

DOI: 10.34220/2311-8873-2024-53-66



УДК 629.11.02

UDC 629.11.02

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

**ЭЛЕКТРОФИЗИКОХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РАЗЛОЖЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВС И ЭЛЕКТРОИСКРОВОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ**

**ELECTROPHYSICOCHEMICAL CONNECTION OF THERMODYNAMIC PROCESSES OF DECOMPOSITION OF EXHAUST GAS COMPONENTS OF AUTOMOTIVE INTERNAL COMBUSTION ENGINES AND AN ELECTRIC SPARK DEVICE FOR ITS IMPLEMENTATION**

**Колесников Владислав Павлович**, к.т.н., АНО «Инженерная экология», г. Рязань, e-mail: [vladisl.kolesnickov2018@yandex.ru](mailto:vladisl.kolesnickov2018@yandex.ru)

**Kolesnikov Vladislav Pavlovich**, candidate of technical sciences, ANO «Engineering ecology», Ryazan, e-mail: [vladisl.kolesnickov2018@yandex.ru](mailto:vladisl.kolesnickov2018@yandex.ru)

✉<sup>1</sup> **Кирюшин Илья Николаевич**, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Автомобили и транспортно-технологические средства», Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, г. Рязань, e-mail: [aits-rimsou@mail.ru](mailto:aits-rimsou@mail.ru)

✉<sup>1</sup> **Kiryushin Ilya Nikolaevich**, candidate of technical sciences, associate professor, head of the department of Automobiles and transport and technological vehicles, Ryazan institute (branch) of Moscow polytechnic university, Ryazan, e-mail: [aits-rimsou@mail.ru](mailto:aits-rimsou@mail.ru)

**Ретюнский Вячеслав Николаевич**, к.т.н., доцент кафедры «Автомобили и транспортно-технологические средства», Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, г. Рязань, e-mail: [vnret@yandex.ru](mailto:vnret@yandex.ru)

**Retyunskikh Vyacheslav Nikolaevich**, candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Automobiles and Transport-Technological Means, Ryazan institute (branch) of Moscow polytechnic university, Ryazan, e-mail: [vnret@yandex.ru](mailto:vnret@yandex.ru)

**Кулик Сергей Николаевич**, к.т.н., начальник территориального отдела государственного автодорожного надзора по Тамбовской области, г. Тамбов, e-mail: [kulik@truck62.ru](mailto:kulik@truck62.ru)

**Kulik Sergey Nikolaevich**, candidate of technical sciences, head of the territorial department of the state highway supervision in the Tambov region, Tambov, e-mail: [kulik@truck62.ru](mailto:kulik@truck62.ru)

**Аннотация.** В статье рассмотрена связь наук в обеспечении очистки выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания методом электроискровой обработки.

**Annotation.** The article considers the connection of sciences in ensuring the purification of exhaust gases of internal combustion engines by the method of electric spark treatment.

**Ключевые слова:** ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, УСТРОЙСТВО, ОЧИСТКА, РЕЦИКУЛЯЦИЯ, ОТРАБОТАВШИЕ ГАЗЫ ДВС, ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ МЕТОД.

**Keywords:** ENERGY-SAVING TECHNOLOGY, DEVICE, CLEANING, RECIRCULATION, EXHAUST GASES OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES, ELECTRIC SPARK METHOD.

<sup>1</sup> Автор для ведения переписки

## 1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

В настоящее время во всём мире остро стоит проблема сохранения экологического баланса и снижения вредных выбросов и отходов от хозяйственной деятельности человека. Одним из главных загрязнителей атмосферы являются потребители топливно-энергетических ресурсов, сжигающие углеводородное топливо в своих целях. Именно поэтому в промышленно развитых странах популярны идеи так называемого «зелёного перехода» к экологически чистым видам энергоносителей. На протяжении последних 40 лет человечество пытается сократить выбросы парниковых и загрязняющих газов в атмосферу, основным производителем которых является транспорт, в первую очередь автомобильный.

На современном этапе развития автомобильной техники наиболее эффективными считаются методы снижения вредных выбросов с помощью очистки самих нефтепродуктов от серы, металлов и других примесей, имеющих в исходном сырье и добавляемых в процессе переработки с помощью обеднения горючей смеси и использования систем каталитической нейтрализации, дожигания и рециркуляции отработавших газов.

Однако, все эти методы подразумевают наличие сложных устройств в конструкции ДВС и систем отвода отработавших газов, которые имеют высокую стоимость, связанную с наличием в конструкции драгоценных металлов и жаропрочных материалов и сравнительно низкий ресурс по сравнению с жизненным циклом автомобилей, особенно грузовых, ресурс которых может составлять 1 млн. км. Такое положение приводит либо к снижению экологической безопасности современных автомобилей из-за выхода из строя систем очистки и дальнейшего их удаления с автомобиля, либо к высоким затратам на ремонт и поддержание этих систем, зачастую не сопоставимым с остаточной стоимостью всего автомобиля.

Известные способы очистки отработавших газов ДВС не обеспечивают очистку от вредных выбросов в пределах ПДК (предельно-допустимой концентрации). Это подтверждено нормами Евро 5, 6 и нашим исследованием в сравнении с каталитическим нейтрализатором [1-3].

Задачей нашего исследования является разработка устройства электроискровой очистки выхлопных газов автомобильных двигателей, позволяющего обойтись без применения дорогостоящих материалов и значительно снижающего стоимость и повышающего эффективность очистки выхлопных газов.

## 2 Материалы и методы

Для обоснования принципа работы предлагаемого устройства проведены теоретические исследования с целью обоснования его работоспособности и показателей эффективности его применения. Исследования проводились на стыке 4 наук: химия, физика, термодинамика и электроника (табл 1).

По патентам № 123463 [4] и № 154119 [5], а также [6, 7], очистка от вредных химических веществ производится согласно законам химии на основе принципов:

- 1) Принцип Гесса: «Молекулы вещества, состоящие из атомов, имеют электрический потенциал и внутреннюю энергию, энергию образования вещества, удельную энтальпию» [8, с. 205];
- 2) Принцип Дальтона: «В один и тот же объем можно поместить несколько объёмов газов, если они химически не взаимодействуют при небольших парциальных давлениях» [8, с. 31].

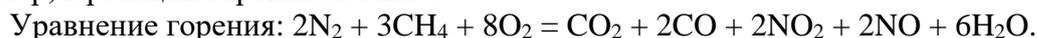
Первый принцип применён при очистке отработавших газов до степени соответствия ПДК (патент №123463) [4], второй принцип применён при очистке и рециркуляции отработавших газов (патент № 154119) [5].

На основании этих принципов очистка производится следующим образом: объёму отработавших газов, включающих оксиды CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, сообщается энергия электрического разряда, большая, чем внутренняя энергия, удерживающая атомы в молекуле, т.е. большая энергии образования вещества или удельной энтальпии. В этом случае происходит разрушение молекулы вредного вещества, оксиды превращаются в газы O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, не являющиеся вредными для здоровья человека.

Таблица 1 – Краткое описание взаимодействующих теорий

Химия	Физика	Термодинамика	Электроника
<p><b>ЗАКОН ГЕССА Н. И.</b> 1. Стандартное изменение энтальпии реакции равно сумме стандартных энтальпий образования продуктов реакции за вычетом суммы стандартных энтальпий. Стандартное изменение изобарного потенциала реакции равно сумме стандартных изобарных потенциалов образования веществ.</p> <p><b>2. ЗАКОН ДАЛЬТОНА Д.</b> Давление смеси газов, химически не взаимодействующих друг с другом равно сумме парциальных давлений газов, составляющих смесь. Это положение применимо к рециркуляции выхлопных газов после очистки. По патентам №154119 от 15.12.2014г. и №2714985 от 27.05.2019 г. очищенные отработавшие газы из устройства направляются в камеру сгорания двигателя, при этом экономия топлива может достигать до 40 %. Акты испытаний от 23.07.2014 г. на автомобиле МАЗ 3555 и Акт № 1 от 21.11.2016 г. (Ходовые испытания на автобусе ИКАРУС 260).</p>	<p><b>ЗАКОН сохранения энергии и материи</b> при различных превращениях вещества или его компонентов при реакции взаимодействия, когда одни вещества путем реакции превращаются в другие компоненты. Молекулы вредных веществ CO, NO<sub>2</sub> и другие расщепляются электроискровой обработкой до атомов C, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, которые уже не вредны для здоровья человека.</p>	<p>Первое начало термодинамики. <math>dQ = dU + AdL</math> (1), где <math>dQ</math> – энтальпия газов; <math>dU</math> – внутренняя энергия; <math>A\sum dL</math> – энергия внешних сил. Второй закон термодинамики. Энтропия. <math>dU = C_v dT</math> или <math>dQ = Tds</math>, где <math>C_v</math> – изохорная теплоёмкость газа; <math>dT</math> – изменение температуры газа; <math>Tds</math> – теплота, подводимая к газу. Максимальная работа: Согласно первому закону выражение (1) принимает вид <math>Tds = dU + AdV</math>, т.е. чтобы разорвать связи и получить атомы, не вредные для здоровья человека, надо иметь энергию большую, чем энтальпия: <math>Tds \gg dU</math>, эта энергия производится генератором при электрическом разряде.</p>	<p>Энергия, производимая генератором, превосходящая энтальпию за счет частоты 4000 Гц, времени накопления энергии в период <math>T = 2,5 \times 10^{-4}</math> с и времени разряда <math>T_p = 10^{-8}</math> с. Энергия, установленная на генераторе 40 Вт, энергия, получаемая при электрическом разряде <math>57 \times 10^7</math> Вт/с превосходит энергию, установленную на генераторе в тысячи раз</p>

Из физики известен «Закон сохранения энергии, материи, массы», который был открыт Ломоносовым М.В. в 1748-1756 г. [8 с. 17]. «Превращение молекул сложных веществ в простые вещества – атомы, осуществляется и происходит на основании закона сохранения массы вещества. Сумма весов веществ до реакции и сумма весов веществ после реакции одинакова, например, в реакции горения метана».



Результаты после восстановления разрядом:  $(C + O_2) + 2(C + O) + (N_2 + 2O_2) + (N_2 + O_2) + (6H_2 + 3O_2)$ .

Полученные молярные массы:

2N <sub>2</sub>	14 · 4 = 56 г/моль,	CO <sub>2</sub>	12 + 16 · 2 = 44 г/моль,
3C	12 · 3 = 36 г/моль,	2CO	12 · 2 + 16 · 2 = 56 г/моль,
3H <sub>4</sub>	1 · 12 = 12 г/моль,	2NO <sub>2</sub>	14 · 2 + 16 · 4 = 92 г/моль,
8O <sub>2</sub>	16 · 16 = 256 г/моль,	2NO	14 · 2 + 16 · 2 = 60 г/моль,
-----		6H <sub>2</sub> O	1 · 12 + 16 · 6 = 108 г/моль,
	360 г/моль.	-----	
			360 г/моль.

Таблица 2 - Расчет необходимой энергии для разложения оксидов отработавших газов, исходя из реакции горения метана [9]

Оксиды	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Удельная энтальпия образования, ккал/моль	Содержание выбросов в выхлопных газах, мг/м <sup>3</sup>	Молекулярный вес, г/моль	Процентное содержание компонентов смеси, %	Доля каждого компонента в 1 м <sup>3</sup>	Содержание выбросов в мг/м <sup>3</sup> с учётом процентного объёма	Объём, занимаемый грамм-молекулой, м <sup>3</sup>	Количество молей в процентном объёме	Затраты энергии по разложению оксидов на элементы и атомы, ккал	Расчётная мощность энергии, Вт·ч
CO <sub>2</sub>	1,96	-94	1900	44	12,2	0,122	232	0,0224	5,37	-504,5	-585
2CO	1,25	-26,4	950	56	15,5	0,155	14,7	-	8,68	-22,9	-266
2NO	1,34	+21,6	13,5	60	16,7	0,167	2,25	-	10,02	+216	+251
2NO <sub>2</sub>	2,05	+8	2,188	92	25,6	0,256	0,56	-	23,55	+188	+218
6H <sub>2</sub> O	0,8	-57,8	-	108	30	0,3	-	-	32,4	-1873	-2172
Итого				360	100	1,0			80,4	2208	2562

\* 1 Мкал = 1,16 Вт·ч;

\*\* Знаки: + - экзотермическая реакция с выделением энергии; - эндотермическая реакция с поглощением энергии.

Чтобы пошла реакция расщепления молекул оксидов на атомы, требуется сообщить энергию электрического разряда большую, чем энергия, удерживающая атомы в молекуле, т.е. удельной энтальпии, энергии образования вещества [8 с. 205]. CO – 26,4 ккал/моль, NO – 21,6 ккал/моль.

Рассмотрим механизм получения импульсной мощности на генераторе и сравним его с необходимой потенциальной мощностью, удерживающей атомы в молекуле оксидов.

Установленная мощность импульсного генератора  $N = 30 \dots 40$  Вт, частота  $n = 4000$  Гц, период  $T_{\text{имп}} = 1/4000 = 2,5 \cdot 10^{-4}$  с, импульсная мощность  $N_{\text{имп}} = 40/2,5 \cdot 10^{-4} = 1,6 \cdot 10^5$  Вт/с. При работе устройства в течение 1 часа вырабатывается энергия  $1,6 \cdot 10^5 \cdot 3600 = 57 \cdot 10^7$  Вт·ч. А для расщепления 1 м<sup>3</sup> оксидов требуется 2562 Вт·ч (табл. 2).

Средний элементный состав бензинового топлива по массе:

$$m_C = 85 \% ; m_H = 14,5 \% ; m_O = 1 \% \text{ или в долях } - 0,855; 0,145; 0,001.$$

По формуле Менделеева Д.И. [9 с. 37] количество воздуха, необходимого для сгорания 1 кг топлива:

$$l_0 = 1/0,23 (8m_C/3 + 8m_H - m_O) = 1/0,23 (8 \cdot 0,855/3 + 8 \cdot 0,145 - 0,01) = 14,9 \text{ кг},$$

Объём этого воздуха составляет:

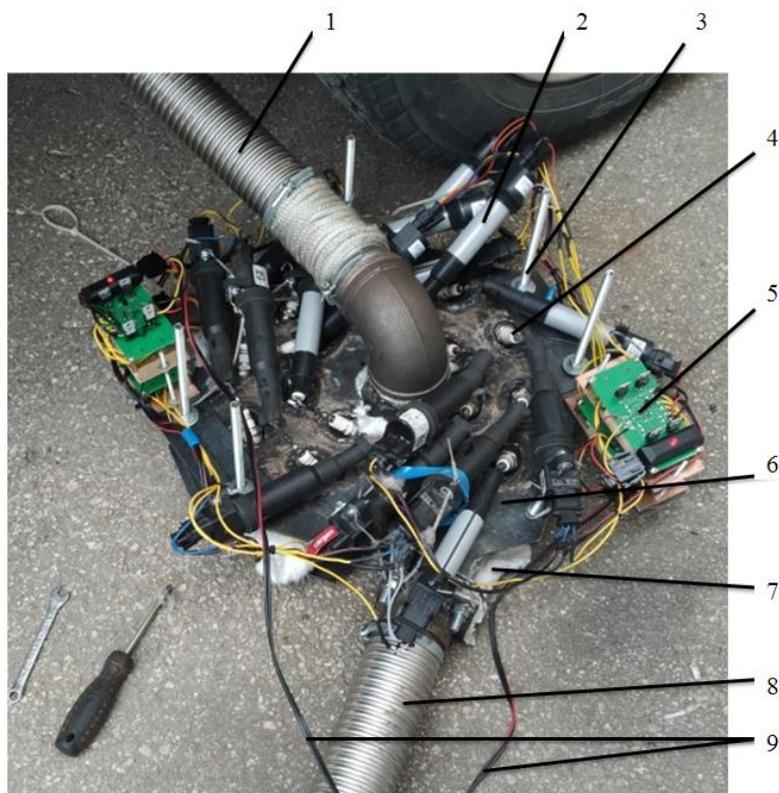
$$V = 14,9/1,29 = 11,5 \text{ м}^3,$$

где 1,29 кг/м<sup>3</sup> – плотность воздуха.

На очистку 1 м<sup>3</sup> отработавших газов требуется 2562 Вт·ч, а на 11,5 м<sup>3</sup>:

$$2562 \cdot 11,5 = 29463 = 2,95 \cdot 10^4 \text{ Вт·ч}.$$

Импульсный генератор (рис. 1) предлагаемого устройства для очистки отработавших газов вырабатывает  $57 \cdot 10^7$  Вт·ч, что в 19300 раз больше необходимой энергии. В ходе экспериментальных исследований подтвердилось, что в предлагаемом устройстве происходит очистка отработавших газов до уровня ПДК (предельно-допустимой концентрации) [1, 10-14].



1 – впускной патрубок, присоединяемый к выхлопной трубе автомобиля; 2 – индукционная катушка; 3 – соединительная шпилька; 4 – разрядник; 5 – генератор электрических импульсов; 6 – корпус реактора; 7 – уплотнитель корпуса реактора; 8 – выпускной патрубок; 9 – электропровода соединения с аккумулятором автомобиля

Рисунок 1 - Модернизированное устройство по очистке отработавших газов ДВС методом электроискровой обработки

Теоретическое обоснование процесса очистки и практическое применение способа опубликовано в ВИНТИ РАН от 02.03.2018 г. [11].

Из первого закона термодинамики  $dQ = dU + \sum dL$  [15 с. 30] имеем, что энтальпия газов, внутренняя энергия –  $dU$  и энергия внешних сил –  $\sum dL$  в сумме создают энергию  $dQ$ , воздействующую на систему и меняющую ее параметры: температуру и давление. Энергия связей есть внутренняя энергия, удерживающая атомы в молекуле-  $dU$ .

По второму закону термодинамики энтропия  $dU = C_v dT$  или  $dQ = Tds$ . Тогда максимальная работа согласно первому закону  $dQ = dU + \sum dL$  принимает вид  $Tds = dU + \sum dL$ , т.е. чтобы разорвать связи и получить атомы, надо иметь энергию большую, чем энтальпия:  $Tds \gg dU$ . Эта энергия производится импульсным генератором через индукционные катушки при электрическом разряде в предлагаемом устройстве очистки.

Электроника – наука, благодаря которой возможно получение необходимой энергии в импульсе генератора. Для расщепления молекул оксидов нужна энергия, превосходящая энтальпию оксидов за счет частоты 4000 Гц, времени накопления энергии  $T = 2,5 \cdot 10^{-4}$  с и времени разряда  $T_p = 10^{-8}$  с. Энергия, установленная на генераторе 40 Вт, при электрическом разряде генерирует энергию  $16 \cdot 10^4$  Вт·с, превосходящую энергию, установленную на генераторе в тысячи раз [16].

### 2.1 Расчет очистки от СО оксида углерода [2].

По экологическим стандартам токсичности отработавших газов автомобилями Евро-5,6 содержание СО в них должно быть не более 0,1 %.

На современных автомобилях очистка отработавших газов обеспечивается каталитическими нейтрализаторами [3]. Максимально допустимая концентрация СО в выхлопе современного автомобиля при плотности газа  $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$  составляет  $1250 \text{ мг/м}^3$ , что превышает ПДК в  $1250/5 = 250$  раз.

Проведённые экспериментальные исследования показали, что применение предлагаемой разработки [1] обеспечивает при начальной концентрации  $55,9 \text{ мг/м}^3$ , концентрацию после очистки  $5,4 \text{ мг/м}^3$ , то есть степень очистки достигает 90,4 %. А превышение ПДК в данном случае составляет всего  $0,4 \text{ мг/м}^3$  или 8 %.

### 2.2 Расход свободного кислорода при горении топлива [17].

По формуле Менделеева Д.И. на 1 кг топлива при сжигании требуется 14,9 кг воздуха (см. с. 3 в настоящей статье). В воздухе по массе содержится кислорода 23,15 % [18 с. 5]. При сжигании 1 кг топлива расходуется  $14,9 \cdot 0,2315 = 3,45$  кг кислорода. В 1969 г. на сжигание топлива во всём мире было израсходовано 13 млрд. тонн кислорода [18 с. 3]. В настоящее время сжигается ежегодно 9 млрд. т. топлива, на что затрачивается 31 млрд. т. кислорода. То есть расход кислорода на хозяйственную деятельность увеличился в 2,5 раза. Дальнейшее увеличение расхода кислорода ведёт к снижению его концентрации в воздухе, что уже сейчас можно наблюдать в крупных городах и промышленных центрах, поскольку растения не успевают восстанавливать баланс кислорода в воздухе даже до уровня ПДК 18 %, при необходимости для нормальной жизнедеятельности норме в 20 % [19]. Таким образом может наступить период кислородного голодания.

Одним из способов снижения потребления кислорода воздуха и даже восстановления его концентрации в воздухе можно считать предлагаемую электроискровую обработку отработавших газов.

## 3 Результаты исследований

В таблицах 3-6 приведены результаты апробирования устройства на автомобилях ЗИЛ-130, МАЗ-3555, автобусе ИКАРУС 260, Рено-Логан, КИА-Сид, ГАЗ-А23R32, и дизель-генераторе Д 234.

Данные таблицы № 3 по моторным испытаниям устройств позволили построить графическую зависимость степени очистки отработавших газов ДВС от частоты вращения коленчатого вала, (рис. 2, 3), и вывести формулу (1) зависимости значения коэффициента эффективности очистки ОГ:

$$F = U \cdot \sqrt{n}, \quad (1)$$

где  $F$  – степень очистки ОГ от определённого газа,  $\text{мг/м}^3$ ;  $U$  – коэффициент эффективности очистки ОГ;  $n$  – частота вращения коленчатого вала ДВС,  $\text{мин}^{-1}$ .

Таблица 3 – Показатели токсичности ОГ двигателя при экспериментальных исследованиях

№ п/п Модель автомобиля Акт испытания Организация	Документы Лаборатории хим. анализа Ряз. универ. им. Есенина	Степень очистки от CO, мг/м <sup>3</sup>			Степень очистки от CO в сравнении с ПДК по CO-5мг/м <sup>3</sup> %	Выход кислорода, %	Установленная мощ- ность генератора, Вт	Количество разрядников	Частота, Гц	Импульсная мощность, Вт/с.	Конст. реактора. Модель	Газоана- лизатор
		6000 об/мин	6000 об/мин									
1. Лаборатория Устройство Лабораторное	Протокол № 28 от 06.05.11г.	Без устр. 43,75	С устр. 14,35		59	0	30	4	400	1,6 · 10 <sup>4</sup>	Д = 40 мм L = 100 мм K = 1	АНКАТ- 310-03
2. Лаборатория Устройство Лабораторное	Протокол № 125 от 07.10.11г.	Без устр. 41,88	С устр. 5,94		86	1,24	30	8	1200	4,8 · 10 <sup>4</sup>	Д = 60 мм L = 200 мм K = 1	
3. Модель ЗИЛ-431516 Акт испытаний от 18.02.13г. Рязанский Водоканал	Протокол № 8 от 18.02.13г.	900 мин <sup>-1</sup> Без устр. 55,9 С устр. 5,4	2500 мин <sup>-1</sup> Без устр. 64,3 С устр. 7,4	5000 мин <sup>-1</sup> Без Устр. 68,3 С устр. 7,8	91,4	0,8	40	8	2000	8 · 10 <sup>4</sup>	Д = 60 мм L = 200 мм K = 2	
4. Модель ЗИЛ-431516 Акт испытаний от 31.05.13г. Рязанский Водоканал	Протокол № 9 от 31.05.13г. Диоксид углерода CO <sub>2</sub> до очистки после очистки	Без устр. 52,7 С устр. 5,4 12,6 5,7	Без устр. 60,5 С устр. 7,5 15,8 5,2	Без устр. 68,3 С устр. 7,8 17,1 6,6	91,4	5,8	40	8	4000	16 · 10 <sup>4</sup>	Д = 60 мм L = 200 мм K = 3	
5. Модель МАЗ 3555 Акт испытан 23.07.14г. Ряз.опытный за- вод с рецирк. вы- хлопных газов	Протокол №10 от 29.09.14г. CO <sub>2</sub> до очистки после очистки	Без 32 С устр. 9,94 12,67 10,8	Без 34 С устр. 12,23 13,55 11,2	Без 36 С устр. 13,4 14,05 11,67	64	13,55	40	8	4000	16 · 10 <sup>4</sup>	Д = 60 мм L = 200 мм K = 4	АНКАТ- 310-03
6. Автобус ИКАРУС 260 Акт №1 испытаний от 21.11.16г Ряз.автоколонна 1310 с рециркул. выхлопных газов	Протокол № 11 от 11.10.16г.	Без устр. 74 С устр.43	Без устр. 69 С устр.40	Без устр. 63 С устр.36	40	0	40	8	4000	16 · 10 <sup>4</sup>	Д = 120 мм L = 250 мм K = 5	
7. ООО Мещер. Науч. Тех. Центр от 10,08.18г. Автомобиль Рено Логан	Отчёт о резуль- татах замеров	Без устрой- ства 9645±1447	С устройством 1664±250		5000 мин <sup>-1</sup> Без устр. NO <sub>2</sub> 15±4 мг/м <sup>3</sup> NO 24±6 мг/м <sup>3</sup>	5000 мин <sup>-1</sup> С устр. NO <sub>2</sub> <1 мг/м <sup>3</sup> NO 17±4 мг/м <sup>3</sup>	40	8	4000	16 · 10 <sup>4</sup>	Ромб L = 350 мм H = 50 мм K = 6	Полар

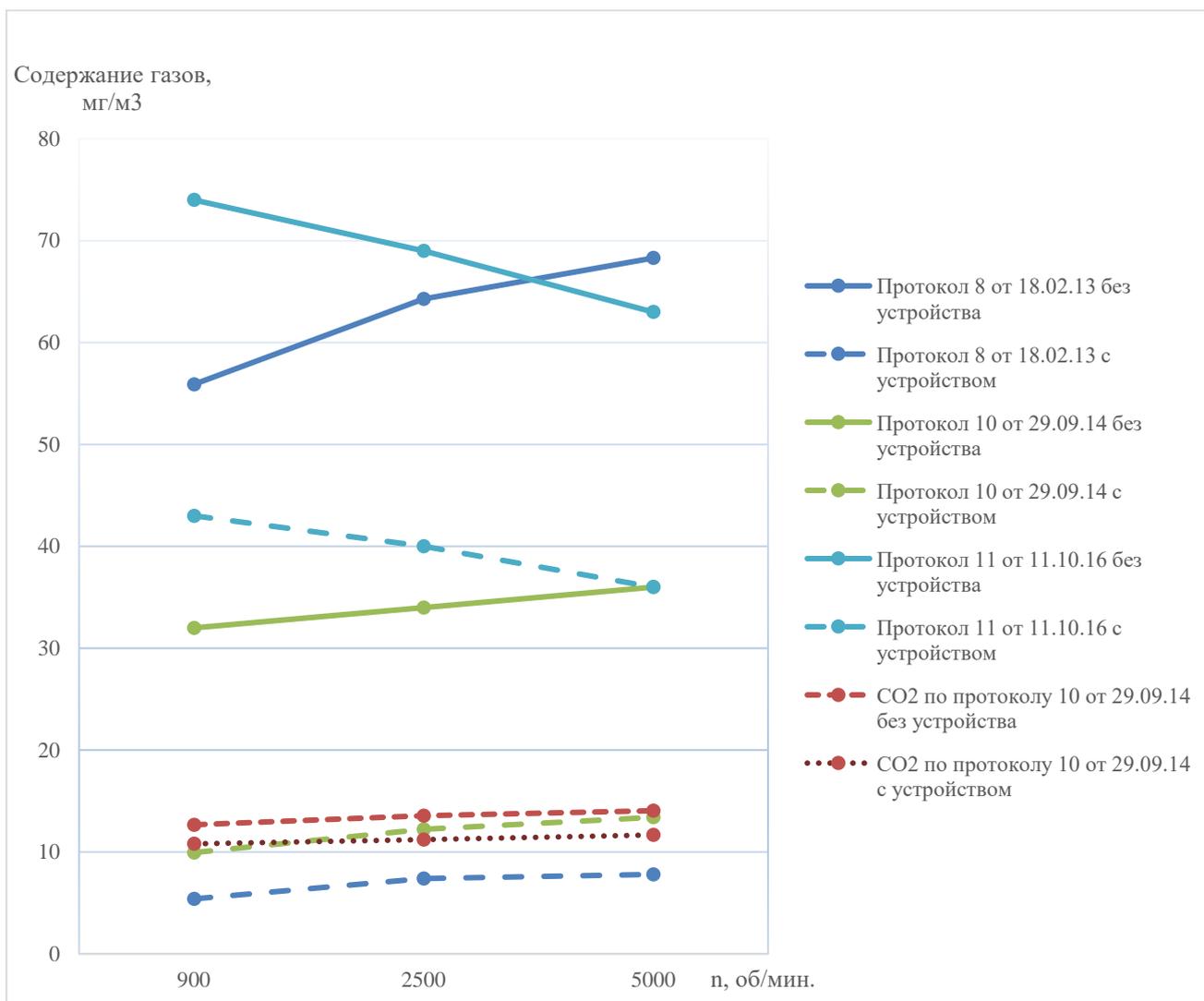


Рисунок 2 – Сравнительная характеристика содержания CO и CO<sub>2</sub> при испытаниях устройства очистки отработавших газов в 2013-2016 годах

Исследования проводились в десяти организациях, на семи двигателях разных конструкций и назначения, при этом апробировалось семь моделей устройств для очистки отработавших газов. При испытаниях произведено 122 экспериментальных измерения. Все устройства показали положительные результаты: высокая степень очистки отработавших газов от угарного газа вплоть до показателей ПДК, с выходом кислорода до 9,7 % (табл. 4). Причём кислород образуется именно в результате расщепления CO, а не по причине неполного сгорания топлива.

Наиболее наглядно положительный эффект от использования предлагаемого устройства можно продемонстрировать в сравнении с штатным каталитическим нейтрализатором, установленным на автомобиле (табл. 5, рис. 4).

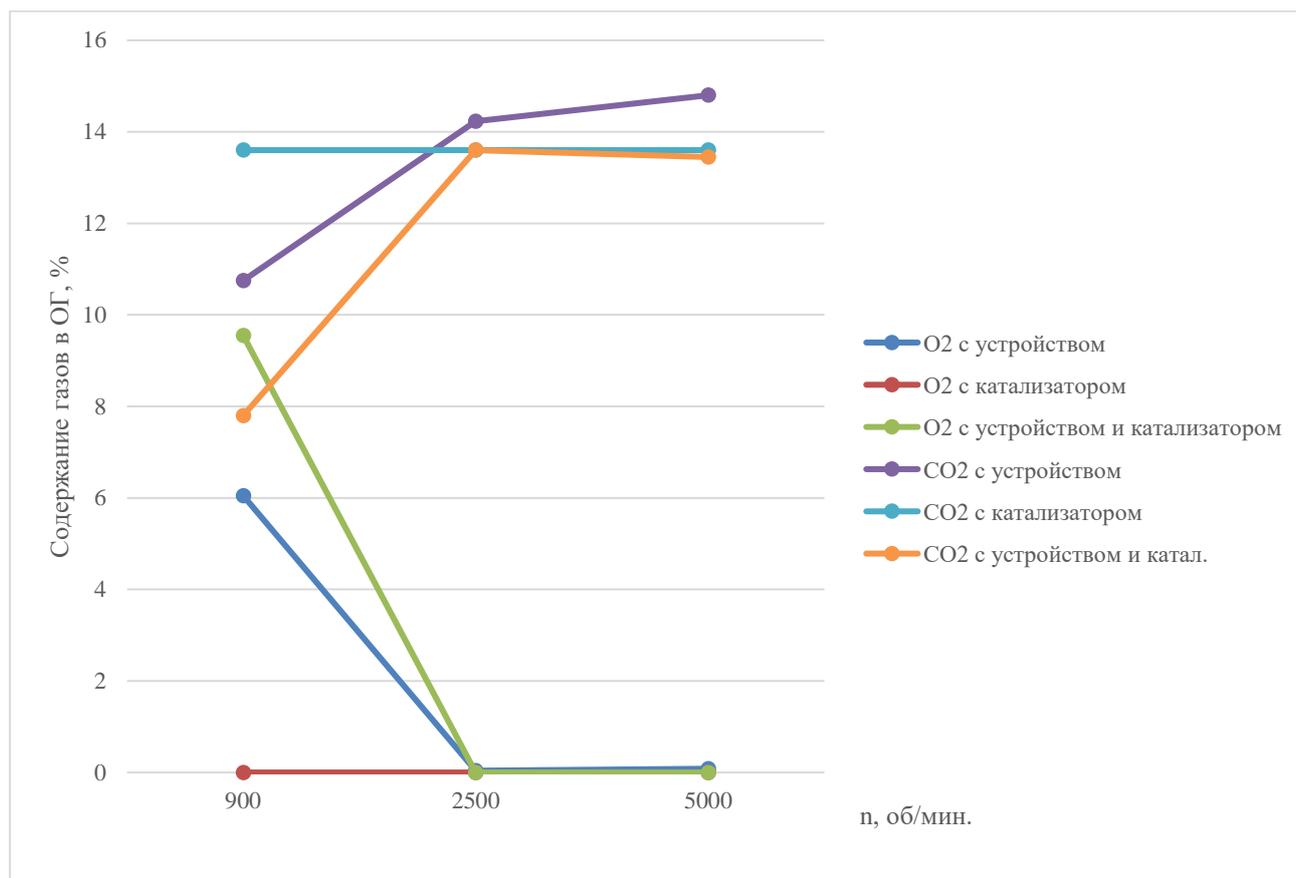


Рисунок 3 – Концентрация O<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> в отработавших газах бензинового двигателя при испытаниях 05.07.2019 года

Таблица 4 – Показатели токсичности ОГ двигателя при экспериментальных исследованиях в лаборатории университета им. Н.Э. Баумана 26.07.2018 г.

№ опыта	Частота вращения коленвала, мин <sup>-1</sup>	CO, %	CH, %	CO <sub>2</sub> , %	O <sub>2</sub> , %	NO <sub>2</sub> , ppm	Дымность, %	Газоанализатор
Без устройства								
1	1584	0,042	45	1,735	18,46	177	0	ИНФРАКАР-М
2	1542	0,044	42	3,429	15,94	480	0	
3	1500	0,033	37	5,86	12,34	1083	0	
4	1470	0,048	35	9,578	6,806	1292	46	
5	1503	0,027	31	5,956	12,09	1127	1	
С устройством								
1	1584	0,012	4	1,846	18,35	174	0	ИНФРАКАР-М
2	1536	0,012	5	3,555	15,84	489	0	
3	1500	0,012	6	5,996	12,32	1109	0	
4	1470	0,029	9	8,81	8,124	1538	20	
5	1503	0,013	9	6,11	11,98	1141	0	

Испытательная установка – Дизель-генератор Д-234, мощность 35 кВт; Конструкция устройства очистки отработавших газов: Мощность генератора – 40 Вт, количество разрядников – 8, реактор устройства – труба  $\varnothing 60$  мм,  $L = 350$  мм,  $H = 50$  мм; Модель К-3.

Таблица 5 – Показатели токсичности ОГ двигателя при экспериментальных исследованиях в Рязанском институте (филиале) Московского политехнического университета 05.07.2019 года

Режимы испытаний	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Концентрация CO, %	Концентрация CH, ppm	Концентрация O <sub>2</sub> , %	Концентрация CO <sub>2</sub> , %	Газоанализатор
Этап 1. С устройством для очистки отработавших газов и непрогретым штатным нейтрализатором						
1	900 (XX)	0,01	0,47	5,8-6,3	10,75	ИНФРАКАР М
2	2500	0,02	0,49	0,04	14,23	
3	5000	0,04	0,49	0,08	14,8	
Этап 2. Без устройства для очистки отработавших газов с прогретым штатным нейтрализатором						
1.	900(XX)	0,01	0,11-0,17	0	13,59	ИНФРАКАР М
2.	2500	0 - 0,01	0,11-0,21	0	13,59	
3.	5000	0- 0,01	0,17	0	13,59	
Этап 3. С устройством для очистки отработавших газов и прогретым штатным нейтрализатором						
1.	900 (XX)	0-0,01	0,09	9,4-9,7	7,7-7,9	ИНФРАКАР М
2.	2500	0,01	0,19	0	13,57	
3	5000	0-0,03	0,16-0,17	0	13,45	

Испытательная установка – Автомобиль KIA CEED 1,6 2WD 2012 г.в., Конструкция устройства очистки отработавших газов: Мощность генератора – 40 Вт, количество разрядников – 8, реактор устройства – ромб,  $L = 350$  мм,  $H = 50$  мм; Модель К-6.

Таблица 6 – Показатели токсичности ОГ двигателя при экспериментальных исследованиях в Рязанском институте (филиале) Московского политехнического университета 29.07.2021 года

Режимы	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Концентрация CO, %	Концентрация CH, ppm	Концентрация O <sub>2</sub> , %	Концентрация CO <sub>2</sub> , %	Газоанализатор
Этап 1. Без устройства с прогретым штатным нейтрализатором						
1	750	0,02-0,09	43-190	18,7	1,64-1,93	ИНФРАКАР - М 0.1
2	2000	0,07-0,15	64-156	18,25	1,8-2,06	
3	4000	0,15-0,16	178-218	16,73	3,7-4,27	
Этап 2. С устройством и прогретым штатным нейтрализатором						
1.	750	0-0,03	25-50	18,71	1,16-1,29	ИНФРАКАР - М 0.1
2.	2000	0-0,09	0-99	18,21	1,46-2,02	
3.	4000	0-0,1	0-90	16,53	2,65-2,9	
Погода: давление 742 мм рт.ст.; влажность 71%; температура $t = 23,4^{\circ}$ С.						

Испытательная установка – Автомобиль ГАЗ-А23R32, мощность 130 кВт; Конструкция устройства очистки отработавших газов: Мощность генератора – 40 Вт, количество разрядников – 16, реактор устройства – улитка, спираль Архимеда, 400x400x180 мм, длина реактора 1100 мм, Модель К-7.

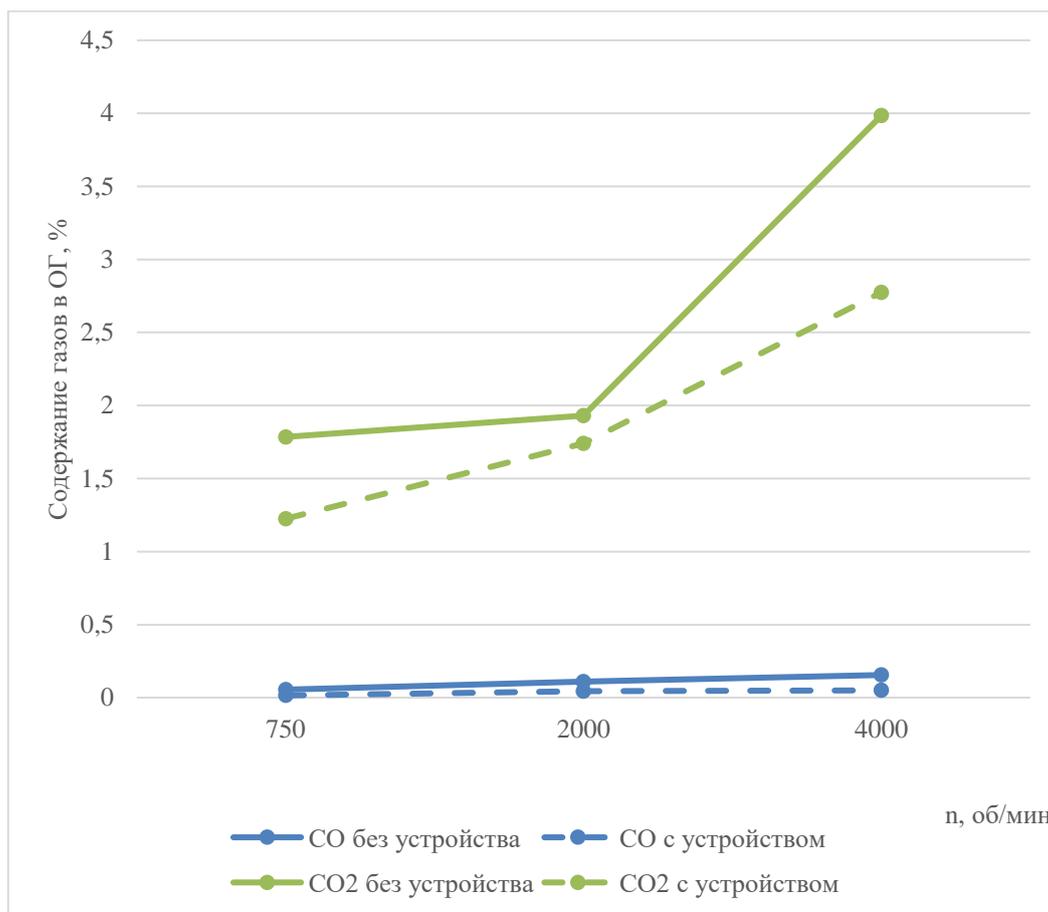


Рисунок 4 – Концентрация CO и CO<sub>2</sub> в отработавших газах дизельного двигателя при испытаниях 29.07.2021 года

Разберём результаты исследований, представленные в виде таблиц 3-6.

Например, протокол № 9 [1]. Значение токсичности после очистки составляет величины 5,4; 7,5; 7,8 - мг/м<sup>3</sup> и превышает ПДК – 5 мг/м<sup>3</sup> для CO в 5,4/5 = 1,08 раз; 7,5/5 = 1,5 раз; 7,8/5 = 1,56 раз).

Допускаемая нормативами концентрация CO 0,01%, при плотности газа 1,25 кг/м<sup>3</sup>, соответствует 125/1 = 125 мг/м<sup>3</sup>, что превышает ПДК в 125/5 = 25 раз. Получается, что устройство позволяет очистить выхлопные газы от угарного газа CO практически до уровня ПДК сразу на выходе из выхлопной трубы.

Кроме очистки от CO, производилась очистка от CO<sub>2</sub>- [1] (см. табл.2 № п/п 5-6). Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что очистка предлагаемым устройством позволяет снизить и содержание углекислого газа в составе отработавших газов.

На автобусе ИКАРУС 260 устройство работало с рециркуляцией выхлопных газов. Скорость движения автобуса в среднем была в пределах 20-30 км/ч. При испытании с рециркуляцией отработавших газов ОГ после очистки направлялись в камеру сгорания ДВС. По Акту №1 при ходовых испытаниях (см. табл. 3 № п/п 6) уровень CO превышал ПДК в 8 раз [14].

#### 4 Обсуждение и заключение

4. 1 Одним из способов очистки атмосферного воздуха можно считать использование электрических разрядов для расщепления вредных веществ в отработавших газах.

4. 2 Предлагаемую технологию и устройство электроискровой обработки можно применить для очистки отработавших газов ДВС.

4. 3 Предлагаемая технология и устройство позволяют кардинально улучшить состояние атмосферного воздуха в РФ при широком внедрении на транспорте и в промышленности.

4. 4 Восстановление свободного кислорода, утраченного при горении топлива, снижает риск наступления возможного кислородного голодания в будущем.

4. 5 Расщепление углекислого газа в предлагаемом устройстве позволяет решить вопрос парникового эффекта и потепления климата.

4. 6 Применение предлагаемой технологии очистки отработавших газов совместно с рециркуляцией, даёт возможность повысить топливную экономичность за счёт повторного использования восстановленного углерода, а также снизить вредные выбросы в атмосферу воздуха.

4. 7 Предлагаемое устройство, за счёт использования стандартных изделий и отсутствия драгоценных металлов в составе, дешевле существующих аналогов, как при изготовлении, так и при монтаже на новые автомобили и оснащении эксплуатируемого транспорта, не требует реконструкции промышленности, решает вопросы экологии, очищая выбросы до уровня ПДК.

4. 8 Перспективным направлением для дальнейшего исследования является очистка вредных выбросов из труб большого диаметра, т.е. из труб промышленных предприятий, ЖКХ и нулевые выбросы при рециркуляции отработавших газов, что соответствует государственной программе РФ декарбонизации.

### Список литературы

1 Протокол № 9 Количественного химического анализа проб воздуха из выхлопной трубы ЗИЛ 431516 № 0438 Е 62 от 31.05.2013 г. Лаборатория химического анализа Рязанского государственного университета им. С.А. Есенина.

2 Колесников В.П. и др. Результаты испытания устройства для очистки отработавших газов двигателя внутреннего сгорания [Текст] / Колесников В.П. и др. // ГРУЗОВИК –2020. –№3. – 11-15 с. ISSN: 1684-1298.

3 Колесников В.П. и др. Результаты испытания модернизированного устройства для очистки отработавших газов двигателя внутреннего сгорания [Текст] / Колесников В.П. и др. // Грузовик: транспортный комплекс, спецтехника –2022. –№5. –3-9 с. ISSN: 1684-1298, DOI: 10.36652/1684-1298-2022-5-3-9.

4 Патент на полезную модель № 123463. Устройство для очистки выхлопных газов [Текст] / Колесников В.П., Гейнц А.А.; заявители и патентообладатели Колесников В.П., Гейнц А.А. - №2012128257/06; заявл 03.07.2012; опубл. 27.12.2012 Бюл. №36.

5 Патент на полезную модель № 1541109. Устройство для очистки и рециркуляции выхлопных газов [Текст] / Колесников В.П., Половинкин И.М., Кучеренко С.Н.; заявитель и патентообладатель Колесников В.П. - №2014150727/06; заявл 15.12.2014; опубл. 20.08.2015 Бюл. №23.

6 Патент на изобретение № 2714985. Устройство для очистки и рециркуляции выхлопных газов [Текст] / Колесников В.П., Петров А.А.; заявитель и патентообладатель ЗАО «Лайттек Плюс» - 2019116198/06; заявл. 27.05.2019; опубл. 21.02.2020.

7 Патент на изобретение № 2764684. Устройство для очистки отходящих газов [Текст] / Колесников В.П., Петров А.А.; заявитель и патентообладатель ЗАО «Лайттек Плюс» - 2021100050/06; заявл. 11.01.2021; опубл. 19.01.2022.

8 Глинка Н.Л. Общая химия [Текст]: учебное пособие для ВУЗов / под ред. А.И. Ермакова. – Изд. 30-е, исправленное –М.: Интеграл-Пресс, 2003. – 728 с.

9 Колесников В.П. Переработка ТБО и промтоходов с целью нейтрализации выхлопных газов, вредных выбросов в атмосферу и очищение окружающей среды от твердых бытовых и промышленных отходов обработки [Текст]: монография – Рязань: «Поверенный», 2008 – 14 с.

10 Автомобильные двигатели [Текст] / под ред. д.т.н. М.С.Ховаха, – М., А22 «Машиностроение», 1977. – 591 с.

11 Колесников В.П. Энергосберегающая технология и устройство для очистки и рециркуляции выхлопных газов методом электроискровой обработки [Текст]. – Рязань, 2018 – 25 с. – Деп. в ВИНТИ РАН 02.03.2018 № 26-В2018.

12 Акт производственных испытаний устройства К-2 по очистке выхлопных газов Автомобиль ЗИЛ-431516 гос.№ 0438 ЕН 62 от 11.02.2013 г. МП Водоканал г.Рязань.

13 Акт производственных испытаний разработанного изготовленного ФГУП РОЗ Россельхозакадемии устройство К-4 по очистке выхлопных газов с рециркуляцией выхлопных газов, проведенных на автомобиле МАЗ 3555 гос.№ 0090 ВК 62 от 23.07.2014.

14 Акт № 1 испытаний устройства К-5 для очистки и рециркуляции выхлопных газов на автобусе ИКАРУС 260 гос.№ АЕ 00362 RUS от 21.11.2016 г. (Рязанская автоколонна № 1310).

15 Жуковский В.С. Термодинамика [Текст]:/ под ред. А. А. Гухмана. – М.: Энергоатомиздат, 1983. - 303 с.

16 ЛАЗАРЕНКО Б.Р. и ЛАЗАРНКО Н.И. Электроискровая обработка токопроводящих материалов [Текст]: АКАДЕМИЯ НАУК СССР, Центральная научно-исследовательская лаборатория электрической обработки материалов – М.: Изд. Академии Наук СССР, 1958.

17 Коробкин В.И Экология и охрана окружающей среды: учебник [Текст]: В.И Коробкин, Л.В. Перельский. — М.: КНОРУС, 2013. — 336 с. ISBN 978-5-406-02033-3.

18 Матвеев А.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы [Текст]: – Л.: Гидрометиздат, 1984. – 751 с.

19 Государственная нормаль ГН 2.1.6.1338-03. ЕСКД [Электронный ресурс] // Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 30.05.2003 N 114 "О введении в действие ГН 2.1.6.1338-03" | ГАРАНТ (garant.ru).

### References

1 Protocol No. 9 of Quantitative chemical analysis of air samples from the exhaust pipe of ZIL 431516 No. 0438 E 62 dated 05/31/2013. Laboratory of Chemical Analysis of Ryazan State University named after S.A. Yesenin.

2 Kolesnikov V.P. et al. Test results of a device for cleaning exhaust gases of an internal combustion engine [Text] / Kolesnikov V.P. et al. // TRUCK -2020. –No.3. – 11-15 p. ISSN: 1684-1298.

3 Kolesnikov V.P. et al. Test results of an upgraded device for cleaning exhaust gases of an internal combustion engine [Text] / Kolesnikov V.P. et al. // Truck: transport complex, special equipment -2022. –№5. –3-9 S. ISSN: 1684-1298, DOI: 10.36652/1684-1298-2022-5-3-9.

4 Utility Model Patent No. 123463. A device for cleaning exhaust gases [Text] / Kolesnikov V.P., Heinz A.A.; applicants and patent holders Kolesnikov V.P., Heinz A.A. - No.2012128257/06; application 03.07.2012; publ. 27.12.2012 Byul. No.36.

5 Utility model patent No. 1541109. Device for cleaning and recirculation of exhaust gases [Text] / Kolesnikov V.P., Polovinkin I.M., Kucherenko S.N.; applicant and patent holder Kolesnikov V.P. - No. 2014150727/06; application 15.12.2014; publ. 08/20/2015 Issue No. 23.

6 Patent for invention No. 2714985. A device for cleaning and recirculation of exhaust gases [Text] / Kolesnikov V.P., Petrov A.A.; applicant and patent holder of CJSC Laittek Plus - 2019116198/06; application. 05/27/2019; publ. 02/21/2020.

7 Patent for invention No. 2764684. A device for cleaning exhaust gases [Text] / Kolesnikov V.P., Petrov A.A.; applicant and patent holder of CJSC Laittek Plus - 2021100050/06; application 11.01.2021; publ. 19.01.2022.

8 Glinka N.L. General chemistry [Text]: textbook for universities / edited by A.I. Ermakov. - Ed. 30th, revised –M.: Integral Press, 2003. – 728 p.

9 Kolesnikov V.P. Processing of solid municipal waste and industrial waste for the purpose of neutralizing exhaust gases, harmful emissions into the atmosphere and cleaning the environment from solid municipal and industrial waste processing [Text]: monograph – Ryazan: "Poverenny", 2008 – 14 p.

10 Car engines [Text] / edited by Doctor of Technical Sciences M.S.Hovakha, – M., A22 "Mechanical Engineering", 1977. – 591 p.

11 Kolesnikov V.P. Energy-saving technology and device for cleaning and recirculation of exhaust gases by electric spark treatment [Text]. – Ryazan, 2018 – 25 p. – Dept. in VINITI RAS 02.03.2018 No. 26-V2018.

12 Act of production tests of the K-2 device for exhaust gas purification Car ZIL-431516 state. No. 0438 EN 62 dated 02/11/2013 MP Vodokanal of Ryazan.

13 The act of production tests of the K-4 exhaust gas purification device with exhaust gas recirculation developed and manufactured by the Federal State Unitary Enterprise ROZ of the Russian Agricultural Academy, carried out on the MAZ 3555 state car. No. 0090 VK 62 dated 07/23/2014.

14 Act No. 1 of testing the K-5 device for cleaning and recirculation of exhaust gases on the IKARUS 260 state bus. No. АЕ 00362 RUS Dated 11/21/2016 (Ryazan convoy No. 1310).

15 Zhukovsky V.S. Thermodynamics [Text]:/ edited by A. A. Gukhman. – М.: Energoatomizdat, 1983. - 303 p.

16 LAZARENKO B.R. and LAZARNKO N.I. Electric spark processing of conductive materials [Text]: ACADEMY of SCIENCES of the USSR, Central Research Laboratory of Electrical processing of Materials - M.: Ed. Academy of Sciences of the USSR, 1958.

17 Korobkin V. And Ecology and environmental protection: textbook [Text]: V.And Korobkin, L.V. Peredelsky. — M.: KNORUS, 2013. — 336 p. ISBN 978-5-406-02033-3.

18 Matveev A.T. Course of general meteorology. Atmospheric physics [Text]: – L.: Gidrometizdat, 1984. – 751 p.

19 The state norm of GN 2.1.6.1338-03. ESKD [Electronic resource] // Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated 30.05.2003 No. 114 "On the introduction of GN 2.1.6.1338-03" | GARANT (garant.ru).

© Колесников В. П., Кирюшин И. Н., Ретюнских В. Н., Кулик С. Н., 2024