
БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 621.43.06:504.3:551.5

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЫБРОСОВ ОПАСНЫХ КОМПОНЕНТОВ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ПРИ ПУСКЕ И ПРОГРЕВЕ ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

О.В. Ложкина, доктор технических наук,

кандидат химических наук, доцент;

И.А. Онищенко.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Описана методика экспериментально-расчетной оценки выбросов поллютантов с отработавшими газами двигательных установок автотранспортных средств, и представлены результаты ее апробации на примере определения количественных характеристик эмиссии угарного газа, углеводородов и оксидов азота современными легковыми дизельными и бензиновыми автомобилями экологических классов Евро 3 – Евро 5 в климатических условиях Арктической зоны. Установлено, что выбросы опасных компонентов значительно выше во время пуска и прогрева двигателя автомобиля. Продолжительность периода так называемого «холодного старта» и количество выбросов опасных компонентов существенно зависят от температуры окружающей среды и от начальной температуры двигателя.

Ключевые слова: Арктическая зона, опасное загрязнение воздуха, автотранспорт, пуск и прогрев двигателя

A METHOD FOR ESTIMATING VEHICLES-RELATED HAZARDOUS EMISSIONS DURING START-UP AND WARM-UP IN THE CLIMATIC CONDITIONS OF THE ARCTIC

O.V. Lozhkina; I.A. Onischenko.

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

The paper describes the method of estimation of vehicle-related exhaust emissions and the results of its testing by determining the quantitative characteristics of emissions of carbon monoxide, hydrocarbons, and nitrogen oxides by modern Euro 3 – Euro 5 diesel and gasoline passenger cars in the Arctic zone climate. The emissions of dangerous components are significantly higher during the start-up and warm-up of the car engine. The duration of the so-called «cold start» and the exhaust emissions depend significantly on the ambient temperature and the initial temperature of the engine.

Keywords: Arctic zone, dangerous air pollution, motor transport, start-up and warm-up of engine

Значительная часть территории России приходится на Арктическую зону (рис.), отличающуюся суровым и холодным климатом. Особенностью природных экосистем на этой территории является их высокая уязвимость по отношению к внешним воздействиям

и низкий, по сравнению с более южными регионами, восстановительный потенциал из-за снижения химико-биологического обмена при низких температурах [1, 2].

Одна из насущных чрезвычайно опасных проблем Арктики – высокий, относительно мирового, темп прироста среднегодовых температур, приводящий к таянию снежного покрова и ледников, нарушениям систем вечной мерзлоты [1, 2]. Очевидно, что интенсивная антропогенная деятельность в Арктической зоне усугубляет эти проблемы [3–5].

Основными источниками загрязнения воздуха в городах и на урбанизированных территориях Арктической зоны являются предприятия черной и цветной металлургии, предприятия по производству и распределению электроэнергии, газа и воды, целлюлозно-бумажные фабрики [6, 7]. В последние годы значимым источником загрязнения воздуха стал автомобильный транспорт [3–5, 8, 9].



Рис. Арктическая зона Российской Федерации [7]

В городах и на урбанизированных территориях Арктической зоны Российской Федерации происходит постоянный рост численности автотранспортных средств, сопровождающийся увеличением их вклада в загрязнение атмосферы, в том числе в формирование опасно высоких приземных концентраций поллютантов (угарного газа CO, оксидов азота NO_x, мелкодисперсных взвешенных частиц PM₁₀ и PM_{2.5}, углеводородов, включая полициклические ароматические углеводороды) при закономерно повторяющихся неблагоприятных метеорологических условиях в сочетании с высокой транспортной нагрузкой, особенно при низких и экстремально низких температурах окружающей среды.

Наиболее остро проблема чрезвычайного загрязнения приземного воздуха проявляется при движении в пробке (когда сочетаются режимы разгона, торможения и холостого хода) и при работе двигателя в режиме прогрева, поскольку в таких условиях происходят залповые выбросы отработавших газов (ОГ) [10, 11].

Прогрев холодного двигателя требует не более трех минут при положительных температурах окружающей среды, до 15 минут при умеренно низких температурах воздуха (до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$) и до 30 минут при низких и экстремально низких температурах (менее $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Проблема оценки выбросов автотранспортных средств при отрицательной температуре окружающей среды крайне актуальна и мало изучена. Например, в странах Европейского Союза обязательны сертификационные испытания автомобилей по качественно-количественному составу ОГ при температурах $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$, и, как правило, признаются удовлетворительными, если соответствуют нормативам выбросов при $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ [12, 13]. В соответствии с отечественными нормативными документами [14–16], сертификационные испытания по оценке выбросов загрязняющих веществ проводят при температуре от $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Учитывая, что на большей территории Российской Федерации, включая Арктическую зону, среднемесячные температуры в зимний период ниже $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$, экспериментальные измерения выбросов автотранспортных средств при отрицательных температурах, с целью совершенствования методики прогнозирования чрезвычайного воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду, являются актуальными и своевременными.

Методика экспериментального исследования

Оценка выбросов оксида углерода (CO), оксидов азота (NO_x), углеводородов (CH), выделяющихся с ОГ при пуске и прогреве двигателей автомобилей, проводилась путем измерения концентраций этих компонентов в составе отработавших газов. Для этого на основе анализа возрастной и типовой структуры автопарка городов Арктической зоны Российской Федерации (Мурманска, Архангельска и Норильска) были отобраны легковые автомобили экологических классов Евро 3 – Евро 5, оснащенные каталитическими нейтрализаторами ОГ. Их характеристики описаны в табл. 1.

Измерения проводили на автомобилях с холодными двигателями, находившимися в состоянии покоя до испытаний не менее шести часов при положительной температуре окружающей среды и не менее трех часов – при отрицательной. Измерения проводили при температурах наружного воздуха: $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Каждую серию экспериментов повторяли от трех до пяти раз. Одновременно по тахометру определяли частоту вращения коленчатого вала двигателя с целью оценки объема эмитируемых продуктов горения. При наружной температуре воздуха до $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ включительно измерительные приборы размещали в багажнике или салоне испытуемого автомобиля, при более низких температурах использовали удлиненный обогреваемый пробоотборный зонд, а сами газоанализаторы размещали в помещении с положительной температурой воздуха. Измерения проводились в непрерывном режиме в течение всего времени холодного старта, пока показания приборов не выходили на плато – в среднем, от 1,5–5 минут при плюсовой температуре до 10–25 минут при минусовой.

Концентрацию CO и NO_x измеряли с помощью газоанализатора Testo-300 XXL (Testo / Германия), прибор можно использовать для измерения концентраций CO , O_2 , NO и NO_2 в системах, работающих на любых видах органического топлива. Для измерения содержания углеводородов (в пересчете на гексан) использовали отечественный газоанализатор «Инфракар 10.02» (ООО «Альфа-динамика» / Россия).

Массу вредных веществ, эмитируемых автотранспортными средствами в атмосферный воздух, определяли расчетным способом, исходя из значений концентраций поллютантов в ОГ, объема ОГ и времени «холодного старта». Продолжительность «холодного старта» определялась по времени выхода показателей аналитических приборов на плато и контролировалась по температуре масла – когда она достигала 95 % от своего конечного значения.

Таблица 1. Основные характеристики испытанных автомобилей

№	Марка АТС	Год выпуска	Объем двигателя, см ³	Тип трансмис.	Пробег, км	Тип двигателя	Тип топлива	Эколог. класс
1	Subaru Forester	2006	1994	Автомат.	65000	Бенз. инжект.	92	Евро 3
2	Chevrolet Lacetti	2009	1598	Мех.	150000	Бенз. инжект.	92	Евро 3
3	Renault Logan	2009	1598	Мех.	25000	Бенз. инжект.	92	Евро 3
4	Ford Mondeo	2008	1998	Автомат.	194000	Бенз. инжект.	95	Евро 3
5	Volkswagen Tiguan	2009	1984	Автомат.	108000	Бенз. инжект.	95	Евро 3
6	Nissan Qashqai	2010	1997	Автомат.	36780	Бенз. инжект.	95	Евро 4
7	Subaru Forester	2011	1994	Автомат.	58146	Бенз. инжект.	95	Евро 4
8	Nissan Qashqai+2	2012	1997	Автомат.	22657	Бенз. инжект.	95	Евро 4
9	Suzuki SX4	2013	1586	Автомат.	30000	Бенз. инжект.	98	Евро 4
10	Mazda 3	2014	1598	Автомат.	69000	Бенз. инжект.	98	Евро 4
11	Skoda Yeti	2012	1197	Мех.	32986	Бенз. инжект.	98	Евро 5
12	BMW X3	2013	1999	Автомат.	29756	Бенз. инжект.	98	Евро 5
13	Mercedes-Benz	2014	1997	Автомат.	6230	Бенз. инжект.	98	Евро 5
14	Land Rover Discovery 3 (1)	2008	2720	Автомат.	69837	Дизель	Диз. топливо	Евро 3
15	LandRoverDiscovery 3 (2)	2008	2720	Автомат.	72184	Дизель	Диз. топливо	Евро 3
16	Volkswagen Touareg	2008	2461	Автомат.	112563	Дизель	Диз. топливо	Евро 4

Результаты экспериментальных исследований эмиссии CO, CH, NO_x в ОГ легковых автомобилей при работе двигателя в режиме пуска и прогрева

Результаты экспериментально-расчетной оценки влияния температуры окружающей среды на выбросы CO, CH и NO_x с ОГ легковых автомобилей экологических классов Евро 3 – Евро 5 при работе двигателя в режиме пуска и прогрева обобщены в табл. 2–4.

Таблица 2. Эмиссия угарного газа, г/старт, бензиновыми и дизельными двигателями легковых автомобилей при пуске и прогреве двигателя в зависимости от температуры наружного воздуха

Температура наружного воздуха	~ -20 °С	~ -7 °С	~ 0 °С	~ +10 °С	~ +23 °С
Легковые автомобили с бензиновыми двигателями					
Евро 3	78,3	46,2	17,9	13,6	6,1
Евро 4	67,2	34,8	16,8	13,1	4,5
Евро 5	51,8	29,3	14,5	8,2	1,5
Легковые автомобили с дизельными двигателями					
Евро 3	7,2	3,8	2,9	1,8	1,3
Евро 4	6,3	3,5	2,7	1,6	0,9

Таблица 3. Эмиссия углеводородов, г/старт, бензиновыми и дизельными двигателями легковых автомобилей при пуске и прогреве двигателя в зависимости от температуры наружного воздуха

Температура наружного воздуха	~ -20 °С	~ -7 °С	~ 0 °С	~ +10 °С	~ +23 °С
Легковые автомобили с бензиновыми двигателями					
Евро 3	25,31	10,62	2,15	2,07	0,71
Евро 4	20,44	7,67	2,83	1,85	0,53
Евро 5	11,32	4,14	0,34	0,26	0,23
Легковые автомобили с дизельными двигателями					
Евро 3	3,52	1,17	0,63	0,38	0,21
Евро 4	2,23	0,87	0,54	0,23	0,17

Таблица 4. Эмиссия оксидов азота, г/старт, бензиновыми и дизельными двигателями легковых автомобилей при пуске и прогреве двигателя в зависимости от температуры наружного воздуха

Температура наружного воздуха	~ -20 °С	~ -7 °С	~ 0 °С	~ +10 °С	~ +23 °С
Легковые автомобили с бензиновыми двигателями					
Евро 3	1,42	0,85	0,62	0,32	0,25
Евро 4	1,17	1,03	0,69	0,41	0,34
Евро 5	1,26	1,32	1,07	0,79	0,53
Легковые автомобили с дизельными двигателями					
Евро 3	2,49	1,47	1,08	0,64	0,55
Евро 4	2,08	1,19	0,84	0,55	0,43

Анализ данных табл. 2–4 показывает, что существует четкая тенденция к увеличению выбросов СО и СН при холодном пуске и прогреве двигателя по мере снижения температуры атмосферного воздуха. Для автомобилей с бензиновыми двигателями экологических классов Евро 3, Евро 4 и Евро 5 при температуре -20 °С количество СО, эмитируемое за время прогрева двигателя, соответственно в 12,8, 14,9 и 34,5 раза выше, чем при температуре 23 °С; количество СН – выше в 35,6, 40,8 и 49,2 раза соответственно. В отличие от СО и СН, показатели выбросов NO_x в режиме пуска двигателя значительно в меньшей степени различались для экологических классов Евро 3 – Евро 5 и в значительно меньшей степени зависели от температуры наружного воздуха.

Для автомобилей с дизельными двигателями также прослеживалась тенденция роста выбросов СО, СН и NO_x по мере снижения температуры окружающей среды, но, ожидаемо, значительно менее выраженная: отношение показателей выбросов по СО, СН и NO_x при -20 °С и 23 °С составили соответственно 5,5–7,1, 13,7–16,7 и 4,5–4,8 раз. Полученные результаты соответствуют данным, полученным авторитетными специалистами в предметной области исследований за рубежом [12, 13].

Результаты проведенных экспериментально-расчетных исследований показали, что выбросы опасных компонентов современных бензиновых и дизельных легковых автомобилей эффективно снижаются с помощью каталитических нейтрализаторов, за исключением режима холодного пуска и прогрева двигателя, поскольку для эффективной работы нейтрализаторов требуется определенная температура (обычно выше 300 °С). Пониженная эффективность каталитической нейтрализации СО, СН и NO_x может быть связана с двумя основными факторами: неоптимальным температурным режимом и отклонением состава топливно-воздушной смеси от стехиометрического соотношения при пуске и прогреве двигателя.

Продолжительность периода так называемого «холодного старта» и, соответственно, количество эмитируемых поллютантов существенно зависят от температуры окружающей

среды, а также от начальной температуры двигателя автомобиля. Анализ показал, что эта проблема чрезвычайно актуальна для городов и урбанизированных территорий Арктической зоны Российской Федерации, где климатическая зима с отрицательными температурами воздуха длится больше полугода (в г. Архангельске и г. Мурманске с октября по апрель включительно, в г. Норильске – с сентября по май включительно).

Литература

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 61 с.
2. Прохоренков А.М. Мониторинг путей поступления загрязняющих веществ в арктическую атмосферу и определение источников её загрязнения // Успехи современного естествознания. 2006. № 4. С. 71.
3. Ложкин В.Н., Ложкина О.В., Гавкалюк Б.В. Методические подходы контроля промышленной санитарно-гигиенической безопасности транспортных и стационарных дизельных установок в Арктике // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 2 (50). С. 58–64.
4. Ложкин В.Н., Ложкина О.В. Комплексная методология оценки и прогнозирования экологических угроз и социально-экономического ущерба, обусловленных опасным воздействием объектов транспорта и теплоэнергетики на население Крайнего Севера // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2019. № 1 (47). С. 8–11.
5. Потапов А.И., Цыплакова Е.Г. Оценка экологической опасности стационарных и нестационарных энергетических установок и их воздействия на состояние атмосферного воздуха северных городов России на примере г. Магадана // Проблемы региональной экологии. 2010. № 4. С. 15–22.
6. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2018 год. М.: Росгидромет, 2019. 225 с.
7. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году: Государственный доклад Министерства природных ресурсов и экологии Рос. Федерации. URL: <https://gosdoklad-ecology.ru/2017/arkticheskaya-zona-rossiyskoy-federatsii/sostoyanie-okruzhayushchey-sredy/> (дата обращения: 15.06.2020).
8. Ложкин В.Н., Онищенко И.А., Ложкина О.В. Уточненная аналитическая модель катализа отработавших газов в условиях низких температур // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2017. № 4. С. 78–85.
9. Цыплакова Е.Г. Снижение экологической опасности автотранспорта при безгаражном хранении в зимнее время года в зоне жилой застройки // Транспортное дело России. 2013. № 6. С. 53–57.
10. Ложкина О.В., Сорокина О.В., Ложкин В.Н. Совершенствование информационного процесса мониторинга экологической безопасности автотранспортных средств при пуске и прогреве двигателя // Проблемы управления рисками в техносфере. 2016. № 4 (40). С. 17–24.
11. Lozhkin V., Lozhkina O., Dobromirov V. A study of air pollution by exhaust gases from cars in well courtyards of Saint Petersburg // Transportation Research Procedia. 2018. P. 453–458.
12. Weilenmann M., Favez J.-Y., Alvarez R. Cold-start emissions of modern passenger cars at different low ambient temperatures and their evolution over vehicle legislation categories // Atmospheric Environment. 2009. V. 43. P. 2419–2429.
13. Weilenmann M. Regulated and nonregulated diesel and gasoline cold-start emissions at different temperatures // Atmospheric Environment. 2005. V. 39. P. 2433–2441.
14. ГОСТ Р 52033–2003. Автомобили с бензиновыми двигателями. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».

15. ГОСТ Р 52160–2003. Автотранспортные средства, оснащенные двигателями с воспламенением от сжатия. Дымность отработавших газов. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».

16. ГОСТ Р 54942–2012. Газобаллонные автомобили с искровыми двигателями. Выбросы вредных (загрязняющих) веществ с отработавшими газами. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».

References

1. Vtoroj ochenochnyj doklad Rosgidrometa ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii. M.: Rosgidromet, 2014. 61 s.

2. Prohorenkov A.M. Monitoring putej postupleniya zagryaznyayushchih veshchestv v arkticheskuyu atmosferu i opredelenie istochnikov eyo zagryazneniya // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2006. № 4. S. 71.

3. Lozhkin V.N., Lozhkina O.V., Gavkalyuk B.V. Metodicheskie podhody kontrolya promyshlennoj sanitarno-gigienicheskoj bezopasnosti transportnyh i stacionarnyh dizel'nyh ustanovok v Arktike // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2019. № 2 (50). S. 58–64.

4. Lozhkin V.N., Lozhkina O.V. Kompleksnaya metodologiya ocenki i prognozirovaniya ekologicheskikh ugroz i social'no-ekonomicheskogo ushcherba, obuslovlennyh opasnym vozdeystviem ob"ektov transporta i teploenergetiki na naselenie Krajnego Severa // Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa. 2019. № 1 (47). S. 8–11.

5. Potapov A.I., Cyplakova E.G. Ocenka ekologicheskoy opasnosti stacionarnyh i nestacionarnyh energeticheskikh ustanovok i ih vozdeystviya na sostoyanie atmosfernogo vozduha severnyh gorodov Rocsii na primere g. Magadana // Problemy regional'noj ekologii. 2010. № 4. S. 15–22.

6. Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchej sredy v Rossijskoj Federacii za 2018 god. M.: Rosgidromet, 2019. 225 s.

7. O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Rossijskoj Federacii v 2017 godu: Gosudarstvennyj doklad Ministerstva prirodnyh resursov i ekologii Ros. Federacii. URL: <https://gosdoklad-ecology.ru/2017/arkticheskaya-zona-rossiyskoj-federatsii/sostoyanie-okruzhayushchej-sredy/> (data obrashcheniya: 15.06.2020).

8. Lozhkin V.N., Onishchenko I.A., Lozhkina O.V. Utochnennaya analiticheskaya model' kataliza otrabotavshih gazov v usloviyah nizkih temperatur // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2017. № 4. S. 78–85.

9. Cyplakova E.G. Snizhenie ekologicheskoy opasnosti avtotransporta pri bezgarazhnom hranenii v zimnee vremya goda v zone zhiloy zastrojki // Transportnoe delo Rossii. 2013. № 6. S. 53–57.

10. Lozhkina O.V., Sorokina O.V., Lozhkin V.N. Sovershenstvovanie informacionnogo processa monitoringa ekologicheskoy bezopasnosti avtotransportnyh sredstv pri puske i progreve dvigatelya // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2016. № 4 (40). S. 17–24.

11. Lozhkin V., Lozhkina O., Dobromirov V. A study of air pollution by exhaust gases from cars in well courtyards of Saint Petersburg // Transportation Research Procedia. 2018. P. 453–458.

12. Weilenmann M., Favez J.-Y., Alvarez R. Cold-start emissions of modern passenger cars at different low ambient temperatures and their evolution over vehicle legislation categories // Atmospheric Environment. 2009. V. 43. P. 2419–2429.

13. Weilenmann M. Regulated and nonregulated diesel and gasoline cold-start emissions at different temperatures // Atmospheric Environment. 2005. V. 39. P. 2433–2441.

14. GOST R 52033–2003. Avtomobili s benzinovymi dvigatelyami. Vybrosoy zagryaznyayushchih veshchestv s otrabotavshimi gazami. Normy i metody kontrolya pri ocenke tekhnicheskogo sostoyaniya. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Garant».

15. GOST R 52160–2003. Avtotransportnye sredstva, osnashchennye dvigatelyami s vosplameneniem ot szhatiya. Dymnost' otrabotavshih gazov. Normy i metody kontrolya pri ocenke tekhnicheskogo sostoyaniya. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Garant».

16. GOST R 54942–2012. Gazoballonnye avtomobili s iskrovymi dvigatelyami. Vybrosy vrednyh (zagryaznyayushchih) veshchestv s otrabotavshimi gazami. Normy i metody kontrolya pri ocenke tekhnicheskogo sostoyaniya. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Garant».