

Приоритеты энергоперехода на транспорте: электротяга или повышение экологического класса углеводородного топлива?

Priorities of energy consumption in transport: electric traction or an increase in the ecological class of hydrocarbon fuels?

Евгений ГАШО
Профессор НИУ МЭИ, д. т. н.
E-mail: GashoYG@mpei.ru

Evgeny GASHO
Professor of the NRU MEI,
Doctor of Technical Sciences
E-mail: GashoYG@mpei.ru

Сергей БЕЛОБОРОДОВ
Некоммерческое партнёрство
по содействию внедрения
энергоэффективных технологий
«Энергоэффективный город», к. т. н.
E-mail: anna.gorshik@yandex.ru

Sergey BELOBORODOV
Non-profit partnership for the promotion
of the introduction of energy-efficient
technologies «Energy-efficient city», Ph.D.
E-mail: anna.gorshik@yandex.ru

Александр НЕНАШЕВ
Некоммерческое партнёрство
по содействию внедрения
энергоэффективных технологий
«Энергоэффективный город»
E-mail: anna.gorshik@yandex.ru

Alexander NENASHEV
Non-profit partnership to promote the
introduction of energy-efficient technologies
«Energy-efficient City»
E-mail: anna.gorshik@yandex.ru

Аннотация. В статье выполнены оценки совмещённого суточного максимума электрической мощности на зарядку электромобилей в европейской части, Урале и Западной Сибири при полном переходе на электромобили, а также среднегодовой электрической мощности для производства водорода, требуемого для перехода на водородомобили. Показано, что рост потребления электрической энергии на зарядку электротранспорта в энергосистеме приводит не только к значительному росту потребляемой мощности, но и к ухудшению электрических режимов загрузки генерирующего оборудования. Воздействие автотранспорта на окружающую среду в процессе эксплуатации в городской среде связано не только с выбросами вредных веществ отработавшими газами, но также образуемыми вследствие истирания шин, деталей тормозной системы и дорожного покрытия. Доля выбросов вредных веществ от износа шин, тормозных механизмов и дорожного покрытия превышает 90% от валовых выбросов вредных веществ автотранспортом. Выбросы вредных веществ электро- и водородомобилями из-за их большей массы выше, чем у транспорта с ДВС. Отказ от автотранспорта с ДВС и переход на электро- и водородомобили не может считаться обоснованным как с точки зрения экологии, так и с точки зрения негативного влияния на энергосистему.

Ключевые слова: электромобили, водородомобили, ДВС, выбросы вредных веществ, энергосистема, электрическая мощность, климатическая повестка.

Abstract. The article estimates the combined daily maximum electrical power for charging electric vehicles in the European part, the Urals and Western Siberia with a complete transition to electric vehicles, as well as the average annual electrical power for the production of hydrogen required for the transition to hydrogen vehicles. It is shown that an increase in the consumption of electrical energy for charging electric vehicles in the power system leads not only to a significant increase in power consumption, but also to a deterioration in the electrical loading conditions of generating equipment. The impact of vehicles on the environment during operation in an urban environment is associated not only with emissions of harmful substances from exhaust gases, but also those generated due to abrasion of tires, brake system parts and road surfaces. The share of emissions of harmful substances from the wear of tires, brakes and road surfaces exceeds 90% of the gross emissions of harmful substances from motor vehicles. Due to their greater mass, emissions of harmful substances from electric and hydrogen vehicles are higher than from vehicles with internal combustion engines. The abandonment of vehicles with internal combustion engines and the transition to electric and hydrogen vehicles cannot be considered justified both from an environmental point of view and from the point of view of a negative impact on the energy system.

Keywords: electric cars, hydrogen cars, internal combustion engines, emissions of harmful substances, energy system, electric power, climate agenda.

Введение

Климатическая повестка является одним из ключевых факторов, оказывающих влияние на развитие мировой экономики в настоящее время. Снижение выбросов парниковых газов, в первую очередь углекислого газа (CO₂), рассматривается в качестве основного направления в борьбе с изменением климата на Земле. В соответствии с Рамочной конвенцией ООН об изменении климата каждая страна

«проводит национальную политику» с целью ограничения выбросов парниковых газов в атмосферу.

В последние несколько лет Европейским союзом анонсируются различные амбициозные программы в разных секторах экономики по снижению выбросов парниковых газов. Одной из таких программ является переход на электротранспорт. С 2035 г. вводится требование нулевых выбросов углекислого газа для новых легковых автомобилей и микроавтобусов,

что фактически вводит запрет на продажи автомобилей с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) на территории ЕС.

Необходимо с определённым скептицизмом относиться к достижению поставленных Европейским союзом целей по углеродной нейтральности к 2050 г. [1] и снижению к 2030 г. выбросов парниковых газов на 55% относительно уровня 1990 г. [2], так как в настоящее время данные цели не подтверждаются ни наличием ресурсов, ни фактическими действиями [3]. Ввод в промышленную эксплуатацию ветровых и солнечных электростанций в ЕС составляет менее 10% от необходимого годового объёма [3].

Активное развитие ВЭС и СЭС в энергосистеме Германии в совокупности с выводом из эксплуатации АЭС не привело к снижению выбросов парниковых газов за период с 2000 по 2018 гг. [4]. Если бы реальной целью являлось снижение выбросов парниковых газов, то кратного снижения выбросов углекислого газа в энергосистеме Германии за рассматриваемый период можно было достигнуть путём инвестирования средств не в ВЭС и СЭС, а в переход с бурого угля на природный газ, развитие комбинированной выработки электрической энергии и тепла. Развитие

**Без учета суточной
неравномерности потребления
средняя электрическая мощность,
потребляемая автомобильными
зарядными станциями
в энергосистеме Москвы,
может составить 81,7 ГВт**

ВЭС и СЭС в отсутствии накопителей энергии не может считаться эффективным путём снижения выбросов парниковых газов в энергосистеме и значительно проигрывает вариантам развития комбинированной выработки электроэнергии и тепла [4].

На климатической конференции в Глазго были озвучены планы по запрету продаж автомобилей с ДВС в США к 2035 г. В РФ на период до 2030 г. принята концепция по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта [5]. Москва с 2006 г. является участником партнёрства крупных городов – климатических

Электроавтобус в Москве

Источник: transport.mos.ru



Часовой пояс	Доля населения	Топливо, млн т	Кол-во машин, млн шт.
МСК	62%	39,7	33,5
МСК + 1	6,3%	4	3,4
МСК + 2	14,2%	9,1	7,7
Всего	82,5%	52,8	44,6

Таблица 1. Исходные данные для оценки

лидеров в борьбе с изменением климата С40 [6]. Перевод наземного городского пассажирского транспорта на электро-тягу является частью обязательств, взятых на себя Москвой в рамках подписанной в 2019 г. декларации «Зеленые и здоровые улицы», инициированной партнерством. В рамках этого соглашения Москва заявила о своих намерениях к 2032 г. полностью заменить городской автобусный парк на электробусы.

Переход на электромобили предполагает отказ от бензина и дизельного топлива. Необходимо отметить, что в РФ функционирует 37 крупных НПЗ с объемами переработки более 1 млн т в год, а также мини-НПЗ (МНПЗ). Суммарная мощность нефтеперерабатывающих предприятий в России оценивается на уровне 328 млн т в год [7]. Отказ от бензина и дизельного топлива окажет негативное влияние на отечественную экономику. Таким образом, анализ требуемых изменений в электроэнергетической системе страны и экологических эффектов в результате отказа от ДВС является актуальной задачей.

Потребность в электроэнергии и мощности в ЕЭС России для перехода на электротранспорт

Оценка дополнительных объемов электроэнергии в ЕЭС России, требуемых для зарядной инфраструктуры, выполнена на основании:

- годового расхода топлива автотранспорта на ДВС;
- характеристик зарядных станций;

- суточной и сезонной неравномерности потребления электрической энергии (мощности).

Для анализа выбраны европейская часть, Урал и Западная Сибирь (три часовых пояса: мск, мск+1 и мск+2). Для выполнения оценки предположим, что количество автотранспорта и потребление топлива на территории РФ пропорционально численности населения (таблица 1). Количество автотранспорта в РФ оценивается в 54 млн единиц, которые потребляют 64 млн т бензина и дизельного топлива [8].

Количество проживающих на рассматриваемой территории составляет около 82,5% от общей численности населения РФ.

Оценка на основании годового расхода топлива автотранспортом с ДВС. Сопоставление расхода электроэнергии электрическим транспортом с расходом топлива бензиновыми аналогами приведены в таблице 2.

Для оценки расхода электроэнергии электрическим транспортом от расхода топлива их бензиновыми аналогами принято соотношение 2,28 кВт·ч/л. Годовой расход топлива для автомобилей на рассматриваемой территории РФ составляет около 52,8 млн т (таблица 1). Для замещения автотранспорта на электротранспорт потребуется обеспечить годовой заряд аккумуляторов электротранспорта в количестве 160,8 млрд кВт·ч.

Электроэнергия для заряда электротранспорта будет дополнительно произведена на электростанциях. Оценка потребления дополнительной мощности в энергосистеме для перевода существующего транспорта на электротранспорт рассчитывается по формуле:

Таблица 2. Сравнение расхода электроэнергии электрическим транспортом с их бензиновыми аналогами

Транспортное средство (электропривод / бензиновый)	Расход на 100 км	
	кВт·ч	л
ЛиАЗ-6274 / ЛиАЗ-5292 (ДТ)	97,4	43
Москвич 3е / Москвич 3	16	6,5
Tesla Model S / BMW 5ser G31	20	6,7
Nissan Leaf 2016 / Nissan Tiida	15	6,9

$$N_{\text{ср.}} = \frac{\Delta_{\text{АБ}}}{(1 - \Delta_{\text{с.н.}}) \times (1 - \Delta_{\text{сети}}) \times (1 - \Delta_{\text{АБ}}) \times T_{\text{Г}}} \quad (1)$$

где: $\Delta_{\text{АБ}}$ – годовая энергия заряда батарей электротранспорта; $T_{\text{Г}}$ – число часов в году; $\Delta_{\text{АБ}}$ – потери при преобразовании электроэнергии на ЭЭС [9]; $\Delta_{\text{сети}}$ – потери электроэнергии при передаче в электрических сетях [10]; $\Delta_{\text{с.н.}}$ – расход электроэнергии на собственные нужды электростанции.

Среднегодовая электрическая мощность, потребляемая зарядными станциями, может составить 23,4 ГВт без учета сезонной и суточной неравномерности потребления.



Электромобиль Marilyn Murphy
Источник: *amsterdam-916561 / Pixabay*

Таким образом, данная оценка является минимально возможным значением при замене всех автомобилей с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) на электромобили.

Оценка на основании характеристик зарядных станций. В реальных условиях в течение года может потребоваться зарядка каждого автомобиля раз в сутки. Такая ситуация вполне возможна в холодный или жаркий периоды времени, когда аккумуляторные батареи имеют наихудшие показатели, а также в эти периоды будет повышенное потребление энергии дополнительными системами электромобилей [9, 11, 12]. Дополнительные генерирующие мощности в этом случае можно оценить следующим образом:

$$N_{\text{ср.}} = n_{\text{эл.моб.}} \times N_{1, \text{ЭЭС}} \times T_{\text{зар.}} / 24 = 44,6 \text{ млн шт.} \times 22 \text{ кВт} \times 2 \text{ ч} / 24 \text{ ч} = 81,7 \text{ ГВт} \quad (2)$$

где: $n_{\text{эл.моб.}}$ – количество единиц автотранспорта; $N_{1, \text{ЭЭС}}$ – мощность зарядки одного автомобиля на ЭЭС; $T_{\text{зар.}}$ – время зарядки одного автомобиля.

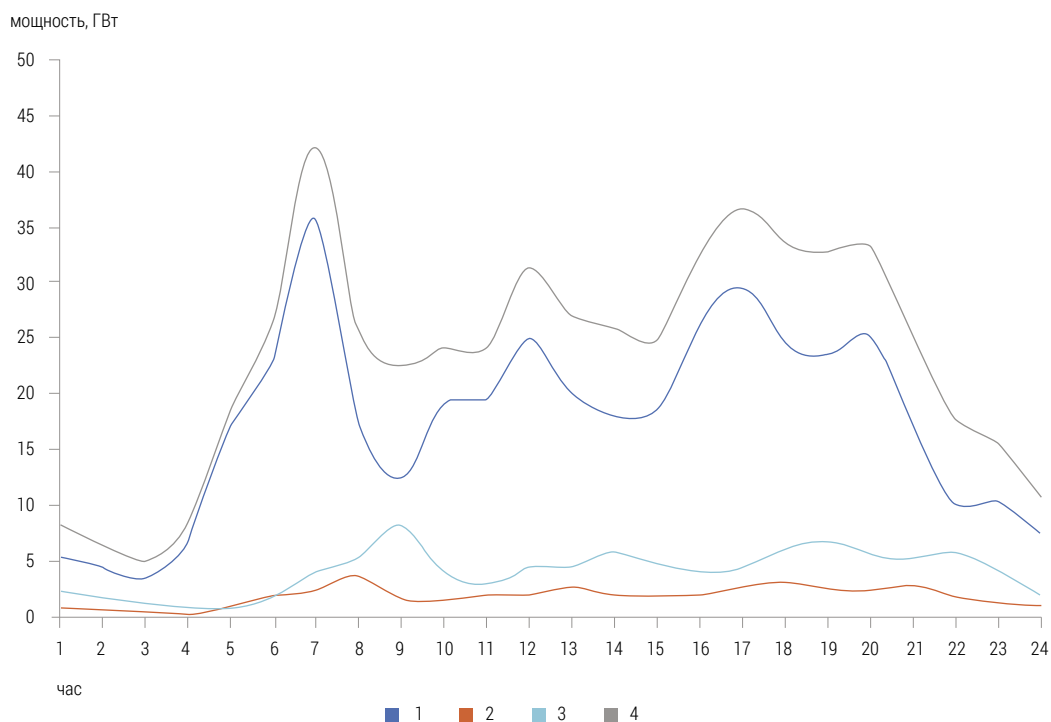
Таким образом, без учета суточной неравномерности потребления средняя электрическая мощность, потребляемая зарядными станциями в энергосистеме Москвы, может составить 81,7 ГВт.

Оценка на основании максимальной пиковой нагрузки при одновременной зарядке всех электромобилей. Одновременная зарядка всех электромобилей крайне маловероятна, но условно возможна при включении всех медленных зарядных устройств в вечерние пиковые часы после рабочего дня в жилых районах. Для электрической зарядки мощностью 7 кВт предельная пиковая мощность, потребляемая зарядными станциями в рассматриваемой части ЕЭС России, может достигнуть 312 ГВт, для электрической зарядки 22 кВт – 980 ГВт.

Необходимо отметить, что установленная мощность всех электрических станций в ЕЭС России на 1 января 2023 г. составляла 247,6 ГВт [13].

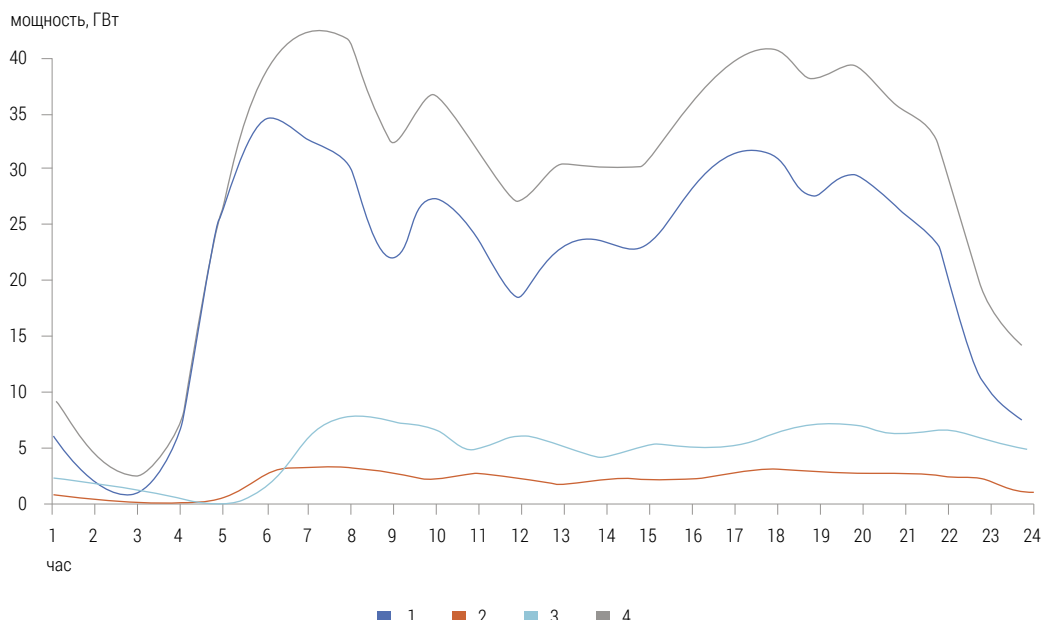
Оценка на основании суточной и сезонной неравномерности потребления электрической энергии (мощности). На основании фактических суточных графиков потребления электрической энергии существующими зарядными станциями на территории Москвы в январе и июне 2023 г. выполним оценку суточного максимума электрической мощности на зарядку электротранспорта в рассматриваемой части ЕЭС России (при условии, что суточные графики для трёхчасовых поясов соответствуют графику Москвы). На рис. 1–4 представлен прогноз потребления электрической мощности зарядными станциями в течение суток в январе и июне для вариантов среднегодового потребления 23,4 ГВт (вариант 1) и 81,7 ГВт (вариант 2).

Для варианта 1 совмещённые суточные максимумы для января и июня составят 42 ГВт и 34 ГВт соответственно. Для варианта 2 суточные максимумы для января и июня составят 148 ГВт и 120 ГВт соответственно. Выполненные оценки с учётом суточной неравномерности показывают, что совмещённый суточный максимум электрической мощности на зарядку электромобилей составит 148 ГВт.



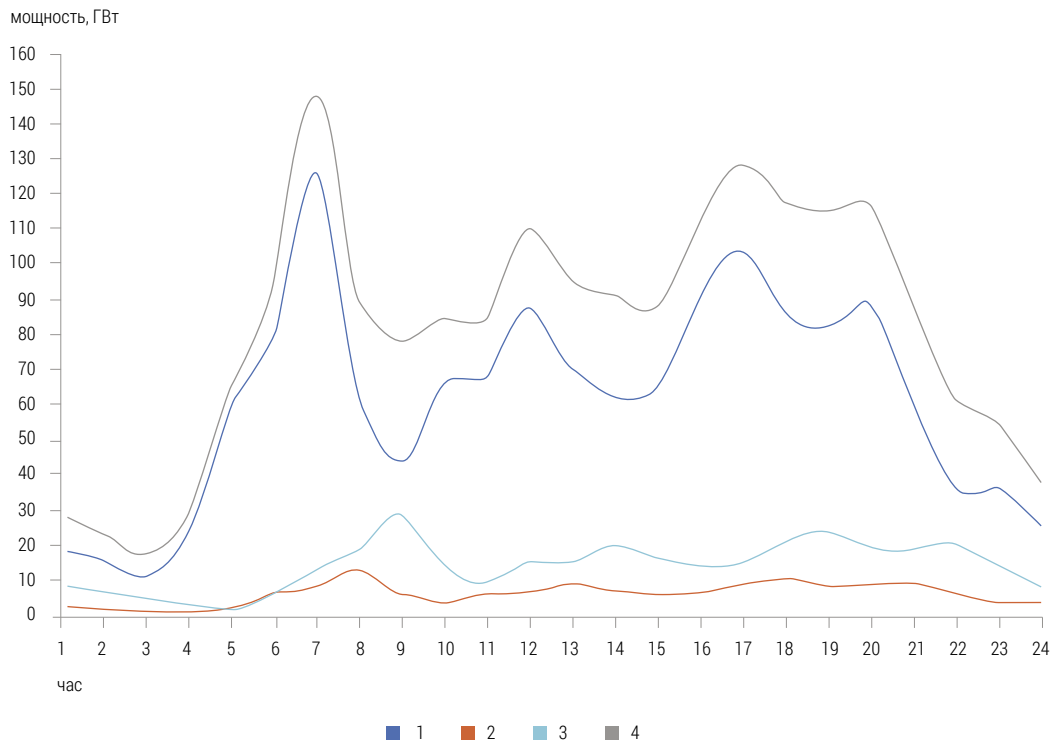
1. – часовой пояс мск; 2. – часовой пояс мск+1; 3. – часовой пояс мск+2; 4. – совмещённый график потребления

Рис. 1. Прогноз потребления электрической мощности зарядными станциями в течение суток для варианта 1 (на базе данных января 2023 г.)



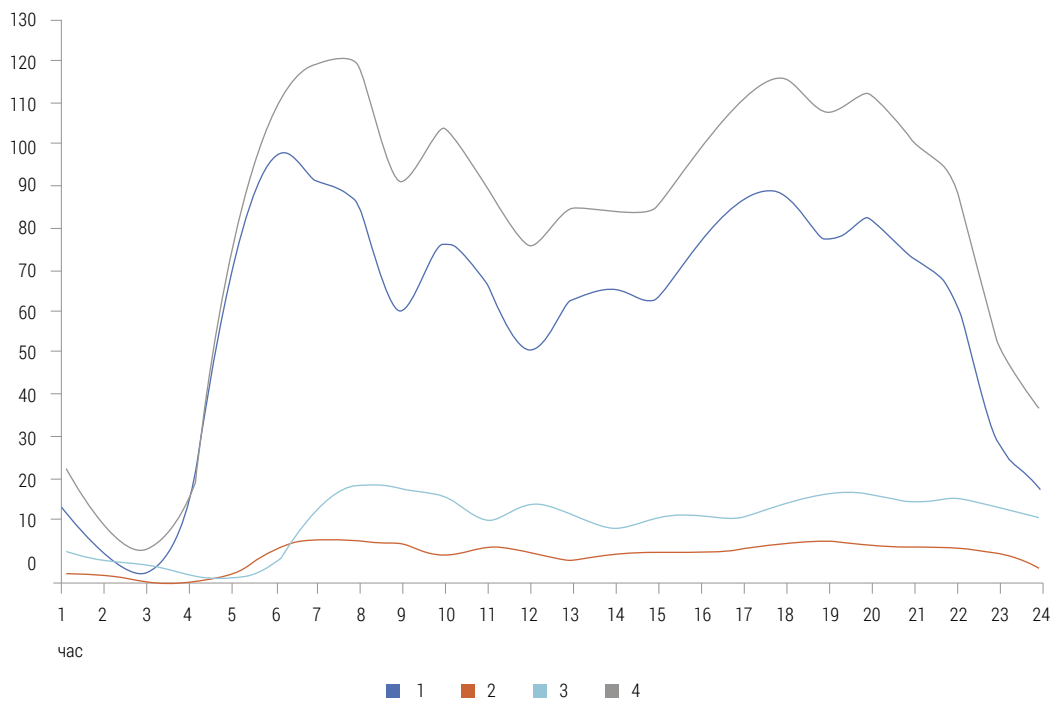
1. – часовой пояс мск; 2. – часовой пояс мск+1; 3. – часовой пояс мск+2; 4. – совмещённый график потребления

Рис. 2. Прогноз потребления электрической мощности зарядными станциями в течение суток для варианта 1 (на базе данных июня 2023 г.)



1. – часовой пояс мск; 2. – часовой пояс мск+1; 3. – часовой пояс мск+2; 4. – совмещённый график потребления

Рис. 3. Прогноз потребления электрической мощности зарядными станциями в течение суток для варианта 2 (на базе данных января 2023 г.)



1. – часовой пояс мск; 2. – часовой пояс мск+1; 3. – часовой пояс мск+2; 4. – совмещённый график потребления

Рис. 4. Прогноз потребления электрической мощности зарядными станциями в течение суток для варианта 2 (на базе данных июня 2023 г.)

Вариант	Дата	Р _{мин} , МВт	Р _{мах} , МВт	Р _{мин} /Р _{мах} , %	Р _{мах} – Р _{мин} , ГВт
1	январь 2023	5	42	12%	37
	июнь 2023	2	34	6%	32
2	январь 2023	18	148	12%	130
	июнь 2023	8	120	6%	112

Таблица 3. Совмещённые суточные максимум и минимум потребления электрической энергии электрическими заправочными станциями

тротранспорта в рассматриваемой части ЕЭС России может находиться в диапазоне от 34 до 148 ГВт.

Рост потребления электрической энергии на зарядку электротранспорта в энергосистеме приводит не только к росту потребляемой мощности, но к ухудшению электрических режимов загрузки генерирующего оборудования. Требуемый дополнительный регулировочный диапазон, размещённый на включённом генерирующем оборудовании, может составить от 32 ГВт до 37 ГВт (вариант 1) и от 112 ГВт до 130 ГВт (вариант 2) (таблица 3). Для сравнения, существующая суточная неравномерность потребления электроэнергии в ЕЭС России составляет около 20 ГВт как в зимние, так и летние месяцы.

Учитывая ограниченное количество единиц электротранспорта в настоящее время по сравнению с общим числом транспортных средств, прогноз суточного максимума электрической мощности на зарядку электротранспорта на базе фактического суточного графика нагрузки нужно рассматривать, как предварительный.

Потери при зарядке и ресурс аккумуляторных батарей. Снижение потери заряда и сглаживание потребления электрической энергии внутри суток на зарядку являются необходимыми условиями для развития электрического транспорта.

Основная причина потери заряда заключается в преобразовании переменного тока от электросети в постоянный для хранения в аккумуляторе [8, 11]. В процессе заряда электрическая энергия тратится на работу ряда блоков управления электромобиля, контролирующих процесс зарядки. Более высокая мощность зарядки сокращает время работы блоков управления. Чем выше мощность зарядки, тем короче процесс зарядки, тем меньше потери заряда [9]. Часть энергии тратится на поддержание температуры аккумулятора в разрешённом диапазоне.

Зимой электромобилям требуется значительно больше энергии, чем ле-

том. В среднем на 20–30% больше расход топлива, а на коротких дистанциях на 50% [12].

Потери электрической энергии для электромобилей Renault Zoe, VW ID.3, Tesla Model 3, Fiat 500e при использовании зарядного устройства мощностью 2,2 кВт составили от 12,7 до 24,2%, для зарядного устройства мощностью 11 кВт от 6,3 до 9,7% [9]. При пониженной мощности заряда со стороны транспортного средства в результате распределения нагрузки системой управления между несколькими транспортными средствами для зарядного устройства мощностью 11 кВт потери заряда составили от 9,2 до 13,9% [9], что в 1,5–2 раза выше, чем при номинальной мощности.

Необходимо отметить, что использование быстрой зарядки для электромобилей означает большие токи и, соответственно, большой нагрев аккумуляторной батареи, из-за чего ее работоспособность (SOH) заметно снижается. Так, при использовании быстрой зарядки даже несколько раз в месяц скорость деградации аккумуляторной батареи в 4–5 раз выше, чем при отсутствии быстрой зарядки [14]. Таким образом, с одной стороны быстрая зарядка сокращает потери электрической энергии, с другой сокращает срок службы аккумуляторных батарей и дальность пробега на одной зарядке.

Оценки с учётом суточной неравномерности показывают, что совмещённый суточный максимум электрической мощности на зарядку электротранспорта в рассматриваемой части ЕЭС России может находиться в диапазоне от 34 до 148 ГВт

Водородомобили

Производимая электроэнергия в топливных элементах водородомобилей, как и электроэнергия аккумуляторных батарей электромобилей, используется для работы электромоторов и обеспечения электроэнергией систем прочего оборудования. Оценка требуемой годовой выработки электроэнергии электростанциями для перехода на водородный транспорт в рассматриваемой части ЕЭС России выполнена на основании ранее полученного годового заряда аккумуляторных батарей для замещения топливного транспорта на электротранспорт, который составил 160,8 млрд кВт·ч.

Для оценки затрат электроэнергии при производстве водорода принято, что с учетом режима работы и затрат электроэнергии на вспомогательное оборудование на выработку 1 кг водорода расходуется 69,04 кВт·ч электрической энергии [3, 15], а эффективность преобразования химической энергии водорода в электрическую в топливном элементе равна 60% [16]. В расчетах не учтены потери и сопутствующие затраты энергии при хранении и доставке водорода с места производства на водородные заправочные станции.

По формулам (3) – (6) выполнены расчет требуемого количества годовой выработки электроэнергии на электростанциях в рассматриваемой части ЕЭС России:

$$W_{H_2} = \frac{\Theta_{AB}}{\eta_{т.э.}} = \frac{160,8 \text{ млрд кВт}\cdot\text{ч}}{60\%} \times \frac{3600 \text{ сек} / \text{ч}}{1000 \text{ кДж} / \text{МДж}} = 964,5 \text{ млрд МДж} \quad (3)$$

$$M_{H_2} = \frac{W_{H_2}}{Q_H^p} = \frac{964,5 \text{ млрд МДж}}{120,9 \text{ МДж} / \text{кг}} = 7,98 \text{ млрд кг} \quad (4)$$

$$\Theta_{H_2} = M_{H_2} \times \vartheta_{H_2} = 7,98 \text{ млрд кг} \times 69,04 \text{ кВт}\cdot\text{ч} / \text{кг} = 550,78 \text{ млрд кВт}\cdot\text{ч} \quad (5)$$

$$\Theta_{эс} = \frac{\Theta_{H_2}}{(1 - \Delta\vartheta_{с.н.}) \times (1 - \Delta\vartheta_{сети})} = \frac{550,78 \text{ млрд кВт}\cdot\text{ч}}{(1 - 0,03) \times (1 - 0,1)} = 630,9 \text{ млрд кВт}\cdot\text{ч} \quad (6)$$

где: Θ_{AB} – годовой заряд аккумуляторов при замене топливного транспорта на электротранспорт; W_{H_2} – годовая химическая энергия, содержащаяся в водороде для производства равного количеству электроэнергии годового заряда аккумуляторов электромобилей; $\eta_{т.э.}$ – эффективностью преобразования химической



Электромобиль «Москвич Зе»

Источник: ixbt.com

энергии водорода в электрическую энергию в топливном элементе; M_{H_2} – масса водорода, производимая за год; Q_H^p – удельная теплота сгорания водорода; Θ_{H_2} – годовой расход электроэнергии на электролизерах для производства водорода; ϑ_{H_2} – удельный расход электроэнергии на выработку 1 кг водорода; $\Theta_{эс}$ – годовая выработка электроэнергии на электростанции для производства водорода.

Среднегодовая электрическая мощность выработки электроэнергии на электростанциях в рассматриваемой части ЕЭС России для производства водорода:

$$N_{Тэс} = \frac{\Theta_{эс}}{T_r} = \frac{630,9 \text{ млрд кВт}\cdot\text{ч}}{8760 \text{ ч}} = 72 \text{ ГВт} \quad (7)$$

где: T_r – количество часов в году.

Выбросы вредных веществ транспортом

Обеспечение конституционных прав граждан «на благоприятную окружающую среду» (статья 42 Конституции РФ) является одной из приоритетных задач государства.

Автотранспорт является одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха в городах. Воздействие автотранспорта на окружающую среду в процессе эксплуатации в городской среде связано не только с выбросами вредных

веществ (ВВ) отработавшими газами (ОГ), но также ВВ, образуемыми вследствие истирания шин, деталей тормозной системы и дорожного покрытия [18–21]. Стирание шин, тормозных механизмов и дорожного покрытия являются причиной выбросов свинца, цинка и меди вдоль транспортных магистралей [20].

В настоящее время в литературе и средствах массовой информации пристальное внимание оказывается только выбросами ВВ с ОГ двигателей. С 1 июля 2016 г. в России и других странах Таможенного союза запрещен выпуск в гражданский оборот автомобильного бензина экологическим классом ниже пятого (К5 или евро-5). На дизельное топливо К5 страна перешла с начала этого года [17].

Доля выбросов ВВ с ОГ (СН, СО, NOx и твердых частиц (ТЧ) в валовых выбросах ВВ транспортом в Москве в 2020 г. оценивается около 10,4%, в 2030 г. прогнозируется снижение до 7,2% [18]. Снижение выбросов ВВ с ОГ до 2020 г. связано с ужесточением нормативов евро-3, евро-4, евро-5 и евро-6 в соответствии с требованиями на выброс вредных веществ с отработавшим газом легковыми автомобилями по правилам № 83 ООН и автомобилями массой более 3,5 т по правилам № 49 ООН. Для выполнения нормативных требований выбросов ВВ с ОГ легковыми автомобилями по правилам № 83 ООН в автомобилях используются системы нейтрализации отработавших газов.

Доля выбросов ВВ от износа шин, тормозных механизмов и дорожного покрытия составляет около 90%. Выбросы ВВ от стирания шин, тормозных механизмов и дорожного покрытия осуществляются у поверхности земли на высоте до 2 ме-

Отказ от ДВС и переход на электро- и водородомобили не может считаться абсолютно обоснованным как с точки зрения экологии, так и с точки зрения негативного влияния на энергосистему

тров, которые содержат выбросы PM2,5 и PM10, включающие ряд тяжёлых металлов [18, 20].

Показатели усредненной интенсивности износа протектора шин на 1 км пробега представлены в таблице 4 [19].

При увеличении массы транспортного средства увеличивается интенсивность износа протектора его комплекта шин. Износ протектора комплекта шин грузовых автомобилей в 150 раз превышает нормы выбросов ТЧ с отработавшим газом для евро-6 по правилам № 49 ООН [21]. Аналогичный показатель износа протектора комплекта шин для легкового транспорта в 26 раз выше выбросов ТЧ с ОГ для евро-6 по правилам № 83 ООН. Таким образом, объём валовый выбросов ВВ от износа шин, колодок и дорожного покрытия значительно превосходит выбросы с ОГ на топливе евро-5 – евро-6.

Сравнение функциональных показателей электротранспорта с традиционным с ДВС. Современные автомобили, работающие на углеводородном топливе (бензине и ди-

Таблица 4. Интенсивность износа протектора комплекта шин в зависимости от типа транспорта

Шины	Интенсивность износа, г/км
Легковые	0,13
Легкогрузовые (до 3,5 т)	0,32
Грузовые	1,5

Таблица 5. Сравнение снаряженной массы для транспортного средства с электроприводом и с двигателем внутреннего сгорания

Привод		Тип	Мдвс		ΔМэл. %
ДВС	Электро-		кг	кг	
ЛиАЗ-5292	ЛиАЗ-6274	Автобус	11 050	1 170	10,6
Москвич 3	Москвич 3е	Автомобиль	1 440	250	17,4
BMW 5ser G31	Tesla Model S	Автомобиль	1 735	370	21,3

Параметр	Ед. изм.	Значения		
Модель	-	Camry VIII (XV70)	bZ4X	Mirai II
Начало выпуска	год	2020	2022	2020
Силовой агрегат	-	ДВС	BEV	FCEV
Топливо	-	бензин	электроэнергия	водород
Запас хода на одной заправке	км	1000	500	750
Мощность системы	л. с.	249	204	182
Снаряженная масса автомобиля	кг	1690	1920	1900
Допустимая полная масса	кг	2100	2195	2415
Размер шин	-	235/45 R18	235/60 R18; 235/50 R20	235/55 R19; 245/45 R20

Таблица 6. Сравнение массогабаритных показателей транспорта

зельном топливе), на сегодняшний день, имеют существенно лучшие массогабаритные показатели по сравнению с массогабаритными показателями электромобилей (BEV – электромобиль на аккумуляторных батареях) и водородомобилей (FCEV – электромобиль на топливных элементах).

Сравнение снаряженной и полной массы транспорта с двигателем внутреннего сгорания и с электроприводом показано в таблице 5, в которой использованы следующие обозначения: Мдвс – снаряженной массы транспорта с ДВС; ΔМэл. – превышение снаряженной массы электротранспорта над Мдвс. Снаряженная масса электромобилей выше топливных аналогов ~ 20%, а допустимый общий вес на ~ 14%. Снаряженная масса электробуса выше автобуса на 10,6%. Равенство полной массы для электробуса и автобуса обеспечена меньшей полезной массой, поэтому при

перевозке равного количества пассажиров потребуется использовать большее количество электробусов.

В таблице 6 приведено сравнение массогабаритных показателей разных типов легковых машин на примере компании Toyota [22]. Снаряженная масса электро- и водородомобилей при равных условиях больше соответствующих масс автомобилей на углеводородном топливе более 12%. На электро- и водородомобилях используются шины большего размера для снижения давления шин на дорожное покрытие. Следует также отметить более низкий пробег на одной заправке для легковых электро- и водородомобилей по сравнению с легковыми автомобилями на углеводородном топливе.

В грузовых электро- и водородомобилях для обеспечения сопоставимого пробега на одной заправке с грузовыми автомобилями на углеводородном топливе

Использованные источники

1. *A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe // Communication from commission to the European parliament, The Council, The European economic and social committee and the committee of the regions, Brussels, 8.7.2020.*
2. *'Fit for 55': delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality // Communication from commission to the European parliament, The Council, The European economic and social committee and the committee of the regions, Brussels, 14.7.2021 COM(2021) 550 final.*
3. Белобородов С.С., Гашо Е.Г., Ненашев А.В. *Переход ЕС к водородной энергетике: потребность в ресурсах // Промышленная энергетика. 2021. №6. С. 36–47.*
4. Белобородов С.С., Гашо Е.Г. *Оценка влияния ветровых и солнечных электростанций, когенерации и доли угля в топливном балансе на снижение выбросов парниковых газов // Теплоэнергетика. 2023. Т. 10. №10. С. 45–54.*
5. *Концепция по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 г. (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 23 августа 2021 г. № 2290-р).*
6. *Экология Москвы // Под ред. А.О. Кульбачевского. Москва, 2018. – 47 с.*
7. Филимонова И., Проворная И., Немов В., Дзюба Ю. *Российская нефтепереработка на современном этапе развития // Нефтегазовая вертикаль. 2020. №17. С. 8–20.*
8. *Электронный ресурс: <https://www.autostat.ru/infographics/25742/>*
9. *Электронный ресурс: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/electromobilitaet/laden/ladeverluste-elektroauto-studie/>*
10. *Приказ Минэнерго России № 1272 от 30.11.2022 «Об утверждении нормативов потерь электрической энергии при ее передаче по единой национальной (общероссийской) электрической сети, осуществляемой публичным акционерным обществом «Федеральная сетевая компания – Россети» с использованием объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих публичному акционерному обществу «Федеральная сетевая компания – Россети» на праве собственности или ином законном основании, на 2023 год».*

приходится снижать полезную массу, перевозимого груза. Таким образом, для перевозки равного количества грузов потребуются больше грузовых электро- и водородомобилей по сравнению с традиционными грузовыми автомобилями на углеводородном топливе. Как было показано выше, при увеличении массы транспортного средства увеличивается интенсивность износа протектора его комплекта шин, а следовательно, увеличивается количество выброс твердых частиц при его использовании.

Учитывая что выбросы ВВ от износа шин, тормозных механизмов и дорожного покрытия для существующего парка автомобилей составляют около 90% от валовых выбросов ВВ, в результате роста массы электро- и водородомобилей объём валовых выбросов ВВ от электротранспорта превысит значения для автотранспорта на топливе евро-5 – евро-6 даже без учёта выбросов из-за роста расхода топлива для производства электроэнергии на электростанциях.

Выводы

Отказ от автотранспорта с ДВС и переход на электро- и водородомобили не может считаться абсолютно обоснованным как с точки зрения экологии, так и с точки зрения негативного влияния на энергосистему.

Воздействие автотранспорта на окружающую среду в процессе эксплуатации в городской среде связано не только с вы-

бросами вредных веществ отработавшими газами, но также с мелкими частицами, образуемыми вследствие истирания шин, деталей тормозной системы и дорожного покрытия. Доля выбросов с отработавшими газами не превышает 10% от валовых выбросов вредных веществ от транспорта.

В результате роста массы электромобилей и водородомобилей объём валовых выбросов ВВ от электротранспорта превысит значения для автотранспорта на топливе евро-5 – евро-6 даже без учёта выбросов из-за роста расхода топлива для производства электроэнергии на электростанциях.

Выполненные оценки с учётом суточной неравномерности показывают, что суточный максимум электрической мощности на зарядку электротранспорта в европейской части, Урале и Западной Сибири, при переходе с бензина и дизельного топлива на электричество может находиться в диапазоне от 34 до 148 ГВт.

Потребление электроэнергии для ЭЭС является пиковым, при преобразовании переменного тока в постоянный формируются дополнительные потери до 30% и ухудшается качество электроэнергии в сети.

Для Российской Федерации целесообразно сохранить отечественную нефтепереработку и сконцентрироваться в краткосрочной и среднесрочной перспективе на переходе к экологическому классу бензина и дизельного топлива евро-6.

11. *Электронный ресурс: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/tests/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/>*
12. *Электронный ресурс: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/info/elektroauto-reichweite-winter/>*
13. *Отчет о функционировании ЭЭС России в 2022 году (на основе оперативных данных) // Электронный ресурс: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2023/ups_rep2022.pdf*
14. *Электронный ресурс: <https://www.geotab.com/blog/ev-battery-health/>*
15. *НТП 24-94 «Нормы технологического проектирования производства водорода методом электролиза воды» – Москва, 1994.*
16. *Шульга Р. Н. Топливные элементы для малой и распределенной энергетики / Р. Н. Шульга // Энергосбережение и водоподготовка. 2018. № 2(112). С. 49–54. EDN: XSCHVZ.*
17. *Решение комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 г. № 877 (ред. от 29.08.2023 г.) «О принятии технического регламента Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» (вместе с «ТР ТС 018/2011. Техни-*
- ческий регламент Таможенного союза. О безопасности колесных транспортных средств»).*
18. *Азаров В.К., Гайсин С.В., Кутенёв В.Ф. К вопросу об экологически чистом городском транспорте // Журнал автомобильных инженеров. 2016. №2 (97). С. 36–41.*
19. *Васильев А.В. Повышение качества оценки комплексной экологической безопасности автотранспортных средств. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Москва, 2019.*
20. *Федосеев А.А. Загрязнение окружающей среды продуктами эксплуатационного износа автомобильного транспорта // Технологии техносферной безопасности. 2015. № 2(60). С. 313–317. EDN: UJEPAB.*
21. *Азаров В. К. Разработка комплексной методики исследований и оценки экологической безопасности автомобилей : специальность 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Азаров Вадим Константинович. Москва, 2014. – 19 с. EDN: ZPIJNJ.*
22. *Электронный ресурс: <https://www.auto-data.net/>*