

УДК 656.13

© О. В. Ложкина, д-р техн. наук, профессор

© К. Б. Мальчиков, адъюнкт

(Санкт-Петербургский университет

ГПС МЧС России,

Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: olojkina@yandex.ru, malchikov87@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2024-21-2-133-143

© O. V. Lozhkina, Dr. Sci. Tech., Professor

© K. B. Malchikov, post-graduate student

(Saint Petersburg University

of State Fire Service of EMERCOM of Russia,

St. Petersburg, Russia)

E-mail: olojkina@yandex.ru, malchikov87@mail.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОБЕГОВЫХ ВЫБРОСОВ АВТОМОБИЛЕЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ТОПЛИВА ПРИ ДОРОЖНЫХ ЗАТОРАХ

COMPARATIVE ANALYSIS OF MILEAGE EMISSIONS OF VEHICLES USING VARIOUS TYPES OF FUEL IN TRAFFIC JAMS

Представлены результаты испытаний по замеру уровня пробеговых выбросов автомобилей при относительно низкой скорости их движения. Испытанные автомобили различались степенью эксплуатационной изношенности и типом используемого топлива. Проведен сравнительный анализ полученных пробеговых выбросов и указаны возможные причины их расхождения. Динамика развития автомобильных технологий (системы подачи топливно-воздушной смеси, системы нейтрализации отработавших газов) и старение парка автотранспортных средств требуют периодического пересмотра базовых параметров пробеговых выбросов.

Ключевые слова: техногенное воздействие, отработавшие газы, пробеговые выбросы, дорожные заторы.

This article presents the results of tests to evaluate the level of mileage emissions of cars at a relatively low speed of their movement. The tested cars were different in terms of operational wear and type of fuel. There was carried out a comparative analysis of the obtained mileage emissions and possible reasons for their discrepancy were indicated. The dynamics of the development of automotive technologies (fuel-air mixture supply systems; exhaust gas neutralization systems) and the aging of the vehicle fleet require a periodic revision of the basic parameters of mileage emissions.

Keywords: anthropogenic impact, exhaust gases, mileage emissions, traffic jams.

Введение

Высокая автомобилизация и мобильность населения, недостаточная развитость улично-дорожной сети и наличие дорожных заторов являются проблемами многих городов. Как следствие, автотранспорт на протяжении нескольких десятилетий остается ключевым источником загрязнения воздуха городских агломераций и урбанизированных территорий [1–7].

Выбросы автотранспортных средств вносят основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха Санкт-Петербурга [8]: в 2022 г. — около 65,4 %; в 2021 г. — 63,9 %; в 2020 г. — 66,2 %; в 2019 г. — 66,7 %. В течение первого десятилетия XXI в. доля транспорт-

ных выбросов в суммарных выбросах составила более 80 % [9].

Заторы на дорогах влекут за собой не только негативные последствия, связанные с комфортом участников движения (чрезмерную задержку в пути, необходимость движения в режиме «разгон–торможение», эмоциональную усталость водителей и пассажиров), но и повышение расхода топлива на переходных режимах работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС), нестационарность в работе каталитического нейтрализатора и, как следствие, более высокие выбросы загрязняющих веществ (ЗВ) по сравнению со стационарным режимом движения с постоянной скоростью [10–15].

Для мониторинга и прогнозирования загрязнения воздуха автотранспортными выбросами проводится их инвентаризация с использованием соответствующих расчетных методик, которые в той или иной степени учитывают и особенности выбросов от автотранспортных потоков в условиях дорожных заторов. Однако из-за значительной разницы принятых допущений, значений усредненных удельных пробеговых выбросов ЗВ, принципов расчета результаты вычислений для одного и того же участка улично-дорожной сети могут заметно различаться [16].

Ключевыми расчетными элементами любой методики являются усредненные пробеговые выбросы ЗВ для учетных категорий автотранспортных средств, определяемые на основе экспериментальных исследований, поэтому информационные базы пробеговых выбросов автомобилей требуют постоянного дополнения и уточнения с учетом реальных условий эксплуатации автотранспортных средств.

В связи с вышесказанным цель настоящей работы заключалась в экспериментальном натурном исследовании пробеговых выбросов ЗВ легковых автомобилей и легкого коммерческого транспортного средства при минимальной скорости движения 5 км/ч. Примерно с такой средней скоростью движутся автотранспортные потоки в часы «пик».

Методы

В работе было проведено экспериментальное исследование качественно-количественного состава ЗВ отработавших газов (ОГ) легковых автомобилей и легкого транспортного средства на различных видах топлива. Основные технические и эксплуатационные характеристики испытанных автомобилей представлены в табл. 1.

Испытания проводились с августа по ноябрь 2023 г. на территории г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Условия испытаний описаны в табл. 2. Замер концентраций ЗВ в ОГ проводился с ис-

Таблица 1

Технические и эксплуатационные характеристики испытанных автомобилей

Марка и модель автомобиля	Год выпуска	Пробег, км	Объем ДВС, см ³	Марка топлива	Экологический класс (ЭК)	Тип трансмиссии
Легковые автомобили						
Тип топлива — сжиженный нефтяной газ						
LADA KALINA	2008	387 739	1 596	-	3	М
УАЗ ПАТРИОТ	2018	126 142	2 693	-	4	М
Тип топлива — бензин						
УАЗ ПАТРИОТ	2014	80 361	2 693	АИ-95	4	М
LADA KALINA	2013	75 987	1 596	АИ-92	4	М
KIA RIO	2013	178 291	1 591	АИ-95	4	А
KIA RIO	2020	73 524	1 591	АИ-95	5	А
Peugeot 407	2008	179 523	1 997	АИ-95	3	А
AUDI Q5	2019	84 719	1 984	АИ-95	5	А
Mazda 3	2008	207 014	1 598	АИ-95	4	М
Geely Atlas	2020	43 620	2 378	АИ-95	5	А
Nissan Almera	2013	306 783	1 598	АИ-95	4	М
Тип топлива — дизельное топливо						
Mitsubishi Pajero	2012	481 873	3 200	-	4	А
KIA BL SORENTO	2007	275 437	2 497	-	4	А
Легкое коммерческое транспортное средство, тип топлива — дизельное топливо						
ГАЗ А21R32	2016	186 393	2 781	-	4	М

Примечание: А — автоматическая; М — механическая.

пользованием газоанализатора «Инфракар 5МЗТ.02Л» при температуре окружающего воздуха не ниже 0 °С.

Подробные технические характеристики газоанализатора «Инфракар 5МЗТ.02Л» приведены в нашей работе [17]. Порядок проведения измерений соответствовал требованиям ГОСТа ISO 8178-2-2013. Контроль скорости движения автомобиля осуществлялся с помощью штатного спидометра автомобиля. Процесс измерений отражен на рис. 1.

Результаты

Перевод измеренных объемных долей ЗВ в пробеговые выбросы проведен с учетом объема двигателя автомобиля, объемного выброса ОГ, числа оборотов коленчато-

го вала двигателя, условий эксплуатации автомобилей, при температуре ОГ около 100 °С [18], давлении в выхлопном тракте около 915 мм рт. ст. (1,2 атм.) [19], коэффициенте наполнения ДВС 0,9 [20].

Расчет пробеговых выбросов i -го ЗВ проводился по формуле

$$M_i = \frac{V_{exh} \cdot C_{\text{масс.}i}}{V_a}, \quad (1)$$

где V_{exh} — объемный выброс ОГ (л/ч); $C_{\text{масс.}i}$ — массовое содержание i -го ЗВ в ОГ (г/л); V_a — скорость движения автомобиля при испытании (км/ч).

Пересчет концентрации i -го ЗВ, выраженной в объемных долях, в массовую концентрацию был проведен по формуле

Таблица 2

Места и условия проведения натуральных испытаний по замерам содержания ЗВ в ОГ автомобилей

Дата испытания	Марка автомобиля / год выпуска	Место проведения испытаний	Условия испытаний	
			$t, ^\circ\text{C}$	P , мм рт. ст.
08.08.2023	LADA KALINA / 2008	Ленинградская область, трасса Е-95 — Киевское шоссе, 45–53 км (объездная автодорога вокруг г. Гатчина)	+ 22	756
13.08.2023	УАЗ ПАТРИОТ / 2018		+ 21	762
16.08.2023	УАЗ ПАТРИОТ / 2014		+ 26	759
18.08.2023	LADA KALINA / 2013		+ 20	769
10.09.2023	KIA RIO / 2013		+ 23	763
24.09.2023	KIA RIO / 2020		+ 17	761
24.09.2023	Peugeot 407 / 2008		+18	762
15.10.2023	AUDI Q5 / 2019		+ 11	740
21.10.2023	ГАЗ А21R32 / 2016		Ленинградская область, Гатчинский район, трасса А-120 — Санкт-Петербургское южное полукольцо, 51–56 км	+ 4
22.10.2023	Mitsubishi Pajero / 2012	Ленинградская область, трасса Е-95 — Киевское шоссе, 45–53 км (объездная автодорога вокруг г. Гатчина)	+ 3	760
31.10.2023	KIA BL SORENTO / 2007	Санкт-Петербург, КАД, 58–61 км внешнего кольца	+ 1	754
03.11.2023	Mazda 3 / 2008	Ленинградская область, трасса Е-95 — Киевское шоссе, 45–53 км (объездная автодорога вокруг г. Гатчина)	+ 3	755
06.11.2023	Geely Atlas / 2020	г. Санкт-Петербург, Пулковское шоссе / Киевское шоссе (от пересечения с ул. Внуковской до пересечения с Красносельским шоссе в направлении Ленинградской области)	+ 5	745
10.11.2023	Nissan Almera / 2013	г. Санкт-Петербург, Пулковское шоссе / Киевское шоссе (от пересечения с ул. Внуковской до пересечения с Красносельским шоссе в направлении Ленинградской области)	+ 8	754

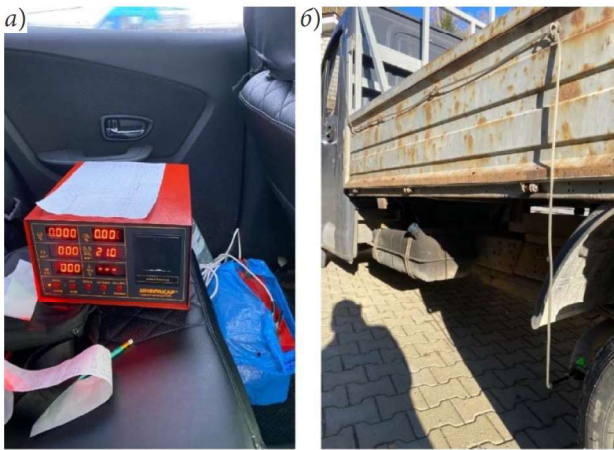


Рис. 1. Измерение содержания ЗВ в ОГ автомобилей с помощью газоанализатора «Инфракар 5М3Т.02Л»: а — размещение газоанализатора в салоне автомобиля Nissan Almera; б — размещение газозаборного зонда А в выхлопной трубе и пробоотборной трубки в скобах переднего борта автомобиля ГАЗ А21R32

$$C_{\text{масс.}i} = \frac{C_{\text{об.}i} \cdot M_i}{V_M \cdot 100}, \quad (2)$$

где $C_{\text{об.}i}$ — объемная доля i -го ЗВ (% об.); M_i — молярная масса i -го ЗВ (г/моль); V_M — молярный объем при заданных условиях (л/моль).

Для четырехтактного ДВС объемный выброс ОГ рассчитывался по формуле

$$V_{\text{exh}} = V_p \cdot n \cdot 0,5 \cdot 60 \cdot \varepsilon \cdot K_T, \quad (3)$$

где V_p — рабочий объем ДВС (л); n — количество оборотов коленчатого вала (об/мин); ε — коэффициент наполнения цилиндра ДВС (0,9); K_T — коэффициент содержания топливного компонента.

Расчет коэффициента содержания топливного компонента проводился следующим образом:

$$K_T = \frac{m_{\text{практ}}}{m_{\text{теор}} + 1}, \quad (4)$$

где $m_{\text{практ}}$ — практическая масса воздуха, затрачиваемая на сгорание 1 г топлива.

Практическая масса воздуха рассчитывалась по формуле

$$m_{\text{практ}} = \lambda \cdot 14,7, \quad (5)$$

где λ — коэффициент избытка воздуха.

Результаты проведенных испытаний приведены в табл. 3 и на рис. 2, 3.

В результате проведенных экспериментальных исследований было установлено, что наиболее высокие выбросы СО в группе легковых автомобилей с двигателем с принудительным зажиганием на минимальной скорости движения 5 км/ч были характерны для автомобилей с пробегом более 100 000 км: Mazda 3 с бензиновым двигателем с пробегом 207 014 км — 32,2 г/км, LADA KALINA 2008 с двигателем на газомоторном топливе с пробегом 387 739 км — 19,25 г/км; УАЗ ПАТРИОТ 2018 с двигателем на газомоторном топливе с пробегом 126 142 км — 18,57 г/км; KIA RIO 2013 с бензиновым двигателем с пробегом 178 291 км — 11,77 г/км.

При испытаниях в этой группе наименьшие значения пробеговых выбросов СО были получены для транспортных средств с бензиновыми двигателями 4 и 5 ЭК с пробегом менее 100 000 км, а именно: KIA RIO 2020 с бензиновым двигателем с пробегом 73 524 км — 1,09 г/км; Geely Atlas с бензиновым двигателем с пробегом 43 620 км — 1,302 г/км; LADA KALINA 2013 с бензиновым двигателем с пробегом 75 987 км — 1,67 г/км.

В отношении пробеговых выбросов СН, в отличие от выбросов СО, среди автомобилей с двигателем с принудительным зажиганием наблюдался существенно меньший разброс значений — в диапазоне от 0,102 до 0,584 г/км; при этом наибольшие значения были получены для автомобилей УАЗ ПАТРИОТ 2018 и Mazda 3 (соответственно 0,582 и 0,584 г/км), а наименьшие — для автомобилей KIA RIO 2020, AUDI Q5 и LADA KALINA 2013 (соответственно 0,167, 0,172 и 0,193 г/км).

Исключительными, выбивающимися из общей тенденции увеличения концентрации СО и СН в ОГ автомобилей с высоким пробегом, оказались результаты, полученные для автомобиля Nissan Almera с бензиновым двигателем с пробегом 306 783 км: пробеговый выброс СО составил 1,69 г/км, а СН — 0,102 г/км.

Значительный выброс NO_x автотранспортных средств с принудительным запуском был зафиксирован у автомобиля Mazda 3, а в отношении остальных автомобилей выбросы NO_x имели минимальные значения с разбросом в диапазоне от 0,009 г/км до 0,043 г/км.

В испытаниях были задействованы дизельные легковые автомобили с высоким пробегом, и для них ожидаемо были установлены высокие пробеговые выбросы CO и NO_x : для автомобиля Mitsubishi Pajero с пробегом 481 873 км выброс CO составил 2,91 г/км, а NO_x — 2,397 г/км; для автомобиля KIA BL SORENTO с пробегом 275 437 км — 1,43 и 5,482 г/км соответственно.

Грузовой коммерческий автомобиль ГАЗ А21R32 с двигателем с воспламенением от сжатия и пробегом 186 393 км показал достаточно высокие пробеговые выбросы для такого типа двигателя по таким поллютан-

там, как CO — 14,185 г/км и CH — 0,295 г/км, а пробеговый выброс NO_x — 6,147 г/км.

Обсуждение

Установленные пробеговые выбросы CO и CH автомобилей с бензиновым двигателем 4 и 5 ЭК с пробегом менее 100 000 км (LADA KALINA 2013; AUDI Q5, KIA RIO 2020, Geely Atlas) незначительно превышали соответствующие экологические стандарты (табл. 4), установленные Техническим регламентом Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» (ТР ТС 018/2011) и гармонизированные с Правилами ООН № 83 и 49.

Полученный результат, по всей видимости, связан с тем, что в условиях движения автомобиля со средней скоростью 5 км/ч, характерной для движения при дорожных заторах, каталитический нейтрализатор не достигает температуры, необходимой для эффективной нейтрализации CO и CH [21–23],

Таблица 3

Пробеговые выбросы CO, CH, NO_x , г/км, испытанных автомобилей при скорости движения 5 км/ч

Марка и модель автомобиля	Пробеговый выброс поллютанта, г/км			Пробег, км	ЭК
	CO	CH	NO_x		
Легковые автомобили					
Тип топлива — сжиженный нефтяной газ					
LADA KALINA 2008	19,25	0,284	0,017	387 739	3
УАЗ ПАТРИОТ 2018	18,57	0,582	0,029	126 142	4
Тип топлива — бензин					
УАЗ ПАТРИОТ 2014	4,78	0,269	0,043	80 361	4
LADA KALINA 2013	1,67	0,193	0,023	75 987	4
KIA RIO 2013	11,77	0,174	0,022	178 291	4
KIA RIO 2020	1,09	0,167	0,009	73 524	5
Peugeot 407	3,33	0,222	0,035	179 523	3
AUDI Q5	4,156	0,172	0,042	84 719	5
Mazda 3	32,22	0,584	6,97	207 014	4
Geely Atlas	1,302	0,217	0,038	43 620	5
Nissan Almera	1,69	0,102	0,019	306 783	4
Тип топлива — дизельное топливо					
Mitsubishi Pajero	2,91	0,092	2,397	481 873	4
KIA BL SORENTO	1,43	0,039	5,482	275 437	4
Легкое коммерческое транспортное средство, тип топлива — дизельное топливо					
ГАЗ А21R32	14,185	0,295	6,147	186 393	4

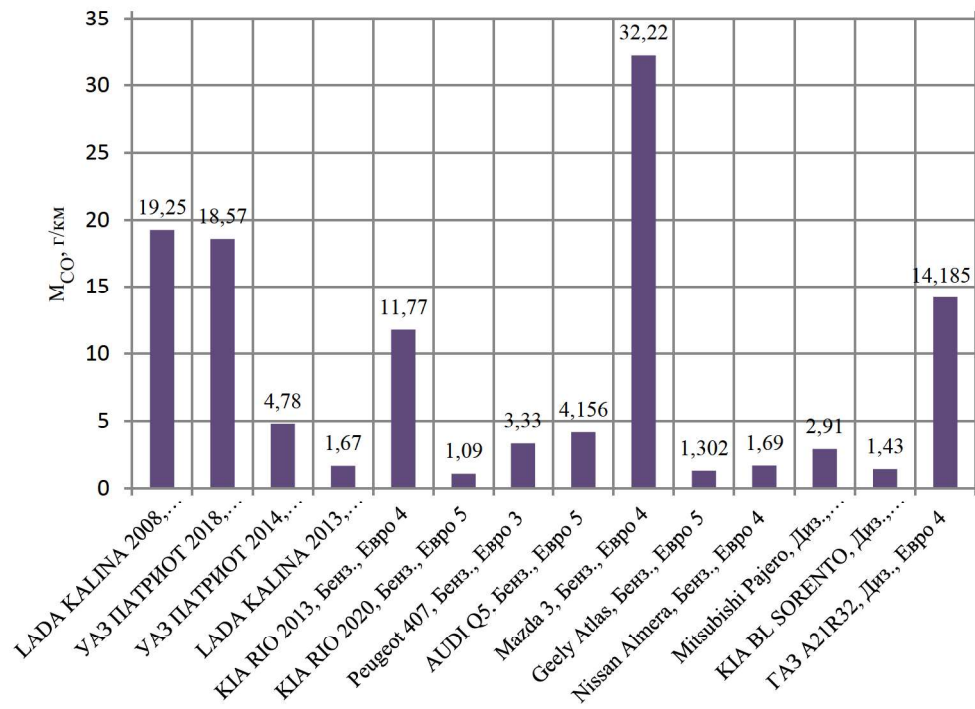


Рис. 2. Пробеговые выбросы CO (M_{CO} , г/км), установленные для испытанных автомобилей при скорости движения 5 км/ч

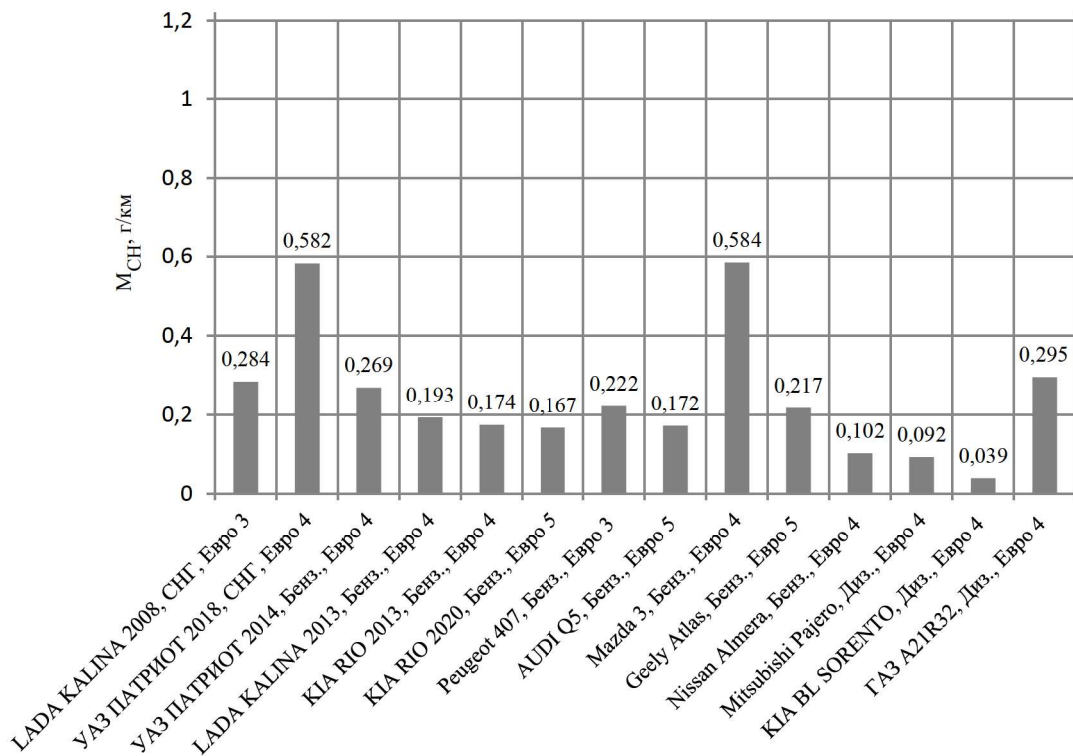


Рис. 3. Пробеговые выбросы CH (M_{CH} , г/км), установленные для испытанных автомобилей при скорости движения 5 км/ч

а работа ДВС автотранспортного средства на режимах малой нагрузки сопровождается перерасходом топлива и повышенными выбросами ЗВ с ОГ, то есть нестационарным характером [24].

Большинство испытанных легковых автомобилей, оборудованных двигателем с принудительным зажиганием и пробегом более 100 000 км (Mazda 3, LADA KALINA 2008, УАЗ ПАТРИОТ 2018, KIA RIO 2013), демонстрировали крайне высокие выбросы СО и высокие выбросы СН, существенно превышающие соответствующие им экологические стандарты и сопоставимые с выбросами транспортных средств, не оборудованных системой каталитической нейтрализации ОГ. Это было подтверждено путем сравнения полученных результатов с усредненными удельными пробеговыми выбросами СО, установленными двумя отечественными методиками, а именно «Методикой определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов», утвержденной приказом Госкомэкологии России № 66 от 16.02.1999, — 19 г/км, и «Расчетной инструкцией (методикой) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств на территории крупнейших городов (на примере Москвы)», разработанной НИИАТ (Москва, 2012) — 17,4–34,8 г/км.

Такой результат явно свидетельствует о выходе из строя каталитического нейтрализатора [25–27] или о его демонтаже, а также о неудовлетворительном состоянии топливной аппаратуры, приводящем к некачественному смесеобразованию и сгоранию топливно-воздушной смеси внутри цилиндров двигателя, что косвенно подтверждается высокими значениями λ у автомобилей Mazda 3 ($\approx 1,9$), LADA KALINA 2008 ($\approx 1,033$) и УАЗ ПАТРИОТ 2018 ($\approx 1,136$) (при допустимых пределах от 0,97 до 1,03).

Легковой автомобиль Nissan Almera с бензиновым двигателем несмотря на высокий

пробег (306 783 км) показал неплохие результаты пробеговых выбросов, что может свидетельствовать об удовлетворительном техническом состоянии топливной аппаратуры транспортного средства.

У обоих испытанных легковых автомобилей с дизельным двигателем (Mitsubishi Pajero с пробегом 481 873 км и KIA BL SORENTO с пробегом 275 437 км) наблюдались высокие выбросы СО (сопоставимые с пробеговыми выбросами бензиновых автомобилей) и NO_x (см. табл. 3), значительно превышающие нормативно установленные значения для их ЭК (см. табл. 4).

Результаты экспериментальных измерений выбросов СО, СН и NO_x автомобилем ГАЗ А21R32 указывает на их нехарактерно высокие пиковые значения для дизельного ДВС (выброс СО в 19,1, а NO_x в 15,8 раз выше соответствующих нормативных значений), тем самым обозначая вопрос несоответствия технического состояния двигателя (систем питания, зажигания и др.) должному уровню и указывая на неэффективность системы каталитической нейтрализации ОГ.

Несмотря на то что на состояние топливной аппаратуры и каталитического нейтрализатора ОГ оказывает влияние достаточно большое количество различных эксплуатационных факторов (качество топлива и присутствие в нем присадок, близость расположения нейтрализатора к выпускному коллектору, стиль вождения, движение на автомобиле с неисправной системой зажигания и др.), полученные результаты в целом подтверждают, что высокий пробег автомобиля (условно более 100 000 км) сопряжен с износом топливной аппаратуры и каталитического нейтрализатора, что в совокупности приводит к высоким значениям пробеговых выбросов ЗВ.

Выводы

В результате проведенного исследования пробеговых выбросов автотранспортных средств, двигающихся с минимальной ско-

Таблица 4
Стандартные значения пробеговых выбросов
СО, СН, NO_x, г/км

ЭК	Поллютант			
	СО	СН	NO _x	СН+NO _x
С бензиновым двигателем				
2	2,3	–	–	0,50
3	2,2	0,20	0,15	–
4	1,0	0,10	0,08	–
5	1,0	0,10	0,06	–
С дизельным двигателем				
2	1,0	–	–	0,70
3	0,64	–	0,50	0,56
4	0,50	–	0,25	0,30
5	0,50	–	0,18	0,23
Легкие коммерческие транспортные средства массой >1760 кг, но <3500 кг с дизельным двигателем				
2	1,5	–	–	1,2
3	0,95	–	0,78	0,86
4	0,74	–	0,39	0,46
5	0,74	–	0,28	0,35

ростью 5 км/ч, характерной для движения в дорожных заторах, было установлено:

- выбросы поллютанта СО даже автомобилями с исправной системой каталитической нейтрализации ОГ, небольшим пробегом и удовлетворительным процессом смесеобразования и сгорания топлива превышают нормативные значения, соответствующие их ЭК, что может быть связано с ограниченной эффективностью катализа из-за недостаточной температуры катализатора при таком режиме движения;

- в целом полученные результаты подтвердили, что высокий износ автотранспортных средств, индикатором которого условно может являться пробег автомобиля (> 100 000 км), сопряженный с высоким износом топливной аппаратуры и нейтрализатора ОГ в совокупности приводят к высоким пробеговым выбросам ЗВ, сопоставимым с автомобилями, не оборудованными системами каталитической нейтрализации ОГ. Однако могут быть и исключения

из этой закономерности, что указывает на необходимость анализа выбросов ДВС автомобилей во взаимосвязи не только с их пройденным пробегом, но и техническим состоянием;

- при уточнении и совершенствовании расчетных методов оценки выбросов ЗВ от автотранспортных потоков необходимо учитывать, что на сегодняшний день в Российской Федерации наблюдается старение автопарка. По данным аналитического агентства «АВТОСТАТ» (URL: <https://www.autostat.ru/news/>), средний возраст автомобильного парка по стране повысился с 11,8 лет в 2011 г. до 14,7 лет в 2022 г., а доля легковых автомобилей старше 10 лет возросла с 51 % в 2011 г. до 59 % в 2021 г. ;

- в дальнейшем необходимо провести экспериментальные исследования, направленные на уточнение пробеговых выбросов автомобилей при более высоких скоростях движения.

Библиографический список

1. Ложкин В. Н., Ложкина О. В. Повышение качества информационной поддержки контроля загрязнения атмосферного воздуха поллютантами автотранспорта на примере Санкт-Петербурга // Вода и экология: проблемы и решения. 2021. № 2 (86). С. 65–74. DOI 10.23968/2305-3488.2021.26.2.65-74.
2. Магдин К. А., Евтюков С. С. Акустическое загрязнение улично-дорожной среды автомобильным транспортом // Вестник гражданских инженеров. 2023. № 1 (96). С. 132–139. DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-1-132-139.
3. Бондаренко Е. В., Филиппов А. А., Сулейманов И. Ф., Минатуллаев Ш. М. Системная оценка воздействия улично-дорожной сети на атмосферу урбанизированной территории // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2022. Т. 19, № 2 (84). С. 184–197. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-2-184-197>.
4. Кадасев Д. А., Петросянци А. И. Повышение скорости движения автотранспортных потоков при оптимизации работы светофорной сигнализации методами имитационного моделирования // Вестник Липецкого государственного технического университета. 2021. № 3 (46). С. 46–53. DOI 10.53015/23049235_2021_3_46.

5. Achmad Rizki Pratama et al. Analysis of Air Pollution due to Vehicle Exhaust Emissions on The Road Networks of Beringin Janggut Area // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series: 2019. Vol. 1198. 082030. DOI 10.1088/1742-6596/1198/8/082030.
6. Sánchez J. M., Ortega E., Martín B., López-Lambas M. E. Evaluation of emissions in traffic reduction and pedestrianization scenarios in Madrid // Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2021. Vol. 100. 103064. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103064>.
7. García-González J., Molina-Cabello M. A., Luque-Baena R. M., Ortiz-de-Lazcano-Lobato J. M., López-Rubio E. Road pollution estimation from vehicle tracking in surveillance videos by deep convolutional neural networks // Applied Soft Computing. 2021. Vol. 113. 107950. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107950>.
8. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2022 году / под ред. А. В. Германа, И. А. Серебрицкого. СПб., 2023. 226 с.
9. Ложкин В. Н., Ложкина О. В. Перспективы сокращения экологического ущерба от автотранспорта в городах Российской Федерации на примере Санкт-Петербурга // Биосфера. 2011. Т. 3, № 3. С. 409–418.
10. Xiaopeng Li, Jianxun Cui, Shi An, Mohsen Parsafard. Stop-and-go traffic analysis: Theoretical properties, environmental impacts and oscillation mitigation // Transportation Research Part B: Methodological. 2016. Vol. 70. Pp. 319–339. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2014.09.014>.
11. Choudhary A., Gokhale S. Urban real-world driving traffic emissions during interruption and congestion // Transport and Environment. 2016. Vol. 43. Pp. 59–70. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.12.006>.
12. Lozhkina O. V., Lozhkin V. N. Estimation of nitrogen oxides emissions from petrol and diesel passenger cars by means of on-board monitoring: effect of vehicle speed, vehicle technology, engine type on emission rates // Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2016. Vol. 47. Pp. 251–264. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.06.008>.
13. Kaushik N., Das R. M. Investigation of NO_x and related secondary pollutants at Anand Vihar, one of the most polluted area of Delhi // Urban Climate. 2023. Vol. 52. 101747. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101747>.
14. Šarkan B., Loman M., Synák F., Skrúčaný T., Hanzl J. Emissions Production by Exhaust Gases of a Road Vehicle's Starting Depending on a Road Gradient // Sensors. 2022. Vol. 22 (24). 9896. <https://doi.org/10.3390/s22249896>.
15. Zhang R., Chen H., Xie P., Zu L., Wei Y., Wang M., Wang Y., Zhu R. Exhaust Emissions from Gasoline Vehicles with Different Fuel Detergency and the Prediction Model Using Deep Learning // Sensors. 2023. Vol. 23 (17). 7655. <https://doi.org/10.3390/s23177655>.
16. Трофименко Ю. В., Комков В. И. Инвентаризация выбросов загрязняющих веществ передвижными источниками дорожного транспорта. М.: МАДИ, 2023. 114 с.
17. Ложкина О. В., Мальчиков К. Б. Метод прогнозирования техногенных опасностей на основе определения содержания поллютантов в отработавших газах лодочных моторов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 127–137.
18. Бояришинов М. Г., Кузнецов Н. И. Температурный режим системы выпуска автомобиля при пониженных температурах // Мир транспорта. 2019. № 4 (17). С. 48–67. DOI 10.30932/1992-3252-2019-17-48-67.
19. Нигматуллин Ш. Ф., Самиков Р. Ф., Рязанов М. М., Хайретдинова Р. Р. Исследование работы термоэлектрического генератора в системе выпуска отработавших газов ДВС // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 2 (208). С. 101–110. DOI 10.53083/1996-4277-2022-208-2-101-110.
20. Салмин В. В., Суменков С. В., Дустмуратов Н. А. Совершенствование расчета рабочих процессов двухтактных ДВС // XII Междунар. науч.-практ. конф. «Перспективы направления развития автотранспортного комплекса». Пензенский государственный университет. 28–29 ноября 2018 года. Пенза. С. 82–86.
21. Певнев Н. Г., Залознов А. В. Соответствие методики государственных испытаний трехкомпонентных нейтрализаторов выхлопных газов реальным условиям эксплуатации // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2016. № 4 (50). С. 70–77.
22. Ложкина О. В., Онищенко И. А. Методика оценки выбросов опасных компонентов отработавших газов при пуске и прогреве двигателей автотранспортных средств в климатических условиях Арктики // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2020. № 3. С. 30–37.
23. Ложкин В. Н., Онищенко И. А., Ложкина О. В. Уточненная аналитическая модель катализа отработавших газов в условиях низких температур // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2017. № 4. С. 78–85.
24. Патрахальцев Н. Н., Ощепков П. П., Савастенко Э. А. Повышение экономичности двигателя с принудительным зажиганием путем регулирования его рабочего объема // Автомобильная промышленность. 2016. № 9. С. 12–14.

25. Ложкин В. Н. Теоретические основы и практика диагностики эколого-пожароопасных аварийных режимов эксплуатации каталитических систем автотранспорта // Мир транспорта и технологических машин. 2023. № 1–2 (80). С. 74–80. DOI 10.33979/2073-7432-2023-2(80)-1-74-80.

26. Ramanathan K., Oh S.H. Modeling and analysis of rapid catalyst aging cycles // Chemical Engineering Research and Design. 2014. Vol. 92 (2). Pp. 350–361. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2013.06.020>.

27. Huang Yu., Lee C. K. C., Yam Ya.-Sh. et al. Effective emissions reduction of high-mileage fleets through a catalytic converter and oxygen sensor replacement program // Science of The Total Environment. 2022. Vol. 850. 158004. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158004>.

References

1. Lozhkin V. N., Lozhkina O. V. *Povyshenie kachestva informatsionnoy podderzhki kontrolya zagryazneniya atmosfernogo vozdukhа pollyutantami avtotransporta na primere Sankt Peterburgа* [Improving the quality of information support for providing the control of atmospheric air pollution by motor transport pollutants on the example of St. Petersburg]. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya – Water and Ecology: Problems and Solutions*, 2021, no. 2 (86), pp. 65–74. DOI 10.23968/2305-3488.2021.26.2.65-74.

2. Magdin K. A., Evtyukov S. S. *Akusticheskoe zagryaznenie ulichno-dorozhnoy sredy avtomobilnym transportom* [Acoustic pollution of street-road environment caused by automobile transportation]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2023, no. 1 (96), pp. 132–139. DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-1-132-139.

3. Bondarenko E. V., Filippov A. A., Suleymanov I. F., Minatullaev Sh. M. *Sistemnaya otsenka vozdeystviya ulichno-dorozhnoy seti na atmosferu urbanizirovannoy territorii* [Systemic assessment of the impact of street-road network on the atmosphere of urbanized territory]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta – Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University*, 2022, vol. 19, no. 2 (84), pp. 184–197. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-2-184-197>.

4. Kadasev D. A., Petrosyants A. I. *Povyshenie skorosti dvizheniya avtotransportnykh potokov pri optimizatsii raboty svetofornoy signalizatsii metodami imitatsionnogo modelirovaniya* [Increasing the speed of motor transport flows at optimization of traffic light signaling by methods of imitation modeling]. *Vestnik Lipetskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Lipetsk State Technical University*, 2021, no. 3 (46), pp. 46–53. DOI 10.53015/23049235_2021_3_46.

5. Achmad Rizki Pratama, et al. Analysis of air pollution due to vehicle exhaust emissions on the road networks of beringinjanggut area. *Proceedings of the IOP Conf. Series: Journal of Physics. Conf. Series*, 2019, vol. 1198, 082030. DOI 10.1088/1742-6596/1198/8/082030.

6. Sánchez J. M., Ortega E., Martín B., López-Lambas M. E. Evaluation of emissions in traffic reduction and pedestrianization scenarios in Madrid. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2021, vol. 100, 103064. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103064>.

7. García-González J., et al. Road pollution estimation from vehicle tracking in surveillance videos by deep convolutional neural networks. *Applied Soft Computing.*, 2021, vol. 113, 107950. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107950>.

8. *Doklad ob ekologicheskoy situatsii v Sankt-Peterburge v 2022 godu* [Report on the ecological situation in St. Petersburg in 2022]. Ed. by German A. V., Serebritskiy I. A. St. Petersburg, 2023, 226 p.

9. Lozhkin V. N., Lozhkina O. V. *Perspektivy sokrashcheniya ekologicheskogo ushcherba ot avtotransporta v gorodakh Rossiyskoy Federatsii na primere Sankt-Peterburgа* [Prospects of reduction of ecological damage from motor transport in the cities of the Russian Federation on the example of St. Petersburg]. *Biosfera – Biosphere*, 2011, vol. 3, no. 3, pp. 409–418.

10. Xiaopeng Li, et al. Stop-and-go traffic analysis: Theoretical properties, environmental impacts and oscillation mitigation. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2016, vol. 70, pp. 319–339. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2014.09.014>.

11. Choudhary A., Gokhale S. Urban real-world driving traffic emissions during interruption and congestion. *Transport and Environment*, 2016, vol. 43, pp. 59–70. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.12.006>.

12. Lozhkina O. V., Lozhkin V. N. Estimation of nitrogen oxides emissions from petrol and diesel passenger cars by means of on-board monitoring: effect of vehicle speed, vehicle technology, engine type on emission rates. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2016, vol. 47, pp. 251–264. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.06.008>.

13. Kaushik N., Das R. M. Investigation of NO_x and related secondary pollutants at Anand Vihar, one of the most polluted area of Delhi. *Urban Climate*, 2023, vol. 52, 101747. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101747>.

14. Šarkan B., et al. Emissions production by exhaust gases of a road vehicle's starting depending on a road gradient. *Sensors*, 2022, vol. 22 (24), 9896. <https://doi.org/10.3390/s22249896>.

15. Zhang R., et al. Exhaust emissions from gasoline vehicles with different fuel detergency and the prediction

model using deep learning. *Sensors*, 2023, vol. 23 (17), 7655. <https://doi.org/10.3390/s23177655>.

16. Trofimenko Yu. V., Komkov V. I. *Inventarizatsiya vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv peredvizhnymi istochnikami dorozhnogo transporta* [Inventory of pollutant emissions by mobile sources of road transport]. Moscow, MADI Publ., 2023, 114 p.

17. Lozhkina O. V., Mal'chikov K. B. *Metod prognozirovaniya tekhnogennykh opasnostey na osnove opredeleniya sodержaniya pollyutantov v otrabotavshikh gazakh lodochnykh motorov* [Method of forecasting the man-made hazards on the basis of determination of pollutants content in exhaust gases of boat motors]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere – Technosphere Risk Management Challenges*, 2023, no. 1 (65), pp. 127–137.

18. Boyarshinov M. G., Kuznetsov N. I. *Temperaturniy rezhim sistemy vypuska avtomobilya pri ponizhennykh temperaturakh* [Temperature mode of the car exhaust system at low temperatures]. *Mir transporta – The World of Transport*, 2019, no. 4 (17), pp. 48–67. DOI 10.30932/1992-3252-2019-17-48-67.

19. Nigmatullin Sh. F., Samikov R. F., Ryzapov M. M., Khayretdinova R. R. *Issledovanie raboty termoelektricheskogo generatora v sisteme vypuska otrabotavshikh gazov DVS* [Investigation of thermoelectric generator operation in the exhaust gas exhaust system of internal combustion engine]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – Bulletin of Altai State Agrarian University*, 2022, no. 2 (208), pp. 101–110. DOI 10.53083/1996-4277-2022-208-2-101-110.

20. Salmin V. V., Sumenkov S. V., Dustmuratov N. A. *Sovershenstvovanie rascheta rabochikh protsessov dvukhtaknykh DVS* [Perfection of calculation of working processes of two-stroke internal combustion engines]. *Trudy XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Perspektivy napravleniya razvitiya avtotransportnogo kompleksa»* [Proceedings of the XII International scientific-practical conference “Prospects of directions of development of motor transport complex” Penza State University, November 28–29, 2018]. Penza, 2018, pp. 82–86.

21. Pevnev N. G., Zaloznov A. V. *Sootvetstvie metodiki gosudarstvennykh ispytaniy trekhkomponentnykh neytralizatorov vykhlopnykh gazov real'nyim usloviyam ekspluatatsii* [Conformity of the methodology of state tests of three-component exhaust gas neutralizers to real operating conditions]. *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii – Bulletin of the Siberian*

State Automobile and Road Academy, 2016, no. 4 (50), pp. 70–77.

22. Lozhkina O. V., Onishchenko I. A. *Metodika otsenki vybrosov opasnykh komponentov otrabotavshikh gazov pri puske i progreve dvigateley avtotransportnykh sredstv v klimaticheskikh usloviyakh Arktiki* [Methodology for estimating the emissions of hazardous exhaust gas components during starting and warming up of motor vehicles engines in climatic conditions of the Arctic]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii – Bulletin of St. Petersburg University of the State Fire Fighting Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia*, 2020, no. 3, pp. 30–37.

23. Lozhkin V. N., Onishchenko I. A., Lozhkina O. V. *Utochnennaya analiticheskaya model' kataliza otrabotavshikh gazov v usloviyakh nizkikh temperatur* [Refined analytical model of catalysis of exhaust gases in conditions of low temperatures]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii – Bulletin of St. Petersburg University of the State Fire Fighting Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia*, 2017, no. 4, pp. 78–85.

24. Patrakhal'tsev N. N., Oshchepkov P. P., Savastenko E. A. *Povyshenie ekonomichnosti dvigatelya s prinuditel'nyim zazhiganiem putem regulirovaniya ego rabocheho ob'ema* [Increasing the efficiency of the engine with forced ignition by regulating its working volume]. *Avtomobil'naya promyshlennost' – Automobile Industry*, 2016, no. 9, pp. 12–14.

25. Lozhkin V. N. *Teoreticheskie osnovy i praktika diagnostiki ekologo-pozharoopasnykh avariynykh rezhimov ekspluatatsii kataliticheskikh sistem avtotransporta* [Theoretical bases and practice of diagnostics of ecological and fire hazardous emergency modes of operation of catalytic systems of motor transport]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin – The World of Transport and Technological Machines*, 2023, no. 1–2 (80), pp. 74–80. DOI 10.33979/2073-7432-2023-2(80)-1-74-80.

26. Ramanathan K., Oh S. H. Modeling and analysis of rapid catalyst aging cycles. *Chemical Engineering Research and Design*, 2014, vol. 92 (2), pp. 350–361. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2013.06.020>.

27. Huang Yu., et al. Effective emissions reduction of high-mileage fleets through a catalytic converter and oxygen sensor replacement program. *Science of the Total Environment*, 2022, vol. 850, 158004 DOI <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158004>.