

УДК 621.43.068.4

UDC 621.43.068.4

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**К ТЕОРИИ СИЛОВОЙ ОЧИСТКИ  
ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНЫХ  
ДВИГАТЕЛЕЙ ОТ САЖЕВЫХ ЧАСТИЦ**

**TO THE THEORY OF STRENGTH OF DIESEL  
ENGINE EXHAUST GAS PURIFICATION OF  
SOOT PARTICLES**

Аукин Александр Андреевич  
магистр  
E-mail: aukin94@bk.ru

Aukin Alexander Andreevich  
master's degree  
E-mail: aukin94@bk.ru

Аванесян Андрей Михайлович  
ассистент  
РИНЦ SPIN-код = 7559-7264  
E-mail: Avanesyan.andrej@ yandex.ru

Avanesyan Andrey Mikhaylovich  
assistant  
RSCI SPIN-code = 7559-7264  
E-mail: Avanesyan.andrej@ yandex.ru

Леонтьев Николай Георгиевич  
к.физ.-мат.н., доцент  
РИНЦ SPIN-код=7015-9439  
e-mail: Lng48@mail.ru

Leontev Nikolay Georgievich  
Cand. of physico-math. Sci. assistant professor  
RSCI SPIN-code =7015-9439  
e-mail: Lng48@mail.ru

Оберемок Виктор Алексеевич  
к.т.н., доцент  
РИНЦ SPIN-код=6469-6072  
E-mail: Oberemok56@yandex.ru  
*Азово-Черноморский инженерный институт фил.  
ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный универ-  
ситет» г. Зерноград Ростовской области, Россия*

Oberemok Victor Alekseevich  
Cand.Tech.Sci., assistant professor  
RSCI SPIN-code = 6469-6072  
E-mail: Oberemok56@yandex.ru  
*Azov-Black Sea engineering institute of the Don  
state agrarian university, Zernograd, Rostov region,  
Russian Federation*

Проблема охраны окружающей среды от загрязнения токсичными продуктами, содержащихся в отработавших газах, является одной из наиболее актуальных в современном мире. Наиболее токсичными из них считаются оксиды азота и сажевые частицы. Попадая в окружающую среду и организм человека, они вызывают тяжёлые хронические заболевания, существенно ухудшают качество продукции животноводства и растениеводства. Разработанная система очистки газов SCR, технология плазменной очистки отработавших газов не нашли широкого практического применения из-за высокой стоимости. Анализ работ в области снижения токсичности отработавших газов показывает, что наиболее эффективно применение комбинированных средств очистки, включающих, как правило, механический, термический и каталитический способы очистки. Настоящая работа посвящена вопросу очистки выхлопных газов дизельных двигателей от твёрдых дисперсных частиц, возникающих в результате сгорания топлива и частично моторного масла. В работе отмечается, что углерод не обладает магнитными свойствами, поэтому использование магнитного поля в качестве действующего агента для очистки выхлопных газов от углеродных сажевых частиц невозможно. Очистка в центробежном поле требует создания конструктивно сложных центрифуг и малоэффективна. Рассматривается возможность очистки отработавших газов от сажевых частиц в электростатическом поле. Устройство представляет осадительный электрод, выполненный в виде цилиндра, и центральный осевой электрод, установленный на изолированной проставке внутри цилиндрического кор-

The problem of environmental protection from the contamination by toxic products, contained in the exhaust gases, is one of the most topical in the modern world. Nitrogen oxides and soot particles are the most toxic. Getting into the environment and the human body, they cause heavy chronic disease and significantly impair the quality of animal and plant products. The developed gas purification system SCR, the technology of plasma purification of exhaust gases have not found wide practical applications because of their high value. The study of papers dedicated to reducing exhaust gas toxicity shows that the use of combined means of purification, which usually include mechanical, thermal and catalytic methods of purification, is the most effective. Our work deals with the issue of purifying the diesel engine exhaust from fine particulate matter resulting in the combustion of fuel and oil motor partly. The article notes that the carbon is not magnetic, so the use of a magnetic field acting as an agent for the purification of exhaust gas from the carbon soot particles is impossible. The purification in a centrifugal field requires the creation of structurally complex centrifuges, so it is ineffective. We consider the possibility of purifying the exhaust gases from the soot particles in the electrostatic field. The device presents the collecting electrode, which is shaped as a cylinder, and an axial central electrode, which is mounted on an insulated spacer within the cylindrical body. The study deals with the physical and mathematical simulation of processes occurring in the proposed device of the purifica-

пуга. В работе рассматриваются вопросы физического и математического моделирования процессов, протекающих в предлагаемом устройстве очистки отработавших газов. Из равенства кулоновской силы и силы Стокса определена величина напряженности электростатического поля, необходимой для очистки выхлопных газов от сажевых частиц. Определена требуемая длина осадительного электрода

Ключевые слова: САЖЕВЫЕ ЧАСТИЦЫ, ДИЗЕЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ТОКСИЧНЫЕ КОМПОНЕНТЫ, ОТРАБОТАВШИЕ ГАЗЫ, СИЛОВОЕ ПОЛЕ; ОСАЖДАЮЩИЙ ЭЛЕКТРОД, ОСЕВОЙ ЭЛЕКТРОД; ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

tion of exhaust gases. The equality of the Coulomb force and the Stokes force determines the magnitude of the electrostatic field strength that is necessary for the purification of exhaust gas from the soot particles. We have identified the desired length of the collecting electrode

Keywords: SOOT PARTICLES, DIESEL ENGINES, TOXIC COMPONENTS, EXHAUST GASES, FORCE FIELD; COLLECTING ELECTRODE, AXIAL ELECTRODE; ELECTROSTATIC FIELD

**Doi: 10.21515/1990-4665-127-058**

Проблема защиты окружающей среды от загрязнения токсичными компонентами отработавших газов, является одной из наиболее актуальных в современном мире. Общее количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу наземными транспортно-технологическими средствами, более чем в три раза превосходит выбросы промышленных предприятий.

Проблема выброса токсичных компонентов с отработавшими газами становится настолько актуальной, что в 2012 году Всемирная организация здравоохранения предложила запретить использование автомобилей с дизельными двигателями в городах Евросоюза.

Наиболее токсичными компонентами отработавших газов считаются оксиды азота и сажа. Последняя представляет собой твёрдый углеродный продукт, содержащий более 90% углерода, соли оксида серы (сульфаты), полициклические ароматические углеводороды, обладающие канцерогенным и мутагенным действием [1]. Отличительной особенностью сажи является её большая адсорбционная способность, объясняющая присутствие в ней наиболее токсичного компонента отработавших газов – бенз(а)пирена [2].

Существующие направления снижения токсичности отработавших газов можно разбить на четыре основные группы: совершенствование конструкции двигателей внутреннего сгорания; учет эксплуатационных факторов, влияющих на токсичность отработавших газов; применение нетра-

диционных топлив; очистка отработавших газов в выпускной трубе [3]

Анализ современных методов снижения токсичности отработанных газов показал, что наиболее эффективным и экономически целесообразным является применение нейтрализаторов совместно с сажевыми фильтрами [3].

В настоящее время становятся актуальны сажевые фильтры, работающие по принципу инерционной и диффузионной задержки частиц с помощью фильтрующих материалов. Их основной недостаток – быстрая забиваемость.

К недостаткам каталитического покрытия фильтрующих элементов следует отнести высокую стоимость.

Анализ работ в области конструирования нейтрализаторов отработавших газов показывает, что наиболее эффективно применение комбинированных средств очистки, включающих, как правило, механический, термический и каталитический способы очистки [4]. По данным исследований, выполненных в Тамбовском ГТУ [5], применение комбинированных устройств для очистки отработавших газов позволило снизить содержание в отработавших газах окиси углерода CO с 3,71 до 1,48 г/кВтч, суммарных углеводородов  $C_nH_m$  с 0,46 до 0,25 г/кВтч, оксидов азота  $NO_x$  с 4,31 до 1,94 г/кВтч и удовлетворить требованиям Евро-V по этим показателям.

Однако они не в полной мере отвечают требованиям Евро-5 и Евро-6 по содержанию твёрдых частиц в отработавших газах и требуют разработки принципиально новых методов решения поставленных задач [3].

Настоящая работа посвящена вопросу очистки выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания (ДВС) от твёрдых дисперсных частиц, возникающих в результате сгорания топлива и частично моторного смазочного масла.

Как известно, температура газов в камере сгорания дизельных двигателей достигает 2070 - 2570 К (1797 - 2297°C). В результате в продуктах

сгорания топлива, как и в продуктах дугового синтеза кроме фуллеренов [6] и нанотрубок [7,8] присутствуют прежде всего балк-частицы (от английского bulk – гряда) с характерным размером  $10^{-9} \text{ м} \leq R \leq 10^{-7} \text{ м}$ . В начале образования такие наноразмерные частицы имеют форму огранки в виде архимедовых тел (кубооктаэдров) [9].

Приведем справочные данные, которые потребуются в дальнейшем анализе. Температура выхлопных газов составляет 373К (100 °С). Плотность балк-частиц углерода  $\rho_T \approx 2,16 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Энергии ионизации (в электронвольтах) необходимые для того, чтобы от атома углерода последовательно оторвать один, два и три электрона равны соответственно 11,26 эВ, 24,38 эВ и 47,87 эВ. Значения динамической вязкости газов, входящих в состав выхлопных газов при 373К (100°С) равны для воздуха  $\eta_B = 2,18 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$ , окиси углерода CO  $\eta_{Oy} = 1,89 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$ , углекислого газа (двуокиси углерода) CO<sub>2</sub>  $\eta_{Dy} = 1,60 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$ , окиси азота NO  $\eta_{Oa} = 2,04 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$  и двуокиси азота окиси азота N<sub>2</sub>O  $\eta_{Da} = 2,04 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$  [10].

Рассмотрим возможные способы очистки отработавших газов от движущихся сажевых частиц под действием какого-либо силового поля.

Очевидно, что использование в качестве действующего агента поля сил тяжести нецелесообразно, ввиду малости потенциальной энергии по сравнению с энергией теплового движения частиц углерода.

Углерод – полупроводник - полуметалл и не обладает магнитными свойствами. Поэтому использование магнитного поля в качестве действующего агента для очистки выхлопных газов от углеродных частиц невозможно.

Предельный размер еще отделяемых частиц, для случая разделения частиц в центробежном поле в вязкой среде, определяется из выражения [11]:

$$d_{np} = 2,7 \sqrt{\frac{RT}{N_A(\rho_T - \rho_{CP}) \cdot \omega^2 \cdot r_u}} \quad (1)$$

где  $R=8,31$  – универсальная газовая постоянная, Дж/(мол К);

$T=373$  – абсолютная температура в выхлопной трубе, К;

$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  – число Авогадро, мол<sup>-1</sup>;

$\rho_{CP}$  – плотность газовой среды в выхлопной трубе, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_T$  – плотность углерода, кг/м<sup>3</sup>;

$r_u$  – радиус ротора центрифуги, м;

$\omega$  – угловая скорость вращения центрифуги, с<sup>-1</sup>;

Плотность газов в выхлопной трубе можно определить из уравнения состояния идеального газа Менделеева – Клапейрона:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT, \quad (2)$$

или

$$P \cdot \mu = \rho_{CP} RT, \quad (3)$$

где  $\mu = 0,029$  кг/моль – молярная масса воздуха.

Тогда  $\rho_{CP} \approx 0,87$  кг/м<sup>3</sup> что в  $3 \cdot 10^3$  меньше, чем  $c_T$ .

Таким образом, величиной  $\rho_{CP}$  по сравнению с  $c_T$  в дальнейших оценках можно пренебрегать.

По данным Г.И. Бреммера [11]  $d_{np} \approx (2...6) \cdot 10^{-7}$  м, что существенно превышает размеры балк-частиц углерода и делает невозможной полную очистку выхлопных газов ДВС от углерода с использованием поля центробежных сил в качестве действующего агента.

Поэтому наиболее перспективным следует считать вариант очистки выхлопных газов ДВС от углерода с использованием электростатического поля в качестве действующего агента.

Частица в газовой среде выхлопной трубы, находящейся в каком ли-

бо силовом поле, участвует в трех движениях:

1. Хаотическом тепловом, скорость которого  $V_T$  может быть оценена из формулы:

$$\frac{mV_T^2}{2} = \frac{3kT}{2}, \quad (4)$$

$$\frac{4\pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot V_T^2}{6} = \frac{3kT}{2}, \quad (5)$$

где  $r$  – радиус частицы углерода, м;

$k$  – постоянная Больцмана.

Если предположить, что частица углерода имеет сферическую форму радиуса  $r$ , то тогда  $V_T \approx 0,43$  м/с;

2. Направленном по оси трубы  $V_X$ , возникающем при выхлопе, вследствие разности давлений в цилиндре ДВС и снаружи. Скорость потока выхлопных газов можно определить из формулы гидродинамического давления

$$\Delta P = \frac{\rho \cdot V_X^2}{2}, \quad (6)$$

где  $\Delta P$  – избыточное давление на выходе из выхлопной трубы, Па;

$\rho$  – плотность выхлопных газов, кг/м<sup>3</sup>.

Если принять избыточное давление на выходе из выхлопной трубы  $\Delta P \approx 13,33$  Па, плотность выхлопных газов  $\rho = 0,94$  кг/м<sup>3</sup>, то осевая скорость газов в выхлопной трубе  $V_X = 5,3$  м/с.

3. Направленном  $\bar{V}_H$ , возникающем под действием силового поля.

В общем случае уравнение динамики движения частицы в вязкой среде при действии электростатического поля имеет вид

$$m \frac{d\bar{V}_H}{dt} = \bar{F}_T + \bar{F}_A + \bar{F}_K + \bar{F}_C, \quad (7)$$

где  $\bar{F}_T = m\bar{g}$  – сила тяжести, Н;

$$\bar{F}_A = \rho_{CP} \cdot V \cdot \bar{g} \text{ – сила Архимеда, Н;}$$

$$\bar{F}_K = q \cdot \bar{E} \text{ – кулоновская сила, Н;}$$

$$\bar{F}_C = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot V_H \text{ – сила Стокса, Н;}$$

$$m = 9 \cdot 10^{-18} \text{ – масса частицы, кг;}$$

$$V \text{ – объем частицы; м}^3\text{;}$$

$$q \text{ – заряд частицы, К;}$$

$$\bar{E} \text{ – напряженность электростатического поля, В.}$$

Элемент очистки конструктивно представляет горизонтально расположенные внешний цилиндрический и коаксиальный осевой электрод, установленный на изолированных металлических подставках (рисунок 1).

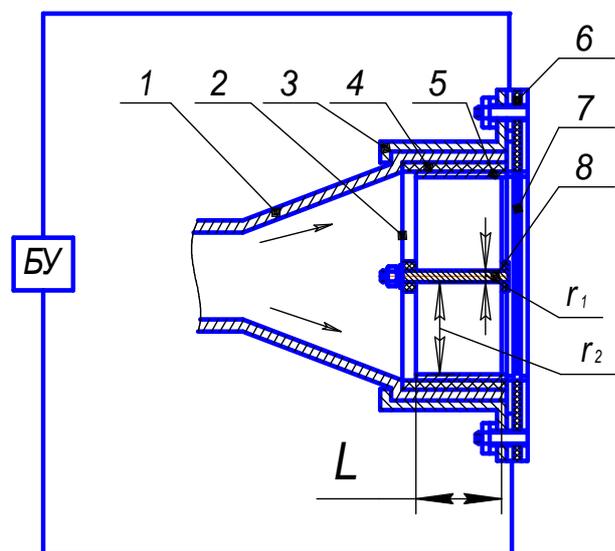


Рисунок 1 – Схема к расчёту параметров электростатической осадки сажевых частиц:

1 – внутренняя стенка цилиндра; 2 – диэлектрическая проставка; 3 – внешняя стенка цилиндра; 4 – диэлектрическая втулка; 5 – осаждающий электрод; 6 – диэлектрическая шайба; 7 – электрическая спираль; 8 – осевой электрод.

Напряженность поля осаждающего электрода равна

$$E = \frac{\sigma}{2\pi \cdot \epsilon_o \cdot r} = \frac{\Delta\varphi}{r \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}}, \quad (8)$$

где  $\sigma$  – линейная плотность заряда спирали, В/м;

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – электрическая постоянная.

$Дц$  – разность потенциалов между осевым электродом радиуса  $r_1$  и внешним электродом – трубой радиуса  $r_2$ .

Так как частицы углерода, вследствие ударной ионизации, заряжены положительно, то на осаждающий электрод подаётся отрицательный потенциал. Для получения разности потенциалов  $\Delta\varphi$  используется питаемый от аккумуляторной батареи 12V постоянного тока высоковольтный источник питания на контролере ТЛ494 с выходным трансформатором ТВС110ЛА. Используемый источник питания позволяет достичь выходного напряжения  $\Delta\varphi = 2 \cdot 10^3$  В.

Для исключения закорачивания устройства между внутренней 1 (рисунк 1) и внешней 3 стенкой размещена диэлектрическая втулка 4, выполненная из прокалённого пирофиллита с толщиной стенки 2 мм. Поскольку кинетическая энергия молекул в твердых телах при высоких температурах  $W_{ТТ} \approx 5,4...6,6$  эВ [12], то атомы углерода частично однократно ионизированы и заряд частицы равен:

$$q = N \cdot e = N \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}, \quad (9)$$

где  $e$  – элементарный заряд, Кл;

$N$  – число ионизированных атомов в частице.

При достаточно большой напряженности электростатического поля силой тяжести и силой Архимеда в уравнении (7) можно пренебречь и оно приобретает вид:

$$\frac{4\pi \cdot r^3 \cdot \rho_T}{3} \cdot \frac{dV_H}{dt} = \frac{\Delta\varphi \cdot q}{r \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}} - 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot V_H, \quad (10)$$

или

$$\frac{dV_H}{dt} + \beta V_H = \alpha, \quad (11)$$

где

$$\alpha = \frac{3\Delta\varphi \cdot q}{4\pi \cdot r^4 \rho_T \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}},$$

$$\beta = \frac{9\eta}{2r^2 \rho_T} = \frac{1}{\tau}, \quad (12)$$

где  $\tau = 7 \cdot 10^7$  с - время релаксации (установления) равномерного направленного движения к осаждающему электроду.

Таким образом, частицы углерода при движении к осаждающему электроду практически не будут достигать состояния установившегося равномерного движения и фактически будут совершать равноускоренное направленное движение.

Введем обозначение

$$V_\infty = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{\Delta\varphi \cdot q}{6\pi \cdot r^2 \ln \frac{r_2}{r_1} \eta}, \quad (13)$$

где  $V_\infty$  – установившаяся скорость, т.е. скорость через достаточно большое время, когда ускорение равно нулю и частица движется равномерно.

Тогда решение уравнения (11) при начальной скорости направленного движения частицы  $V_0 = 0$  имеет вид

$$V(t) = V_\infty (1 - e^{-t/\tau}), \quad (14)$$

где  $t$  – текущее время, с.

Поскольку  $\tau$  достаточно велико, то скорость направленного движения  $V_H$  существенно меньше установившейся скорости  $V_H(t) \ll V_\infty$  и частица движется практически равноускоренно.

Максимальную скорость движения наночастицы (в предположении её сферической формы и заряда, равного элементарному) к осадительному

электроду найдём из равенства потенциальной энергии наночастицы в электростатическом поле и кинетической энергии её направленного движения от осевого электрода к осадительному

$$\Delta\varphi \cdot q = \frac{mV_H^2}{2} = \frac{2\rho_T \cdot r^3 \cdot V_H^2}{3}, \quad (15)$$

При  $\Delta\varphi = 2 \cdot 10^3 \text{ V}$ ,  $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$  направленная скорость движения сажевой частицы  $V_H = 14,9 \text{ м/с}$ .

Длину осевого электрода  $L$  можно вычислить из условия равенства времени движения наночастицы вдоль осевого электрода и между электродами в цилиндрическом электростатическом поле

$$\frac{r_2 - r_1}{V_H} = \frac{L}{V_{OC}}, \quad (16)$$

Откуда  $L = 0,07 \text{ м}$ . Однако, такая величина может быть заниженной ввиду малости выбранного суммарного заряда наночастицы. В действительности частица с размерами  $10^{-9} \text{ м} \leq R \leq 10^{-7} \text{ м}$  может содержать от 6 до 30 атомов углерода.

Обычно в твёрдых телах только один из десяти атомов ионизированы, поэтому заряд наночастицы такого размера может достигать  $4,8 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ . Поэтому длину осевого электрода следует принять равной  $0,1 \text{ м}$ .

Из равенства кулоновской силы и силы Стокса можно оценить величину напряженности электростатического поля, необходимой для очистки выхлопных газов от сажевых частиц. Очиститель будет работать эффективнее, если увеличивать напряженность электростатического поля (подаваемую разность потенциалов). Но здесь существует ограничение - напряженность электростатического поля не должна превышать напряженности пробоя газового промежутка ( $\approx 13 \cdot 10^5 \text{ В/м}$ ). Следовательно подаваемая разность потенциалов не должна превышать  $\Delta\varphi \leq 10^6 \text{ В/м}$ . Из этих соображений нами принята подаваемая разность потенциалов  $\Delta\varphi = 2 \cdot 10^3 \text{ V}$ .

Приведенные здесь соображения справедливы при условии, что поток газов в выхлопной трубе ламинарный. Для этого необходимо, чтобы число Рейнольдса

$$Re = \frac{\rho \cdot \bar{V}_H \cdot d}{2\eta} \leq 10^2, \quad (17)$$

Для рассматриваемого случая  $Re = 0,26$ . Условие ламинарности  $Re \leq 10^2$  выполняется, если предполагать, что балк-частицы углерода имеют сферическую форму. Однако, согласно исследованиям [13], частицы таких тел имеют форму октаэдров, кубооктаэдров и т.п. В результате сила Стокса  $F_c$  возрастает примерно в четыре раза [13]. Следовательно, обтекание газом сажевых частиц приближается к турбулентному и скорость установившегося движения последних уменьшается, что приведёт к некоторому снижению эффективности очистки выхлопных газов от углерода.

Таким образом, проведённые исследования показали что:

– использование в качестве действующего агента для очистки отработавших газов от сажевых частиц поля сил тяжести нецелесообразно, ввиду малости потенциальной энергии по сравнению с энергией теплового движения частиц углерода;

– использование магнитного поля в качестве действующего агента для очистки выхлопных газов от углеродных частиц невозможно вследствие того, что углерод не обладает магнитными свойствами;

– незначительные размеры балк-частиц углерода делают невозможной полную очистку выхлопных газов ДВС от сажевых частиц с использованием поля центробежных сил в качестве действующего агента.

В результате теоретических исследований предложен метод очистки отработавших газов от сажевых частиц в электростатическом поле. Определены основные параметры электростатического фильтра.

### Литература

1. Бояренко, А.Г. Экологические показатели дизелей и пути их улучшения/А.Г. Бояренко, В.М. Подчинок, А.В. Пархоменко//Тракторы и сельхозмашины, - 2015. - №4. – С.5-8.
2. Строков, А.П. Современные методы очистки отработавших газов от твёрдых частиц / А.П. Строков, А.Н. Кондратенко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. – №2. – С.99-103.
3. Оберемок В.А. Современные методы и средства снижения токсичности отработавших газов дизельных двигателей / В.А. Оберемок, А.В. Жученко, А.М. Аванесян, А.А. Аукин // - Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. - № 9 (123). – IDA[article ID]:1221608048. – Режим доступа: <http://ej.Kubagro.ru/2016/09/pdf/48.pdf>, 0,938 у.п.л.
4. Чернецов, Д.А. Оптимизация параметров комбинированного устройства снижения токсичности отработавших газов дизелей/ Д.А. Чернецов, В.П. Капустин// Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – №3. – С. 5-8.
5. Чернецов, Д.А. Комбинированное устройство для снижения токсичности отработавших газов / Д.А. Чернецов, В.П. Капустин // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – №7. – С. 7-9.
6. Kroto H.W., Heath J.R., O`Braien S.C., Curl R.F., Smalley R.E. C<sub>60</sub>: Bckminsterfullerene // Nature. -1985. – V.318, №6042, - p.162-163.
7. Iijina S. Helical microtubes of grafitic carbon // Nature. -1991. – V.354, №6348, - p.56-58.
8. Iijina S., Ichibashi T. Single-shell carbon nanotubes of 1-nm diameter. // Nature. - 1993. – V.363, - p.603-605.
9. I. Leontyev, A. Kuriganova, L. Hennem, A. Rakhmatullin, N. Leontyev, N. Smirnova, V. Dmitriev Size dependence of the lattice parameters of carbon supported platinum nanoparticles: X-ray diffraction analysis and theoretical considerations //RSC Advances., (2014) 4, - P.35959–35965
10. Артеменко, А.И. Справочное руководство по химии / А.И. Артеменко. – Москва: Высшая школа, 2003. – 208 с.
11. Григорьев, М.А. Очистка масла и топлива в автотракторных двигателях/М.А. Григорьев. – Москва: Машиностроение, 1970. – 271 с.
12. Кикоин, А.К. Молекулярная физика /А.К. Кикоин, И.К. Кикоин. – Москва: Наука, 1976. – 463 с.
13. Стрелков, С.П. Механика / С.П. Стрелков. – СПб.: Лань, 2005. – 326с.

### References

1. Boyarenok, A.G. EНkologicheskie pokazateli dizelej i puti ih uluchsheniya/A.G. Borenok, V.M. Podchinok, A.V. Parhomenko//Traktory i sel'hozmashiny, - 2015. - №4. – p.5-8.
2. Strokov, A.P. Sovremennyye metody ochistki otrabotavshih gazov ot tvyordyh chastich / A.P. Strokov, A.N. Kondratenko // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – 2010. – №2. – p.99-103.
3. Oberemok V.A. Sovremennyye metody i sredstva snizheniya toksichnosti otrabotavshih gazov dizel'nyh dvigatelej / V.A. Oberemok, A.V. Zhuchenko, A.M. Avanesyan, A.A. Aukin // - Politematicheskij setevoy ehlektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [EHlektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2016. - № 9 (123). – IDA[article

IDJ:1221608048. – Rezhim dostupa: <http://ej.Kubagro.ru/2016/09/pdf/48.pdf>, 0,938 u.p.l.

4. Chernecov, D.A. Optimizaciya parametrov kombinirovannogo ustrojstva snizheniya toksichnosti otrabotavshih gazov dizelej/ D.A. Chernecov, V.P. Kapustin// Traktory i sel'hozmashiny. – 2013. – №3. – p. 5-8.

5. Chernecov, D.A. Kombinirovannoe ustrojstvo dlya snizheniya toksichnosti otrabotavshih gazov / D.A. Chernecov, V.P. Kapustin // Traktory i sel'hozmashiny. – 2013. – №7. – p. 7-9.

6. Kroto H.W., Heath J.R., O'Braien S.C., Curl R.F., Smalley R.E. C60: Buckminsterfullerene // Nature. -1985. – V.318, №6042, - p.162-163.

7. Iijina S. Helical microtubes of grafitic carbon // Nature. -1991. – V.354, №6348, - p.56-58.

8. Iijina S., Ichibashi T. Single-shell carbon nanotubes of 1-nm diameter. // Nature. - 1993. – V.363, - p.603-605.

9. I. Leontyev, A. Kuriganova, L. Hennem, A. Rakhmatullin, N. Leontyev, N. Smirnova, V. Dmitriev Size dependence of the lattice parameters of carbon supported platinum nanoparticles: X-ray diffraction analysis and theoretical considerations //RSC Advances., (2014) 4, - P.35959–35965.

10. Artemenko, A.I. Spravochnoe rukovodstvo po himii / A.I. Artemenko. – Moskva: Vysshaya shkola, 2003. – p.208.

11. Grigor'ev, M.A. Ochistka masla i topliva v avtotraktornyh dvigatelyah/M.A. Grigor'ev. – Moskva: Mashinostroenie, 1970. – p.271.

12. Kikoin, A.K. Molekulyarnaya fizika /A.K. Kikoin, I.K. Kikoin. – Moskva: Nauka, 1976. – p.463.

13. Strelkov, S.P. Mekhanika / S.P. Strelkov. – SPb.: Lan', 2005. – p.326.