

УДК 621.43

**АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К СОДЕРЖАНИЮ ВРЕДНЫХ  
ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ КАБИНЫ ВОДИТЕЛЯ  
И ПАССАЖИРСКОГО ПОМЕЩЕНИЯ  
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

ANALYSIS OF REQUIREMENTS TO THE CONTENT  
OF HARMFUL SUBSTANCES IN THE AIR OF THE DRIVER'S  
CABIN AND PASSENGER COMPARTMENT OF VEHICLES

**Сонич О. А., Курильчик Ю. В., Поберайло А. И.,**  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

O. Sonich, Y. Kurilchik, A. Pabiaraila,  
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

*Проведен анализ требований к содержанию вредных веществ в воздухе кабины водителя и пассажирского помещения транспортных средств, действующих в Евразийском экономическом союзе.*

*An analysis of the requirements for the content of harmful substances in the air of the driver's cabin and passenger compartment of vehicles operating in the Eurasian Economic Union was conducted.*

**Ключевые слова:** вредные вещества, воздух, анализ требований.

**Keywords:** harmful substances, air, requirements analysis.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Республике Беларусь для автотранспортных средств действуют требования, регламентирующие предельное содержание вредных (загрязняющих) веществ, в воздухе обитаемого помещения (кабина водителя, пассажирского салона). Так, на данный момент эти нормы установлены ТР ТС 018/2011 [1] и ГОСТ 33554-2015 [3]. В обоих документах предельно допустимые концентрации (ПДК) по различным газам, за исключением формальдегида, идентичны, и в зависимости от типа двигателя внутреннего сгорания (ДВС), установленного на автотранспортном средстве, имеют значения, приведенные в табл. 1.

Таблица 1 – Номенклатура вредных веществ и значения их ПДК

№ п. п.	Вредное (загрязняющее) вещество	ПДК вредного (загрязняющего) вещества в воздухе обитаемого помещения транспортного средства, мг/м <sup>3</sup>	Типы ДВС для транспортных средств, в отношении которых осуществляется проверка*
1	СО оксид углерода	5,0	1, 2, 3, 4, 5
2	NO <sub>2</sub> диоксид азота	0,2	1, 2, 3, 4, 5
3	NO оксид азота	0,4	1, 2, 3, 4, 5
4	СН <sub>4</sub> метан	50	3, 5
5	С <sub>2</sub> Н <sub>6</sub> –С <sub>7</sub> Н <sub>16</sub> предельные углеводороды	50	1, 2, 3
6	СН <sub>2</sub> О (Н <sub>2</sub> СО) формальдегид	0,035 / 0,05**	3, 4, 5

\* - типы двигателей:

1 – двигатели с принудительным зажиганием, работающие на бензине;

2 – двигатели с принудительным зажиганием, работающие на сжиженном нефтяном газе (СНГ);

3 - двигатели с принудительным зажиганием, работающие на компримированном природном газе (КПГ);

4 - двигатели с воспламенением от сжатия (дизели);

5 – двигатели с воспламенением от сжатия, работающие на смешанном топливе (дизельное топливо и КПГ);

\*\* - значение 0,05 по ГОСТ 33554-2015.

## АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К СОДЕРЖАНИЮ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

Обратим внимание на первые три вредных (загрязняющих) вещества, указанных в табл. 1: оксид углерода СО, диоксид азота NO<sub>2</sub>, оксид азота NO. Эти газы образуются в результате сгорания топливоздушнной смеси в процессе работы ДВС, на любых из применяемых топлив: бензине, СНГ, КПГ, дизельном топливе. Однако, при прочих равных условиях работы двигателей (отсутствие систем нейтрализации отработавших газов, одинаковой литровой мощности, одинаковой нагрузке), величины выбросов этих веществ работающим ДВС в зависимости от типа топлива могут отличаться в несколько раз. Так, например самым «чистым» считается двигатель, работающий на КПГ, а самым «грязным» дизельный и бензиновый двигатель.

Однако, устойчивое мнение, в том числе сложившееся под влиянием рекламной компании «Газпрома», о том, что природный газ

(КПГ) – это самое экологически чистое топливо несколько преуменьшено. Отсутствие черного (сизого, белого) дыма из выхлопной трубы автомобиля говорит о низком содержании сажи (твердых частиц), угарного газа  $CO$ , но никак не об отсутствии других вредных компонентов. В подтверждение приведем данные показателей токсичности отработавших газов дизеля 4Ч 11,0 / 12,5, работающего на природном газе (КПГ) и дизельном топливе, в соответствии с циклом ESC Правил ООН № 49, г/кВт·ч [8], табл. 2.

Таблица 2 – Показатели токсичности отработавших газов дизеля 4Ч 11,0 / 12,5.

Топливо	$NO_x$ , g	$CH_x$ , g	$CO$ , g	Твердые частицы, g
Дизельное топливо	8,98	0,76	3,68	0,52
Природный газ (КПГ)	10,16	1,28	1,33	0,053
КПГ с системой рециркуляции отработавших газов 10 %	7,64	1,25	1,68	0,061
КПГ с системой рециркуляции отработавших газов 20 %	5,21	1,3	1,88	0,072

Помимо указанных в табл. 1 вредных выбросов, дизельный ДВС лидирует по выбросу сажи и ее производных в форме черного дыма. Результаты испытаний по содержанию твердых частиц так же приведены в табл. 2. Оговоримся, что какие-либо системы нейтрализации вредных веществ в выхлопных газах выходят за рамки данной статьи. В качестве исключения хотелось бы привести пример системы нейтрализации вредных веществ в выхлопных газах дизельных моторов с впрыском водного  $H_2O$  раствора мочевины  $CO(NH_2)_2$  в выхлопной тракт. Пример интересен тем, что полностью нейтрализует в выхлопных газах диоксид азота  $NO_2$  и оксид азота  $NO$ . Протекающая при этом реакция проходит в несколько этапов:

1) разложение мочевины  $CO(NH_2)_2$  под действием температуры выхлопных газов на изоциановую кислоту  $HNCO$  и аммиак  $NH_3$ ;

2) взаимодействие полученной кислоты  $HNCO$  с парами воды  $H_2O$  с образованием аммиака  $NH_3$  и безвредного углекислого газа  $CO_2$ ;

3) на заключительном этапе, полученный аммиак  $NH_3$ , в присутствии катализатора, взаимодействует с такими продуктами сгорания дизельного топлива как диоксид азота  $NO_2$  и оксид азота  $NO$ , образуя безвредные азот  $N_2$  и воду  $H_2O$ .

В итоге реакции получают естественные компоненты атмосферного воздуха: азот  $N_2$ , углекислый газ  $CO_2$ , водяной пар  $H_2O$ .

Данный пример демонстрирует техническую возможность полной нейтрализации некоторых из токсичных компонентов выхлопных газов ДВС. Но следует иметь в виду, что установка данной системы, как и других систем снижения токсичности, приводит к необходимости их обслуживания, контроля исправности работы, и ведет в целом к удорожанию конструкции и эксплуатации транспортного средства.

Вернемся к табл. 1 и обратим внимание на четвертое, пятое, шестое вредное (загрязняющее) вещество: метан  $CH_4$ , предельные углеводороды  $C_2H_6 - C_7H_{16}$ , формальдегид  $CH_2O$  ( $H_2CO$ ). Эти вещества в той или иной концентрации содержатся в топливах приведенных в табл. 2 (бензине, СНГ, КПП, дизельном топливе), или являются продуктами их сгорания, в том числе неполного сгорания, и могут оказывать вредное воздействие в результате испарения, утечки, или попадать в атмосферу с выхлопными газами.

Следует отметить, что по ряду источников [4], [7] формальдегид образуется в ДВС как в результате сгорания дизельного топлива, так и в результате сгорания бензина. Однако в нормируемые ТР ТС 018/2011 и ГОСТ 33554-2015 значения для бензиновых двигателей формальдегид не входит.

Так же следует отметить, что нормы ТР ТС 018/2011 и ГОСТ 33554-2015 регламентируют предельное содержание вредных (загрязняющих) веществ в воздухе обитаемого помещения (кабина водителя, пассажирского салона) и не содержат конструктивных требований к системам снижения токсичности отработавших газов ДВС или системам адсорбции паров топлива, и другим системам снижения токсичности автомобилей. Следовательно нормы являются комплексным показателем, устанавливающим предельные значения вредных веществ в зоне пребывания водителя и пассажиров, что естественно предполагает исправное функционирование систем снижения токсичности.

По своим свойствам не все вредные вещества одинаково токсичны. В соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 [2] по степени воздействия на организм человека вредные вещества подразделяются на четыре класса опасности:

– 1-й – вещества чрезвычайно опасные;

- 2-й – вещества высокоопасные;
- 3-й – вещества умеренно опасные;
- 4-й – вещества малоопасные.

Класс опасности вредных веществ в зависимости от норм и показателей по ГОСТ 12.1.007-76 приведен в табл. 3.

Таблица 3 – Класс опасности вредных веществ по ГОСТ 12.1.007-76.

Наименование показателя	Норма для класса опасности			
	1-го	2-го	3-го	4-го
Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>	Менее 0,1	0,1–1,0	1,1–10	Более 10,0
Средняя смертельная концентрация в воздухе, мг/м <sup>3</sup>	Менее 500	500–5000	5001–50000	Более 50000

Рассмотрим вредное воздействия каждого вещества из табл. 1.

1. СО оксид углерода. Является токсичным малоопасным веществом, 4-го класса опасности. Это бесцветный газ без вкуса и запаха, легче воздуха, горюч, в смеси с воздухом взрывоопасен – пределы распространения пламени 12,5–74 % по объему. Образуется при неполном сгорании топлива. При вдыхании, в организме связывается с гемоглобином, образуя карбоксигемоглобин, что препятствует транспортировке кровью кислорода. Концентрация в воздухе более 0,1 % (1176 мг/м<sup>3</sup>) приводит к смерти в течении часа. Признаки отравления: головная боль, головокружение, сужение поля восприятия, одышка, учащенное сердцебиение, общая мышечная слабость, тошнота, рвота. На заключительных стадиях судороги, обморок, смерть.

2. NO<sub>2</sub> диоксид азота. Ядовитый газ красно-бурого цвета с резким неприятным запахом, особо токсичен. Соединения NO<sub>x</sub> образуются при взаимодействии азота и кислорода воздуха в цилиндрах ДВС при высокой температуре, резкий рост соединений NO<sub>x</sub> наблюдается выше 1370 °С. Диоксид азота (NO<sub>2</sub>) относится ко 2-му классу опасности. При контакте с влагой в организме образуются азотистая и азотная кислоты, которые разъедают альвеолы легких. Концентрация свыше 200 ppm (386 мг/м<sup>3</sup>) считается летальной, при 116 мг/м<sup>3</sup> может возникать жжение и отек легких. В небольших концентрациях раздражает дыхательные пути, может вызывать головную боль, проблемы с пищеварением, кашель, легочные заболевания.

3. NO оксид азота. Бесцветный газ. Нестабильное вещество. В атмосфере при нормальных условиях окисляется до диоксида азота  $\text{NO}_2$  в течении 0,5–1 часа. В зависимости от концентрации время окисления может увеличиться до 100 часов [5]. При понижении температуры распадается на азот и кислород. Тяжелее воздуха. В природе образуется при грозовых разрядах. На долю оксида азота NO в отработавших газах дизелей из всего объема  $\text{NO}_x$  (NO,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$ ) приходится 80–90 %, и 10–20 % на диоксид азота  $\text{NO}_2$  [5]. У двигателей с принудительным зажиганием доля NO в объеме  $\text{NO}_x$  достигает 99 %. По данным испытаний, при работе дизелей на КПП содержание  $\text{NO}_x$  в ОГ выше, чем при работе на дизельном топливе [8]. Оксид азота NO считается ядовитым газом с удушающим действием, при вдыхании может связываться с гемоглобином крови, переводя его в форму, не способную переносить кислород.

Однако, ряд источников описывает NO как соединение, регулирующее активность и последовательность запуска всех остальных биологически активных веществ, продуцируемых эндотелием (слой клеток выстилающих внутреннюю поверхность кровеносных сосудов) в организме млекопитающих. Клетки эндотелия в том числе выполняют сужение и расширение сосудов, для контроля артериального давления. В октябре 1998г. открытие NO как сигнальной молекулы сердечно-сосудистой системы было удостоено Нобелевской премии, присужденной ученым R. Furchgott, L. Ignarro и F. Murad.

На сегодняшний день были получены положительные результаты ингаляционной терапии NO пациентов с тяжелым течением COVID-19 с обширным поражением легких. Так, в санатории «Загорские дали» Управления делами Президента Российской Федерации для реабилитации пациентов с проявлениями постковидного синдрома используют аппарат «Тианокс», синтезирующий NO из окружающего воздуха [6]. Указывают о поддержании аппаратом заданной концентрации NO. Отмечают следующие терапевтические эффекты: расширение сосудов легких и улучшение их вентиляции, усиление газообмена, содействие расширению бронхов, увеличение жизненной емкости легких, при этом дыхание пациентов становится более редким и глубоким. Отмечено противовоспалительное и иммуностимулирующее действие оксида азота. Выявлено, что NO регулирует рост клеток центральной нервной системы, стимулирует

мыслительную деятельность и улучшает память, препятствует тромбообразованию. Также отмечено губительное воздействие данной молекулы на бактерии и вирусы.

В ряде стран нормы ПДК NO значительно отличаются. Так, установленный Управлением по охране труда и технике безопасности США (OSHA) и Национальным институтом безопасности и гигиены труда США (NIOSH) предел концентрации NO составляет 25 ppm (30 мг/м<sup>3</sup>) в течении 8-часового рабочего дня, концентрация в 100 ppm (124 мг/м<sup>3</sup>) считается опасной для жизни. Данные значения соответственно в 75 и 310 раз превышают нормы TR ТС 018/2011 и ГОСТ 33554-2015.

4. CH<sub>4</sub> метан. Бесцветный газ без вкуса и запаха. Газ нетоксичен. Относится к 4-му классу опасности. Почти в два раза легче воздуха. При высокой концентрации в воздухе обладает слабым наркотическим действием. При использовании в быту в метан (природный газ) обычно добавляют одоранты (метилмеркаптан) – летучие вещества со специфическим «запахом газа». При концентрации от 4,4 % до 17 % об. д. в смеси с воздухом взрывоопасен. Используется в качестве КППГ, где его содержится свыше 85–90 %.

5. C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>–C<sub>7</sub>H<sub>16</sub> предельные углеводороды. Сюда входят: C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> этан, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> пропан, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> бутан, C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> пентан, C<sub>6</sub>H<sub>14</sub> гексан, C<sub>7</sub>H<sub>16</sub> гептан. При нормальных условиях этан, пропан, бутан – представляют собой газы. Пентан, гексан, гептан – жидкости. Относятся к 4-му классу опасности. Пропан и бутан легко сжижаются и используются в качестве топлива – СНГ. Гексан входит в состав бензина, так же широко используется на производствах в качестве растворителя, в том числе в пищевой промышленности. Предельные углеводороды малотоксичны, легковоспламеняемы, при вдыхании могут вызывать одышку, головокружение, головные боли, угнетение центральной нервной системы, некоторые обладают слабым наркотическим действием.

6. CH<sub>2</sub>O (H<sub>2</sub>CO) формальдегид. Бесцветный газ с резким запахом. Токсичен, относится ко 2-му классу опасности. Содержится в выхлопных газах автомобилей, сигаретном дыму. Ядовит в больших концентрациях. При вдыхании отмечено жжение в области живота, тошнота, бледность, может наступить отек легких, головокружение, бессознательное состояние, судороги. Смертельная доза

60–90 мл внутрь. При постоянном воздействии не исключены канцерогенные проявления.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа требований к содержанию вредных веществ в воздухе кабины водителя и пассажирского помещения транспортных средств предлагается следующее:

1) учитывая современный положительный опыт использования NO оксида азота в здравоохранении при лечении различных заболеваний, а также зарубежный опыт величин ПДК этого вещества в рабочей зоне, необходим пересмотр действующих в ТР ТС 018/2011 и ГОСТ 33554-2015 пределов NO оксида азота;

2) с учетом того, что оксид азота NO нестабилен и при нормальных условиях постепенно превращается в диоксид азота, встречаются сведения, что реакция в атмосфере проходит не менее получаса до наступления равновесного состояния и не является полной (коэффициент превращения до 0,8 [9]), более достоверно было бы измерять NO<sub>2</sub> после получаса установившейся работы двигателя (согласно ГОСТ 33554-2015 предел составляет 20±5 мин). Поскольку реакция имеет выраженную зависимость от температуры, испытания следовало бы проводить при температуре, близкой к среднегодовой в конкретном регионе (согласно ГОСТ 33554-2015 предел составляет –15...+30 °С);

3) согласно ряду источников [4], [7] альдегиды – класс органических соединений, содержащих альдегидную группу (–СНО), в том числе формальдегид, образуются в ДВС как в результате сгорания дизельного топлива, так и в результате сгорания бензина. Целесообразно провести дополнительные исследования и в дальнейшем рассмотреть возможность включения требований ПДК по формальдегиду в ТР ТС 018/2011 и ГОСТ 33554-2015 для двигателей с принудительным зажиганием, работающих на бензине.

## ЛИТЕРАТУРА

1. О безопасности колесных транспортных средств: Технический регламент таможенного союза ТР ТС 018/2011 : принят 09.12.2011: вступ. в силу 01.01.2015 / Евраз. экон. комис. – Минск: БелГИСС, 2023. – 252 с.



2. ГОСТ 12.1.007-76 «Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности»: утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 10.03.76 №579. – Минск : БелГИСС, 2023. – 8 с.

3. ГОСТ 33554-2015 «Автомобильные транспортные средства. Содержание загрязняющих веществ в воздухе кабины водителя и пассажирского помещения. Технические требования и методы испытаний»: принят Евразийским советом по стандартизации, метрологии и сертификации по переписке (протокол № 81-П от 27 октября 2015 г.). – Минск: БелГИСС, 2017. – 20 с.

4. Альферович, В. В. Состав отработавших газов двигателей внутреннего сгорания. Методическое пособие / В. В. Альферович. – Минск : БНТУ, 2011г. – 39 с.

5. Байбарин, В. А. Влияние отработавших газов двигателей МЭС на экологию и их состав / В. А. Байбарин, А. В. Божко // Вестник аграрной науки Дона, 2014. – № 4(28). – С. 81–86.

6. Ингаляции оксид азота [Электронный ресурс]: Санаторий «Загорские дали» Управления делами Президента Российской Федерации. – Режим доступа: <https://zagdali.ru/lechenie/procedure/ingalyacii-oksid-azota> (дата обращения: 22.05.2024).

7. Котов, М. М. Химический состав выхлопных газов автотранспорта, его влияние на здоровье человека / М. М. Котов, Н. И. Колбасина. – Барнаул : АТТ, 2018. – 8 с.

8. Лиханов, В. А. Оценка интегральной токсичности отработавших газов дизеля, работающего на природном газе и спиртовых эмульсиях / В. А. Лиханов, О. П. Лопатин // Экология и промышленность России, 2019. – Т. 23. – № 9. – С. 60–65.

9. Письмо НИИ Атмосфера «По вопросу правильности расчетов выбросов и учета трансформации оксидов азота в программах Фирмы «Интеграл» [Электронный ресурс]: База знаний Фирмы Интеграл. – Режим доступа: [wiki.integral.ru/index.php](http://wiki.integral.ru/index.php) (дата обращения: 22.05.2024).

Представлено 11.06.2024