

## ЭВОЛЮЦИЯ СИЛОВЫХ И ТРАДИЦИОННЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК

### EVOLUTION OF TRADITIONAL AND ALTERNATIVE POWER PLANT

**Стородубцева Т.Н.**, доктор технических наук, доцент, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

**Storodubtseva T.N.**, DrSc in Technical Sciences, Docent, Professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

**Морковин В.А.**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленного транспорта, строительства и геодезии, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

**Morkovin V.A.**, PhD in Technical Sciences, Docent, Head of the Department of Industrial Transport, Construction, and Geodesy, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

**Никитский В.А.**, студент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

**Nikitskiy V.A.**, Student, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

**Аннотация.** В статье рассматривается эволюция силовых установок транспортных средств – от двигателя внутреннего сгорания (ДВС), доминировавшего на протяжении более ста лет, до современных альтернативных технологий: электрических, гибридных, газовых и водородных агрегатов. Анализируются ключевые этапы технологического развития ДВС, включая совершенствование систем топливоподачи, снижение токсичности отработавших газов и повышение термического КПД. Особое внимание уделяется факторам, обусловившим активное распространение альтернативных силовых установок: ужесточению экологических требований, росту цен на нефтепродукты, прогрессу в области накопителей электроэнергии и государственной политике декарбонизации транспортного сектора. Проводится сравнительный анализ технико-экономических и экологических характеристик различных типов силовых агрегатов с применением методологии оценки жизненного цикла (LCA). Показано, что переход к альтернативным силовым установкам носит не революционный, а постепенный эволюционный характер и сопряжен с необходимостью решения комплекса инфраструктурных, экономических и технологических задач. Сделан вывод о том, что в среднесрочной перспективе наиболее вероятным сценарием является сосуществование различных типов силовых агрегатов с постепенным увеличением доли электрифицированного транспорта.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания (ДВС), электродвигатель, силовая установка, электромобиль, топливный элемент, водородный двигатель.

**Abstract.** This article examines the evolution of vehicle powertrains – from the internal combustion engine (ICE), which has dominated for over a century, to contemporary alternative technologies including electric, hybrid, compressed natural gas (CNG) and hydrogen powertrains. Key milestones in ICE technological development are analysed, encompassing advances in fuel injection systems, exhaust emission reduction, and improvements in thermal efficiency. Particular attention is paid to the factors driving the widespread adoption of alternative powertrains: increasingly stringent environmental regulations, rising petroleum prices, breakthroughs in energy storage technologies, and government decarbonisation policies targeting the transport sector. A comparative assessment of the technical, economic, and environmental performance of various powertrain types is conducted using Life Cycle Assessment (LCA) methodology. The study demonstrates that the transition to alternative powertrains is not revolutionary but gradual and evolutionary in nature, requiring the resolution of a complex set of infrastructural, economic, and technological challenges. It is concluded that, in the medium term, the most probable scenario is the coexistence of multiple powertrain types, with the share of electrified vehicles increasing progressively.

**Keywords:** internal combustion engine (ICE), electric motor, power plant, electric car (EC), fuel cell, hydrogen engine.

Силовая установка – это главная часть любого транспортного средства. Больше 130 лет эту роль выполнял двигатель внутреннего сгорания (ДВС) – бензиновый или дизельный агрегат, который превращает энергию топлива в движение. Именно двигатель внутреннего сгорания дал толчок массовому производству автомобилей и строительству дорог по всему миру.

Однако начиная с 1990-х годов, ДВС начал уступать позиции. Появились новые типы силовых установок: электромоторы на аккумуляторах, гибриды, объединяющие ДВС и электрическую тягу, газовые двигатели, а также водородные установки на топливных элементах. Каждое из этих решений по-своему использует энергию и по-разному влияет на экологию.

Настоящая статья посвящена комплексному рассмотрению этого масштабного технологического перехода: его движущих сил, накопленных результатов и перспектив развития в горизонте ближайших десятилетий.

Актуальность исследования определяется совокупностью взаимосвязанных факторов, формирующих запрос на глубокое научное осмысление происходящих трансформаций в транспортном секторе.

Транспортный сектор генерирует около 24 % глобальных выбросов CO<sub>2</sub>, занимая второе место среди всех отраслей экономики после энергетики. Ратификация Парижского соглашения 2015 года и принятие национальных стратегий углеродной нейтральности создали жёсткие нормативные рамки для автопроизводителей. Европейский союз в Регламенте (EU) 2023/851 закрепил запрет на продажу новых автомобилей с ДВС с 2035 года; аналогичные меры готовятся в Великобритании, Канаде и ряде штатов США. В этих условиях исследование альтернативных силовых установок приобретает стратегическое значение.

Стоимость литий-ионных аккумуляторов снизилась с 1 200 долл./кВт·ч в 2010 году до менее 100 долл./кВт·ч к 2024 году – то есть более чем в 12 раз за 14 лет. Этот беспрецедентный

ценовой обвал сделал электромобили экономически конкурентоспособными на массовом рынке и запустил эффект масштаба в производстве электрических трансмиссий.

Зависимость от импорта нефти стала проблемой для большинства стран. Резкие скачки цен на нефть, особенно в период 2022-2024 годов, подтолкнули правительства активнее переходить на электрический транспорт. Для России это не только вызов, но и шанс: страна богата ресурсами для производства аккумуляторов – литием, никелем, кобальтом, а значит, переход на альтернативные двигатели вполне выгоден экономически [1, 2].

Несмотря на очевидный мировой курс на электрификацию транспорта, среди ученых и инженеров остаются спорные вопросы, которые и составляют главную проблему данного исследования.

Многие говорят об экологической пользе электромобилей, но считают только выбросы во время езды. При этом забывают, что само производство батареи емкостью 75 кВт/ч выбрасывает от 4 до 15 тонн CO<sub>2</sub> – в зависимости от того, какая энергетика используется на заводе. Получается, что в странах, где много угольных электростанций, электромобиль может быть даже вреднее для экологии, чем обычный гибрид (рисунок 1).

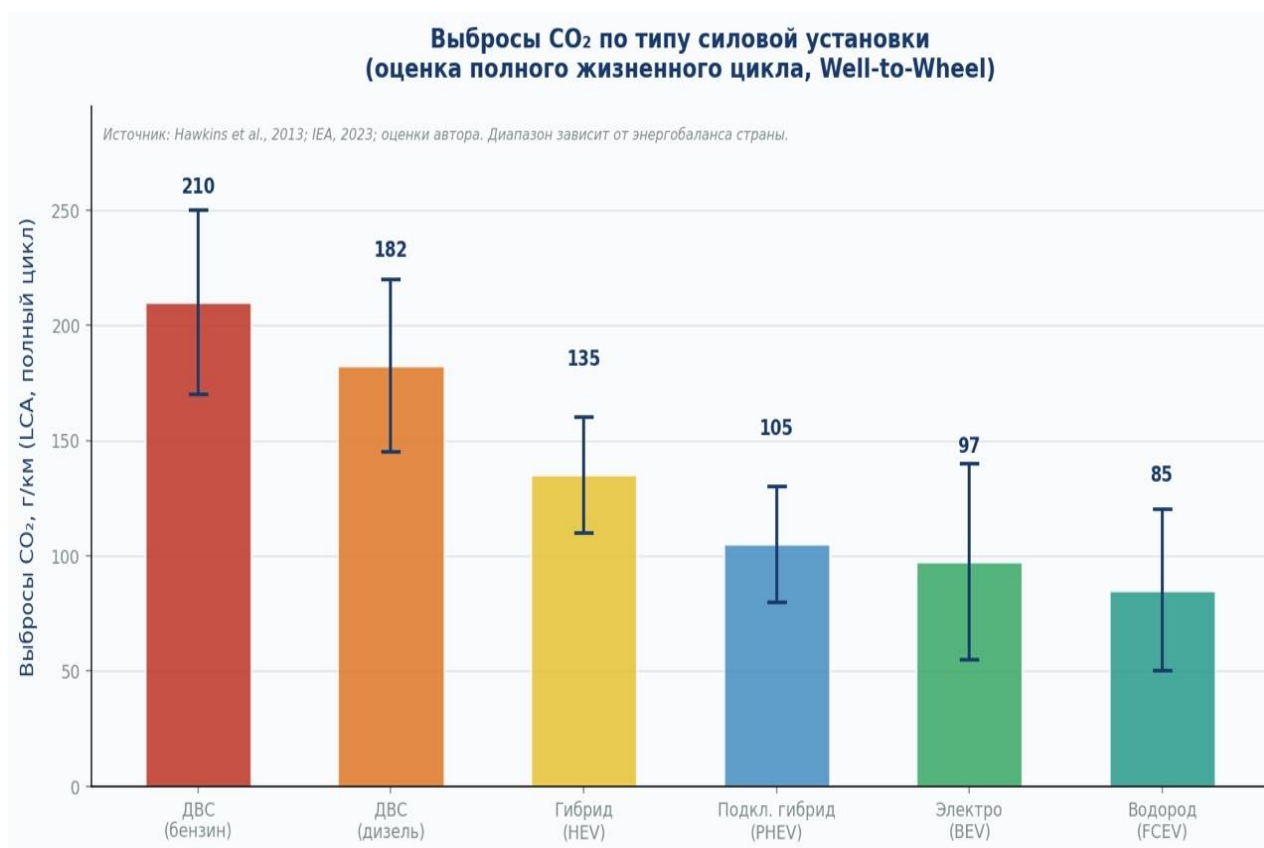


Рисунок 1 – График выброса CO<sub>2</sub> по типу установки

Глобальная зарядная инфраструктура для электромобилей по-прежнему существенно уступает по плотности и доступности традиционным автозаправочным станциям. Среднее время зарядки от быстрых зарядных устройств (DC fast charging) составляет 20-45 минут против 3-5 минут для заправки ДВС. В условиях протяженных российских территорий с

низкой плотностью населения это создаёт принципиально иные требования к планированию зарядной сети по сравнению с компактными европейскими странами [1, 3].

К 2030 году объем отработавших литий-ионных аккумуляторов превысит 11 миллионов тонн в год в мировом масштабе. Промышленные технологии рециклинга аккумуляторов (гидрометаллургия, пирометаллургия) пока способны извлекать лишь 50-70 % ценных материалов, а экономика замкнутого цикла для батарей еще не сформирована в полной мере. Это создает риск замены одной экологической проблемы – выбросов от ДВС – другой: накопления токсичных отходов.

Целью исследования является разработка комплексной сравнительной оценки технологической эволюции традиционных и альтернативных силовых установок транспортных средств, а также формулирование научно обоснованных рекомендаций по стратегии технологического перехода транспортного сектора.

Для достижения поставленной цели определены следующие исследовательские задачи:

- 1) проследить историческую эволюцию ДВС и установить закономерности его технологического совершенствования [4, 5];
- 2) систематизировать и классифицировать существующие типы альтернативных силовых установок по принципу действия, области применения и степени технологической зрелости;
- 3) провести сравнительный анализ технико-экономических показателей различных типов силовых агрегатов на основе методологии оценки полного жизненного цикла (LCA);
- 4) выявить структурные барьеры и движущие силы перехода к альтернативным силовым установкам в глобальном и российском контексте [6];
- 5) разработать сценарии развития рынка силовых агрегатов в горизонте 2030-2050 годов.

Решение обозначенных проблем требует комплексного подхода, объединяющего технологические, экономические, регуляторные и инфраструктурные меры. Ниже представлены ключевые направления и конкретные механизмы.

В Европе уже действует правило: на главных дорогах каждые 60 км должна быть быстрая зарядка мощностью от 150 кВт – и все это к 2025 году. В России из-за больших расстояний лучше всего строить крупные зарядные станции в городах и вдоль трасс, а также в первую очередь переводить на электричество городской транспорт – автобусы и такси. Их маршруты известны заранее, поэтому заряжать их удобнее. Одновременно нужно развивать водородные заправки для тяжелого транспорта – грузовиков, поездов, самолетов. Там обычные батареи слишком тяжелые и просто не подходят.

Проблему утилизации батарей можно решить, создав целые отрасли по их переработке. Европейский закон о батареях 2023 года обязывает производителей использовать в новых батареях определенную долю переработанных материалов – лития, кобальта, никеля и марганца. Есть еще одна хорошая идея – «вторая жизнь» батарей. Аккумулятор, который уже не тянет электромобиль как раньше (потерял 20-30 % емкости), еще вполне способен работать как домашний или промышленный накопитель энергии – и служить так еще 7-10 лет. Это выгодно и для кошелька, и для экологии [7].

Таким образом, переход от привычных двигателей к новым – один из самых больших технологических сдвигов в истории. ДВС развивался 130 лет и уже достиг своего предела. Главный вывод исследования: нет одного универсального решения для всех – разным видам транспорта нужны разные технологии. Лучшая политика – не продвигать какую-то одну технологию, а снижать общий вред для климата на протяжении всего срока службы техники. Три главных направления на будущее: развитие электрической и водородной тяги, улучшение переработки батарей и создание новой инфраструктуры.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов, А. М. Перспективы развития водородных транспортных средств в условиях российского рынка / А. М. Иванов, С. В. Петров // Транспорт на альтернативном топливе. – 2022. – № 4(88). – С. 22-31.
2. Агентство по технологическому развитию (АТР). Перспективы развития электромобильного транспорта в Российской Федерации : аналитический доклад. – Москва : АТР, 2022.
3. Кравченко, Е. А. Альтернативные источники энергии для транспортных средств : учеб. пособие / Е. А. Кравченко. – Санкт-Петербург : Политехника, 2020. – 312 с.
4. Автомобильные двигатели : современные тенденции развития / под ред. М. С. Ховаха. – Москва : Транспорт, 2019. – 396 с.
5. Назаров, И. В. Двигатели внутреннего сгорания : теория и практика / И. В. Назаров, В. Ф. Чабан. – Москва : Машиностроение, 2018. – 480 с.
6. Возобновляемая энергия : опыт регионов и потенциал малых городов России / А. С. Черных, Т. Н. Стородубцева, И. Ю. Рублев, Ю. А. Осыкина // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе : материалы международной научно-практической конф., Воронеж, 20 июня 2025 г. / ВГАУ имени императора Петра I. – Воронеж, 2025. – С. 44-48.
7. Стородубцева, Т. Н. Отходы древесины как ресурс для производства биоэнергии и биотоплива / Т. Н. Стородубцева, М. Л. Шабанов, В. В. Петряник // Инновационные научные исследования 2025 : сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса, 05 июля 2025 г. – Пенза, 2025. – С. 32-35.

### REFERENCES

1. Ivanov, A. M. Prospects for the development of hydrogen vehicles in the Russian market / A. M. Ivanov, S. V. Petrov // Transport on alternative fuels. – 2022. – No.4(88). – P. 22-31.
2. Agency for Technological Development (ATR). Prospects for the Development of Electric Vehicle Transport in the Russian Federation : Analytical Report. – Moscow : ATR, 2022.
3. Kravchenko, E. A. Alternative Energy Sources for Vehicles: Textbook. / E. A. Kravchenko. – Saint-Petersburg : Politekhnik, 2020. – 312 p.
4. Automotive engines : modern development trends / edited M. S. Hovaha. – Moscow : Transport, 2019. – 369 p.
5. Nazarov, I. V. Internal combustion engines : theory and practice / I. V. Nazarov, V. F. Chaban. – Moscow : Mashinostroenie Publ., 2018. – 480 p.

6. Renewable Energy : Regional Experience and Potential of Small Towns in Russia / A. S. Chernykh, T. N. Storodubtseva, I. Yu. Rublev, Yu. A. Osykina // Energy Efficiency and Energy Saving in Modern Production and Society : Proceedings of the International Scientific and Practical Conf., Voronezh, June 20, 2025 / Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great. – Voronezh, 2025. – P. 44-48.

7. Storodubtseva, T. N. Wood waste as a resource for the production of bioenergy and biofuels / T. N. Storodubtseva, M. L. Shabanov, V. V. Petryanik // Innovative scientific research 2025 : collection of articles of the International Scientific Research Competition, July 5, 2025. – Penza, 2025. – P. 32-35.