



Влияние автомобилей с ДВС и электромобилей на окружающую среду: сравнение и оценка факторов воздействия



Виталий ГАЕВСКИЙ



Ирина ОДИНОВА

Гаевский Виталий Валентинович – Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия.

Одиноква Ирина Вячеславовна – Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия.*

В 2017 году количество эксплуатируемых в мире автотранспортных средств превысило 1,5 млрд единиц. Автомобилизация создала серьёзные проблемы для безопасности окружающей среды, жизни и здоровья людей.

В статье рассматриваются различные факторы влияния автомобилизации на состояние окружающей среды.

До последнего времени основным значимым фактором загрязнения окружающей среды считались вредные выбросы транспортных средств. Вследствие осуществления технической политики по реализации экологических норм EURO, «центр тяжести» в проблемах повышения экологической безопасности транспортных средств перемещается в направлении минимизации посту-

пающего в окружающую среду тепла, выделяемого двигателями автотранспортных средств.

Наибольший практический интерес представляет рекуперация энергии, расходуемой на тягу, что повышает энергоэффективность автомобильного транспорта при одновременном снижении негативного воздействия на окружающую среду.

Сравнительная оценка автомобилей с ДВС и электромобилей показала, что общее негативное влияние сопоставляемых транспортных средств на окружающую среду в настоящее время различается незначительно. Необходимо продолжение исследований и выполнения опытно-конструкторских разработок в области проблем рекуперации энергии.

Ключевые слова: гибридные автомобили, электромобили, рекуперация энергии, экологичность автомобилей, КПД, утилизация, эффективность, окружающая среда, литий-ионные батареи.

*Координаты авторов:

Гаевский Виталий Валентинович – доктор технических наук, профессор кафедры автомобилей Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, vit-life@rambler.ru.

Одиноква Ирина Вячеславовна – кандидат технических наук, доцент кафедры деталей машин и теории механизмов Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, odinkova_iv@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 12.01.2019, актуализирована 08.06.2019, принята к публикации 21.06.2019.

For the English text of the article please see p. 226.

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы произошёл скачок количества средств авто- и мототранспорта на Земле. Число автомобилей превысило 1 млрд единиц ещё в 2010 году. За следующие 4 года прирост автомобилей составил ещё около 330 млн единиц. В настоящее время в мире насчитывается порядка 1,5 млрд единиц автотранспортных средств, и столько же мототранспортных средств.

Если рассматривать количество автомобилей, приходящееся на 1000 жителей в наиболее автомобилизированных странах (Монако, США, Австралия), то в них приходится по одному автомобилю практически на каждого жителя (рис. 1). В России, занимающей 52 место в мире по числу автомобилей на 1000 жителей, один автомобиль приходится в среднем на 3,5 человека.

Автомобилизация стала значимым явлением, влияющим на различные аспекты глобального устойчивого развития: социальные, экономические, экологические и др. Она имеет как позитивные, так и негативные последствия. При этом технологические изменения и создание инновационных технических средств автомобильного транспорта, в том числе, электромобилей, транспортных средств с гибридными двигателями, обладая важными позитивными качествами, требуют, по мере осмысления опыта их эксплуатации всесторонней и взвешенной переоценки последствий их воздействия на окружающую среду, особенно в сравнении с традиционными автомобилями с двигателями внутреннего сгорания (ДВС).

Целями исследования являются оценка общих позитивных и негативных последствий глобальной автомобилизации, сравнительный анализ факторов воздействия на окружающую среду автомобилей с ДВС и электрическими двигателями, а также выявление технологических решений, способствующих минимизации негативных факторов указанного воздействия с точки зрения энергоэффективности и сохранения окружающей среды.

В ходе исследования использовались физико-математические *методы*, инструменты статистического анализа, научный инструментарий технических наук, в частности, электротехники, сравнительный анализ и изучение имеющегося опыта.

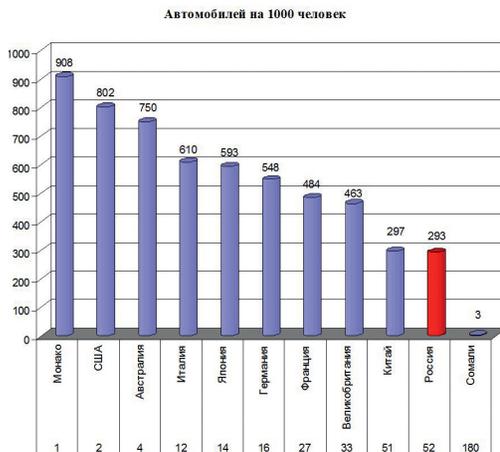


Рис. 1. Количество автомобилей на 1000 человек в некоторых странах мира [<https://knoema.ru/atlas/topics>].

1. ПОЗИТИВНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АВТОМОБИЛИЗАЦИИ

Легковой автомобиль наиболее привлекателен для людей как средство совершения ежедневных поездок, во-первых, по своим техническим возможностям, во-вторых, ввиду способности удовлетворять в наибольшей степени индивидуальные запросы каждого пользователя. В местностях с тёплым климатом альтернативой автомобиля может служить мотоцикл. Вследствие этого автомобили и мотоциклы стали самыми востребованными транспортными средствами в мире. Автомобилизация продолжается, что позволяет считать её тенденцией развития техносферы на обозримую перспективу.

Массовая автомобилизация привела к существенным позитивным социальным последствиям, таким как:

- рост мобильности, то есть возможности совершить поездки и перевозки грузов быстро, комфортно и эффективно;
- повышение доступности и удобства совершения поездок пассажиров и перевозок грузов;
- уменьшение затрат времени на поездки пассажиров и ускорению перевозок грузов;
- обеспечение занятости значительной части населения.

Указанные факторы способствуют экономическому росту, специализации и ко-



оперированию труда, стимулированию научно-технического прогресса и развитию промышленных технологий, что, в свою очередь, обеспечивает расширение налоговой базы [1].

Вместе с этим автомобилизация влечёт и негативные последствия.

2. НЕГАТИВНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АВТОМОБИЛИЗАЦИИ

Одним из наиболее негативных последствий автомобилизации являются дорожно-транспортные происшествия (ДТП). На международном уровне обобщением данных о дорожно-транспортной аварийности и её негативных последствиях для жизни и здоровья людей занимается Всемирная организация здравоохранения – ВОЗ (*World Health Organization*), публикующая с периодичностью 3–5 лет доклады о безопасности дорожного движения в мире (*Global Status Report on Road Safety*), а также Всемирный банк, публикующий отчёты *Mortality caused by road traffic injury (per 100,000 people)*. По данным доклада ВОЗ за 2018 г. ежегодно в мире вследствие ДТП погибает более 1,35 млн чел. Россия по уровню риска гибели граждан в ДТП занимает 72 место (из 175 сопоставляемых стран). Этот риск оценивается числом погибших в ДТП в расчёте на 100 тыс. чел. населения (Россия – 18 чел./100 тыс. жителей). Лидерами рейтинга безопасности дорожного движения являются западноевропейские государства (в первую очередь – скандинавские страны). Абсолютное же лидерство принадлежит Сан-Марино – ноль погибших в ДТП людей. Высокая смертность в результате ДТП коррелирует с уровнем бедности, социальной отсталостью, некачественными дорогами, отсутствием должного медицинского обеспечения [2].

По данным Научного центра безопасности дорожного движения МВД РФ в 2018 г. на дорожной сети страны произошло 168 тыс. дорожно-транспортных происшествий (ДТП), в которых погибли 18,2 тыс. чел. и ещё 214,9 тыс. чел. получили ранения различной степени тяжести. Каждое девятое ДТП было со смертельным исходом.

К сожалению, в статистику жертв автомобилизации не попадают данные

о погибших от воздействия угарного газа, о возросшем количестве онкобольных из-за увеличившегося уровня канцерогенных веществ, выбрасываемых в атмосферу движущимися транспортными средствами (ТС).

Автомобилестроение, ускоренно развивающееся в интересах автомобилизации, требует использования значительного объёма природных ресурсов. Автомобилизация, опережающая развитие транспортной инфраструктуры (в первую очередь – дорожно-транспортной сети и парковок в городах), приводит к появлению транспортных заторов. Снижение скорости движения вследствие заторов требует увеличения числа эксплуатируемых транспортных средств для обеспечения перевозок. Увеличение количества автомобилей приводит к повышению различных выбросов, в том числе парниковых газов, тепла, росту объёмов продуктов износа шин и тормозных механизмов. Существенно обострились в настоящее время проблемы утилизации отходов автотранспортной деятельности и транспортного машиностроения.

Снижение нагрузки на окружающую среду от автомобилизации связывается с использованием электромобилей и автомобилей, оснащённых гибридными силовыми установками. Такие ожидания исходят исключительно из оценки уменьшения выбросов вредных веществ в атмосферу.

Однако, указывая на использование электротяги, обычно забывают, что электрическая энергия, потребляемая электромобилями, где-то вырабатывается. При этом на окружающую среду всё равно оказывается вредное воздействие, причём точечное. Правда, генераторы электростанций в расчёте на единицу производимой энергии создают меньший экологический вред, по сравнению с ДВС, поскольку работают не в переходных, а в постоянных режимах, и сами имеют высокий КПД.

В итоге, если рассматривать два принципиально разных типа ТС: электромобиль и автомобиль с ДВС по совокупности факторов, то оказывается, что негативное влияние от них примерно одинаково.

Таблица 1

Содержание экологически опасных материалов и жидкостей в составе легкового автомобиля (полужирным шрифтом выделены характеристики литиевых аккумуляторов)

Материал	Масса, кг	Доля от общей массы, %
Чёрные металлы	626	55,9
Алюминий Al	52	4,6
Хром Cr	1	0,07
Медь Cu	10	0,9
Цинк Zn	0,2	0,02
Свинец Pb	12	1
Литий Li	300–700	20–50
Масла	10	0,9
Бензин	5	0,4
Этиленгликоль	3	0,3
Резина	66	5,9
Стекло	32	2,9
Пластмассы и прочее	303,6	27,1
Итого	1120,8	100

С одной стороны, автомобили с ДВС поставляют в атмосферу вредные выбросы парниковых газов. Но, согласно современным нормам Евро 6, эти выбросы сведены к минимуму. С другой стороны, электромобили, казалось бы, экологически безвредные, имеют в своём составе Li батареи, которые очень опасны для окружающей среды и плохо поддаются утилизации. Если рассматривать электромобили как массовые средства транспорта, то через несколько лет их эксплуатации появятся серьёзные проблемы с утилизацией большого количества аккумуляторных Li батарей (таблица 1) [2, 4–7].

Вместе с тем, все автомобили, независимо от конструкции их двигателей, создают общие проблемы с утилизацией отработанных шин; пластиков; масел и других эксплуатационных жидкостей, а также рассеиванием в окружающей среде выделяемого при работе тепла.

3. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ: ПОСТАНОВКА ВОПРОСА И ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ

Для всех ТС имеются общие проблемы потери энергии при торможении, поскольку **каждое торможение – это перевод кинетической энергии движения ТС в тепло.**

Выполним приблизительный расчёт эмиссии тепла, ежедневно поступающего от всех автомобилей в атмосферу планеты вследствие торможения и рассеиваемого в ней. Для расчётов будем использовать следующие исходные данные:

- число эксплуатируемых автомобилей – 1 млрд ед. ($A = 1000000000$ ед.);
- средняя условно-расчётная скорость движения автомобиля – 57 км/ч ($V = 16$ М/с);
- число торможений с полной скорости движения за 1 ч работы – $n = 18$ ед.;
- средняя расчётная продолжительность пребывания автомобиля в движении за рабочий день – $T = 3$ ч;
- средняя условно-расчётная масса одного автомобиля (получена авторами путём экспертных оценок с учётом доли в автомобильном парке подвижного состава различных типов и полной массы) – 3 т ($M = 3000$ кг).

При каждом торможении с условно-расчётной скорости до полного прекраще-

ния движения в тормозных механизмах каждого автомобиля будет накапливаться, а затем и рассеиваться в атмосфере тепловая энергия Q , равная трансформируемой кинетической энергии автомобиля в движении и определяемая по известной из физики формуле:

$$Q = (M \cdot V^2) : 2 = 3000 \cdot 16^2 : 2 = 384000 \text{ Дж} = 284 \text{ кДж.}$$

За сутки один автомобиль произведёт тепловую эмиссию $Q_{\text{сут.}}$ в размере:

$$Q_{\text{сут.}} = Q \cdot T \cdot n = 284 \cdot 3 \cdot 18 = 15336 \text{ кДж.}$$

Суммарная тепловая эмиссия $Q_{\text{сум.}}$ от всех автомобилей за сутки их работы на линии составит:

$$Q_{\text{сум.}} = Q_{\text{сут.}} \cdot A = 15336 \cdot 1000000000 = 15336000000000 \text{ кДж} = 15336 \text{ тДж.}$$

Для сравнения, все АЭС России в 2018 году по данным Росатома выработали 204,3 млрд кВт·ч электроэнергии, или около 11 % всей произведённой в стране электроэнергии*. Принимая для простоты сравнения выработку электроэнергии постоянной в различные дни года, ежедневно на АЭС России производилось $204,3 : 365 = 0,6$ млрд кВт·ч электроэнергии, или 2160 тДж.

* Госкорпорация «Росатом»: ядерные технологии, атомная энергетика, АЭС, ядерная медицина. [Электронный ресурс]: <http://www.rosatom.ru>. Дата обращения 24 февраля 2019 г.



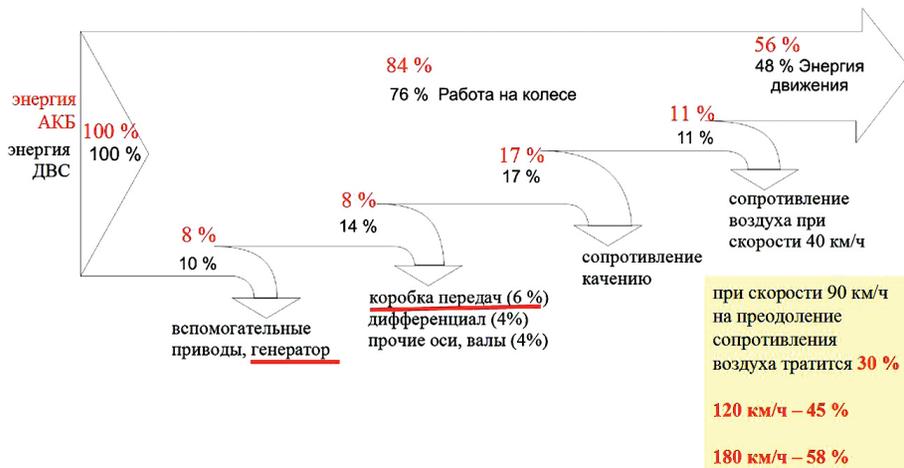


Рис. 2. Энергобаланс обычного автомобиля и электромобиля без рекуперации энергии движения: подчёркнуты агрегаты, которые отсутствуют у электромобиля [8].



Рис. 3. Энергобаланс автомобиля с ДВС и электромобиля с рекуперацией энергии движения: подчёркнуты агрегаты, которые отсутствуют у электромобиля.

Представленные данные свидетельствуют о значительной тепловой эмиссии, поступающей в атмосферу от автотранспортных средств.

Исходя из вышесказанного, на наш взгляд, в настоящее время на первый план выходит проблема полезного использования кинетической энергии, которая теряется при каждом торможении. То, на что ещё 10 лет назад не обращали внимания из-за других серьёзных проблем, сейчас становится весьма существенной причиной вредных воздействий на окружающую среду.

Если человечество научится рекуперировать энергию движения автомобиля, то есть накапливать её при торможении и по-

вторно использовать при разгоне, то только одна эта мера решит многие проблемы, от снижения потребности в топливе на тягу до снижения парникового эффекта.

Ниже представлен энергобаланс автомобиля с ДВС и электромобиля – без рекуперации энергии (рис. 2) и с рекуперацией (рис. 3) [8].

Из рис. 2 и 3 следует, что при каждом торможении теряется до половины выработанной двигателем энергии – это та часть вырабатываемой энергии, которую можно повторно использовать [9–15]. Однако не стоит забывать, что процентные оценки возможной рекуперации верны только на скоростях движения до 40 км/ч. При уве-

личении скорости всё больше энергии безвозвратно тратится на преодоление воздушного сопротивления движению ТС.

ВЫВОДЫ

Автомобилизация сопряжена с необходимостью решения ряда порождённых ею проблем. Наиболее существенной проблемой остаётся снижение размера экологического ущерба от эксплуатации автомобилей. Современные модели автомобилей с ДВС обладают существенно меньшими выбросами парниковых газов вследствие использования при их конструировании и производстве инновационных технологий. Среди различных факторов, определяющих загрязнение автомобилями окружающей среды, выдвигается эмиссия в атмосферу тепла, рассеиваемого тормозными механизмами транспортных средств.

Наиболее перспективным направлением сокращения тепловой эмиссии с бортов автомобилей является рекуперация кинетической энергии, превращаемой тормозными механизмами в тепло, рассеиваемое в атмосфере.

Известные технические решения сводятся либо к замене автомобилей с ДВС электромобилями, либо к применению систем рекуперации энергии торможения. В том числе, практически начинают применяться автомобили с гибридными силовыми установками.

Применение гибридной силовой установки (более одного источника энергии для движения) в автомобиле совместно с рекуперацией энергии является наиболее перспективным развитием его конструкции и, в случае удачной реализации концепции, приведёт к экономии расхода топлива, снижению выбросов в атмосферу, минимизации парникового эффекта при сохранении и даже увеличении автономности хода — пробега транспортного средства на одной заправке энергоносителем, размещаемым на его борту.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов А. М., Солнцев А. Н., Гаевский В. В. и др. Основы конструкции современного автомобиля: Учебник / 2-е изд., испр. и доп. — М.: Инжиниринговый научно-образовательный центр «СМАРТ», 2017. — 348 с.

2. Global Status Report on Road Safety. [Электронный ресурс]: https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/. Доступ 21.06.2019.

3. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 12 месяцев 2018 года. Информационно-аналитический обзор. — М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России», 2019. — 18 с.

4. КПД двигателя внутреннего сгорания. [Электронный ресурс]: <http://avto-blogger.ru/texchast/kpd-dvigatelya-vnutrennego-sgoraniya.html>. Доступ 21.06.2019.

5. Гришаева Ю. М., Матанцева О. Ю., Спирин И. В., Савосина М. И., Ткачева З. Н., Васин Д. В. Устойчивое развитие транспорта в городах России: опыт и актуальные задачи // Юг России: экология, развитие. — 2018. — № 4. — С. 24–46. DOI: 10.18470/1992–1098–2018–4–24–46

6. Кругликов С. С. Применение электромембранных процессов в технологии электрохимического хромирования // Мембраны и мембранные технологии. — 2016. — № 3. — С. 305–312.

7. Kruglikov S. S., Kolesnikov V. A., Brodski V. A., Gubin A. F., Nekrasova N. E., Kruglikova E. S. Regeneration of process solutions and purification of water in reclaim tanks through immersed electrochemical modules. *Galvanotachnik*. — 2018. Vol. 109. No. 2. — pp. 246–252. DOI: 10.12850/ISSN2196–0267.JERTXXX.

8. Сайкин А. М., Тер-Мкртчичян Г. Г., Переладов А. С. и др. Экологические проблемы современных транспортных средств, в том числе электромобилей // Вестник машиностроения. — 2017. — № 2. — С. 84–87.

9. Карпухин К. Е., Биксалеев Р. Ш., Климов А. В., Оспанбеков Б. К. Об аспектах безопасности тяговых аккумуляторных батарей электрифицированных транспортных средств. Анализ факторов, влияющих на ресурс и некоторые методы его оценки // Журнал Автомобильных инженеров. — 2017. — № 6. — С. 26–29.

10. Колбасов А. Ф., Карпухин К. Е., Дебелов В. В. Исследование инфраструктуры для личного электротранспорта: актуальные проблемы, варианты решений // Журнал Автомобильных инженеров. — 2017. — № 2. — С. 36–45.

11. Иванов А. М., Нарбут А. Н., Паршин А. С., Солнцев А. Н., Гаевский В. В. Автомобили: Теория эксплуатационных свойств: Учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. — М.: Издательский центр «Академия», 2014. — 176 с.

12. Гаевский В. В., Одинокова И. В. Электромобиль против гибридного автомобиля // Автомобильная промышленность. — 2017. — № 9. — С. 10–13.

13. Гаевский В. В., Литвиненко Р. В., Борисевич В. Б. Гибридные системы для однопутных транспортных средств // Вестник МАДИ. — 2017. — № 3. — С. 16–19.

14. Гаевский В. В., Фёдорова Т. Д. Альтернативные источники энергии на автотранспортных средствах, краткая история и перспективы использования в качестве рекуператоров // Автотранспортное предприятие. — 2016. — № 6. — С. 47–49.

15. Одинокова И. В. Метод определения экологической эффективности наземных транспортных средств // Строительные и дорожные машины. — 2016. — № 2. — С. 34–39.

16. Shadrin S. S., Ivanov A. M. Algorithm of autonomous vehicle steering system control law estimation while the desired trajectory driving. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. — 2016. — Vol. 11. — Iss. 15. — pp. 9312–9316.

17. Bartłomiejczyk M. Modern Technologies in Energy Demand Reducing of Public Transport – Practical Applications // Proceedings of 2017 Zooming Innovation in Consumer Electronics International Conference (ZINC). — Novi Sad, Serbia. — IEEE. — May-June. — 2017. — pp. 64–69. ●

