in ambient air and their health effects in megalopolises. *Problems of ecological monitoring and ecosystem modelling*, 29(3), 53–78.

Rosstat, EMISS. (n.d.). *Availability of road transport*. [Data set]. Retrieved May 7, 2020, from <https://fedstat.ru/indicator/36228>

Rosstat. *Population of the Russian Federation by municipalities as of January 1, 2019*. [Data set]. Retrieved April 30, 2020, from <https://www.gks.ru/compendium/document/13282zxzxc>

Rosstat. Transport. (2019). *Availability of passenger cars capable of using natural gas as a motor fuel in the constituent entities of the Russian Federation*. [Data set]. Retrieved May 8, 2020, from <https://www.gks.ru/folder/23455?print=1>

Sinyak, Y. V., & Kolpakov, A. Y. (2012). Comparative economics of alternative motor fuels from natural gas used by motor vehicles. *Studies on Russian Economic Development*, (4), 34–48.

Urban Electric transit. *Vehicle Statistics. Moscow, Electric Bus*. [Data set]. Retrieved April 9, 2020, from <https://transphoto.org/show.php?t=9&cid=1>