

## КРИТЕРИАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В связи с разными методиками определения экологических показателей ДВС (санитарно-гигиенических и технических) однозначной взаимосвязи между ними не существовало. В данной статье предложен метод интегральной оценки уровня экологической опасности и технического совершенства автотранспортных средств.

Поскольку токсичности отдельно взятых веществ, выбрасываемых автомобилем, сильно отличаются, трудно судить о том, как этот автомобиль в целом воздействует на окружающую среду.

Для интегральной оценки качества отработавших газов (ОГ) любого автомобиля мы использовали комплексный показатель – категорию опасности автомобиля (КОА) [1], который интегрирует в себе одновременно количество выбросов всех примесей, содержащихся в отработавших газах, а также их класс опасности и токсичность:

$$КОА_j = \sum_1^m КОВ = \sum_1^m \left( \frac{M_i}{ПДК_i} \right)^{\alpha_i} \quad (1)$$

где  $\alpha_i$  – безразмерная константа, позволяющая соотнести степень вредности  $i$ -го вещества с вредностью диоксида серы (III класс опасности);

ПДК – максимально-разовая предельно допустимая концентрация, [г/м<sup>3</sup>];

$M_i$  – количество выбросов  $i$ -ой примеси в атмосферу, [г/с].

Важным преимуществом такого подхода к интегральной оценке ОГ является тот факт, что КОА позволяет сравнить между собой опасность автомобиля (передвижного источника) и промышленного предприятия (стационарного источника загрязнения атмосферы). Но КОА ещё не позволяет судить о соответствии ОГ данного автомобиля действующим нормам на выбросы.

Поэтому, для более объективной оценки выбросов от передвижного источника нами предлагается ввести критерий экологической безопасности автомобиля ( $K_a$ ), который должен дать точное представление об уровне экологической безопасности реально существующего автомобиля и определить, насколько он отличается от некоего объективного эталона. В качестве такого эталона, на наш взгляд, следует использовать категорию опасности автомобиля, сертифицированного по правилам №83 ЕЭК ООН (иначе ЕВРО). Критерий экологи-

ческой безопасности автомобиля будет определяться по формуле:

$$K_a = \frac{КОА_j}{КОА_{ЕВРО}}, \quad (2)$$

где  $КОА_{ЕВРО}$  – категория опасности автомобиля, удовлетворяющего ЕВРО;

$КОА_j$  – категория опасности автомобиля определяемая для реальных условий эксплуатации.

Из формулы (2) вытекает, что если выполняется условие  $K_a \leq 1$ , то автомобиль можно допускать к дальнейшей эксплуатации, а если же  $K_a > 1$ , то техническое состояние такого автомобиля с позиции экологической безопасности следует считать неудовлетворительными и возникает необходимость в регулировке или замене определённых узлов ДВС.

В качестве примера мы рассматриваем нормы для малолитражных автомобилей (рабочий объём до 2 л) и массой не более 1700 кг (Class II). Несмотря на то, что автомобиль ГАЗ 3102 имеет больший рабочий объём (> 2,0 литров), чем автомобили ВАЗ и автомобиль Москвич 2141, согласно классификации, принятой в правилах ЕЭК ООН, этот автомобиль весит менее 1700 кг и относится к той же группе легковых пассажирских автомобилей.

В таблице 1 представлены верхние пределы допустимого содержания различных компонентов при испытаниях на токсичность по правилам ЕЭК ООН, при которых автомобиль, установленный на беговых барабанах, в течение 1220 с имитирует преодоление расстояния в 11 км, реализуя при этом различные режимы движения.

Таблица 1. Содержание разных примесей в ОГ согласно ЕВРО

ЕВРО	Содержание разных примесей в отработавших газах автомобиля								
	СО			СН			NO <sub>x</sub>		
	г/км	г/исп	%	г/км	г/исп	%	г/км	г/исп	%
0	18,7	76	80	3,6	14,6	15	1,1	4,4	5
I	2,72	30	73,2	0,72	8	19,5	0,27	3	7,3
II	2,2	24	81,4	0,29	3,2	10,8	0,21	2,3	7,8
III	2,3	25	84	0,25	2,7	9	0,18	2,0	7
IV	1,81	20	89	0,13	1,4	6	0,1	1,1	5

Анализ требований на выбросы отдельных примесей с ОГ в атмосферу показывает, что приоритетной примесью в ОГ должен быть оксид углерода (от 80 до 89%), затем в ряду располагаются углеводороды (от 6 до 19,5%) и на последнем месте оксиды азота (от 5 до 7,8%). Но этот анализ следует признать достаточно грубым, так как он опирается только на одну характеристику примеси – массовую концентрацию и не учитывает токсичность и класс опасности веществ, которые в такой же степени характеризуют их экологическую опасность. Если проводить комплексную оценку опасности ОГ, то их необходимо включить в количественные закономерности. Это выполняется нами при расчёте категории опасности автомобиля (1).

Для расчета категории опасности автомобиля количество выбросов *i*-ой примеси в атмосферу необходимо представить в виде потока вещества (в единицах массы, отнесённых ко времени), но численные значения предельных выбросов ВВ в нормах ЕВРО представлены в единицах массы, отнесённых к расстоянию. Потому возникает необходимость в пересчёте по формуле:

$$M_i^L = \frac{M_i^L \times L_{ци}}{t_{ци}}, \quad (3)$$

где  $M_i^L$  – удельный выброс *i*-го вещества на один км пробега, г/км;  
 $L_{ци} = 11$  км – протяженность цикла;  
 $t_{ци} = 1220$  с – время цикла.

Верхние пределы допустимого содержания различных компонентов при испытаниях на токсичность для автомобилей, относящихся по правилам ЕЭК ООН к Class II, пересчитанные в единицы массы и отнесённые к единице времени, составляют следующие величины (таблица 2).

Таблица 2. Содержание разных примесей в ОГ согласно ЕВРО

ЕВРО	Содержание разных примесей в отработавших газах автомобилей Class II								
	СО			СН			NO <sub>x</sub>		
	г/с	г/исп	%	г/с	г/исп	%	г/с	г/исп	%
0	0,0623	76	80	0,0187	14,6	15	0,0057	4,4	5
I	0,0246	30	73,2	0,0065	8	19,5	0,0025	3	7,3
II	0,0196	24	81,4	0,0026	3,2	10,8	0,0018	2,3	7,8
III	0,0205	25	84	0,0022	2,7	9	0,0016	2,0	7
IV	0,0164	20	89	0,0011	1,4	6	0,0009	1,1	5

Произведённый перерасчёт даёт нам представление о количестве выбросов каждой примеси от автомобиля, относящегося к Class II, в атмосферу. Причём такие выбросы получаются при реализации ездового цикла, который по своей сути явля-

ется моделью движения автомобиля в городских условиях.

Далее, используя уравнение (1) и данные таблицы (2), мы рассчитали категории опасности автомобилей, относящихся к Class II и отвечающих требованиям ЕЭК ООН (таблица 3).

Таблица 3. Интегральные характеристики экологической опасности отработавших газов автомобилей типа Class II, соответствующие требованиям правил ЕЭК ООН

ЕВРО	Категория опасности веществ (КОВ, м <sup>3</sup> /с; %)						Категория опасности автомобиля (КОА, м <sup>3</sup> /с; %)	
	СО		СН		NO <sub>x</sub>		м <sup>3</sup> /с	%
	м <sup>3</sup> /с	%	м <sup>3</sup> /с	%	м <sup>3</sup> /с	%		
0	15,3	5,9	10	3,8	237,5	90,3	263	100
I	6,6	7,2	3,8	4,1	81	88,7	92	100
II	5,4	9	1,6	2,7	53	88,3	60	100
III	5,6	9,5	1,4	2,5	46,8	87	54	100
IV	4,6	17	0,8	3,4	21,5	79,6	27	100

Проанализировав интегральные параметры экологической безопасности автомобиля (таблица 3), можно с уверенностью утверждать, что, несмотря на то, что наиболее значимой примесью по массе в ОГ является угарный газ (до 89%), экологически наиболее опасной примесью в них следует считать диоксид азота (90,3% по КОВ), массовое содержание которого в ОГ не столь велико (всего до 7,8% по массе). Содержание прочих компонентов можно признать либо мало значимым, либо не значимым (менее 10% по КОА).

Таким образом, для комплексной оценки экологической безопасности автомобиля следует использовать не конкретные массовые характеристики каждой примеси, каковыми являются характеристики из требований правила №83 ЕЭК ООН, а категорию опасности автомобиля, которая кроме массы выбросов учитывает класс опасности и токсичность вещества.

Теперь, подставляя значения КОА<sub>ЕВРО</sub> в уравнение (2), можно получить значение критерия экологической безопасности  $K_{ai}$ , определяющего численные границы уровней экологической безопасности любого автомобиля.

Таблица 4. Границы уровней экологической безопасности

ЕВРО	Уровень опасности	Значение $K_a$
0	Чрезвычайно опасные	> 10
I	Высоко опасные	4 ÷ 10
II	Умеренно опасные	2 ÷ 4
III	Мало опасные	1 ÷ 2
IV	Не опасные	≤ 1

В качестве эталонного норматива нами предлагается использовать уровень экологической безопасности ( $K_a \leq 1$ ) автомобиля, удовлетворяющего четвёртой поправке к правилу ЕЭК ООН, а имен-

но ЕС 2005 ЕЭК ООН (ЕВРО IV). Этот норматив вступит в силу для всех автомобилей, выпускаемых в Европе, с 2005 года. Поэтому автомобили, соответствующие этому уровню экологической безопасности, следует признать **неопасными**.

Соответствие автомобилей требованиям ЕВРО II (с 1996 г.) и ЕВРО III (с 2000 г.) достигалось не только за счёт совершенствования систем нейтрализации, но и за счёт технических новаций в самих двигателях: увеличение числа клапанов на цилиндр, регулируемые фазы газораспределения, переменная длина впускного трубопровода, наддув, непосредственный впрыск топлива в камеры сгорания и т. п. Такие автомобили по уровню экологической безопасности следует отнести к **мало опасным** и **умеренно опасным** ( $K_a \leq 2$ ).

Требования ЕВРО I (а именно R83-02) вступили в силу в Европе в 1993 году, действовали до 1996 года и считаются устаревшими. Поэтому автомобили, уровень экологической безопасности которых ниже уровня ЕВРО I ( $K_a \leq 4$ ), предлагаем квалифицировать как **высоко опасные**.

Согласно первой поправке к правилу ЕЭК ООН, а именно №83-02А ЕЭК ООН (ЕВРО 0), этому уровню экологической безопасности могут соответствовать автомобили, не оснащённые специальной системой снижения токсичности, которая включает в себя устройства нейтрализации отработавших газов и снижает степень негативного влияния автомобиля почти в 3 (!) раза. Соответствие ДВС автомобиля этому уровню опасности ( $K_a \leq 10$ ) говорит лишь о его исправном техническом состоянии, но не указывает на возможность его эксплуатации. Этот уровень экологической безопасности мы определяем уже как **чрезвычайно опасный**, и дальнейшая эксплуатация такого автомобиля нежелательна по российским нормативам и недопустима по европейским.

Вышеописанное можно проиллюстрировать следующим примером. Рассмотрим несколько типичных представителей автомобильного парка, представленных на улицах города Оренбурга. Величины выбросов ВВ с ОГ этих автомобилей, полученные за время испытаний [1, 2, 3], показаны в таблице 5.

Используя данные таблицы 5, можно ответить на ряд вопросов: какое количество примесей каждый из этих автомобилей ежесекундно выбрасывает в атмосферу во время своего движения в городских условиях? какая примесь может быть приоритетной? какой автомобиль является экологически более опасным?

Таблица 5. Величины выбросов ВВ (г/км и %) с ОГ разных автомобилей

Марка АТС	Количество выбросов ВВ (г/км и %) автомобилями разных марок											
	NO <sub>x</sub>			СО			СН			Итого:		
	г/км	г/с	%	г/км	г/с	%	г/км	г/с	%	г/км	г/с	
КамАЗ 5320	29,81	0,269	3,8	430,49	3,884	55,5	314,78	2,840	40,6	775,52	7	100
ГАЗ 3102	1,004	0,00522	5	17,892	0,093	89	1,234	0,0064	6	20,130	0,1047	100
ВАЗ 2105	1,073	0,00557	5,4	17,102	0,0885	85,9	1,727	0,0089	8,7	19,902	0,1029	100
ВАЗ 21103	0,161	0,0015	12,2	1,014	0,009	76,8	0,146	0,0013	11	1,321	0,0119	100
М 2141	1,258	0,0065	14,8	5,108	0,0265	60,2	2,122	0,011	25	8,488	0,044	100

Анализ потоков отдельных примесей с ОГ в атмосферу показывает, что приоритетной примесью в ОГ всех автомобилей является оксид углерода (от 55 до 89%), затем в ряду располагаются углеводороды (от 6 до 40,6%) и на последнем месте оксиды азота (от 3,8 до 14,8). Следует отметить, что в отработавших газах автомобиля КАМАЗ 5320 должно контролироваться ещё и наличие твёрдых частиц (РМ). Их содержание не велико (всего 0,1%). Но этот анализ следует признать достаточно грубым, так как он опирается только на одну характеристику примеси – массовую концентрацию и не учитывает токсичность и класс опасности веществ, которые в такой же степени характеризуют их экологическую опасность. Если проводить комплексную оценку опасности ОГ, то токсичность и класс опасности необходимо включить в количественные закономерности. Это выполняется нами при расчёте категории опасности автомобиля по уравнению (1) (таблица 6).

Таблица 6. Влияние марки автомобиля на экологическую опасность

Марка автомобиля	Категория опасности различных компонентов ОГ						Категория опасности автомобиля	
	NO <sub>x</sub>		СО		СН		м <sup>3</sup> /с	%
	м <sup>3</sup> /с	%	м <sup>3</sup> /с	%	м <sup>3</sup> /с	%		
К 5320	33979,8	95	631,7	1,8	890,23	2,4	35799	100%
М 2141	282,58	95,5	7,1	2,5	6,0	2	295,7	100%
ВАЗ 2105	230	89,8	21,0	8,2	5,14	2,0	256	100%
ГАЗ 3102	211,2	89,2	21,9	9,2	3,79	1,6	237	100%
ВАЗ 21103	39,95	91,7	2,72	6,3	0,89	2	43,56	100%

Проанализировав интегральные параметры экологической безопасности автомобиля (таблица 6), можно с уверенностью утверждать, что, несмотря на то, что наиболее значимой примесью по массе в ОГ является угарный газ (до 89%), экологически наиболее опасной примесью в них следует считать диоксид азота (до 95,5% по КОВ), содержание которого и не столь велико (всего 4÷15% по массе). Содержание прочих компонентов вообще можно признать незначимым (менее 10% по КОВ) для их опасности для экосистем.

Используя КОА, автомобили можно ранжировать следующим образом. Наиболее опасным следует признать автомобиль КАМАЗ 5320. Категория его опасности более чем на порядок отличается от автомобилей других марок, представленных в группе. Далее в порядке убывания следуют автомобили Москвич 2141, ВАЗ 2105 и ГАЗ 3102. Наименее экологически опасным является автомобиль марки ВАЗ 21103.

Но категория опасности не даёт представления об уровне технического совершенства каждого автомобиля и его соответствия действующим нормам на выбросы. Очевидно, что грузовой автомобиль будет более экологически опасным, чем любой легковой автомобиль. Но грузовой автомобиль с точки зрения экологической безопасности в своём классе автомобилей может иметь более совершенную конструкцию, чем легковой автомобиль в своём классе. Поэтому возникает необходимость в сравнительной оценке экологической безопасности этих автомобилей, а за эталон следует принять нормы ЕВРО соответствующего класса автомобилей.

Далее, используя уравнение (1) и данные проведённых испытаний [2, 3, 4], определим категории опасности автомобилей, относящихся к Class II (массой не более 1700 кг) и отвечающих требованиям ЕЭК ООН (таблица 7).

Автомобиль КАМАЗ 5320 согласно классификации, принятой в правилах ЕЭК ООН [5], относится к группе грузовых автомобилей полной массой более 3,5 тонн (Class IV\*).

Аналогично, используя уравнение (1) и предельные нормируемые значения выбросов токсичных компонентов ОГ таких автомобилей [2], рассчитаем категорию опасности автомобилей, отвечающих этим требованиям.

Таблица 7. Интегральные характеристики экологической опасности ОГ автомобилей массой менее 1700 кг (Class II) и дизельных автомобилей полной массой более 3,5 т (Class IV\*), соответствующие требованиям правил ЕЭК ООН (ЕВРО IV)

Тип АТС	Категория опасности веществ						Категория опасности автомобиля (КОА)	
	СО		СН		NO <sub>x</sub>			
	м <sup>3</sup> /с	%	М <sup>3</sup> /с	%	м <sup>3</sup> /с	%	м <sup>3</sup> /с	%
Class II	4,6	17	0,8	3,4	21,5	79,6	27	100
Class IV*	5,03	0,15	3,17	0,1	3486	98,5	3537	100

Из таблицы 7 видно, что приоритетной примесью по КОВ для всех автомобилей является диоксид азота (от 79,6% до 98,5%). Далее для легковых автомобилей следует угарный газ (17%), а содержание углеводородов следует признать вообще незначимым (только 3,4%). Для автомобиля КАМАЗ 5320 вторыми по значимости являются твёрдые частицы (PM), также относящиеся ко второму классу опасности (1,25%), затем угарный газ (0,15%), а содержание углеводородов только 0,1%.

Теперь, подставив полученные значения (таблица 7) в уравнение (2), получим критериальную характеристику экологической безопасности и технического совершенства представленных автомобилей (рисунок 1).

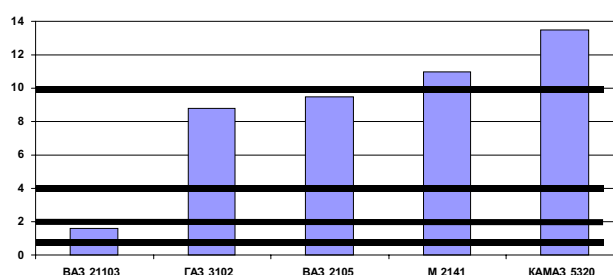


Рисунок 1. Ранжирование автомобилей разных марок по уровню технического совершенства с позиции экологической безопасности

По результатам произведённого расчёта складывается следующая картина: наиболее технически совершенным оказался автомобиль ВАЗ 21103. Он по уровню экологической безопасности ( $K_{\text{ВАЗ 21103}}=1,6$ ) относится к **мало опасному** источнику выбросов. Затем в ряду располагаются автомобили ГАЗ 3102 ( $K_{\text{ГАЗ 3102}}=8,8$ ) и ВАЗ 2105 ( $K_{\text{ВАЗ 2105}}=9,5$ ), они относятся к **высоко опасным** источникам выбросов, а автомобили Москвич 2141 ( $K_{\text{М2141}}=10,95$ ) и КАМАЗ 5320 ( $K_{\text{КАМАЗ 5320}}=13,5$ ) относятся к **чрезвычайно опасным** источникам выбросов, и эксплуатация таких автомобилей не должна разрешаться в цивилизованных странах.

Обобщив вышеизложенное, можно утверждать, что именно критерий экологической безопасности автотранспортных средств (АТС) позволит не только объективно судить о том, как автомобиль в целом воздействует на окружающую среду, но и решать многие экологические и технические задачи, связанные с эксплуатацией АТС.

**Список использованной литературы:**

1. А.А. Цыпура, В.Ф. Куксанов, Е.В. Бондаренко, Е.А. Старокожева. Транспортно-дорожный комплекс и его влияние на экологическую обстановку города Оренбурга. – Оренбург, 2002.
2. О.И. Жегалин, П.Д. Лупачёв. Снижение токсичности автомобильных двигателей. – М., Транспорт, 1985.
3. Дворников Г.П. Разработка метода оценки и управления экологичностью отработавших газов автомобилей (на примере КАМАЗ 5320): Диссертация на соискание учёной степени к.т.н. – Оренбург: ОГУ, 2000.
4. Протокол испытания №2000061501.001 от 15.06.2000 автомобиля ВАЗ 21103 в лаборатории токсичности при управлении проектирования ДВС АО «АВТОВАЗ». – Тольятти, 2000.