



## НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.2:665.73:621.43:504

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-12>

## Выбросы загрязняющих газов ( $\text{CO}$ и $\text{CO}_2$ ) при использовании топливных смесей (этанол-бензин) в двигателях внутреннего сгорания



Яриан РЕЙЕС СУАРЕС



Валентин БАЛАБИН



Яной Морехон МЕСА

Яриан Рейес Суарес<sup>1</sup>, Валентин Николаевич Балабин<sup>2</sup>, Яной Морехон Меса<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Гаванский аграрный университет, Майябеке, Куба.

<sup>2</sup> Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ <sup>1</sup> [yarianrs@gmail.com](mailto:yarianrs@gmail.com).

✉ <sup>2</sup> [vbbn2347@gmail.com](mailto:vbbn2347@gmail.com).

✉ <sup>3</sup> [ytm@unah.edu.cu](mailto:ytm@unah.edu.cu).

### АННОТАЦИЯ

Цель этого исследования – оценка выбросов загрязняющих газов ( $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ ) при использовании топливных смесей (этанол-бензин) в двигателях внутреннего сгорания. Эксперименты проводились в двигательной лаборатории Факультета технических наук Аграрного университета Гаваны (УНАХ) с использованием двигателя модели JASTO. Чтобы определить количество токсичных газов, выбрасываемых в атмосферу ( $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ ), было предложено сбалансировать уравнение сгорания для различных оцениваемых смесей с учетом установленных коэффициентов избытка воздуха.

Анализ процесса сгорания топлива на основе смесей 10-, 20-, 30-процентного этанола с гидратацией (80 %; 85 %; 90 %; 95 %) и обычного бензина категории В-85 для богатых смесей ( $\alpha = 0,85$ ) и для бедных смесей ( $\alpha = 1,15$ ) показал, что выбросы вредных веществ  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$  в атмосферу снижаются до 17 % при использовании рассматриваемых смесей по сравнению с бензином. Несмотря на то, что при этом удельный расход смесей выше, чем бензина, достигается существенный экологический эффект.

**Ключевые слова:** автомобильный транспорт, двигатель внутреннего сгорания, загрязняющие газы, бензин, смеси, этанол, топливо, сжигание

*Для цитирования:* Рейес Суарес Я., Балабин В. Н., Морехон Меса Я. Выбросы загрязняющих газов ( $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ ) при использовании топливных смесей (этанол-бензин) в двигателях внутреннего сгорания // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 4 (107). С. 106–110. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-12>.

Полный текст статьи, изначально представленной на английском языке, публикуется во второй части данного выпуска. The full text of the article originally written in English is published in the second part of the issue.

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших задач на сегодня является уменьшение выбросов вредных веществ в атмосферу в процессе горения топлива, в том числе, в транспортных средствах.

В настоящее время 40 % от общего потребления энергии приходится на ископаемое топливо, и более 90 % этого потребления приходится на транспортный сектор [1; 2] Поэтому необходимо повысить экологическую эффективность устройств, основанных на сжигании этих видов топлива, и снизить их вредное воздействие [3].

Проведённый анализ показал, что при работе двигателя внутреннего сгорания (ДВС) на природном газе, выбросы  $\text{CO}_2$  уменьшаются на 23–38 %. При работе ДВС на природном газе, смешанном с синтез-газом, полученным из основного топлива, выбросы  $\text{CO}_2$  в атмосферу могут быть сокращены на 52 % за счёт снижения токсичности выхлопных газов до требуемого уровня [4–7].

Еще одним из способов решения проблемы уменьшения выбросов вредных веществ в атмосферу является использование биотоплива, которое в определённых объёмных пределах можно комбинировать с традиционным «ископаемым» топливом и использовать в существующих энергетических системах, таких как двигатели легковых и грузовых автомобилей [8].

В целях определения количества выбрасываемых загрязняющих газов в атмосферу при использовании топливных смесей (этанол-бензин) авторами проводились исследования, позволившие получить количественные показатели токсичных газов ( $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ ) и затем сравнить их со сходными параметрами, получаемыми при использовании традиционного топлива (бензина).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Методика исследования

Чтобы определить количество  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ , выбрасываемых при использовании различных смесей в процессе сжигания, была использована методология, основанная на работах ряда авторов [9, С. 351–399; 10; 11, С. 232–282; 12; 13], в соответствии с которой было необходимо:

– установить коэффициенты избытка используемого воздуха (количество подаваемого воздуха  $\alpha$ ) в различных тестируемых смесях;

– определить количество вещества в горючей смеси (этанол-бензин или чистый бензин), участвующего в процессе горения, это можно определить по выражению (1) ниже;

– сбалансировать химическое уравнение сгорания для различных тестируемых смесей с учётом установленных коэффициентов избыточного воздуха ( $\alpha$ ), например:  
для  $\alpha = 1,5$ ,  $x\text{C}_7\text{H}_{17} + y\text{O}_2 + z\text{N}_2 \leftrightarrow m\text{H}_2\text{O} + n\text{CO}_2 + w\text{O}_2 + l\text{N}_2$ ,  
для  $\alpha = 0,85$ ,  $x\text{C}_7\text{H}_{17} + y\text{O}_2 + z\text{N}_2 \leftrightarrow m\text{H}_2\text{O} + n\text{CO}_2 + w\text{CO} + l\text{N}_2$ ,  
где  $x, y, z, n, m, w$  и  $l$  – количество вещества в каждом веществе (кмоль).

– После выполнения балансировки химического уравнения для случаев, когда коэффициент избытка воздуха отличается от единицы  $\alpha = 1$ , указанный коэффициент умножается на количество вещества в компонентах воздуха в реагентах ( $\text{O}_2$ ;  $\text{N}_2$ ), при этом изменяется количество вещества, выделяющегося в продуктах сгорания.

Для определения количества вещества в горючей смеси ( $n$ ) использовалась формула:  
 $n = M / \mu_c$ , кмоль, (1)  
где  $\mu_c$  – молекулярная масса топлива, кг/кмоль (табл. 1);

$M$  – масса топлива, кг, которая определяется выражением (2):

$$M = \rho \cdot G_h, \text{ кг}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность горючей смеси, кг/л (табл. 2);

$G_h$  – ежечасный расход топливной смеси, л / ч.

Для определения расхода топлива бралось по одному литру каждой смеси и с помощью

**Таблица 1**  
Молекулярная масса веществ, участвующих в процессе сгорания\*

Элементы	Номенклатура	Молекулярная масса, кг/кмоль
Бензин	$\text{C}_7\text{H}_{17}$	101
Этанол-Бензин	$\text{C}_9\text{H}_{23}\text{O}$	147
Диоксид кислорода	$\text{O}_2$	32
Вода	$\text{H}_2\text{O}$	18
Динитроген	$\text{N}_2$	28
Окись углерода	$\text{CO}$	28
Углекислый газ	$\text{CO}_2$	44

\* PLANETCALC: Онлайн калькуляторы; Молярная масса соединений; Copyright © PlanetCalc. Версия: 3.0.4240.0; 2023. [https://planetcalc.ru/329/?language\\_select=ru](https://planetcalc.ru/329/?language_select=ru).



Плотность топливной смеси [выполнено авторами]

Топливо	Этанол	Бензин	Этанол 10 % + Бензин	Этанол 20 % + Бензин	Этанол 30 % + Бензин
Плотность, кг/л	0,789	0,680	0,789	0,7018	0,7073

Рис. 1. Цифровой секундомер с точностью  $\pm 0,01$  с.

Таблица 3

Ежечасный расход топливной смеси  
[выполнено авторами]

Топливо	Удельный часовой расход топливной смеси, при различных значениях $\alpha$ , л/ч	
	$\alpha=0,85$	$\alpha=1,15$
E-0	0,675	0,667
E-10-ЭН95 %	0,716	0,783
E-10-ЭН90 %	0,774	0,837
E-10-ЭН85 %	0,861	1,029
E-10-ЭН80 %	0,921	0,994
E-20-ЭН95 %	0,779	0,923
E-20-ЭН90 %	0,911	0,986
E-20-ЭН85 %	0,968	1,020
E-20-ЭН80 %	1,032	1,169
E-30-ЭН95 %	0,828	0,986
E-30-ЭН90 %	0,970	1,029
E-30-ЭН85 %	1,037	1,078
E-30-ЭН80 %	1,118	1,250

секундомера с точностью  $\pm 0,01$  с (рис. 1) определялось время, за которое этот литр был израсходован.

### Экспериментальные исследования

Эксперименты проводились в Двигательной лаборатории Факультета технических наук Гаванского аграрного университета (УНАХ). Использовался одноцилиндровый

двигатель модели JACTO. Анализ процесса сгорания проводился на основе смесей 10-, 20-, 30-процентного этанола и обычного бензина категории В-85 (E-10, E-20 и E-30). Перед сжиганием определяли степень гидратации этанола (80 %; 85 %; 90 %; 95 %) и тип смешивания. Исходя из того, что стехиометрическая топливная смесь называется богатой при  $\alpha < 1$  и бедной при  $\alpha > 1$ , богатая смесь использовалась при  $\alpha = 0,85$ , бедная смесь при  $\alpha = 1,15$ .

Используемый двигатель имеет эффективную мощность 1,2 кВт, частоту вращения – 580 об/мин, объём камеры сгорания – 34 см<sup>3</sup>.

Были приготовлены следующие смеси: 10 % этанол с гидратацией 95 % + бензин (E-10-ЭН-95 %); 10 % этанол с гидратацией 90 % + бензин (E-10-ЭН-90 %); 10 % этанол с гидратацией 85 % + бензин (E-10-ЭН-85 %); 10 % этанол с гидратацией 80 % + бензин (E-10-ЭН-80 %); 20 % этанол с гидратацией 95 % + бензин (E-20-ЭН-95 %); 20 % этанол с гидратацией 90 % + бензин (E-20-ЭН-90 %); 20 % этанол с гидратацией 85 % + бензин (E-20-ЭН-85 %); 20 % этанол с гидратацией 80 % + бензин (E-20-ЭН-80 %); 30 % этанол с гидратацией 95 % + бензин (E-30-Э-95 %); 30 % этанол с гидратацией 90 % + бензин (E-30-ЭН-90 %); 30 % этанол с гидратацией 85 % + бензин (E-30-ЭН-85 %) и 30 % этанол с гидратацией 80 % + бензин (E-30-ЭН-80 %).

В табл. 3 приведены результаты расхода топлива для каждой из смесей и для бензина (E-0). Замечено, что с увеличением концентрации этанола и степени его гидратации расход топлива увеличивается на 0,583 л/ч. К тому же в смесях при  $\alpha = 1,15$  увеличивается расход топлива, так как в смеси содержится больше воздуха, и топливо сгорает быстрее.

### Экологический анализ по результатам экспериментов

В отношении топлива (в расчёте на 1 кг), использованного в процессе сгорания для богатых смесей с коэффициентом избытка воздуха  $\alpha = 0,85$ , получен график (рис. 2), который позволяет наблюдать выбросы CO<sub>2</sub> и CO для различных исследуемых смесей.

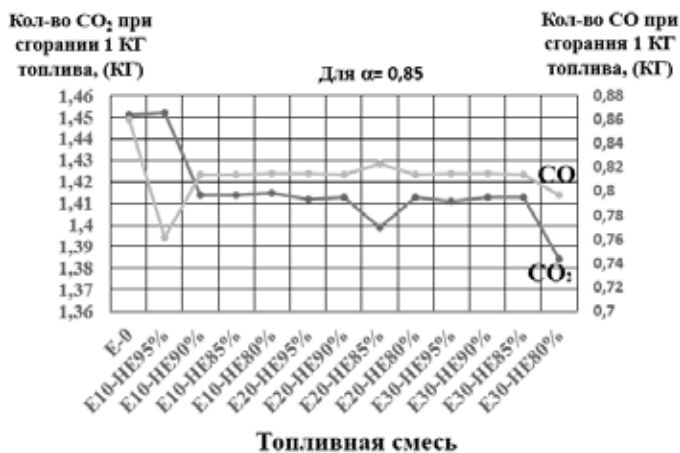


Рис. 2. Количество CO<sub>2</sub> и CO, выбрасываемых в окружающую среду в процессе сгорания, для богатых смесей [выполнено авторами].

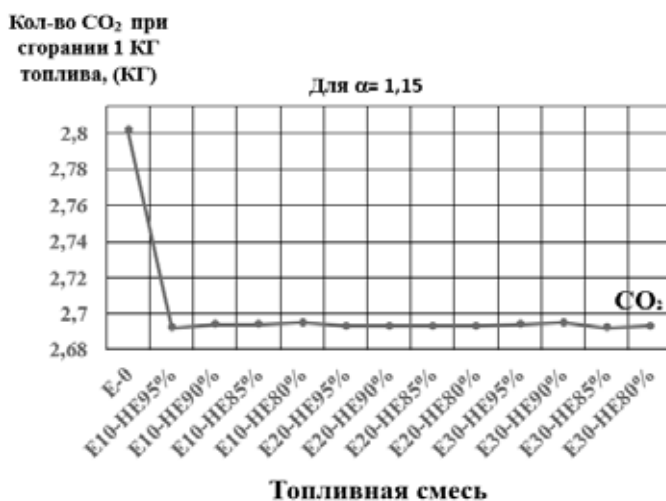


Рис. 3. Количество CO<sub>2</sub>, выбрасываемого в окружающую среду при сгорании бедных смесей [выполнено авторами].

На приведенном выше графике показано количество диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) и монооксида углерода (CO), выбрасываемых в окружающую среду в результате сгорания различных исследуемых смесей при  $\alpha = 0,85$ . Как можно видеть, при использовании этанол-бензиновых смесей наибольшее количество CO<sub>2</sub> выделяется в смеси E-10-HE-95 %, достигая значения 1,452 кг на килограмм сжигаемого топлива, что на 0,001 кг больше, чем при использовании бензина (E-0).

В остальных смесях получены значения ниже, чем у E-0 и E-10-HE-95 %. Например, значения, находящиеся в диапазоне от 1,384 кг (смесь E-30-HE-80 %) до 1,412 кг (смесь E-20-HE-95 %), показали результаты ниже E-0 на 0,067 кг и 0,039 кг соответственно.

С другой стороны, наибольшее количество CO, выбрасываемого на 1 кг использованного топлива, было зафиксировано при исполь-

зовании бензина E-0 (0,860 кг), за которым следует смесь E-20-HE-85 % (0,823 кг). Определено, что использование смеси E-10-HE-95 % наиболее экологично, выбросы достигают наименьших значений (0,762 кг).

Если принять во внимание оба газа (CO и CO<sub>2</sub>), смесью с наименьшими выбросами будет E10-HE95 %.

Аналогичным образом был проведен анализ газов при сжигании бедных смесей с коэффициентом избытка воздуха  $\alpha = 1,15$ , в результате чего был получен график, представленный на рис. 3.

Таким образом, на рис. 3 показаны количества углекислого газа (CO<sub>2</sub>), выбрасываемые в окружающую среду при сгорании различных исследуемых смесей при  $\alpha = 1,15$ . Как можно видеть, при использовании этанол-бензиновых смесей наименьшее количество CO<sub>2</sub> выделяется при использовании смесей







Е-10-ЕН-95 % и Е-30-ЕН-85 %, достигая значения 2,692 кг на килограмм сжигаемого топлива, что на 0,11 кг меньше, чем у Е-0. В то же время в остальных смесях показатели были ниже, чем у Е-0, приобретая значения от 2,693 кг до 2,695 кг.

## ВЫВОДЫ

В работе удалось подтвердить, что использование биотоплива снижает выброс токсичных газов ( $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ ) в атмосферу, способствуя защите окружающей среды и, следовательно, улучшению жизни человека, что согласуется с различными исследованиями по этому вопросу [5; 14].

В частности:

1. Для богатых смесей наибольшее количество  $\text{CO}_2$  выделяется при использовании смеси Е-10-ЕН-95 %, достигая значения 1,452 кг на килограмм сжигаемого топлива, что на 0,001 кг больше, чем при использовании бензина (Е-0), для остальных смесей были получены результаты ниже, чем для Е0, на 0,067–0,039 кг выброса  $\text{CO}_2$ .

2. Для богатых смесей наименьшее количество  $\text{CO}$ , выделяемого на 1 кг использованного топлива, было достигнуто при использовании Е-10-ЕН95 % со значением 0,762 кг.

3. Для бедных смесей наименьшее количество  $\text{CO}_2$  выделяется в смесях Е-10-ЕН-80 % и Е-30-ЕН-90 %, достигая значения 2,692 кг на килограмм сжигаемого топлива, что на 0,11 кг меньше, чем у Е-0, в то время как в остальных смесях значения были на 2,693–2,695 кг ниже, чем у Е-0.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Martins, F., Felgueiras, C., Smítková, M., Caetano, N. Analysis of Fossil Fuel Energy Consumption and Environmental Impacts in European Countries. *Energies*, 2019, Vol 12, Iss. 6, 964. DOI: 10.3390/en12060964.

2. Алиева А. В., Ахмедханова З. Б., Белов А. В., Гаджиханов А. С. Определение основных показателей техногенного воздействия при ликвидации шахт добычи твердого ископаемого топлива и устойчивости экологического состояния окружающей среды // *Науки о Земле*. – 2017. – № 3 (32). – С. 37–45. [Электронный ресурс]: <http://csmos.ru/index.php?page=mnt-issue-2017-3-04&ysclid=ineo1tlpnk954171432>. Доступ 28.04.2023.

3. Бегалы З. Д., Рыспаева М. Ж. Исследование образования продуктов реакции при горении жидкого топлива различной массы // *Молодой учёный*. – 2022. – № 2 (397). – С. 30–32. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47703877&ysclid=ineo4v272d672406209>. Доступ 28.04.2023.

4. Баранов М. Е., Герасимова Л. А., Герасимова В. Е., Хижняк С. В. Анализ экологической обстановки на объектах хранения ракетного топлива // *Вестник СибГАУ*. – 2016. – Т. 17. – № 4. – С. 1044–1052. [Электронный ресурс]: <https://vestnik.sibsau.ru/vestnik/874/>. Доступ 28.04.2023. [Полный текст вестника].

5. Захаров Е. А., Шевякова О. А., Ширшов Д. Б. Оценка экологической эффективности использования горючих газов как топлива для ДВС с искровым зажиганием // *Молодой учёный*. – 2012. – № 2 (37). – С. 29–32. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17711262&ysclid=ineobn9jzs161312980>. Доступ 28.04.2023.

6. Иванова Л. А. Влияние ракетного топлива на организм человека на объектах его использования, хранения и утилизации // *Россия молодая: передовые технологии – в промышленность*. – 2015. – № 4. – С. 153–158. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24913235&ysclid=ineof4itwe433331517>. Доступ 28.04.2023.

7. Осико С. М. Экологические проблемы ракетно-космической деятельности: влияние ракетного топлива на состояние окружающей среды в районах падения отработавших ступеней // *Молодой учёный*. – 2020. – № 23 (313). – С. 482–485. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42969347&ysclid=ineogp5dw6163159008>. Доступ 28.04.2023.

8. Сляднев Г. Е., Литвинов П. В., Руменко С. О., Польшинская А. А. Перспективы использования биодизельного и дизельного топлива в виде смесей и при ультразвуковой обработке // *Молодой учёный*. – 2017. – № 11 (145). – С. 108–111. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28840609&ysclid=ineoi3fjhy13251666>. Доступ 28.04.2023.

9. Faires, V. M., Simmang, C. M. *Thermodynamics*. Editorial Macmillan. 1978, 680 p., pp. 351–399. ISBN 968-438-029-1.

10. Fayette, C. T. *The Internal-Combustion Engine in Theory and Practice, Vol. I: Thermodynamics, Fluid Flow, Performance*. Second Edition. Massachusetts Institute of Technology PRESS and London, England, 1985, pp. 67–265. ISBN 978-0-262-20051-6.

11. Kurt, C. R. *Thermodynamics and Heat Power*. Sexta edición. University of Wisconsin–Platteville, 2006, 768 p., pp. 232–282. ISBN 0131139282.

12. Swendsen, R. H. *An Introduction to Statistical Mechanics and Thermodynamics*. 2020, 496, pp. 132–146. ISBN 978-9-19-8853327. DOI: <https://doi.org/10.1093/oso/9780198853237.003.0011>.

13. Yunus, A. Ç., Michael, A. B. *Thermodynamics. An Engineering Approach*. Sixth edition, 2008, pp. 767–842. ISBN 978-0-07-352921-9.

14. Manienyan, V., Thambidurai Muthuvelan, Selvakumar, R. Study on energy crisis and the future of fossil fuels. *Proceedings of SHEE*, 2009. DOI: 10.13140/2.1.2234.3689. ●

### Информация об авторах:

**Рейес Суарес Яриан** – аспирант Российского университета транспорта, преподаватель Гаванского аграрного университета, Майябеке, Куба, [varianrs@gmail.com](mailto:varianrs@gmail.com).

**Балабин Валентин Николаевич** – доктор технических наук, профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия, [vbbn2347@gmail.com](mailto:vbbn2347@gmail.com).

**Морехон Меса Яной** – доктор технических наук, профессор Гаванского аграрного университета, Майябеке, Куба, [utm@unah.edu.cu](mailto:utm@unah.edu.cu).

Статья поступила в редакцию 19.04.2023, одобрена после рецензирования 06.09.2023, принята к публикации 19.09.2023.

# Т



## ТРАНСПОРТНЫЙ ФАКТОР В ИСТОРИИ

112

*Анализ предложенного эффекта «выдвижения» для оценки влияния географического расположения и развитости транспортных связей и систем на социально-экономическое положение городов, стран, регионов на протяжении длительного исторического периода.*



## КОЛЕСО ИСТОРИИ



## ИСТОРИЧЕСКОЕ ТРАНСПОРТНОЕ НАСЛЕДИЕ

122

*Анализ развития деятельности по сохранению транспортных раритетов в период «перестройки».*



## ГАЛЕРЕЯ ИМЁН

133

*Биография видного учёного-мостостроителя Н. А. Белелюбского, представленная в 1892 году.*