

Ал-р Л. Мисун¹, Л. В. Мисун¹, В. В. Азаренко², А. В. Гаркуша¹

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: LLM_90@mail.ru

²Президиум Национальной академии наук Беларуси

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: azarenko@presidium.bas-net.by

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы расчета выбросов загрязняющих атмосферу веществ от автотранспортных средств (АТС), эколого-экономического ущерба от эксплуатации АТС, не соответствующей экологическим требованиям, предложено патентное техническое решение для очистки воздуха от загрязняющих веществ в кабине АТС.

Ключевые слова: автотранспортные средства, выбросы, загрязняющие вещества, атмосфера, эколого-экономический ущерб.

Al-r L. Misun¹, L. V. Misun¹, V. V. Azarenko², A. V. Garkusha¹

¹EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: LLM_90@mail.ru

²Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: azarenko@presidium.bas-net.by

ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION DURING THE OPERATION OF MOTOR VEHICLES

Abstract. The article considers the issues of calculating emissions of air pollutants from motor vehicles (MV), environmental and economic damage from the operation of MV that does not comply with environmental requirements, a patent technical solution for air purification from pollutants in the MV cabin is proposed.

Keywords: motor vehicles, emissions, pollutants, atmosphere, environmental and economic damage.

Введение

Постоянное увеличение транспортных потоков, несоответствие эксплуатации АТС экологическим требованиям приводит к возрастанию загрязнения атмосферного воздуха [1–4]. В Республике Беларусь насчитывается более трех миллионов АТС, на долю которых приходится более 70 % всех выбросов в атмосферу. В среднем от одного АТС с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) выбрасывается в сутки до четырех килограммов только углекислого газа, а также оксиды азота, серы, углеводороды и другие загрязняющие окружающую среду вещества. Основными причинами такой экологической обстановки, особенно в крупных населенных пунктах, являются [4]:

- ослабленный контроль на предприятиях за соблюдением нормативов государственных стандартов по токсичности и дымности отработавших газов (ОГ) ДВС;
- недостаточный эффект эколого-экономического управления охраной окружающей среды на предприятиях;
- медленный перевод автотранспорта на менее токсичные виды топлива;
- недостаточное внедрение систем нейтрализации отработавших газов ДВС, контрольно-измерительной диагностической техники, оборудования и др.

Основная часть

Состав и количество ОГ автотранспортных средств зависят как от их условий эксплуатации, структуры парка АТС, технического состояния, так и от других факторов, что значительно затрудняет экспериментально измерить массу вредных выбросов. Для этого пришлось бы на каждое АТС установить комплекс газоанализаторов и проводить непрерывные измерения. Поэтому для определения массы выбросов используются различные методы [5–7], среди которых наибольшее применение получили следующие:

- с использованием коэффициента эмиссии (K) загрязняющих атмосферу веществ (ЗВ) при сжигании одной тонны жидкого топлива или на $1\,000\text{ м}^3$ сжатого газа (таблица 1);
- исходя из выполненной работы;
- пропорционально пробегу АТС;
- комплексный метод.

Таблица 1 – Значение коэффициентов эмиссии ЗВ

Наименование ЗВ	Выброс ЗВ ДВС, использующими:			
	бензин	дизтопливо	сжиженный газ	сжатый газ
1	2	3	4	5
1. Оксид углерода (CO)	0,44	0,125	0,44	0,220
2. Углеводороды (C_xH_y)	0,080	0,055	0,080	0,050
3. Двуокись азота (NO_2)	0,025	0,035	0,025	0,025
4. Сажа (C)	0,0006	0,015	–	–
5. Сернистый газ	0,002	0,020	–	–
6. Свинец (Pb)	0,0003	–	–	–
7. Бензапирен	$23 \cdot 10^{-3}$	$31 \cdot 10^{-3}$	–	–

При использовании первых трех методов не в полной мере учитывается структура парка АТС, их техническое состояние, условия движения и эксплуатации, вследствие чего результаты расчетов недостаточно точны. Лучшие результаты дает комплексный метод. Валовый выброс ЗВ, согласно комплексному подходу, определяется из выражения:

$$M_i = m_{i\text{ уд}} L k_1 k_2 k_3 10^{-6}, \quad (1)$$

где M_i – масса валового выброса i -го вида примеси в атмосферу, т; $m_{i\text{ уд}}$ – удельный выброс ЗВ на один километр пробега АТС, г/км (таблица 2); L – общий пробег АТС, км; k_1, k_2, k_3 – коэффициенты влияния, соответственно среднего значения срока эксплуатации парка АТС, уровня технического их состояния, природно-климатических условий эксплуатации АТС.

Таблица 2 – Значения удельных выбросов ЗВ при эксплуатации АТС

Группа АТС	Удельный выброс ЗВ ($m_{i\text{ уд}}$), г/км		
	CO	C_xH_y	NO_2
С бензиновым двигателем	61,5	13,3	8,0
С дизельным двигателем	15,0	6,4	8,5

Используя комплексный метод, можно получить данные о выбросах вредных компонентов ОГ отдельно для четырех режимов работы АТС: холостого хода, разгона, установившегося движения, торможения. Известно, что самое большое количество ЗВ с ОГ выбрасывается при работе двигателя не на холостом ходу, а на форсированных режимах, в момент разгона и торможения [4]. В этой связи весьма важным с экологической точки зрения является анализ выбросов от АТС, загрязняющих атмосферу веществ при хранении автотранспортных средств на открытых площадках и в гаражах. В этом случае расчеты проводятся по следующим компонентам ОГ: для АТС с карбюраторными двигателями рассчитывается выброс оксида углерода (CO), углеводородов (C_xH_y), оксидов азота (в пересчете на диоксид азота NO_2) и соединений свинца (Pb); для АТС с дизельными двигателями расчет ведется для CO, C_xH_y , NO_2 и сажи (C).

Выброс i -го вещества в граммах одним АТС в день соответственно при выезде (M'_{ik}) с территории стоянки (гаража) и возврате (M''_{ik}) рассчитывается по формулам:

$$M'_{ik} = m_{\text{пр. } ik} t_{\text{пр.}} + m_{\text{х.х. } ik} t_{\text{х.х. } 1} + m_{1 ik} L_1, \quad (2)$$

$$M''_{ik} = m_{\text{х.х. } ik} t_{\text{х.х. } 2} + m_{1 ik} L_2, \quad (3)$$

где $m_{\text{пр. } ik}$ – удельный выброс i -го вещества при прогреве двигателя АТС k -й группы, г/мин; $m_{\text{х.х. } ik}$ – удельный выброс i -го вещества при работе на холостом ходу, г/мин; $m_{1 ik}$ – удельный выброс i -го вещества при движении АТС по территории стоянки, г/км; $t_{\text{пр.}}$ – время работы двигателя при прогреве, мин (таблица 3); L_1, L_2 – пробег за день по территории стоянки одного АТС при выезде (возврате), км; $t_{\text{х.х. } 1}, t_{\text{х.х. } 2}$ – время работы двигателя на холостом ходу при выезде (возврате) на территорию стоянки (гаража) ($t_{\text{х.х. } 1} = t_{\text{х.х. } 2} = 1$ мин).

Под k -й группой АТС рассматриваются передвижные источники (ПИ) одной категории. Например, группы ПИ с карбюраторными двигателями грузоподъемностью до 1 т, от 1 т до 3 т, от 3 т до 6 т и т. д. Величины удельных выбросов загрязняющих веществ получают экспериментально.

Таблица 3 – Время работы двигателя при прогреве

Температура воздуха, °С	Выше +5	+5...–5	–5...–10	–10...–15	–15...–20	–20...–25	Ниже –25
Время прогрева*, мин.	4	6	12	20	28	36	45

П р и м е ч а н и е: * при хранении АТС в помещении $t_{\text{пр.}}$ принимается равным 0,5 мин.

Время прогрева двигателя ($t_{\text{пр.}}$) зависит от температуры воздуха (таблица 3). В переходный период, когда среднемесячная температура воздуха от -5 °С до $+5$ °С, выбросы СО и C_xH_y умножаются на коэффициент 0,9 от значений холодного периода года (среднемесячная температура воздуха меньше -5 °С). Выбросы NO_2 в переходный период приравниваются к выбросам в холодный период. С учетом вышеизложенного, например, валовый выброс i -го вещества всеми АТС за каждый период года, рассчитывается по формуле:

$$M_{i \text{ вал}} = \sum_{j=1}^k \alpha_b (M'_{ik} + M''_{ik}) N_k D_p \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

где $M_{i \text{ вал}}$ – валовый выброс, кг; $\sum_{j=1}^k$ – значение показателей по всем группам АТС, имеющимся на предприятии; α_b – коэффициент, характеризующий долю АТС k -й группы, выезжавших с территории предприятия; N_k – количество АТС k -й группы на предприятии; D_p – количество рабочих дней в расчетном периоде года.

Для контроля СО и углеводородов в ОГ ДВС используются специальные газоанализаторы, принцип работы которых основан на методах оптико-акустической или абсорбционной спектроскопии (способности молекул каждого вещества поглощать излучение с характерными только для них длинами волн, образуя спектр поглощения, рисунки 1, 2).

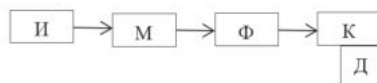


Рисунок 1 – Функциональная схема оптико-акустического газоанализатора: И – источник излучения; М – модулятор; Ф – светофильтр, выделяющий излучение нужной длины волны; К – кювета; Д – детектор

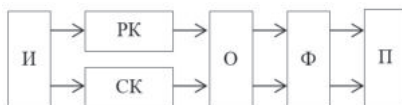


Рисунок 2 – Функциональная схема абсорбционного газоанализатора: И – источник излучения; РК – рабочая кювета; СК – кювета сравнения; О – обтюратор; Ф – светофильтр; П – приемник излучения

В основе работы газоанализаторов для определения содержания оксидов азота в ОГ ДВС используется эффект излучения при прохождении некоторых химических реакций (хемилюминесценция). В частности, для определения оксидов азота используется следующая реакция: $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2 + \text{свет}$. Посредством измерения интенсивности свечения определяется концентрация NO_2 .

Для экспресс-контроля дымности ОГ АТС с дизельными двигателями используются дымомеры, принцип работы которых основан на методе просвечивания ОГ. При этом измерение дымности проводится сравнительным методом по эталонному уровню дымности, который определяется коэффициентом пропускания светофильтра. Допустимое содержание ЗВ в ОГ ДВС автотранспортных средств [4; 8] приведено в таблицах 4, 5.

Таблица 4 – Допустимое содержание ЗВ в ОГ ДВС

Наименование компонента ОГ ДВС	Режим измерения	Единица измерения компонента ОГ	Предельно-допустимая норма содержания компонента (ПДН)
1. Оксид углерода (CO). Бензиновый двигатель	Минимальная частота вращения коленчатого вала двигателя ($n_{\min \text{ x.x.}}$)	%	1,5
2. Углеводороды (C_xH_y). Бензиновый двигатель	То же	млн ⁻¹	1 200 – для двигателя с числом цилиндров 4 3 000 – для двигателя с числом цилиндров 6
3. Дымность. Дизельный двигатель	Без наддува	%	40
	С наддувом ($n_{\max \text{ x.x.}}$)	%	15

Таблица 5 – Нормы для токсичности выхлопа ДВС
(Европейские требования к экологической безопасности АТС)

Правила ЕАС	Год введения	Содержание в выхлопе, г/кВт·ч			
		NO _x	CO	C _x H _y	Твердые частицы
ECR 49.00	1982	18	14	3,5	Не регламентировано
Euro 0	1988	14,4	11,2	2,5	То же
Euro 1	1993	8,0	4,5	1,1	0,36
Euro 2	1996	7,0	4,0	1,1	0,15
Euro 3	2000	0,78	0,95	0,6	0,10
Euro 4	2005	0,39	0,74	0,46	0,06
Euro 5	2009	0,280	0,74	0,350	0,005
Euro 6	2014	0,125	0,74	0,215	0,005

При эксплуатации АТС валовый выброс i -го ЗВ ($M_{i \text{ вал.}}$) от ДВС АТС рассчитывается по формуле:

$$M_{i \text{ вал.}} = g_i Q \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где g_i – удельный выброс i -го ЗВ (таблицы 6, 7); Q – потребление моторного топлива, т/год.

Таблица 6 – Удельный выброс загрязняющих веществ
при сгорании одного кг бензина при эксплуатации АТС

Тип АТС	Экологический класс АТС	Удельный выброс, г/кг				
		CO	CH	NO _x	SO ₂	CO ₂
Легковые автомобили	Евро 0	250,0	31,0	30,0	0,54	2 670
	Евро 1 и выше	21,5	2,4	5,8	0,54	3 120
Грузовые автомобили и автобусы полной массой до 3 500 кг	Евро 0	250,0	31,0	30,0	0,54	2 670
	Евро 1 и выше	21,5	2,4	5,8	0,54	3 120
Грузовые автомобили и автобусы полной массой более 3 500 кг	Евро 0	360,0	39,0	30,0	0,54	2 500

Таблица 7 – Удельный выброс ЗВ при сгорании одного кг дизельного топлива при эксплуатации АТС

Тип АТС	Экологический класс АТС	Удельный выброс, г/кг					
		СО	СН	NO _x	SO ₂	CO ₂	С
Легковые автомобили	Евро 0	13,6	3,0	40,0	1,6	3 070	4,0
	Евро 1 и выше	7,5	1,4	30,0	1,6	3 100	1,1
Грузовые автомобили и автобусы полной массой до 3 500 кг	Евро 0	30,0	10,0	50,0	1,6	3 020	4,0
	Евро 1 и выше	8,6	4,3	25,0	1,6	3 090	1,1
Грузовые автомобили и автобусы полной массой более 3 500 кг	Евро 0	30,0	10,0	50,0	1,6	3 020	4,0
	Евро 1 и выше	8,6	4,3	25,0	1,6	3 090	1,4

При расчете массы потребляемого моторного топлива допускается принять следующие плотности:

- бензин АИ-92 (А-92) – 0,745 т/м³;
- бензин АИ-95 (А-95) – 0,755 т/м³;
- дизельное топливо (ДТ) – 0,835 т/м³.

Максимально-разовый выброс ЗВ в атмосферу от ДВС АТС рассчитывается путем пересчета т/год в г/с.

Для снижения выбросов ЗВ в атмосферу при эксплуатации АТС могут использоваться следующие организационно-технические мероприятия [4]:

- для карбюраторных двигателей:
 - а) индивидуальная регулировка системы холостого хода карбюратора (снижение выброса СО, C_xH_y);
 - б) обеднение системы холостого хода (снижение выброса СО, C_xH_y);
 - в) увеличение зазора между электродами свечей зажигания (снижение C_xH_y, СО и NO₂ – без изменений);
 - г) установка оптимальных углов опережения зажигания (снижение C_xH_y и NO₂; СО – без изменений);
 - д) применение жидкостного или каталитического нейтрализатора;
- для дизельных двигателей (уменьшение дымности):
 - а) уменьшение угла опережения впрыскивания топлива;
 - б) регулировка фаз газораспределения;
 - в) наддув (с охлаждением воздуха или без заметного увеличения мощности двигателя);
 - г) применение жидкостного или каталитического нейтрализатора;
 - д) антидымные присадки.

В условиях повышенной загазованности воздуха при эксплуатации АТС в кабине возможно превышение нормативного значения ПДК воздуха рабочей зоны [9]. Для дополнительной очистки приточного атмосферного воздуха в кабине от ЗВ, повышения пассивной безопасности водителя АТС предлагается техническое средство (рисунок 3), содержащее корпус с тангенциальным выводом для чистого воздуха.

Сверху от корпуса осевой ввод выполнен для загрязненного воздуха в виде трубы, соединенной с контактным элементом, включающим брызгоотражатель и резиновый сильфон. Брызгоотражатель выполнен в виде фартука выпуклой формы. Внутренняя же боковая поверхность сопла имеет угол 45°, а в качестве поступающей орошающей жидкости используется раствор эфирных масел хвои. Когда уровень входа жидкости в каналы выше, то обеспечивается длительный период эффективной работы устройства на ограниченном объеме орошающей жидкости. При этом эфирные масла хвои наполняют воздух внутри кабины АТС мельчайшими частицами (аэрозолями), несущими электрический заряд и оказывающими благотворное влияние на организм водителя. Это позволяет снять состояние утомления и усталости, повысить производительность труда.

За сверхнормативное загрязнение атмосферного воздуха при эксплуатации АТС определяется ущерб окружающей среде (С):

$$C = Hd(K_{\Pi} - 1)K_{\Pi}K_{\Sigma}, \quad (6)$$

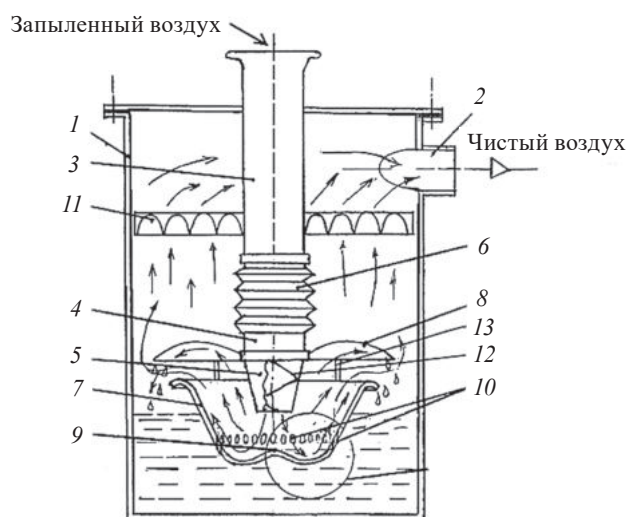


Рисунок 3 – Техническое средство для очистки воздуха в кабине от ЗВ [10]:
 1 – корпус; 2 – тангенциальный вывод; 3 – осевой ввод; 4 – патрубок; 5 – сопло;
 6 – сильфон; 7 – коническая емкость; 8 – брызгоотражатель; 9 – дно;
 10 – канал перфорации; 11 – кассета фильтра; 12 – спираль; 13 – стержень

где H – сумма экологического налога, уплаченная автотранспортным предприятием за выброс ЗВ при эксплуатации АТС проверяемой группы (группы) в предыдущем году, руб.; d – для выявленных автотранспортных средств, не соответствующих стандартам по токсичности и дымности ОГ в общем количестве исследуемых АТС; $K_{\text{ц}}$ – средневзвешенный коэффициент превышения ПДН в выявленных АТС; $K_{\text{ц}}$ – коэффициент изменения цен в текущем периоде в сравнении с периодом, когда были приняты ставки экологического налога за загрязнение атмосферного воздуха; $K_{\text{з}}$ – коэффициент экологической значимости территории размещения автотранспортного предприятия (рассчитывается с учетом численности жителей населенного пункта, где расположено автотранспортное предприятие ($K_{\text{з}} = 1,0 \dots 6,6$)).

Количество проверяемых АТС в выборке берется отдельно по группам (бензиновые, дизельные, газобаллонные) и должно составлять не менее:

- 80 % – с числом АТС в рассматриваемой группе до 5 единиц;
- 70 % – с числом АТС – от 5 до 10 единиц;
- 40 % – с числом АТС – от 11 до 25 единиц;
- 25 % – с числом АТС – от 20 до 50 единиц;
- 18 % – с числом АТС – от 51 до 100 единиц;
- 10 % – с числом АТС – от 101 до 300 единиц.

В случае повторного выявления в течение года превышения ПДН по токсичности и дымности ОГ ДВС, сумма платежа увеличивается в два раза.

Заключение

На основании результатов исследований предложены организационно-технические мероприятия для оценки, контроля и снижения выбросов в атмосферу ЗВ при эксплуатации автотранспортных средств, расчета эколого-экономического ущерба при несоблюдении экологических требований. Предложено авторское патентное техническое решение для очистки воздуха от ЗВ в кабине, повышения пассивной безопасности водителя автотранспортного средства.

Список использованных источников

1. Козлов, Ю. С. Экологическая безопасность автомобильного транспорта / Ю. С. Козлов, В. П. Меньшова, И. А. Святкин. – М. : Агар, 2000. – 176 с.

2. Луканин, В. Н. Промышленно-транспортная экология : учебник / В. Н. Луканин, Ю. В. Трофименко. – М. : Высш. шк., 2003. – 273 с.
3. Мисун, Л. В. Инженерная экология в АПК / Л. В. Мисун, И. Н. Мисун, В. М. Грищук. – Минск : БГАТУ, 2007. – 302 с.
4. Мисун, Л. В. Техносферная безопасность : пособие / Л. В. Мисун, Ал-й Л. Мисун, Ал-р Л. Мисун. – Минск : БГАТУ, 2023. – 212 с.
5. Минитаева, А. М. Анализ методов снижения экологического воздействия транспортных двигателей на окружающую среду / А. М. Минитаева, Ю. Б. Гришина, М. В. Тарута [и др.] // Омский научный вестник. – 2010. – С. 138–141.
6. Минитаева, А. М. Интегральная оценка экологической безопасности транспортных двигателей по критерию опасности / А. М. Минитаева // Омский научный вестник. – 2010. – С. 173–176.
7. Современные методы и средства снижения токсичности отработавших газов дизельных двигателей / В. А. Обремок [и др.] // Политематич. науч. журнал Кубанск. гос. агр. ун-та. – 2016. – С. 232–246.
8. Анализ Европейских требований к экологической безопасности автомобилей / П. М. Канило [и др.] // Вісник Харківськ. націон. автомоб.-дорожн. ун-та. – 2013. – С. 67–75.
9. Голохваст К. С. Выбросы автотранспорта и экология человека / К. С. Голохваст, В. В. Чернышев, С. М. Угай // Экология человека. – 2016. – Т. 23, № 1. – С. 9–14.
10. Патент ВУ № 13206 В1, МПК В 01Д 47/02, 2023.