

УДК 504.3.054

EDN SGBPWP

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

**О.В. Маслеева**

ORCID: 0000-0001-6535-2275 e-mail: ovm1552@yandex.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
*Нижний Новгород, Россия***Е.В. Крюков**

ORCID: 0000-0002-9145-2453 e-mail: kryukov@nntu.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
*Нижний Новгород, Россия***Я.И. Петухов**

ORCID: 0000-0001-6343-0655 e-mail: petukhov.iai@nntu.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
*Нижний Новгород, Россия*

Рассмотрены вопросы энергетического и экологического сравнения различных видов городского транспорта при их эксплуатации. Приведены результаты расчетов удельных показателей потребления электроэнергии, выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и эмиссии парниковых газов для транспортных средств с бензиновыми и электрическими силовыми установками. Установлено, что при производстве электроэнергии для электромобилей удельная масса выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов выше. При планировании развития городской транспортной системы, кроме экономических аспектов, необходимо учитывать возрастающую экологическую нагрузку на окружающую среду со стороны автотранспорта и электротранспорта за счет возрастания потребления электроэнергии и источников ее производящих.

**Ключевые слова:** энергетическая оценка, экологичность, выбросы вредных веществ, городской транспорт, электрический транспорт.

**Для цитирования:** Маслеева О.В., Крюков Е.В., Петухов Я.И. Энергетическая и экологическая оценка городского транспорта // Интеллектуальная Электро-техника. 2024. № 3. С. 100-115. EDN SGBPWP

## ENERGY AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF URBAN TRANSPORT

**O.V. Masleeva**

ORCID: **0000-0001-6535-2275** e-mail: **ovm1552@yandex.ru**  
Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**E.V. Kryukov**

ORCID: **0000-0002-9145-2453** e-mail: **kryukov@nntu.ru**  
Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**Y.I. Petukhov**

ORCID: **0000-0001-6343-0655** e-mail: **petukhov.iai@nntu.ru**  
Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** The article discusses the issues of energy and environmental comparison of various types of urban transport in their operation. The results of calculations of electricity consumption, as well as specific emissions of pollutants and greenhouse gas emissions from electric vehicles and mileage emissions for vehicles with an internal combustion engine are presented. It has been established that the reduced specific mass of emissions of pollutants and greenhouse gases is higher in the production of electricity for the movement of electric vehicles. When planning the development of the urban transport system, in addition to the economic side, it is necessary to take into account the increasing environmental burden on the environment from both motor transport and electric transport due to increased consumption of electricity and sources producing it.

**Keywords:** energy assessment, environmental friendliness, emissions of harmful substances, urban transport, electric transport.

**For citation:** O.V. Masleeva, E.V. Kryukov and Y.I. Petukhov, “Energy and environmental assessment of urban transport”, *Smart Electrical Engineering*, no. 3, pp. 100-115, 2024. EDN SGBPWP

### **I. Введение**

В соответствии с *Транспортной стратегией Российской Федерации до 2030 года* [1], одним из ключевых факторов динамики экономического роста страны является развитие транспортного комплекса. Предусмотрено усиление внимания государства к формированию и реализации экологической транспортной политики, в соответствии с которой экологические параметры станут не ограничителем развития транспорта, а его движущим фактором.

В последние годы наблюдается тенденция перехода на электрический вид транспорт – электробус. Однако стремительное развитие электрического транспорта способствует увеличению электропотребления и необходимостью создания инфраструктуры зарядных станций в городах.

Кроме того, основным источником загрязнения атмосферы в городах является автомобильный транспорт, на долю которого приходится около 40 % вредных веществ и 18,5 % глобальных выбросов  $\text{CO}_2$ , из которых 44 % приходится на пассажирские транспортные средства. Увеличение количества городского транспорта оказывает негативное влияние на экологическую обстановку в городе, так как растут выбросы углекислого газа [2, 3]. Высокая концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе оказывает негативное влияние на здоровье населения.

В настоящее время транспортная система крупных городов состоит из следующих видов транспорта: автобусы, электробусы, троллейбусы, трамваи, автомобили и электромобили.

Автобус является самым востребованным видом городского пассажирского транспорта [4]. Основные преимущества бензиновых автобусов и автомобилей: широкая доступность и надежность силовой установки, малое время заправки топливом, а также уже существующая развитая инфраструктура. Однако у бензиновых транспортных средств есть и недостатки: выхлопные газы процесса сжигания топлива, высокая стоимость топлива. Эти газы являются продуктами неполного сгорания углеводородного топлива и образуют парниковые газы и другие загрязняющие атмосферу вещества [5]. В результате повышается допустимая концентрация в воздухе токсических веществ и канцерогенов, что представляет угрозу для здоровья людей и животных. Кроме того, автотранспорт выбрасывает в окружающую среду частицы автомобильных покрышек, дорожного покрытия и продукты износа механических частей, что также негативно влияет на экологическую обстановку. Помимо самих автобусов, загрязнение окружающей среды происходит и на станциях технического обслуживания транспорта, автозаправочных станциях и т.д.

Одним из направлений снижения выбросов вредных веществ и углекислого газа является переход на экологически чистый городской транспорт: троллейбусы, трамваи, электробусы и электромобили, которые используются в такси. Основное достоинство троллейбусов и трамваев перед бензиновыми автобусами и автомобилями – отсутствие пробеговых выбросов вредных веществ в процессе эксплуатации [6, 7]. Трамваи являются очень надежными видами транспорта, так как они следуют по фиксированным маршрутам и не зависят от пробок или погодных условий. Еще одно преимущество – высокая грузоподъемность, которая может быть использована для перевозки тяжелых грузов по городу. К основным недостаткам

трамваев относятся: высокая стоимость производства (для создания вагонов необходимо большое количество стали), сложность создания необходимой инфраструктуры [8], низкая маневренность, а также негативное влияние трамвайных путей на пропускную способность другого типа транспорта. Преимущества троллейбусов – большая маневренность по сравнению с трамваями, низкий уровень шума, простота обслуживания; к недостаткам относятся сложность создания контактной сети и тяговых подстанций.

Наиболее перспективными видами городского транспорта являются электробусы и электромобили, которые активно приходят на замену бензиновым транспортным средствам. Электробусы работают на электрической тяге, что делает их более экологически чистым видом транспорта, чем автобусы с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) [9]. Они не выбрасывают в атмосферу вредные вещества и парниковые газы. Также электробусы требуют меньше обслуживания и ремонта по сравнению с автобусами с ДВС, так как у них нет бензинового двигателя и сложной топливной системы. Однако у электротранспорта присутствуют выбросы твердых частиц, которые образуются из-за износа шин, тормозов и других механических деталей, стирания дорожного полотна не зависят от вида двигателя и будут в наличии всегда. Кроме специальной инфраструктуры зарядных станций, электробусы и электромобили обладают еще одним существенным недостатком – ограниченным запасом хода. Для обеспечения высокой маневренности используют накопитель энергии – тяговый аккумулятор, емкость которого ограничена. К тому же необходимо наличие больших свободных электрических мощностей, расположенных по всему городу в большом количестве [10, 11].

## **II. Задачи исследования**

Актуальность темы расширения электрификации городского транспорта обусловлена возрастающими отрицательными экологическими последствиями использования автомобилей с ДВС, ограниченностью нефтяных ресурсов и возрастающей себестоимостью их добычи.

Целью исследования является проведение энергетического и экологического сравнения различных видов городского транспорта с точки зрения развития электроэнергетики городов и загрязнения воздуха вредными веществами и парниковыми газами в процессе эксплуатации.

В качестве объектов исследования выбраны городские автобусы, троллейбусы, трамваи, электробусы, а также автомобили с ДВС и электродвигателями.

## **III. Энергопотребление**

Потребление топлива в автомобилях с ДВС зависит от множества факторов: единичная мощность силовой установки на массу транспортного средства, тип и качество топлива, аэродинамики и прочих факторов. Нормы

расхода топлива транспортным средством представляется производителем. Потребление электроэнергии электромобилем зависит от мощности электродвигателя, массы транспортного средства, состояния тягового аккумулятора, условий эксплуатации.

Удельный расход электроэнергии (Вт·ч/км) для электрических транспортных средств указывается в технических характеристиках. При расчете генерации электроэнергии на электростанциях были учтены следующие факторы: потери электроэнергии при передаче (8,4 %) и при заряде электромобиля (15 %), а также потребление электроэнергии на собственные нужды электростанции (15 %). Нормы удельного расхода электроэнергии для трамваев и троллейбусов [12] учитывают затраты на движение транспортного средства, а также потери в электроэнергии в тяговых сетях транспорта, которые составляют 7 %.

В Российской Федерации основным типом объектов генерации в городах и областях являются тепловые электростанции (ТЭС). Топливом для ТЭС является газ (~74 %), уголь (~25 %) и прочие энергоносители (~1 %). Также при расчете необходимо учитывать КПД тепловых электростанций, который составляет примерно 35 %.

Исследования проводились для автомобиля и электромобиля с мощностью двигателя 110 кВт, автобуса мощностью 185 кВт, электробуса с суммарной мощностью электродвигателей 250 кВт, четырехосного трамвайного вагона с мощностью электродвигателя 200 кВт и троллейбус с мощностью 230 кВт. Сравнение энергопотребления (удельное потребление топлива / электроэнергии) различных транспортных средств проведено в МДж (табл. 1, рис. 1).

Под удельным потреблением электроэнергии подразумевается потребление электродвигателем на 1 км пути. Удельное производство электроэнергии (ЭЭ) – это производство электроэнергии на электростанциях (с учетом различных видов потерь), которая используется для заряда тягового аккумулятора. Удельное потребление энергии – энергия топлива для электростанций. Под удельным потреблением топлива подразумевается потребление топлива автомобилем с ДВС на 1 км пройденного пути.

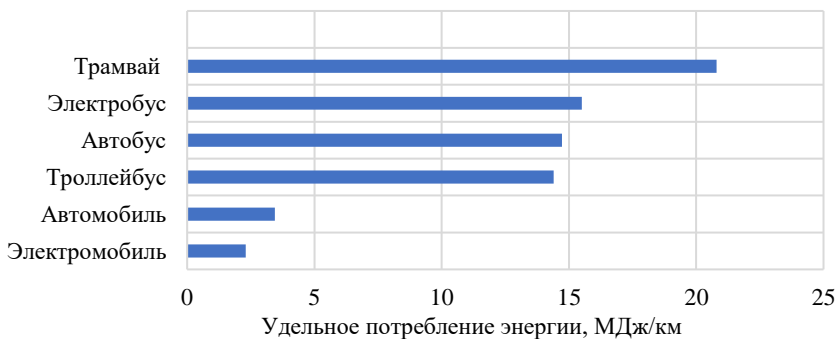
У автомобиля и электромобиля наименьшее удельное потребление энергии, так как они относятся к личным транспортным средствам и совершают наименьшее количество остановок на пути следования. Потребление энергии у автомобиля с ДВС выше, чем у электромобиля. У автомобилей первичным энергоносителем является бензин, а у ТЭС в качестве топлива используется газ. Кроме того, КПД ДВС составляет 25 %, а ТЭС 35 %.

Энергопотребление автобуса, троллейбуса и электробуса отличается не значительно. У трамвая это величина значительно выше, поскольку его масса составляет 20-40 т.

**Таблица 1.**  
**Удельное потребление энергии транспортными средствами**

**Table 1.**  
**Specific energy consumption by vehicles**

Тип электротранспорта	Удельный расход электроэнергии, Вт·ч/км	Удельное потребление топлива, г/км	Удельное производство ЭЭ с учетом потерь, Вт·ч/км	Удельное потребление энергии, МДж/км
Электромобиль	280	–	423	2,3
Электробус	1850	–	2795	15,5
Трамвай	2717	–	3800	20,8
Троллейбус	1881	–	2631	14,4
Автомобиль	–	75	–	3,45
Автобус	–	345	–	14,73



**Рис. 1. Удельное потребление энергии транспортными средствами**

**Fig. 1. Specific energy consumption by vehicles**

В соответствии с *Концепцией по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года*, планируется ввести в эксплуатацию не менее 25000 электротранспортных средств.

По состоянию на 2023 г., в Нижегородской области насчитывают около 120 электробусов и 280 электротакси (из 877). До конца 2024 г. планируют ввести в эксплуатацию около 30 электробусов. С учетом годового пробега и удельного потребления ЭЭ определим суммарное годовое потребление ЭЭ электробусами и электротакси, которое составляет 41611 МВт·ч. Установленная мощность электростанций энергосистемы Нижегородской области составляет 2739,6 МВт. Годовое потребление за 2023 г. составляет

20 229 тыс. МВт·ч. Величина потребления электрической энергии по энергосистеме Нижегородской области оценивается в 2029 г. в объеме 23 409 тыс. МВт·ч при установленной мощности потребления 3659 МВт.

Таким образом, в Нижегородской области наблюдается тенденция увеличения установленной мощности и потребления электрической энергии. При вводе в эксплуатацию новых электробусов и электромобилей увеличится мощность потребителей электроэнергии.

В результате внедрения электрического городского транспорта существенно возрастает электрическая нагрузка на городские сети. При этом, стоит рассматривать синергию возобновляемых источников энергии и электрического транспорта. В городах, где уже существуют объекты альтернативной энергетики (Республика Крым, Ставропольский край, Ростовская область и т.д.), возможно обеспечивать электрических транспорт экологически чистой электроэнергией.

Еще одной ключевой проблемой стремительного развития электрического городского транспорта является наличие специальной инфраструктуры с зарядными станциями, для питания которых при увеличении нагрузки необходимо увеличение мощности трансформаторных подстанций и развитие электрических сетей.

Для автобусных парков, где будут использоваться электробусы, требуются дополнительные мощности, что повлечет за собой увеличение мощности трансформаторов, сечения питающих кабелей. При этом возможно увеличение пиковой нагрузки в часы, когда электробусы массово возвращаются и встают на зарядку.

#### IV. Выбросы вредных веществ

Оценка экологического воздействия городского транспорта выполняется на основе удельных показателей на 1 км пробега. Исходя из статистической информации и справочной литературы, были определены нормы удельных выбросов вредных веществ. Содержание вредных веществ и их количество в выхлопных газах бензиновых транспортных средств зависит от вида топлива, скорости движения и типа транспорта [13].

Значение выбросов  $i$ -го загрязняющего вещества  $M_L$  от движущегося автотранспортного потока на автодороге с фиксированной протяженностью  $L$  (км) определяется по формуле:

$$M_L = M_i^L \cdot \sum_1^n (L_n \cdot r_v), \quad (1)$$

где  $M_i^L$  – удельный пробеговый выброс  $i$ -го вредного вещества (табл. 1), г/км;  $L_n$  – протяженность  $n$ -го участка автодороги, км;  $r_v$  – поправочный коэффициент.

Поправочный коэффициент, учитывающий зависимость изменения количества выбрасываемых загрязняющих веществ от средней скорости движения, составляет: для автомобилей и автобусов  $r_{Vi} = 1$ , для оксидов азота  $r_{Vi} = 1$ , для остальных вредных веществ  $r_{Vi} = 2$ . Также при расчете удельных выбросов вредных веществ учитываются показатели относительной агрессивности веществ.

Исходя из удельных пробеговых выбросов автомобиля и автобуса ( $M^i$ , г/км), с учетом показателей относительной агрессивности ( $A_i$ ) были рассчитаны приведенные удельные выбросы ( $M_{пр}$ , г/км) и суммарные приведенные удельные выбросы. Результаты расчета приведены в табл. 2.

**Таблица 2.**  
Удельные пробеговые выбросы загрязняющих веществ  
автомобиля и автобуса

**Table 2.**  
Specific mileage emissions of pollutants from a car and autobus

Загрязняющие вещества	Удельные пробеговые выбросы автомобиля $M^i$ , г/км	Удельные пробеговые выбросы автобуса $M^i$ , г/км	Показатель относительной агрессивности, $A_i$	Относительные удельные выбросы автомобиля, г/км	Относительные удельные выбросы автобуса, г/км
CO	0,8	3,6	1	0,80	4,32
NO <sub>2</sub>	0,3	4,3	43	12,90	184,90
CH	0,24	0,4	0,3	0,07	0,14
Сажа	0,005	0,14	19	0,10	3,19
SO <sub>2</sub>	0,006	0,02	16	0,10	0,38
Формальдегид	0,0014	0,002	240	0,34	0,58
Бензапирен	0,00000016	0,00000018	502973	0,08	0,11
Всего				14,38	193,62

У электрического транспорта отсутствуют пробеговые выбросы вредных веществ, так как нет процесса сжигания топлива при движении. Однако, вредные вещества образуются при производстве ЭЭ на ТЭС: оксиды углерода, азота, серы и сажа. Удельные выбросы вредных веществ при производстве электроэнергии были выбраны в соответствии с [14].

Результаты расчета относительных удельных выбросов при выработке электроэнергии (г/кВт·ч) на ТЭС приведены в табл. 3.



**Таблица 3.**  
**Выбросы загрязняющих веществ при выработке электроэнергии**

**Table 3.**  
**Emissions of pollutants from electricity generation**

Загрязняющие вещества	Удельный выброс вредных веществ при выработке электроэнергии, г/кВт·ч	Показатель относительной агрессивности, $A_i$	Относительные удельные выбросы при выработке ЭЭ, г/кВт·ч
CO	0,0043	1	0,0043
NO <sub>x</sub>	1,13	43	48,59
SO <sub>2</sub>	2,85	16	45,60
Сажа	0,11	19	2,09
Всего			96,28

Относительные удельные выбросы при выработке электроэнергии на ТЭС составляют 96,28 г/кВт·ч. Удельный расход ЭЭ определен с учетом всех электрических потерь. Результаты расчета приведены в табл. 4.

**Таблица 4.**  
**Удельные выбросы загрязняющих веществ при производстве электроэнергии**

**Table 4.**  
**Specific emissions of pollutants in the production of electricity**

Тип электро-транспорта	Удельный расход электроэнергии, Вт·ч/км	Производство электроэнергии, Вт·ч/км	Относительные удельные выбросы, г/км
Электромобиль	280	423	41
Электробус	1850	2795	269
Трамвай	2550	3800	366
Троллейбус	1600	2631	253

Автомобили с ДВС выбрасывают меньше загрязняющих веществ по сравнению с электромобилями. Это связано с особенностями процессов сгорания топлива и конструкциями систем очистки продуктов сгорания.

С одной стороны, развитие электрического автотранспорта способствует снижению негативного воздействия на человека и окружающую среду, с другой — возрастает потребление электроэнергии, что влечет за собой увеличение выбросов загрязняющих веществ. Однако надо учитывать, что выбросы транспорта происходят в атмосферный воздух на территории всех городов, а выбросы ТЭС — в месте их расположения. Следует также учитывать, что ряд крупных ТЭС расположен в городах с высоким уровнем

загрязнения воздуха (Братск, Красноярск, Магнитогорск, Нижний Тагил, Норильск, Омск, Челябинск, Череповец, Чита).

#### У. Эмиссия парниковых газов

Процесс сжигания топлива сопровождается образованием парниковых газов, удельные выбросы которых зависят от вида топлива. Дополнительным технологическим фактором является расширение использования парогазовых энергоблоков на российских ТЭС [15].

Расчет эмиссии парниковых газов при сжигании топлива для автомобиля выполнен в соответствии с [16]. Расчет выбросов CO<sub>2</sub> для автомобильного транспорта осуществляется на основе данных о расходе топлива за отчетный период и коэффициентах выбросов. Удельные выбросы парниковых газов для автомобиля и автобуса были рассчитаны с учетом расхода топлива (г/км) и коэффициентах выбросов для бензина и дизельного топлива. Результаты расчета приведены в табл. 5.

**Таблица 5.**  
Удельные выбросы парниковых газов при эксплуатации  
автомобиля и автобуса

**Table 5.**  
Specific greenhouse gas emissions from car and autobus operation

Тип транспорта	Расход топлива, г/км	Удельные выбросы углекислого газа на грамм топлива, г CO <sub>2</sub> /г	Удельные выбросы углекислого газа на км, г CO <sub>2</sub> /км
Автомобиль	75	3,03	227
Автобус	345	3,15	1087

Удельные выбросы парниковых газов при производстве электроэнергии для электротранспорта рассчитаны с учетом коэффициента выбросов, который составляет 0,449 г CO<sub>2</sub>/Вт·ч. Результаты расчета приведены в табл. 6.

**Таблица 6.**  
Удельные выбросы парниковых газов при производстве электроэнергии

**Table 6.**  
Specific greenhouse gas emissions from electricity generation

Тип электро-транспорта	Удельное потребление ЭЭ, Вт·ч/км	Удельные выбросы углекислого газа при производстве ЭЭ, г CO <sub>2</sub> /Вт·ч	Удельные пробеговые вбросы углекислого газа, г CO <sub>2</sub> /км
Электромобиль	423	0,449	190
Электробус	2795	0,449	1255
Трамвай	3800	0,449	1706
Троллейбус	2631	0,449	1181

Эмиссия парниковых газов у автомобиля с ДВС в процессе эксплуатации немного выше, чем у электромобиля, за счет горения топлива в ДВС. Автобус и троллейбус имеют практически одинаковые выбросы парниковых газов.

Итоговые результаты расчета удельных приведенных выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов приведены в табл. 7 и на рис. 2.

Таблица 7.

Удельные приведенные выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов

Table 7.

Specific reduced emissions of pollutants and greenhouse gases

Тип транспорта	Выбросы вредных веществ, г/км	Выбросы парниковых газов, г/км
Автомобиль	14	227
Автобус	194	1087
Электромобиль	41	190
Электробус	269	1255
Трамвай	366	1706
Троллейбус	253	1181

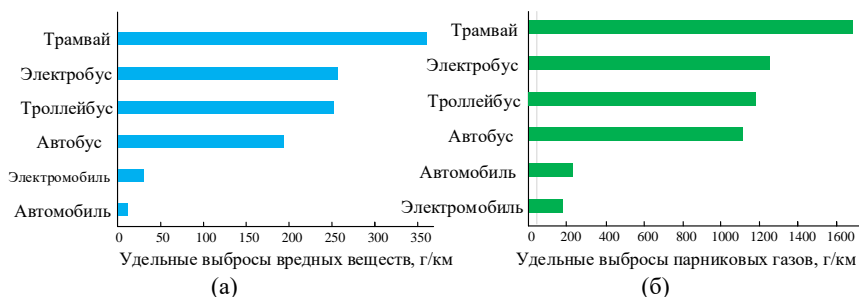


Рис. 2. Результаты расчета удельных выбросов:  
а – вредных веществ; б – парниковых газов

Fig. 2. Results of calculation of specific emissions:  
harmful substances (a); greenhouse gases (b)

## VI. Заключение

В результате проведенной энергетической оценки установлено, что электробусы и троллейбусы потребляют примерно равное количество электроэнергии. Удельное потребление электроэнергии у трамвая в 1,4 раза больше, так как масса трамвая гораздо больше, чем у колесных транспортных средств.

При стремительном развитии электробусов и электрического городского транспорта в целом будет наблюдаться резкое увеличение потребления электроэнергии, что приведет к необходимости модернизации существующих систем электроснабжения и создания дополнительной инфраструктуры для электрического транспорта.

Проведенная экологическая оценка дает возможность в полной мере рассматривать влияние на атмосферный воздух городского транспорта с различными двигателями и источниками энергии и оценить программы дальнейшего развития электротранспорта в крупных городах.

Приведенная масса выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов выше при производстве электроэнергии для электрических транспортных средств, чем при движении автомобиля с ДВС за счет различных электрических потерь.

Выбросы вредных веществ при эксплуатации электромобиля в 3 раза больше, чем у автомобиля с ДВС за счет сжигания большего количества первичного энергоносителя на электростанциях. Однако выбросы вредных веществ автомобилей с ДВС происходят в атмосферный воздух городов.

Эмиссия парниковых газов у автомобиля с ДВС в процессе эксплуатации больше за счет более высоко образования парниковых газов при горении топлива у двигателей внутреннего сгорания.

Выбросы загрязняющих веществ и эмиссия парниковых газов у автобуса и троллейбуса имеют практические одинаковый уровень.

Полученные энергетические и экологические данные могут быть использованы при принятии решений по улучшению экологической обстановки для улучшения качества жизни и здоровья населения, снижению расхода электроэнергии и потребления органического топлива.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы для стратегического планирования экологической обстановки в городах с учетом выбранных видов городского транспорта.

© Маслеева О.В., 2024

© Крюков Е.В., 2024

© Петухов Я.И., 2024

*Поступила в редакцию 09.08.2024*

*Принята к публикации 03.09.2024*

*Received 09.08.2024*

*Accepted 03.09.2024*

### **Библиографический список**

- [1] Распоряжение Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363-р «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года»

- // Официальный интернет-портал правовой информации. [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112030006> (дата обращения 27.07.2024).
- [2] Орлов П.С., Соцкая И.М. Электротехнологии, охрана труда и транспорт // Вестник АПК Верхневолжья. 2020. № 4 (52). С. 80-85. DOI: 10.35694/YARCX.2020.52.4.016
- [3] Кучук В.С., Афанасьев А.Н., Дубровина А.В. Городской автобус: Уменьшение токсичности ОГ и экономичность ДВС // III Межд. науч.-практ. конф. «Научный потенциал молодежи и технический прогресс», Май 15, 2020, Санкт-Петербург, Россия. С.-Пб.: ИП Жукова Елена Валерьевна, 2020. С. 49-50. DOI: 10.26160/2618-7493-2020-3-49-50
- [4] Климович А.М., Булычев В.В. История развития автобусов в СССР и России // 4-я Межд. науч.-тех. конф. «Автомобили, транспортные системы и процессы: настоящее, прошлое и будущее», Май 20, 2022, Курск, Россия. Курск: ЮЗГУ, 2022. С. 73-75.
- [5] Elagouz N., Onat N., Kucukvar M. Environmental, economic, and social life cycle impacts of alternative fuel buses: the case for Qatar // 2021 10th International Conference on Power Science and Engineering (ICPSE), Oct. 21-23, 2021, Istanbul, Turkey: IEEE, 2021. P. 92-97. DOI: 10.1109/ICPSE53473.2021.9656863
- [6] Бешенцев И.Д. Ленинградский трамвай: становление и процветание // VI межд. науч. конф. «Гуманитарные науки в современном вузе: вчера, сегодня, завтра», Декабрь 15, 2023, Санкт-Петербург, Россия. С.-Пб.: СПбГУПТД, 2023. Т. 2. С. 195-204.
- [7] Falvo M.C., Lamedica R., Ruvio. A. An environmental sustainable transport system: A trolley-buses line for Cosenza city // International Symposium on Power Electronics Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, Jun. 20-22, 2012, Sorrento, Italy: IEEE, 2012. P. 1479-1485. DOI: 10.1109/SPEEDAM.2012.6264625
- [8] Mwambeleko J.J., Kulworawanichpong T., Greyson K.A. Tram and trolleybus net traction energy consumption comparison // 2015 12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Jun. 24-27, 2015, Hua Hin, Thailand: IEEE, 2015. P. 1-5. DOI: 10.1109/ECTICon.2015.7206932
- [9] Тебекин М.Д. Перспективы использования электробусов в качестве городского общественного транспорта // VI Межд. науч.-практ. конф. «Информационные технологии и инновации на транспорте», Май 20, 2020, Орел, Россия. Орёл: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2020. С. 262-269.
- [10] Chun-lin G., Li W., Dan W., Wen-bo Q., Xiang-ning X. Impact of electric vehicle charging on power grid // 2011 International Conference on Electrical and Control Engineering, Sep. 16-18, 2011, Yichang: IEEE, 2011. P. 2270-2274. DOI: 10.1109/ICECENG.2011.6057167
- [11] Bunzel A., Baker B. Energy consumption of electric city buses: Determination as a part of a technological and economic evaluation of bus lines with regards to their electrifiability // 2018 IEEE International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC), Nov. 07-09, 2018, Nottingham, UK: IEEE, 2018. P. 1-5. DOI: 10.1109/ESARS-ITEC.2018.8607520

- [12] Распоряжение Министерства транспорта РФ от 18 апреля 2013 г. № НА-37-р «О введении в действие методических рекомендаций по расчету экономической обоснованной стоимости перевозки пассажиров и багажа в городском и пригородном сообщении автомобильным и городским наземным электрическим транспортом общего пользования» // Официальный Интернет-ресурс Министерства транспорта Российской Федерации. [Электронный ресурс]. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/7/3250> (дата обращения 23.06.2024).
- [13] Приказ Минприроды России от 27.11.2019 г. № 804 «Об утверждении методики определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха» // Официальный интернет-портал правовой информации. [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201912260052> (дата обращения 23.06.2024).
- [14] ИТС 38-2017. Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии. Введ. 2018-07-01. М.: Бюро НДТ, 2017. – 280 с.
- [15] Гимади В. [и др.]. Углеродоемкость электроэнергии в мире и России // Энергетический бюллетень. 2019. № 72. [Электронный ресурс]. URL: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/22245.pdf> (дата обращения 27.07.2024).
- [16] Приказ Минприроды России от 30.06.2015 № 300 «Об утверждении методических указаний и руководства по количественному определению объема выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации» // Официальный интернет-портал правовой информации. [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001201512170023> (дата обращения 23.06.2024).

### References

- [1] Order of the Government of the Russian Federation dated 27.11.2021 no. 3363-р “Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda [Transport strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035]”, *Official Internet portal of legal information*. [Online]. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112030006> [Accessed: July 27, 2024] (in Russian).
- [2] P.S. Orlov and I.M. Sotskaya, “Electrotechnics, occupational safety and transport”, *Herald of Agroindustrial Complex of Upper Volga Region*, vol. 4, no. 52, pp. 80-85, 2020. DOI: 10.35694/YARCX.2020.52.4.016
- [3] V.S. Kuchuk, A.N. Afanasiev and A.V. Dubrovina, “City bus: Reduction of exhaust gas toxicity and efficiency internal combustion engines”, in proc. *III International scientific-practical conference “Nauchnyj potencial molodezhi i tekhnicheskij progress [Scientific potential of youth and technical progress]”*, May 15, 2020, St. Petersburg, Russia, pp. 49-50 (in Russian). DOI: 10.26160/2618-7493-2020-3-49-50
- [4] A.M. Klimovich and V.V. Bulychev, “Istoriya razvitiya avtobusov v SSSR i Rossii [The history of bus development in the USSR and Russia]”, in proc. *4th International scientific-technical conference “Avtomobili, transportnye sistemy i processy: nastoyashchee, proshloe i budushchee [“Cars, transport systems and processes: present, past and future]”*, May 20, 2022, Kursk, Russia, pp. 73-75 (in Russian).

- [5] N. Elagouz, N. Onat and M. Kucukvar, "Environmental, economic, and social life cycle impacts of alternative fuel buses: the case for Qatar", in proc. *2021 10th International Conference on Power Science and Engineering (ICPSE)*, Oct. 21-23, 2021, Istanbul, Turkey, pp. 92-97. DOI: 10.1109/ICPSE53473.2021.9656863
- [6] I.D. Beshentsev, "Leningrad tram: formation and prosperity", in proc. *VI International scientific conference "Gumanitarnye nauki v sovremennom vuze: vchera, segodnya, zavtra [Humanities in a modern university: yesterday, today, tomorrow]"*, Dec. 15, 2023, St. Peterburg, Russia, vol. 2, pp. 195-204 (in Russian).
- [7] M.C. Falvo, R. Lamedica and A. Ruvio, "An environmental sustainable transport system: A trolley-buses line for Cosenza city", in proc. *International Symposium on Power Electronics Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, Jun. 20-22, 2012, Sorrento, Italy, pp. 1479-1485. DOI: 10.1109/SPEEDAM.2012.6264625
- [8] J.J. Mwambeleko, T. Kulworawanichpong and K.A. Greyson, "Tram and trolleybus net traction energy consumption comparison", in proc. *2015 12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, Jun. 24-27, 2015, Hua Hin, Thailand, pp. 1-5. DOI: 10.1109/ECTICon.2015.7206932
- [9] M.D. Tebekin, "Prospects for using electric buses as urban public transport", in proc. *VI International scientific-practical conference "Informatsionnyye tekhnologii i innovatsii na transporte [Information technologies and innovations in transport]"*, May 20, 2020, Orel, Russia, pp. 262-269 (in Russian).
- [10] G. Chun-lin, W. Li, W. Dan, Q. Wen-bo and X. Xiang-ning, "Impact of electric vehicle charging on power grid", in proc. *2011 International Conference on Electrical and Control Engineering*, Sep. 16-18, 2011, Yichang, pp. 2270-2274. DOI: 10.1109/ICECENG.2011.6057167
- [11] A. Bunzel and B. Baker, "Energy consumption of electric city buses: Determination as a part of a technological and economic evaluation of bus lines with regards to their electrifiability", in proc. *2018 IEEE International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC)*, Nov. 07-09, 2018, Nottingham, UK, pp. 1-5. DOI: 10.1109/ESARS-ITEC.2018.8607520
- [12] Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated April 18, 2013 No. NA-37-r "O vvedenii v deystviye metodicheskikh rekomendatsiy po raschetu ekonomicheskoi obosnovannoy stoimosti perevozki passazhirov i bagazha v gorodskom i prigo-rodnom soobshchenii avtomobilnym i gorodskim nazemnym elektricheskim transportom obshchego polzovaniya [On the introduction of methodological recommendations for calculating the economically justified cost of transporting passengers and baggage in urban and suburban traffic by automobile and urban ground electric public transport], *Official Internet resource of the Ministry of Transport of the Russian Federation*. [Online]. Available at: <https://mintrans.gov.ru/documents/7/3250> [Accessed: June 23, 2024] (in Russian).
- [13] Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation dated November 27, 2019 No. 804 "Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya vybrosov zagryaznyayushchih veshchestv v atmosferyj vozduh ot peredvizhnyh istochnikov dlya provedeniya svodnyh raschetov zagryazneniya atmosferno

- vozduha» [On approval of the methodology for determining emissions of pollutants into the atmospheric air from mobile sources for conducting consolidated calculations of atmospheric air pollution]”, *Official Internet portal of legal information*. [Online]. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201912260052> [Accessed: June 23, 2024] (in Russian).
- [14] Fuel combustion on large plants for production of energy, ITS 38-2017, July 2018.
- [15] V. Gimadi et al., “Uglerodoemkost' elektroenergii v mire i Rossii [Carbon intensity of electricity in the world and in Russia]”, *Energeticheskij byulleten' [Energy Bulletin]*, no. 72, 2019. [Online]. Available at: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/22245.pdf> [Accessed: July 27, 2024] (in Russian).
- [16] Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation dated June 30, 2015 No. 300 “Ob utverzhdenii metodicheskikh ukazaniy i rukovodstva po kolichestvennomu opredeleniyu ob"ema vybrosov parnikovyykh gazov organizatsiyami, osushchestvlyayushchimi hozyajstvennyuyu i inuyu deyatel'nost' v Rossijskoj Federatsii [On approval of methodological guidelines and guidance for the quantitative determination of the volume of greenhouse gas emissions by organizations carrying out economic and other activities in the Russian Federation]”, *Official Internet portal of legal information*. [Online]. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001201512170023> [Accessed: June 23, 2024] (in Russian).

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Маслеева Ольга Владимировна**, кандидат технических наук, доцент Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексева, г. Нижний Новгород, Российская Федерация.

**Olga V. Masleeva**, Cand. Sci. (Eng.), associate professor of the Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russian Federation.

**Крюков Евгений Валерьевич**, кандидат технических наук, доцент Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексева, г. Нижний Новгород, Российская Федерация.

**Evgeny V. Kryukov**, Cand. Sci. (Eng.), associate professor of the Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russian Federation.

**Петухов Ярослав Игоревич**, магистр Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексева, г. Нижний Новгород, Российская Федерация.

**Yaroslav I. Petukhov**, master of the Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russian Federation.