

Научная статья

УДК 656.186; DOI: 10.61260/1998-8990-2024-1-134-145

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОПАСНОСТЕЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ВЫБРОСАМИ ДВУХКОЛЕСНЫХ МОТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Ложкина Ольга Владимировна;

✉ Мальчиков Константин Борисович.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ [malchikov87@mail.ru](mailto:malchikov87@mail.ru)

*Аннотация.* Проанализированы и обобщены сведения по пробеговым выбросам загрязняющих веществ мотоциклами и мопедами, оснащенными двигателями внутреннего сгорания. В результате было установлено, что для 2-тактных и 4-тактных двигателей, не оборудованных нейтрализатором отработавших газов, пробеговые выбросы CO изменяются в диапазоне 6,6–32,8 г/км, CH – 0,62–19,26 г/км, NO<sub>x</sub> – 0,010–0,38 г/км; для 2-тактных и 4-тактных двигателей, оснащенных каталитическим нейтрализатором, пробеговые выбросы CO варьируются в пределах 0,68–12,21 г/км; CH – 0,10–4,06 г/км; NO<sub>x</sub> – 0,10–0,28 г/км. Полученные результаты будут использованы для совершенствования метода прогнозирования техногенных опасностей, обусловленных выбросами автотранспортных средств.

*Ключевые слова:* техногенные опасности, двухколесные моторизованные транспортные средства, загрязняющие вещества, пробеговые выбросы, мониторинг и прогнозирование

**Для цитирования:** Ложкина О.В., Мальчиков К.Б. Прогнозирование техногенных опасностей, обусловленных выбросами двухколесных мототранспортных средств // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 1 (69). С. 134–145. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-1-134-145.

Scientific article

## **FORECASTING TECHNOSPHERIC HAZARDS CAUSED BY EMISSIONS OF TWO-WHEELED MOTORIZED VEHICLES**

Lozhkina Olga V.;

✉ Malchikov Konstantin B.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ [malchikov87@mail.ru](mailto:malchikov87@mail.ru)

*Abstract:* The paper analyzes and summarizes data on the emission rates of pollutants by motorcycles and mopeds equipped with internal combustion engines. As a result, it was found that 2-stroke and 4-stroke engines not equipped with an exhaust gas neutralizer demonstrate emissions rates of CO varying in the range of 6,6–32,8 g/km, CH – 0,62–19,26 g/km, NO<sub>x</sub> – 0,010–0,38 g/km; 2-stroke and 4-stroke engines equipped with a catalytic converter, demonstrate emission rates of CO ranging from 0,68 to 12,21 g/km; CH – from 0,10 to 4,06 g/km; NO<sub>x</sub> – from 0,10 to 0,28 g/km. The results obtained will be used to improve the method for forecasting hazards caused by vehicle emissions.

*Keywords:* technospheric hazards, two-wheeled motorized vehicles, pollutants, emission rates, monitoring and forecasting

**For citation:** Lozhkina O.V., Malchikov K.B. Forecasting technospheric hazards caused by emissions of two-wheeled motorized vehicles // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2024. № 1 (69). P. 134–145. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-1-134-145.

## Введение

Опасное техногенное воздействие транспорта в городах Российской Федерации и мира проявляется, прежде всего, в значительном вкладе в загрязнение атмосферного воздуха [1–5]. Токсичные для людей, флоры и фауны выбросы угарного газа, оксидов азота и серы, углеводородов, мелкодисперсных взвешенных частиц с отработавшими газами (ОГ) двигателей транспортных средств могут при наступлении совокупных неблагоприятных метеорологических, транспортных и градостроительных условий приводить к высокому риску причинения вреда здоровью людей [6–8].

Исследования, направленные на выявление негативного влияния двухколесных мототранспортных средств (ДМТС) на качество окружающей среды, проводятся преимущественно в азиатских странах, где мотоциклы, мопеды и мотороллеры являются основными средствами передвижения и основными источниками загрязнения атмосферного воздуха, и в странах, давно, еще в 60–70-х гг. прошлого века, столкнувшихся с серьезными последствиями опасного загрязнения воздуха двигателями внутреннего сгорания (ДВС) транспортных средств, как например США [9–13]. Из-за низких доходов в Индии население отдает предпочтение ДМТС: примерно 77 % парка автотранспорта составляют ДМТС, потому что они относительно недороги, легки в управлении, маневренны, их несложно запарковать в плотной городской застройке [9, 10]. Индия является вторым по величине производителем ДМТС в мире [9]. В Китайской Народной Республике, Индонезии, Вьетнаме на одного жителя приходится, в среднем, один мотоцикл или мопед. С 2003 г. мировое производство мотоциклов увеличилось на 42 %, а доля мототранспорта в азиатских странах с 2006 г. составляет примерно 75 % [12, 13].

Особенной популярностью мототранспорт пользуется в городах с низким качеством и недостаточным количеством общественного транспорта, а также в населенных пунктах со слабо развитой улично-дорожной сетью. Например, исследования, проведенные в Италии, указывают на то, что вклад ДМТС в загрязнение воздуха мелкодисперсными взвешенными частицами составляет около 30 % в городах страны, а во Вьетнаме – от 30 до 66 % [12]. Проведенные исследования в бразильском штате Сан-Паулу показывают, что на долю мотоциклов приходится около 16 % от общих выбросов СО и около 13 % от общих выбросов СН [14].

В нашей стране мотоциклы, мопеды и мотороллеры по большей части используются сезонно. По состоянию на 2021 г., по данным аналитического агентства «АВТОСТАТ», было зарегистрировано 2,36 млн мотоциклов, это составило около 4 % от всего парка транспортных средств [15]. Средний возраст мотоциклов более 30 лет – около 60 %, а возраст, не превышающий пяти лет – только около 2 % [16].

Несмотря на то, что в России доля ДМТС в автопарке не столь высока, в перспективе можно ожидать рост интенсивности эксплуатации мототехники в нашей стране не только в рекреационных целях, но и в качестве повседневного средства для передвижения в больших городах, и этому может также способствовать внедрение платных парковок.

В отличие от автомобильного транспорта, изучению выбросов ДВС ДМТС посвящено относительно мало исследований. В то же время для адекватного прогнозирования опасного техногенного воздействия и оценки эффективности управленческих мероприятий по его минимизации необходимо исследовать все потенциальные источники выбросов.

В связи с вышесказанным, цель настоящего исследования заключалась в анализе и обобщении сведений по пробеговым выбросам загрязняющих веществ мотоциклами и мопедами, оснащенными ДВС, в контексте совершенствования методов прогнозирования техногенных опасностей, обусловленных выбросами автотранспортных средств.

### Методы исследования

В работе был проведен анализ информационных баз данных по пробеговым выбросам загрязняющих веществ ДМТС зарубежных методик, предназначенных для инвентаризации выбросов вредных веществ от транспортных средств [17–21], а также проанализированы результаты собственных экспериментальных исследований этих показателей и других исследований, проведенных в России и за рубежом [22, 23].

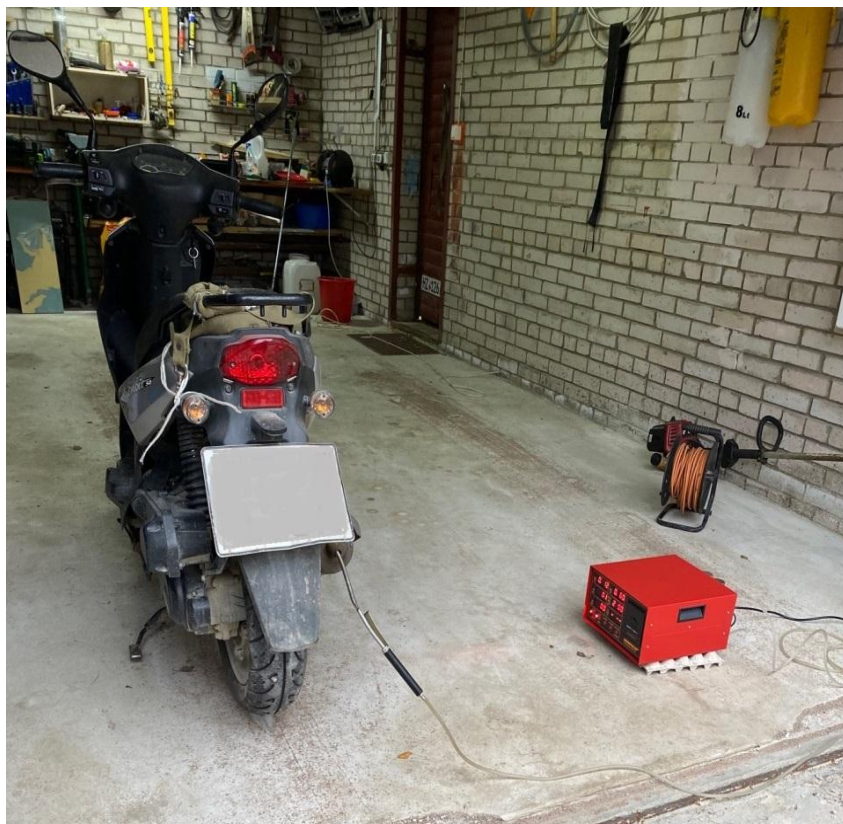
Собственные экспериментальные исследования удельных выбросов мопеда SYM Orbit 50 на холостом ходу и при скорости движения 5 км/ч были проведены с использованием газоанализатора «Инфракар 5МЗТ.02Л», эксплуатационные характеристики которого приведены в работе авторов [24]. Основные технические характеристики мопеда SYM Orbit 50 представлены в табл. 1, а процесс измерения на холостом ходу на рисунке.

Таблица 1

**Основные технические характеристики мопеда SYM Orbit 50**

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Год выпуска	2010	Система питания	Карбюратор
Тип двигателя	4-такт.	Пробег, км	2 150
Мощность, л.с. (кВт)	3,2 (2,35)	Система зажигания	CDI
Кол-во цилиндров, ед.	1	Система охлаждения	Принудительная воздушная
Объем цилиндра, см <sup>3</sup>	49,5	Степень сжатия	11,8

*Примечание:* CDI (Capacitor discharge ignition) – зажигание от разряда конденсатора



**Рис. Замер концентраций поллютантов в ОГ ДВС мопеда SYM Orbit 50 (Ленинградская обл., октябрь 2022 г.)**

## Результаты и обсуждение

Первые исследования выбросов ДМТС с 2-тактными и 4-тактными двигателями были выполнены в 70–80-х гг. XX в. под эгидой ЕРА (Агентства по охране окружающей среды США) [17], что было обусловлено проблемой опасного загрязнения воздушной среды выбросами автотранспорта. Результаты приведены в табл. 2. Все обследованные мотоциклы имели карбюраторную систему смесеобразования, а часть из них была оборудована термическим нейтрализатором ОГ.

Таблица 2

### Усредненные пробеговые выбросы загрязнителей ДВС мотоциклов по типам, ЕРА, 1977 г. [17]

Тип двигателя	Пробеговой выброс, г/км			
	СО	СН	NO <sub>x</sub>	PM
2-тактный	20,1	14,9	0,037	0,204
4-тактный	24,6	2,5	0,223	0,025

В 2010 г., в рамках разработки расчетной модели MOVES, появились новые исследования ЕРА с пересмотренными усредненными пробеговыми выбросами мотоциклов, результаты которых отражены в табл. 3 [18]. Из представленных данных (табл. 2, 3) можно сделать вывод, что значения усредненных пробеговых выбросов 2-тактных мотоциклов снизились практически по всем рассматриваемым загрязнителям по сравнению с работой [17], а 4-тактных, наоборот, увеличились (по монооксиду углерода СО, углеводородам СН и оксидам азота NO<sub>x</sub>).

Таблица 3

### Усредненные пробеговые выбросы загрязнителей ДВС мотоциклов по типам, ЕРА, 2010 г. [18]

Тип двигателя	Пробеговой выброс, г/км			
	СО	СН	NO <sub>x</sub>	PM
2-тактный	19,7	11,9	0,037	0,068
4-тактный	31,2	2,9	0,267	0,006
Усредненные данные*	26,0	6,9	0,161	0,037

*Примечание:* \* с учетом доли 2-тактных 45 %

В табл. 4 представлены значения пробеговых выбросов мотоциклов, полученные в 1977 г. ЕРА [19, 20]. В процессе проведения испытаний некоторых мотоциклов в их конструкцию были внесены изменения: в выхлопную систему был обеспечен наддув воздуха, установлен каталитический нейтрализатор ОГ, штатная система зажигания заменена на систему зажигания от разряда конденсатора (CDI). Внесенные изменения тогда считались инновационными, а сегодня некоторые из них активно используются при производстве малогабаритной транспортной техники.

Таблица 4

**Пробеговые выбросы поллютантов ДВС некоторых мотоциклов по данным ЕРА, 1977 г. [19, 20]**

Марка мотоцикла	Тип ДВС	Рабочий объем ДВС, см <sup>3</sup>	Особые условия испытаний	Скорость движения, км/ч	Пробеговый выброс, г/км			
					СО	СО <sub>2</sub>	СН	NO <sub>x</sub>
Suzuki TS-100	2-такт.	98	–	–	8,09	34,63	4,23	0,02
			КН+возд.+CDI	–	1,22	60,42	1,13	0,1
Vespa-125	2-такт.	121	–	–	12,80	–	4,77	0,03
Kawasaki KE-175	2-такт.	174	–	–	24,16	36,00	7,48	0,02
			КН+возд.	–	12,21	57,32	1,10	0,02
Yamaha RD-400	2-такт.	398	–	–	12,62	58,23	10,32	0,03
			КН	–	2,44	92,14	1,07	0,02
Kawasaki KH-500	2-такт.	498	–	–	26,25	55,89	19,26	0,02
			КН	–	24,80	89,70	4,06	0,01
Suzuki GT-750	2-такт.	738	–	–	12,07	72,37	14,12	0,03
			КН+CDI	–	4,43	113,43	1,85	0,05
Honda MT-250	2-такт.	248	–	10	6,6	50,3	8,26	0,01
Honda XL-250	4-такт.	248	–	10	17,9	69,1	0,62	0,02
Honda CB-750	4-такт.	736	–	10	27,7	101,5	1,48	0,06
Honda XL-125	4-такт.	124	–	–	13,35	40,23	0,74	0,16
			КН+возд.+CDI	–	0,68	52,75	0,10	0,18
Honda CB-360	4-такт.	356	–	–	29,48	41,44	2,58	0,09
			КН+возд.+CDI	–	5,56	108,21	0,32	0,12
Kawasaki KZ-900	4-такт.	903	–	–	28,29	73,15	3,28	0,15
			КН+возд.+CDI	–	1,94	123,65	0,40	0,23
Honda GL-1000	4-такт.	999	–	–	11,23	113,42	2,79	0,38
			КН	–	3,90	143,16	0,50	0,20

*Примечание:* КН – каталитический нейтрализатор ОГ

Обращает на себя внимание тот факт, что значения усредненных пробеговых выбросов карбюраторных 2- и 4-тактных мотоциклов, приведенные в табл. 2, 3, соответствуют данным, полученным для мотоциклов, не оснащенных системой нейтрализации ОГ (табл. 4).

Обращает на себя внимание тот факт, что наддув воздуха в выхлопную систему испытанных мотоциклов, с одной стороны, обеспечивал доокисление СО и СН, а с другой, приводил к повышению содержания NO<sub>x</sub>.

Факторы эмиссии (усредненные пробеговые выбросы) загрязняющих веществ для мотоциклов и мопедов, приведенные в руководстве Европейского агентства по охране окружающей среды (Руководство ЕМЕР/ЕЕА 2023) [21], представлены в табл. 5.

Значения усредненных удельных пробеговых выбросов мотоциклов и мопедов Руководства ЕМЕР/ЕЕА 2023 тоже достаточно хорошо согласуются с данными ЕРА (табл. 2–4).

**Усредненные удельные пробеговые выбросы CO, НМЛОС и NO<sub>x</sub> ДВС мотоциклов  
(ЕМЕР/ЕЕА, 2023 г.) [21]**

Рабочий объем ДВС, см <sup>3</sup>	Тип ДВС	Эколог. класс	Поллютант, г/км		
			CO	НМЛОС	NO <sub>x</sub>
≤ 50	2-такт.	Евро 0	14,7	8,38	0,056
		Евро 1	4,6	3,18	0,18
		Евро 2	2,8	2,56	0,17
		Евро 3	1,8	1,78	0,17
	4-такт.	Евро 0	14,7	8,18	0,056
		Евро 1	6,7	0,74	0,22
		Евро 2	4,2	0,77	0,17
		Евро 3	2,7	0,52	0,17
> 50	2-такт.	Евро 0	24,3	9,97	0,067
		Евро 1	16,3	5,82	0,028
		Евро 2	11,2	1,84	0,104
		Евро 3	2,73	0,806	0,280
50–249	4-такт.	Евро 0	32,8	2,06	0,225
		Евро 1	13,6	1,08	0,445
		Евро 2	7,17	0,839	0,317
		Евро 3	3,03	0,465	0,194
250–750	4-такт.	Евро 0	25,7	1,68	0,233
		Евро 1	13,8	1,19	0,477
		Евро 2	7,17	0,918	0,317
		Евро 3	3,03	0,541	0,194
> 750	4-такт.	Евро 0	21,1	2,75	0,247
		Евро 1	10,1	1,50	0,579
		Евро 2	7,17	0,994	0,317
		Евро 3	3,03	0,587	0,194

*Примечание:* НМЛОС – неметановые летучие органические соединения

Как уже говорилось выше, помимо анализа зарубежных методик, предназначенных для инвентаризации выбросов поллютантов от ДМТС, авторами были проведены собственные исследования и проанализированы результаты натурных испытаний, полученные другими исследователями [22, 23].

В 2019 г. в польском г. Познань группой исследователей были проведены натурные испытания по определению выбросов поллютантов двумя мотоциклами с 4-тактными двигателями с рабочим объемом 125 см<sup>3</sup> и 900 см<sup>3</sup> соответственно [22]. Оба мотоцикла были оборудованы системами каталитической нейтрализации ОГ. Результаты представлены в табл. 6.

Данные табл. 6 хорошо коррелируют с данными ЕРА и усредненными удельными пробеговыми выбросами Руководства ЕМЕР/ЕЕА 2023: результаты, полученные для 4-тактного мотоцикла с рабочим объемом 125 см<sup>3</sup> соответствуют значениям, установленным для 4-тактного мотоцикла Honda XL-125 без системы нейтрализации (табл. 4), а для 4-тактного мотоцикла с рабочим объемом 900 см<sup>3</sup> – значениям для 4-тактных мотоциклов с рабочим объемом более 750 см<sup>3</sup> без системы нейтрализации ОГ (табл. 5).

Таблица 6

**Результаты исследования выбросов ДВС мотоциклов в условиях реальной эксплуатации, 2019 г. [22]**

Мотоцикл	Тип ДВС	Рабочий объем ДВС, см <sup>3</sup>	Скорость движения, км/ч	Поллютант, г/км (г/с)			
				СО	СО <sub>2</sub>	СН	NO <sub>x</sub>
1	4-такт.	125	40–50	13,140 (0,146)	119,160 (1,986)	0,450 (0,005)	0,280 (0,0039)
2	4-такт.	900	60–70	24,660 (0,411)	199,160 (3,830)	2,820 (0,047)	0,258 (0,0043)
1	4-такт.	125	30	0,624 (0,0052)	27,600 (0,230)	0,156 (0,0013)	0,624 (0,0052)
2	4-такт.	900	30	1,800 (0,015)	168,000 (0,140)	0,600 (0,005)	0,252 (0,0021)

Результаты, полученные отечественными исследователями в ходе испытания по замеру концентраций СО и СН в ОГ мотоцикла ММВЗ–3.114 с 4-тактным двигателем с карбюраторной системой питания, не оснащенного нейтрализатором ОГ [23], сопоставимы с результатами, полученными для мотоцикла Honda XL–125 с 4-тактным двигателем [19] на режимах небольшой нагрузки: по СО: ММВЗ–3.114 – 2,1 % (об.), Honda XL–125 – 1,75 % (об.); по СН: ММВЗ–3.114 – 138 млн<sup>-1</sup>, Honda XL–125 – 289 млн<sup>-1</sup>.

Авторами тоже были проведены натурные испытания по определению содержания СО, СН и NO<sub>x</sub> в ОГ мопеда SYM Orbit 50, не оснащенного системой нейтрализации. Результаты представлены в табл. 7.

Таблица 7

**Выбросы поллютантов ДВС мопеда SYM Orbit 50 на холостом ходу и при скорости движения 5 км/ч**

Количество оборотов, об./мин	Поллютант, % (об.)			Поллютант, г/км		
	СО	СН	NO <sub>x</sub>	СО	СН	NO <sub>x</sub>
1 250 (холостой ход)	3,450	0,0940	0,0003	–	–	–
1 700 (5 км/ч)	4,764	0,0863	0,0047	22,58	0,202	0,023

Полученные результаты хорошо коррелируют с пробеговыми выбросами 4-тактного мотоцикла Honda XL–250 [19] (табл. 4): по СО расхождение результатов составило 20,7 %, а по NO<sub>x</sub> – 13 %.

В отличие от автомобилей, установка каталитического нейтрализатора на мотоциклах сопряжена с рядом проблем: длина выхлопного тракта ограничена, вследствие чего катализатор располагается относительно близко к выпускному коллектору, что вызывает значительное температурное воздействие на него ОГ (более 800 °С); необходимость установки теплоизоляционного экрана для катализатора [19]; на некоторых мотоциклах установка нейтрализатора невозможна вследствие малого клиренса [25]. Термическое старение каталитического нейтрализатора из-за высокотемпературного воздействия приводит к снижению его эффективности [19, 26, 27].

Развитие технологий, направленных на снижение выбросов вредных (загрязняющих) веществ, привели к поэтапному отказу от 2-тактных двигателей в пользу 4-тактных и смене карбюраторной системы питания двигателя на инжекторную. На сегодняшний день практически все мотоциклы, используемые на дорогах общего назначения, оснащены 4-тактными

двигателями. Также производители оснащают мотоциклы системой непосредственного впрыска топлива (DI) и электронной системой подачи топлива. Карбюраторная система питания осталась, в основном, у ДМТС с рабочим объемом двигателя 50 см<sup>3</sup>, а 2-тактными двигателями оборудуются мотоциклетные средства «внедорожного» типа и различные мотороллеры.

### Заключение

В результате проведенного аналитического и экспериментального исследования было установлено, что:

– для 2-тактных двигателей, не оборудованных нейтрализатором ОГ, объемом менее 100 см<sup>3</sup> пробеговые выбросы СО достигают значений 8,09–24,30 г/км, СН – 4,23–14,90 г/км и NO<sub>x</sub> – 0,020–0,067 г/км;

– для 4-тактных двигателей объемом менее 100 см<sup>3</sup>, не оснащенных нейтрализатором ОГ, пробеговые выбросы СО варьируются в пределах 14,7–32,8 г/км, СН – 0,202–2,900 г/км, NO<sub>x</sub> – 0,023–0,267 г/км;

– для 2-тактных двигателей, не оборудованных нейтрализатором ОГ, объемом более 120 см<sup>3</sup> диапазон значений пробеговых выбросов СО составляет 6,60–26,25 г/км, СН – 2,82–19,26 г/км; NO<sub>x</sub> – 0,010–0,067 г/км;

– для 4-тактных двигателей объемом более 120 см<sup>3</sup>, не оборудованных нейтрализатором ОГ, пробеговые выбросы СО изменяются в диапазоне 11,23–32,80 г/км, СН – 0,62–3,28 г/км, NO<sub>x</sub> – 0,223–0,380 г/км;

– для 2-тактных двигателей, оснащенных каталитическим нейтрализатором, пробеговые выбросы СО находятся в пределах 1,22–12,21 г/км; СН – 0,806–4,060 г/км; NO<sub>x</sub> – 0,10–0,28 г/км;

– для 4-тактных двигателей, оснащенных каталитическим нейтрализатором, пробеговые выбросы СО составляют 0,68–5,56 г/км, СН – 0,1–0,6 г/км, NO<sub>x</sub> – 0,12–0,28 г/км.

Учитывая современную тенденцию постепенного отказа от 2-тактных мотоциклов в пользу 4-тактных и высокую долю среди эксплуатируемой мототехники транспортных средств, не оборудованных системой нейтрализации ОГ или с сильно изношенными катализаторами, с точки зрения авторов, в практике расчетного мониторинга и прогнозирования опасного техногенного воздействия транспорта на атмосферный воздух предпочтительнее использовать усредненные пробеговые выбросы 4-тактных ДМТС без каталитических нейтрализаторов.

### Список источников

1. Пенченков А.Ю., Ложкин В.Н. К вопросу моделирования чрезвычайно опасного воздействия взвешенных частиц от автомагистрали с учетом их химического состава // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 4 (68). С. 54–62. DOI: 10.61260/1998p-8990-2024-2023-4-54-62.

2. Chernyaev I., Grayevskiy I., Korabelnikov S. The mechanism of continuous monitoring of compliance with environmental requirements imposed on vehicles in operation // Transportation Research Procedia. 2018. Vol. 36. P. 108–113. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.051.

3. Kosovets M.A., Lozhkin V.N., Lozhkina O.V. Engineering Method for Calculating Changes in the Structure and Intensity of Traffic Flow // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. Vol. 666. P. 052043. DOI: 10.1088/1755-1315/666/5/052043.

4. Трофименко Ю.В., Комков В.И. Оценка уровня негативного воздействия автомобильного транспорта в городе Челябинске на окружающую среду и здоровье населения на период до 2030 года // Экология промышленного производства. 2022. № 2 (118). С. 36–42.

5. Ложкина О.В., Малышев С.А., Хахленов А.В. Исследование опасного загрязнения придорожного воздуха мелкодисперсными взвешенными частицами PM<sub>10</sub> и PM<sub>2,5</sub> на примере Санкт-Петербурга // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 2 (59). С. 96–103.



6. Ревич Б.А. Риски здоровью населения в «горячих точках» от химического загрязнения арктического макрорегиона // Проблемы прогнозирования. 2020. № 2 (179). С. 148–157.

7. Анализ причинно-следственной связи между первичной заболеваемостью детского населения Санкт-Петербурга и уровнем загрязнения атмосферного воздуха выбросами от автотранспорта / В.И. Курчанов [и др.] // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. 2015. № 2 (263). С. 30–33.

8. Traffic-related air pollution is a risk factor in the development of chronic obstructive pulmonary disease / J. Zheng [et al.] // Front Public Health. 2022. Vol. 10. P. 1036192. DOI: 10.3389/fpubh.2022.1036192.

9. An evaluation of the emission profile for two-wheelers at a traffic junction / A.K. Agarwal [et al.] // Particuology. 2015. Vol. 18. P. 112–119. DOI: 10.1016/j.partic.2014.01.007.

10. Peshin T., Sengupta S., Azevedo I.M.L. Should India Move toward Vehicle Electrification? Assessing Life-Cycle Greenhouse Gas and Criteria Air Pollutant Emissions of Alternative and Conventional Fuel Vehicles in India // Environ. Sci. Technol. 2022. Vol. 5. № 56 (13). P. 9569–9582. DOI: 10.1021/acs.est.1c07718.

11. Costagliola M.A., Murena F., Prati M.V. Exhaust emissions of volatile organic compounds of powered two-wheelers: effect of cold start and vehicle speed. Contribution to greenhouse effect and tropospheric ozone formation // Sci. Total Environ. 2014. Vol. 468–469. P. 1043–1049. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.09.025.

12. Морфологический и химический состав твердых частиц отработавших газов мотоциклов / Е.Ю. Бакута [и др.] // Автомобильная промышленность. 2018. № 2. С. 6–11.

13. Гаевский В.В., Иванов А.М., Одиноква И.В. Влияние автотранспортных средств на окружающую среду и пути решения транспортных проблем мегаполиса // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф. Омск: ФГБОУ ВО «СибАДИ», 2021. С. 427–433.

14. Measurements of Emissions from Motorcycles and Modeling Its Impact on Air Quality / L.F.A. Garcia [et al.] // Journal of the Brazilian Chemical Society. 2013. Vol. 24. № 3. DOI: 10.5935/0103-5053.20130048.

15. Лобода В. В России – 45 млн легковых автомобилей. URL: <https://www.autostat.ru/news/47472/> (дата обращения: 10.02.2024).

16. Алтухов А.В., Харьков В.П. Обзор рынка мотоциклетной техники (для целей создания платформы электротранспорта) // Экономика и управление. 2021. № 12. С. 983–991. DOI: 10.35854/1998-1627-2021-12-983-991.

17. Littman F.E., Isam K.M. Regional air pollution study. Off-highway mobile source emission inventory // EPA-600/4-77-041. 1977. URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/2000XECD.PDF?Dockey=2000XECD.PDF> (дата обращения: 10.02.2024).

18. Carlson T.R., Austin T.C., McClement D. Development of Emission Rates for the MOVES Model // EPA-420-R-12-022. 2010. URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100F1A5.PDF?Dockey=P100F1A5.PDF> (дата обращения: 10.02.2024).

19. Ullman T.L., Hare C.T. Motorcycle Emission Control Demonstration // EPA-460/3-77-020. 1977. URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/9101M6VG.PDF?Dockey=9101M6VG.PDF> (дата обращения: 10.02.2024).

20. Exhaust Emissions and Fuel Economy of Three Prototype Honda Motorcycles // EPA-AA-TAEB 76-19. 1976. URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/9100X4S2.PDF?Dockey=9100X4S2.PDF> (дата обращения: 10.02.2024).

21. Ntziachristos L., Samaras Z. Passenger cars, light commercial trucks, heavy-duty vehicles including buses and motor cycles // EMEP/EEA air pollutant emission inventory

guidebook 2023. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2023/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-b-i> (дата обращения: 10.02.2024).

22. Analysis of Research Method, Results and Regulations Regarding the Exhaust Emissions from Two-Wheeled Vehicles under Actual Operating Conditions / N. Szymlet [et al.] // *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 21 (1). P. 128–139. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/113077>.

23. Янкевич Н.С., Шаппо В.М., Поберайло А.И. Нейтрализация отработавших газов мотоциклетных двигателей внутреннего сгорания // *Машиностроение и техносфера XXI века: сб. тр. XVI Междунар. науч.-техн. конф.* 2009. Т. 3. С. 289–294.

24. 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.

25. Тихонов А.Р., Шиповалов Д.А. Каталитические нейтрализаторы отработавших газов. Достоинства и недостатки // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2014. № 6-1 (25). С. 75–76.

26. Гусаков С.В., Шарипов А.З., Меньших А.А. Изучение экологических показателей автомобильного двигателя с искровым зажиганием в период прогрева после холодного пуска // *Вестник Российского университета дружбы народов*. 2011. № 3. С. 60–67.

27. Шабанов А.В., Шабанов А.А. Анализ эффективности систем нейтрализации вредных веществ отработавших газов автомобилей // *Вестник МГУПИ*. 2013. № 45. С. 92–101.

## References

1. Penchenkov A.Yu., Lozhkin V.N. K voprosu modelirovaniya chrezvychajno opasnogo vozdeystviya vzveshennyh chastic ot avtomagistrali s uchetom ih himicheskogo sostava // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2023. № 4 (68). S. 54–62. DOI: [10.61260/1998r-8990-2024-2023-4-54-62](https://doi.org/10.61260/1998r-8990-2024-2023-4-54-62).

2. Chernyaev I., Grayevskiy I., Korabelnikov S. The mechanism of continuous monitoring of compliance with environmental requirements imposed on vehicles in operation // *Transportation Research Procedia*. 2018. Vol. 36. P. 108–113. DOI: [10.1016/j.trpro.2018.12.051](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.051).

3. Kosovets M.A., Lozhkin V.N., Lozhkina O.V. Engineering Method for Calculating Changes in the Structure and Intensity of Traffic Flow // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2021. Vol. 666. P. 052043. DOI: [10.1088/1755-1315/666/5/052043](https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/5/052043).

4. Trofimenko Yu.V., Komkov V.I. Ocenka urovnya negativnogo vozdeystviya avtomobil'nogo transporta v gorode SChelyabinske na okruzhayushchuyu sredu i zdorov'e naseleniya na period do 2030 goda // *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*. 2022. № 2 (118). S. 36–42.

5. Lozhkina O.V., Malyshev S.A., Hahlenov A.V. Issledovanie opasnogo zagryazneniya pridorozhnogo vozduha melkodispersnymi vzveshennymi chasticami RM10 i RM2,5 na primere Sankt-Peterburga // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2021. № 2 (59). S. 96–103.

6. Revich B.A. Riski zdorov'yu naseleniya v «goryachih tochkah» ot himicheskogo zagryazneniya arkticheskogo makroregiona // *Problemy prognozirovaniya*. 2020. № 2 (179). S. 148–157.

7. Analiz prichinno-sledstvennoj svyazi mezhdu pervichnoj zabolevaemost'yu detskogo naseleniya Sankt-Peterburga i urovnem zagryazneniya atmosfernogo vozduha vybrosami ot avtotransporta / V.I. Kurchanov [i dr.] // *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2015. № 2 (263). S. 30–33.

8. Traffic-related air pollution is a risk factor in the development of chronic obstructive pulmonary disease / J. Zheng [et al.] // *Front Public Health*. 2022. Vol. 10. P. 1036192. DOI: [10.3389/fpubh.2022.1036192](https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1036192).

9. An evaluation of the emission profile for two-wheelers at a traffic junction / A.K. Agarwal [et al.] // *Particuology*. 2015. Vol. 18. P. 112–119. DOI: 10.1016/j.partic.2014.01.007.
10. Peshin T., Sengupta S., Azevedo I.M.L. Should India Move toward Vehicle Electrification? Assessing Life-Cycle Greenhouse Gas and Criteria Air Pollutant Emissions of Alternative and Conventional Fuel Vehicles in India // *Environ. Sci. Technol.* 2022. Vol. 5. № 56 (13). P. 9569–9582. DOI: 10.1021/acs.est.1c07718.
11. Costagliola M.A., Murena F., Prati M.V. Exhaust emissions of volatile organic compounds of powered two-wheelers: effect of cold start and vehicle speed. Contribution to greenhouse effect and tropospheric ozone formation // *Sci. Total Environ.* 2014. Vol. 468–469. P. 1043–1049. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.09.025.
12. Morfologicheskij i himicheskij sostav tverdyh chastic otrabotavshih gazov motociklov / E.Yu. Bakuta [i dr.] // *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2018. № 2. S. 6–11.
13. Gaevskij V.V., Ivanov A.M., Odinokova I.V. Vliyanie avtotransportnyh sredstv na okruzhayushchuyu sredu i puti resheniya transportnyh problem megapolisa // *Arhitekturno-stroitel'nyj i dorozhno-transportnyj kompleksy: problemy, perspektivy, innovacii*. sb. Materialov V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Omsk: FGBOU VO «SibADI», 2021. S. 427–433.
14. Measurements of Emissions from Motorcycles and Modeling Its Impact on Air Quality / L.F.A. Garcia [et al.] // *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 2013. Vol. 24. № 3. DOI: 10.5935/0103-5053.20130048.
15. Loboda V. V Rossii – 45 mln legkovyh avtomobilej. URL: <https://www.autostat.ru/news/47472/> (data obrashcheniya: 10.02.2024).
16. Altuhov A.V., Har'kov V.P. Obzor rynka motocikletnoj tekhniki (dlya celej sozdaniya platformy elektrotransporta) // *Ekonomika i upravlenie*. 2021. № 12. S. 983–991. DOI: 10.35854/1998-1627-2021-12-983-991.
17. Littman F.E., Isam K.M. Regional air pollution study. Off-highway mobile source emission inventory // EPA-600/4-77-041. 1977. URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/2000XECD.PDF?Dockey=2000XECD.PDF> (data obrashcheniya: 10.02.2024).
18. Carlson T.R., Austin T.C., McClement D. Development of Emission Rates for the MOVES Model // EPA-420-R-12-022. 2010. URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100F1A5.PDF?Dockey=P100F1A5.PDF> (data obrashcheniya: 10.02.2024).
19. Ullman T.L., Hare C.T. Motorcycle Emission Control Demonstration // EPA-460/3-77-020. 1977. URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/9101M6VG.PDF?Dockey=9101M6VG.PDF> (data obrashcheniya: 10.02.2024).
20. Exhaust Emissions and Fuel Economy of Three Prototype Honda Motorcycles // EPA-AA-TAEB 76-19. 1976. URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/9100X4S2.PDF?Dockey=9100X4S2.PDF> (data obrashcheniya: 10.02.2024).
21. Ntziachristos L., Samaras Z. Passenger cars, light commercial trucks, heavy-duty vehicles including buses and motor cycles // *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023*. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2023/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-b-i> (data obrashcheniya: 10.02.2024).
22. Analysis of Research Method, Results and Regulations Regarding the Exhaust Emissions from Two-Wheeled Vehicles under Actual Operating Conditions / N. Szymlet [et al.] // *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 21 (1). P. 128–139. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/113077>.
23. Yankevich N.S., Shappo V.M., Poberajlo A.I. Nejtiralizaciya otrabotavshih gazov motocikletnyh dvigatelej vnutrennego sgoraniya // *Mashinostroenie i tekhnosfera XXI veka: sb. tr. XVI Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* 2009. T. 3. S. 289–294.

24. Lozhkina O.V., Mal'chikov K.B. Metod prognozirovaniya tekhnogennyh opasnostej na osnove opredeleniya sodержaniya pollyutantov v otrabotavshih gazah lodochnyh motorov // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2023. № 1 (65). S. 127–137.

25. Tihonov A.R., Shipovalov D.A. Kataliticheskie nejtralizatory otrabotavshih gazov. Dostoinstva i nedostatki // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2014. № 6-1 (25). S. 75–76.

26. Gusakov S.V., Sharipov A.Z., Men'shikh A.A. Izuchenie ekologicheskikh pokazatelej avtomobil'nogo dvigatelya s iskrovym zazhiganiem v period progreva posle holodnogo puska // Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. 2011. № 3. S. 60–67.

27. Shabanov A.V., Shabanov A.A. Analiz effektivnosti sistem nejtralizacii vrednyh veshchestv otrabotavshih gazov avtomobilej // Vestnik MGUPI. 2013. № 45. S. 92–101.

#### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 28.02.2024; одобрена после рецензирования: 11.03.2024; принята к публикации: 14.03.2024

#### **The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 28.02.2024; approved after review: 11.03.2024; accepted for publication: 14.03.2024

#### *Информация об авторах:*

**Ложкина Ольга Владимировна**, профессор кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, кандидат химических наук, профессор, e-mail: olojkina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8604-2698>, SPIN-код: 6275-4249

**Мальчиков Константин Борисович**, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: malchikov87@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8173-6850>, SPIN-код: 1309-1859

#### *Information about the authors:*

**Lozhkina Olga V.**, professor of the department of chemistry and combustion processes of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, candidate of chemical sciences, professor, e-mail: olojkina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8604-2698>, SPIN: 6275-4249

**Malchikov Konstantin B.**, adjunct of the faculty of higher education of Saint-Petersburg university of the State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: malchikov87@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8173-6850>, SPIN: 1309-1859