



DOI: 10.22363/2312-8143-2023-24-2-187-195  
EDN: BRGJST  
УДК 621.43.068

Научная статья / Research article

## Токсичность бензинового двигателя для средств малой механизации

А.А. Ходяков , С.В. Хлопков ✉, Д.В. Истомин , Д.Р. Алибекова , А.А. Нарожный

Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация  
✉ khlopkov-sv@rudn.ru

### История статьи

Поступила в редакцию: 10 октября 2022 г.  
Доработана: 15 декабря 2022 г.  
Принята к публикации: 25 декабря 2022 г.

### Ключевые слова:

газоанализатор, динамометрический стенд, бензин, смеси, спирт, доля, частота вращения, коленчатый вал, отработавшие газы, монооксид углерода, несгоревшие углеводороды, оксиды азота

**Аннотация.** Для решения задачи снижения загрязненности окружающей среды выбросами двигателя внутреннего сгорания исследована токсичность одноцилиндрового, четырехтактного, верхнеклапанного двигателя Biggs & Stratton. В качестве оценки токсичности использованы данные, регистрируемых (ИНФРАКАР 5МЗТ) в отработавших газах (ОГ) силового агрегата NO<sub>x</sub>, СО и СН. Оценка токсичности двигателя, работающего под нагрузкой, проведена с помощью испытаний (динамометрический стенд CARTEC LPS 2510) оснащенного двигателем транспортного средства упрощенной конструкции (багги). Показано, что на присутствие в отработавших газах СО, СН и NO<sub>x</sub> оказывает влияние не только наличие в бензине спирта, но и частота вращения коленчатого вала. Установлено, что доля СН в отработавших газах силового агрегата, работающего на бензине ниже предельно допустимого содержания углеводородов в ОГ не оснащенных системой нейтрализации бензиновых двигателей. Из данных, полученных при испытании на стенде, следует, что доля СН в отработавших газах мотора, работающего на бензине, в среднем на 48 % выше, чем в отработавших газах двигателя, питаемого смесью, состоящей из бензина и спирта. Показано, что значительное увеличение мощности на колесе не приводит к резкому возрастанию содержания СН в отработавших газах. Доля СН в отработавших газах в полученном интервале скоростей величина постоянная.

### Для цитирования

Ходяков А.А., Хлопков С.В., Истомин Д.В., Алибекова Д.Р., Нарожный А.А. Токсичность бензинового двигателя для средств малой механизации // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2023. Т. 24. № 2. С. 187–195. <http://doi.org/10.22363/2312-8143-2023-24-2-187-195>

## Toxicity of a gasoline engine for small-scale mechanization

Aleksandr A. Khodyakov , Sergey V. Khlopkov ✉,  
Danil V. Istomin , Djeqran R. Alibekova , Alexey A. Narozhnyy

RUDN University, Moscow, Russian Federation  
✉ khlopkov-sv@rudn.ru

### Article history

Received: October 10, 2022  
Revised: December 15, 2022  
Accepted: December 25, 2022

**Abstract.** The single-cylinder, four-stroke, overhead valve Biggs & Stratton engine was studied for the possible toxicity with the view of solving the environmental pollution problem related to the internal combustion engine emissions. As an assessment of toxicity, the data recorded (INFRACAR 5M3T)



**Keywords:**

gas analyzer, dynamometer, gasoline-alcohol mixtures, proportion, crankshaft speed, exhaust gases, carbon monoxide, unburned hydrocarbons, nitrogen oxides

in the exhaust gases of the power unit NO<sub>x</sub>, CO and CH was used. Evaluation of the toxicity of the engine running under load was carried out by testing (CARTEC LPS 2510 dynamometer) an engine-equipped vehicle of simplified design (buggy). It was shown that the presence of CO, CH and NO<sub>x</sub> in the exhaust gases is affected not only by the presence of alcohol in gasoline, but also by the crankshaft speed. It was found that the proportion of CH in the exhaust gases of the power unit running on gasoline is lower than the maximum allowable content of hydrocarbons in the exhaust gases of gasoline engines not equipped with a neutralization system. According to the data obtained from bench tests, it follows that the proportion of CH in the exhaust gases of a gasoline-fueled engine is on average 48% higher than in the exhaust gases of an engine fed with a gasoline-alcohol mixture. It was shown that a significant increase in power at the wheel does not lead to a sharp increase in the CH content in the exhaust gases. The proportion of CH in the exhaust gases in the obtained speed range is a constant value.

**For citation**

Khodyakov AA, Khlopkov SV, Istomin DV, Alibekova DR, Narozhnyy AA. Toxicity of a gasoline engine for small-scale mechanization. *RUDN Journal of Engineering Research*. 2023;24(2):187–195. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2312-8143-2023-24-2-187-195>

**Введение**

Широкое использование в садовой технике (газонокосилках, культиваторах), электрических генераторах, картингах и багги двигателей Briggs & Stratton, не оснащенных каталитическим нейтрализатором, ставит задачу определения токсичности отработавших газов (ОГ) силового агрегата.

Проведение исследований, связанных с анализом содержания в отработавших газах токсичных компонентов (CO, CH, NO<sub>x</sub>)<sup>1</sup> [1–2], необходимо не только для диагностирования неисправностей двигателей Briggs & Stratton, но и для предотвращения увеличения токсичных выбросов [3–6], вызванных нарушениями нормальной работы мотора [7–13]. Кроме неисправностей, приводящих к возрастанию токсичности ОГ, влияние на содержание в отработавших газах CO, CH, NO<sub>x</sub> может оказывать и само топливо [14]. Поэтому необходимо определить содержание CO, CH, NO<sub>x</sub> в отработавших газах двигателя, работающего на бензине. Оценка влияния топлива на токсичность ОГ проводилась на том же двигателе, но работающем уже не на бензине, а на смесях бензина со спиртом.

**1. Экспериментальная часть**

Объектами исследования были пробы бензина марки АИ-98 (Б-1) и смесь АИ-98 с изопропиловым спиртом (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O, абсолютированный ГОСТ 9805–84), содержащая 5 и 10 % C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O (СМ-5, СМ-10).

Испытанию подвергали двигатель, установленный на легкий четырехколесный автомобиль, упрощенной конструкции (багги). Трансмиссия транспортного средства состояла из цепной (главной) передачи и вариатора. Пробы бензина и смеси, содержащие C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O, объемом не выше 150 мл заливали в топливный бак одноцилиндрового, четырехтактного, верхнеклапанного двигателя (Briggs & Stratton) мощностью 7,4 кВт (крутящий момент 3600 об·мин<sup>-1</sup>). Рабочий объем двигателя 306 см<sup>3</sup>.

Для определения изменений содержания в отработавших газах токсичных компонентов, связанных с работающим под нагрузкой двигателем, использовали динамометрический стенд CARTEC LPS 2510. Испытания проводили в подпрограмме *F*-const. В режиме *F*-const, согласно технической документации, автомобиль при фиксированном (постоянном) сопротивлении движению колес должен развивать максимально возможную мощность. Протокол испытаний режима *F*-const содержит следующие данные: сопротивление на колесе, мощность на колесе, скорость, обороты двигателя, тяговое усилие. Одновременно при испытании на стенде регистрировали содержание в ОГ CO, CH, NO<sub>x</sub>.

<sup>1</sup> Горбунов В.В., Патрахальцев Н.И. Токсичность двигателей внутреннего сгорания: учебное пособие. М.: Изд-во РУДН, 1998. 214 с.; Альферович В.В. Токсичность двигателей внутреннего сгорания: учебно-методическое пособие: в 2 ч. Ч. 1. Анализ состава отработавших газов. Минск: БНТУ, 2016. 54 с.; Поклад Л.Н. Контроль токсичности отработавших газов автомобилей: пособие для лабораторных работ по дисциплине «Транспорт и окружающая среда». Минск: БНТУ, 2012. 34 с.

Контроль содержания в отработавших газах двигателя Briggs & Stratton монооксида углерода (CO), несгоревших углеводородов (CH) и оксидов азота (NO<sub>x</sub>) проводили газоанализатором ИНФРА-КАР 5МЗТ (класс прибора 0). В табл. 1 приведен диапазон измеряемых значений CO, CH и NO<sub>x</sub> и пределы допускаемых погрешностей.

Подготовку прибора к работе и проведение контроля содержания в ОГ токсичных компонентов осуществляли, руководствуясь соответствующей технической документацией. Так, например, устройство забора пробы (зонд) газо-

анализатора устанавливали в выхлопную трубу транспортного средства, согласно инструкции, на глубину не менее 300 мм от среза и фиксировали устройство забора пробы специальным зажимом. Кроме измерения CO, CH, NO<sub>x</sub> регистрировали также (тахометром) обороты двигателя (*n*; частота вращения коленчатого вала). Измерения выполняли при работе мотора (не менее 2 мин) в нагруженном (режим *F*-const) и не нагруженном (режим холостого хода) состоянии. Силовой агрегат предварительно прогревали.

Таблица 1

Диапазон измеряемых газоанализатором значений CO, CH, NO<sub>x</sub> и пределы допускаемой погрешности

Измеряемая величина	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности	
		Абсолютной	Относительной
Объемная доля CO, %	От 0 до 5	±0,03	±3
Объемная доля CH, млн <sup>-1</sup>	От 0 до 2000	±10	±5
Объемная доля NO <sub>x</sub> , млн <sup>-1</sup>	От 0 до 4000	±100	±10

Table 1

Range of CO, CH, NO<sub>x</sub> values measured by the gas analyzer and maximum permissible error limits

Measured value	Measurement range	Maximum permissible error limits	
		Absolute	Relative
Volume fraction of CO, %	From 0 to 5	±0.03	±3
Volume fraction of CH, ppm	From 0 to 2000	±10	±5
Volume fraction of NO <sub>x</sub> , ppm	From 0 to 4000	±100	±10

## 2. Результаты и обсуждение

В табл. 2 представлены данные, полученные при работе двигателя в режиме холостого хода. Из сопоставления данных следует, что объемная доля CO и CH в отработавших газах при сгорании бензина выше их содержания в ОГ, образующихся при работе двигателя на смесях со спиртом. Параметр φ оксидов азота в ОГ, наоборот, возрастает. Причем максимальное значение NO<sub>x</sub> наблюдается для бензина с 10 % C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O и при

работе двигателя на более низких оборотах. Это свидетельствует, что на присутствие в отработавших газах CO, CH и NO<sub>x</sub> оказывает влияние не только наличие в бензине спирта, но и частота вращения коленчатого вала.

Для определения тесноты связи между φ и концентрацией C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O в топливе, а также между φ и *n* (частота вращения коленчатого вала) к представленным в табл. 2 данным применялся корреляционный анализ (рис. 1).

Таблица 2

Объемная доля φ CO, CH и NO<sub>x</sub> в отработавших газах при работе двигателя в режиме холостого хода

Топливо	Содержание в топливе C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O, %	Обороты двигателя, мин <sup>-1</sup>	φ(CO), %	φ(CH), млн <sup>-1</sup>	φ(NO <sub>x</sub> ), млн <sup>-1</sup>
Б-1	0	2450	2,8	361	157
СМ-5	5	1840	1,5	149	234
СМ-10	10	1750	0,4	104	315

Table 2

Volumetric fraction φ of CO, CH and NO<sub>x</sub> in exhaust gases when the engine is idling

Fuel	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O content in fuel, %	Engine speed, min <sup>-1</sup>	φ(CO), %	φ(CH), ppm <sup>-1</sup>	φ(NO <sub>x</sub> ), ppm <sup>-1</sup>
В-1	0	2450	2.8	361	157
СМ-5	5	1840	1.5	149	234
СМ-10	10	1750	0.4	104	315

Величины представленных в таблицах коэффициентов корреляции ( $r$ ) выше 0,9 (рисунки). Такие значения параметра  $r$  по количественно-качественной шкале Чеддока характеризуют связь между  $n$  и  $\varphi$ , между содержанием в бензине спирта и объемными долями CO, CH, NO<sub>x</sub> как очень сильную. Аналогичная связь существует и в ряду  $\varphi(\text{CO}) - \varphi(\text{CH})$ ,  $\varphi(\text{CO}) - \varphi(\text{NO}_x)$ , а также между  $\varphi(\text{CH})$  и  $\varphi(\text{NO}_x)$ .

Статистическую оценку коэффициентов корреляции проводили, сравнивая расчетные значения  $r_{\text{расч}}$  с критической величиной  $r_{\text{крит}}$ . Оказалось, что свидетельствующее о значимой линейной связи  $|r_{\text{расч}}| > r_{\text{крит}}$  ( $r_{\text{крит}} = 0,997$  при уровне значимости 0,05) наблюдается для пар  $n$ -CH,  $\varphi(\text{CO}) - \varphi(\text{NO}_x)$ , содержание спирта –  $\varphi(\text{NO}_x)$ , содержание спирта –  $\varphi(\text{CO})$ . Из этих четырех пар только содержание в отработавших газах CH связано с характеристикой (частотой вращения коленчатого вала) силового агрегата. Поэтому испытание двигателя в режиме  $F$ -const (под нагрузкой) с одновременной регистрацией в отработавших газах CO, CH и NO<sub>x</sub> проводили при  $n = 1636 \pm 52 \text{ мин}^{-1}$  ( $\pm 3 \%$ ), а показателем, по которому оценивали токсичность двигателя (работающего на бензине и на смеси бензина со спиртом), было содержание в ОГ CH.

В табл. 3, 4 представлены данные, полученные при испытании багги на стенде CARTEC LPS 2510 в режиме  $F$ -const. Из сопоставления данных следует, что доля CH в ОГ двигателя, работающего на бензине, в среднем на 48 % выше, чем в отработавших газах мотора, питаемого смесью, состоящей из бензина и спирта. Аналогичный результат получен при работе силового агрегата без нагрузки (в режиме холостого хода). Доля CH в отработавших газах двигателя, работающего на бензине, выше параметра  $\varphi$ , полученного при работе мотора на смесях (табл. 2). Это соответствует приводимым в литературе сведениям о снижении выбросов CH, которое является следствием более полного, чем бензин, сгорания смесей бензина со спиртом [10–13].

Данные			
Обороты	CO	CH	NO <sub>x</sub>
2450	2,8	361	157
1840	1,5	149	234
1750	0,4	104	315

  

Корреляция				
	Обороты	CO	CH	NO <sub>x</sub>
Обороты	1			
CO	0,936919933	1		
CH	0,998930926	0,952076931	1	
NO <sub>x</sub>	-0,91318055	-0,998035571	-0,9310447	1

  

Данные			
Содержание спирта	CO	CH	NO <sub>x</sub>
0	2,8	361	157
5	1,5	149	234
10	0,4	104	315

  

Корреляция				
	Содержание спирта	CO	CH	NO <sub>x</sub>
Содержание спирта	1			
CO	-0,998844598	1		
CH	-0,93627827	0,952076931	1	
NO <sub>x</sub>	0,999893197	-0,998035571	-0,9310447	1

Корреляционный анализ данных, выполненный с помощью табличного процессора Microsoft Office Excel

Data			
Wheeling	CO	CH	NO <sub>x</sub>
2450	2,8	361	157
1840	1,5	149	234
1750	0,4	104	315

  

Correlation				
Wheeling	Wheeling	CO	CH	NO <sub>x</sub>
	1			
CO	0,936919933	1		
CH	0,998930926	0,952076931	1	
NO <sub>x</sub>	-0,91318055	-0,998035571	-0,9310447	1

  

Data			
Alcohol content	CO	CH	NO <sub>x</sub>
0	2,8	361	157
5	1,5	149	234
10	0,4	104	315

  

Correlation				
Alcohol content	Alcohol content	CO	CH	NO <sub>x</sub>
	1			
CO	-0,998844598	1		
CH	-0,93627827	0,952076931	1	
NO <sub>x</sub>	0,999893197	-0,998035571	-0,9310447	1

Correlation data analysis performed using Microsoft Office spreadsheet processor

Таблица 3

**Сопrotивление, мощность на колесе, скорость, тяговое усилие и объемная доля CH в отработавших газах двигателя, работающего на бензине АИ-98**

Сопrotивление на колесе, Н·м	Мощность на колесе, кВт	Скорость, км·час <sup>-1</sup>	Тяговое усилие, Н	φ(CH), млн <sup>-1</sup>
20	1,5	43,1	120	371
30	1,8	36,5	190	369
40	2,4	34,5	250	357

Table 3

**Resistance, power to the wheel, speed, tractive effort and volumetric fraction of CH in the exhaust gases of an engine running on AI-98 gasoline**

Wheel resistance, N·m,	Power to the wheel, kW	Speed, km·hour <sup>-1</sup>	Tractive effort, Н	φ(CH), ppm <sup>-1</sup>
20	1.5	43.1	120	371
30	1.8	36.5	190	369
40	2.4	34.5	250	357

Таблица 4

**Сопrotивление, мощность на колесе, скорость, тяговое усилие и объемная доля CH в отработавших газах двигателя, работающего на бензине с 10 % изопропилового спирта**

Сопrotивление на колесе, Н·м	Мощность на колесе, кВт	Скорость, км·час <sup>-1</sup>	Тяговое усилие, Н	φ(CH), млн <sup>-1</sup>
20	1,3	39,1	125	186
30	1,6	34,1	190	189
40	2,4	31,0	253	191

Table 4

**Resistance, power to the wheel, speed, tractive effort and volumetric fraction of CH in the exhaust gases of an engine running on 10% isopropyl alcohol gasoline**

Wheel resistance, N·m,	Power to the wheel, kW	Speed, km·hour <sup>-1</sup>	Tractive effort, H	φ(CH), ppm <sup>-1</sup>
20	1.3	39.1	125	186
30	1.6	34.1	190	189
40	2.4	31.0	253	191

Полученные значения  $\varphi(\text{CH}) = 357\text{--}371 \text{ млн}^{-1}$  ниже предельно допустимого (нормированного) содержания углеводородов в ОГ для двигателей, работающих на бензине и не оснащенных системой нейтрализации ( $600\text{--}1200 \text{ млн}^{-1}$ ).

В ходе испытаний в режиме  $F\text{-const}$  (согласно техническому описанию динамометрического стенда CARTEC LPS 2510) багги должен развивать максимально возможную мощность ( $N_k$ ) при фиксированном (постоянном) сопротивлении движению колес ( $P_k$ ).

При увеличении  $P_k$  максимально возможная мощность возрастает с 1,3 до 2,4 кВт, то есть на 46 %, а скорость меняется на  $\sim 20$  % (табл. 3, 4). Изменение доли CH в отработавших газах с ростом  $N_k$  (и соответственно с изменением скоро-

сти) составило всего 4 %. Это ниже предела допускаемой погрешности измерения CH, равной  $\pm 5$  % (табл. 1). Следовательно, значительное увеличение  $N_k$  не приводит к резкому возрастанию содержания CH в отработавших газах. Доля CH в ОГ в полученном интервале скоростей величина постоянная.

Для оценки влияния присутствующего в бензине спирта на содержание в отработавших газах  $\text{NO}_x$  проведены испытания одноцилиндрового, четырехтактного бензинового двигателя LIFAN 170 F мощностью 5,1 кВт (крутящий момент  $3600 \text{ об·мин}^{-1}$ ) (табл. 5). Этот силовой агрегат так же, как и двигатель Briggs & Stratton, устанавливается на мобильных энергетических средствах малой механизации.

Таблица 5

**Объемная доля  $\text{NO}_x$  в отработавших газах при работе двигателя LIFAN 170 F в режиме холостого хода на бензине и смеси бензина со спиртом**

Токсичный компонент ОГ	Обороты двигателя, мин <sup>-1</sup>									
	Бензин					Смесь бензина с 20% изопропилового спирта				
	1640	1950	2240	2480	3430	1815	1928	2213	2429	3598
$\varphi(\text{NO}_x), \text{ млн}^{-1}$	18	41	63	84	182	8	13	50	61	152

Table 5

**Volumetric fraction of  $\text{NO}_x$  in the exhaust gases when the LIFAN 170 F engine is idling on gasoline and gasoline-alcohol mixture**

Toxic component of the exhaust gases	Engine speed, min <sup>-1</sup>									
	Gasoline					Mixture of gasoline with 20% isopropyl alcohol				
	1640	1950	2240	2480	3430	1815	1928	2213	2429	3598
$\varphi(\text{NO}_x), \text{ млн}^{-1}$	18	41	63	84	182	8	13	50	61	152

Испытание LIFAN 170 F проводилось с целью получения результатов, которые могут быть некоторой коррекцией данных  $\varphi(\text{NO}_x)$ , полученных при испытании двигателя Briggs & Stratton (см. табл. 2).

Из сопоставления данных (табл. 5) следует, что содержание  $\text{NO}_x$  в отработавших газах двигателя, работающего на бензине, выше (на 21–68 %), чем  $\varphi(\text{NO}_x)$  в ОГ мотора, питаемого смесью бензина со спиртом. При этом наблюдается рост

содержания  $\text{NO}_x$  в ОГ с увеличением частоты вращения коленчатого вала.

Тесноту связи между  $\varphi(\text{NO}_x)$  и частотой вращения коленчатого вала оценивали коэффициентом корреляции. Коэффициент корреляции  $r$  между  $\varphi(\text{NO}_x)$  и  $n$  для двигателя, работающего на бензине, так же, как и для мотора, питаемого смесью, составил 0,99. Это значение статистически значимо, так как  $r_{\text{крит}}$  при уровне значимости 0,05 составляет 0,878 [14].

Установление функциональной зависимости  $\varphi(\text{NO}_x)$  от частоты вращения коленчатого вала проводили с помощью регрессионного анализа (статистический аналитический метод, модель парной линейной регрессии).

В табл. 6, 7 приведены результаты выполненного в табличном процессоре Microsoft Office Excel регрессионного анализа ( $F$ -критерий Фишера;  $R^2$  – коэффициент детерминации).

Расчет средней относительной ошибки аппроксимации ( $\bar{A}$ , %) проводили по формуле

$$\bar{A} = \frac{100}{\bar{y}_i} \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}},$$

где  $\bar{y}_i$  – среднее арифметическое значение фактического результативного признака;  $y_i$  – фактическое значение результативного признака;  $\hat{y}_i$  – теоретическое значение результативного признака.

Из сопоставления критических и расчетных значений критерия Фишера следует, что уравнения регрессии адекватны ( $F_{\text{расч}} > F_{\text{крит}}$ ). Точность математической модели ( $\bar{A}$ ) составила 6 % для данных, полученных при работе двигателя на бензине, и 8 % для мотора, питаемого смесью бензина с 20 % изопропилового спирта (табл. 6, 7). Эти значения  $\bar{A}$  обладают точностью, которая является достаточной, чтобы подобранную к исходным данным модель считать результативной.

Значение  $R^2$ , так же как и  $r$  для данных, полученных при работе двигателя на смеси, близки к 1, то есть линейная связь между  $\varphi(\text{NO}_x)$  и  $n$  сильная, 99 % значений  $\varphi(\text{NO}_x)$  обусловлено влиянием на образование токсичного компонента частоты вращения коленчатого вала двигателя, 1 % данных зависит от других, не включенных в модель, факторов.

Таблица 6

**Характеристика регрессионной модели для данных ( $\hat{y} = \varphi(\text{NO}_x)$ ;  $x = n$ ), полученных при работе двигателя LIFAN 170 F в режиме холостого хода на бензине**

Уравнение регрессии $\hat{y} = 0,0926x - 139,77$	$\bar{A}$ , %	$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{крит}}$	$R^2$
	6	441,2	7,7	0,9932

Table 6

**Regression model characteristics for the data ( $\hat{y} = \varphi(\text{NO}_x)$ ;  $x = n$ ), obtained when the LIFAN 170 F engine is idling on gasoline**

Regression equation $\hat{y} = 0.0926x - 139.77$	$\bar{A}$ , %	$F_{\text{estimated}}$	$F_{\text{critical}}$	$R^2$
	6	441.2	7.7	0.9932

Таблица 7

**Характеристика регрессионной модели для данных ( $\hat{y} = \varphi(\text{NO}_x)$ ;  $x = n$ ), полученных при работе двигателя LIFAN 170 F в режиме холостого хода на смеси бензина с 20 % изопропилового спирта**

Уравнение регрессии $\hat{y} = 0,0809x - 137,0319$	$\bar{A}$ , %	$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{крит}}$	$R^2$
	8	366,3	7,7	0,9919

Table 7

**Regression model characteristics for the data ( $\hat{y} = \varphi(\text{NO}_x)$ ;  $x = n$ ), obtained when the operation of the LIFAN 170 F engine is idling on a mixture of gasoline with 20% isopropyl alcohol**

Regression equation $\hat{y} = 0.0809x - 137.0319$	$\bar{A}$ , %	$F_{\text{estimated}}$	$F_{\text{critical}}$	$R^2$
	8	366.3	7.7	0.9919

## Заключение

Представленные в работе результаты исследований показали, что на присутствие в отработавших газах  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}$  и  $\text{NO}_x$  оказывает влияние

не только наличие в бензине спирта, но и частота вращения коленчатого вала. Установлено, что доля  $\text{CH}$  в отработавших газах силового агрегата, работающего на бензине, ниже предельно

допустимого содержания углеводородов в ОГ, не оснащенных системой нейтрализации бензиновых двигателей. Из данных, полученных при испытании на стенде, следует, что доля СН в ОГ двигателя, работающего на бензине, в среднем на 48 % выше, чем в отработавших газах мотора, питаемого смесью, состоящей из бензина и спирта. Показано, что значительное увеличение мощности на колесе не приводит к резкому возрастанию содержания СН в отработавших газах. Доля СН в ОГ в полученном интервале скоростей величина постоянная.

### Список литературы

1. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. М.: Машиностроение, 1973. 200 с.
2. Вершинин Н.Н., Шумилин А.Д., Волкова А.С., Авдонина Л.А. Исследование влияния перехода автомобильного транспорта на экологический стандарт «Евро-5» на воздушный бассейн города // Надежность и качество сложных систем. 2017. № 2 (18). С. 83–89.
3. Христофоров Е.Н. Транспорт и окружающая среда. Брянск: Изд-во Брянской ГСХА, 2012. 196 с.
4. Кирюшин И.Н., Купанов А.С., Шабанкин М.П. Исследование токсичности отработавших газов двигателя внутреннего сгорания // Новые технологии в учебном процессе и производстве: материалы XVIII Международной научно-технической конференции (Рязань, 17–19 апреля 2019 г.) / под ред. А.А. Бакулина. Рязань, 2020. С. 342–346.
5. Мусаелянц Г.Г. Павленко Е.А., Сысоев Д.К. Способ диагностирования бензиновых двигателей с впрыском топлива с выявлением конкретных неисправностей // Вестник СибАДИ. 2018. Т. 15. № 1. С. 69–76.
6. Невзоров В.В., Сухопаров С.И., Овчинников В.М. Исследование взаимосвязи экологических параметров двигателя внутреннего сгорания с техническими характеристиками цилиндропоршневой группы // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Прикладные науки. Промышленность. 2007. № 8. С. 85–90.
7. Соломин В.В., Шабанов А.В., Шабанов А.А., Килыушник В.М., Младенский А.В. Анализ методов и средств экологического контроля выбросов вредных веществ отработавших газов автомобилей // Известия МГТУ МАМИ. 2016. № 4 (30). С. 82–89.
8. Потетня К.М., Садов А.А. Проведения исследований выхлопных газов с использованием современных газоанализаторов // Научно-технический вестник. Технические системы в АПК. 2018. № 1 (1). С. 12.
9. Базарский О.В., Шнилева Е.В. Экологостатистические характеристики автомобильного двигателя // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 6. С. 11–12.

10. Смоленская Н.М., Смоленский В.В. Токсичность отработавших газов в бензиновых двигателях при работе на сжатом природном газе // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2018. Т. 18. № 4. С. 57–65. <http://doi.org/10.14529/engin180406>

11. Лаврик А.Н., Богданов С.Н., Теремов А.С. Особенности рабочего цикла при работе двигателя на бензаноле // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2008. № 23 (123). С. 77–80.

12. Шкаликова В.П. Некоторые эксплуатационные характеристики работы двигателей на топливах с добавкой спирта // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2004. № 2. С. 5–7.

13. Карпов С.А., Кунашев Л.Х., Царев А.В., Кануштин В.М. Применение алифатических спиртов в качестве экологически чистых добавок в автомобильные бензины // Нефтегазовое дело. 2006. № 2. С. 48.

14. Бараз В.Р., Пегашкин В.Ф. Использование MS EXCEL для анализа статистических данных. Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2014. 181 с.

### References

1. Zvonov VA. *Toxicity of internal combustion engines*. Moscow: Standartinform Publ.; 1973. (In Russ.)
2. Vershinin NN, Shumilin AD, Volkova AS, Avdonina LA. Study of the impact of the transition of road transport to the environmental standard “Euro-5” on the air basin of the city. *Reliability and Quality of Complex Systems*. 2017;(2):83–89. (In Russ.)
3. Khristoforov EN. *Transport and environment*. Bryansk: Publishing House of the Bryansk State Agricultural Academy; 2012. (In Russ.)
4. Kiryushin IN, Kupanov AS, Shabankin MP. Investigation of the toxicity of exhaust gases of internal combustion engines. In: Bakulin AA. (ed.) *New Technologies in the Educational Process and Production: Proceedings of the XVIII International Scientific and Technical Conference (Ryazan, 17–19 April 2019)*. Ryazan; 2020. p. 342–346. (In Russ.)
5. Musaeliants GG, Pavlenko EA, Sysoev DK. A method for diagnosing gasoline engines with fuel injection with the identification of specific faults. *Bulletin of SibADI*. 2018;15(1):69–76. (In Russ.)
6. Nevzorov VV, Sukhoparov SI, Ovchinnikov VM. Investigation of the relationship between the environmental parameters of an internal combustion engine and the technical characteristics of the cylinder-piston group. *Bulletin of the Polotsk State University. Series B: Applied Sciences. Industry*. 2007;(8):85–90. (In Russ.)
7. Solomin VV, Shabanov AV, Shabanov AA, Kilyushnik VM, Mladensky AV. Analysis of methods and means of environmental control of emissions of

harmful substances from car exhaust gases. *Proceedings of MSTU MAMI*. 2016;(4):82–89. (In Russ.)

8. Potetnya KM, Sadov AA. Carrying out researches of exhaust gases with the use of modern gas analyzers. *Scientific and Technical Bulletin. Technical Systems in the Agro-Industrial Complex*. 2018;(1):12. (In Russ.)

9. Bazarsky OV, Shpileva EV. Ecological and statistical characteristics of an automobile engine. *Bulletin of the Voronezh State Technical University*. 2011;7(6):11–12. (In Russ.)

10. Smolenskaya NM, Smolensky VV. Toxicity of exhaust gases in gasoline engines powered with compressed natural gas and gasoline. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Mechanical Engineering Industry*. 2018; 18(4):57–65. (In Russ.) <http://doi.org/10.14529/engin180406>

11. Lavrik AN, Bogdanov SN, Terebov AS. Features of the working cycle when the engine is running on benzanol. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Mechanical Engineering Industry*. 2008;23(123):77–80. (In Russ.)

12. Shkalikova VP. Some performance characteristics of engines running on fuels with the addition of alcohol. *RUDN Journal of Engineering Research*. 2004; (2):5–7. (In Russ.)

13. Karpov SA, Kunashev LKh, Tsarev AV, Kapustin VM. The use of aliphatic alcohols as environmentally friendly additives in motor gasolines. *Oil and Gas Business*. 2006;(2):48. (In Russ.)

14. Baraz VR, Pegashkin VF. *Using MS EXCEL to analyze statistical data*. Nizhny Tagil: NTI (branch) UrFU; 2014. (In Russ.)

### Сведения об авторах

**Ходяков Александр Андреевич**, кандидат химических наук, доцент департамента транспорта, инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; ORCID: 0000-0001-9391-2890, Scopus Author ID: 6701565417, eLIBRARY SPIN-код: 4780-1919; khodyakov-aa@rudn.ru

**Хлопков Сергей Валентинович**, кандидат технических наук, доцент департамента транспорта, инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; ORCID: 0000-0001-9536-7558, Scopus Author ID: 57212109092, eLIBRARY SPIN-код: 8997-3305; khlopkov-sv@rudn.ru

**Истомин Данил Владиславович**, магистрант, департамент транспорта, инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; ORCID: 0000-0002-0232-2025; 1032212204@rudn.ru

**Алибекова Джейран Руслановна**, магистрант, департамент транспорта, инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; ORCID: 0000-0003-3541-9517; 1032212205@rudn.ru

**Нарожный Алексей Алексеевич**, магистрант, департамент транспорта, инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; ORCID: 0000-0002-3395-2871; 1032212206@rudn.ru

### About the authors

**Alexander A. Khodyakov**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport, Academy of Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-9391-2890, Scopus Author ID: 6701565417, eLIBRARY SPIN-code: 4780-1919; khodyakov-aa@rudn.ru

**Sergey V. Khlopkov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport, Academy of Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-9536-7558, Scopus Author ID: 57212109092, eLIBRARY SPIN-code: 8997-3305; khlopkov-sv@rudn.ru

**Danil V. Istomin**, master's student, Department of Transport, Academy of Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-0232-2025; 1032212204@rudn.ru

**Djeqran R. Alibekova**, master's student, Department of Transport, Academy of Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-3541-9517; 1032212205@rudn.ru

**Alexey A. Narozhnyy**, master's student, Department of Transport, Academy of Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-3395-2871; 1032212206@rudn.ru