

А.С. Кадыров, А.А. Ганюков, Б.К. Сарсембеков*,
Ж.Ж. Жунусбекова, К.А. Синельников

Карагандинский технический университет, Караганда, Казахстан
*Автор для корреспонденции: baurisk@mail.ru

Исследование процесса ультразвуковой очистки выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания

Аннотация. Авторами разработана и исследована математическая модель работы ультразвукового автомобильного глушителя, позволяющая рассчитать необходимые параметры для эффективной работы по очистке отработавшего газа автомобильного транспорта. Проведен эксперимент, доказывающий эффективность применения ультразвукового воздействия для очистки выхлопного газа автомобильного транспорта.

Рассмотрены силы, действующих на частицу газа, движущуюся в ультразвуковом автомобильном глушителе, определены значения скоростей движения коагулируемых частиц по горизонтали и вертикали, коэффициент коагуляции в ультразвуковом глушителе.

Эффективность применения ультразвукового воздействия на выхлопной газ автомобильного транспорта был доказан в ходе проведенного эксперимента и имеет перспективное развитие данного направления очистки аэрозолей от вредных примесей предложенным способом. По результатам эксперимента концентрации углеводорода СН уменьшилась более чем в 2 раза, при 1000 оборотах в минуту с 50 ppm/мин до 27 ppm/мин.

Ключевые слова: математическая модель ультразвукового глушителя, ультразвуковая очистка, выхлопные газы, ультразвуковой глушитель, коагуляция, двигатель внутреннего сгорания.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2021-137-4-18-28

Введение

Загрязнение городского воздуха является серьезной проблемой во всем мире, как в развитых, так и в развивающихся странах. Рост городского населения и увеличение объема моторизованного движения в городах привели к серьезному загрязнению воздуха, влияющему на окружающую среду и здоровье людей. Всемирная организация здравоохранения подсчитала, что в развивающихся странах рост загрязнения воздушного бассейна приводит к более чем 2 миллионам смертей в год, а также к различным случаям респираторных заболеваний. Одним из основных источников загрязнения воздуха является сектор автомобильного транспорта, коммерческая и промышленная деятельность также вносит свой вклад. Более 70-80% загрязнения воздуха в мегаполисах в развивающихся странах связано с выбросами транспортных средств, вызванными большим количеством старых транспортных средств, в сочетании с плохим техническим обслуживанием транспортных средств, неадекватной дорожной инфраструктурой и низким качеством топлива. В развитых странах агентства по мониторингу качества воздушного бассейна предоставляют текущую информацию о состоянии качества воздуха. Это помогает в оценке существующих политик и их эффективной реализации [1].

Повышение концентрации выхлопных газов приводит к увеличению заболеваний сердечно-сосудистой системы и легких. Уменьшение вредных выбросов выхлопных газов автомобилей является важной задачей при решении экологической проблемы загрязнения окружающей среды [2].

В настоящее время существует ряд способов очистки выхлопных газов от вредных примесей. Наиболее распространенные из них: сухой, влажный, электрический, каталитический и ультразвуковой метод газоочистки. Авторами исследован ультразвуковой метод очистки

выхлопного газа от вредных примесей. Произведено математическое моделирование процесса коагуляции газа в глушителе автомобильном глушителе [3,4,5].

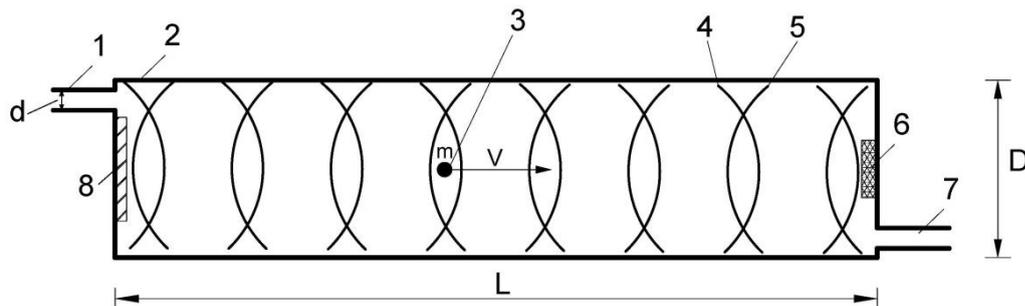
Математическое моделирование процесса коагуляции газа в глушителе

Коагуляция (от лат. coagulatio — свертывание, сгущение), также флокуляция (от лат. floculi — клочья, хлопья) — физико-химический процесс слипания мелких частиц дисперсных систем в более крупные под влиянием сил сцепления с образованием коагуляционных структур. [6,7]

Коагуляция ускоряется при воздействии ультразвука, который оказывает диспергирующее действие на эмульсии и жидкие золи, а на аэрозоли (дым, туман, пыль) оказывает коагулирующее действие. Это объясняется тем, что в газах возможны только продольные волны вызывающие сжатие. Поперечные волны вызывают деформационные сдвиги. В продольной волне частицы среды совершают колебания относительно своего среднего положения в направлении параллельном распространению волны [7,8].

Для осуществления математического моделирования процесса коагуляции частиц выхлопного газа в автомобильном глушителе под действием ультразвука необходимо аналитическим путем определить коэффициент коагуляции K и длину L на которой происходит осаждение сажи (коагуляционных частиц) на дно глушителя.

Рассмотрим упрощенную схему работы ультразвукового глушителя (Рисунок 1).



1 – входной патрубок; 2 – корпус глушителя; 3 – частица газа;
4, 5 – соответственно фронты движения прямой и обратной волны ультразвуковых колебаний; 6 – ультразвуковой излучатель; 7 – выходной патрубок; 8 – отражатель колебаний.

Рисунок 1. Упрощенная схема работы ультразвукового глушителя

В глушитель 2 через патрубок 1 диаметром d подается выхлопной газ, который выходит из емкости через трубу 7. На внутренних стенках глушителя размещены ультразвуковые излучатели 6 и отражатель волн 8. Излучатель формирует волну фронтом 4, а отражатель обратную волну фронтом 5.

В случае падения на отражатель (границу двух сред) плоскую границу двух сред возникают стоячие волны, так как отражающая среда и отражатель обладают разными акустическими сопротивлениями. В этом случае образуется зона стоячих волн, в которой интенсивно происходит коагуляция. Частицы газа массой m , в том числе и увеличенные в размерах, смещаются в сторону выхлопной трубы со скоростью V . Коагулирующиеся частицы осаживаются на дне глушителя, с наибольшей вероятностью ближе к выхлопному отверстию [9,10].

Рассмотрим схему сил, действующих на частицу газа массой m движущуюся в ультразвуковом глушителе (Рисунок 2).

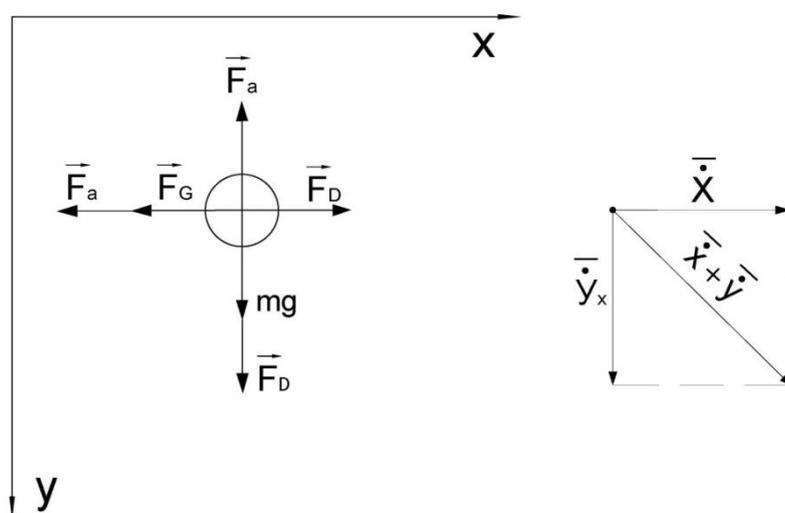


Рисунок 2. Силы, действующих на частицу газа и направление скоростей

По оси y на частицу действует сила тяжести mg , сила давления, которая создается ультразвуковым генератором F_a сила давления со стороны работающего двигателя F_D , сила трения частиц друг о друга F_G , учитывается по зависимости Бьеркнеса и представляющая собой гидродинамическое сопротивление [5].

Сила F_a определяется следующей зависимостью:

$$F_a = \pi r^2 A \rho c \omega \cos \omega \left(t - \frac{n}{c} \right), \quad (1)$$

где r – радиус частицы; A – амплитуда ультразвуковых колебаний; ρ – плотность частицы газа; c – скорость звука в среде газа; t – время; n – фазовая скорость; f – частота колебаний; $\omega = 2\pi f$.

Сила F_a определяется зависимостью определяющая давление для цилиндрического распределения звуковой волны.

Сила давления F_D зависит от отношения диаметров впускного патрубка d , диаметра глушителя D и давления во входе в глушитель P :

$$F_D = \frac{\pi r^2 d^2 P}{D^2}. \quad (2)$$

Величина гидродинамического сопротивления F_G определяется зависимостями от динамической вязкости η и скорости движения частицы по оси X или Y [6,7]:

$$F_{G_x} = 6\pi\eta r \frac{dx}{dt}, F_{G_y} = 6\pi\eta r \frac{dy}{dt}. \quad (3)$$

В векторной форме общее уравнение движения имеет вид:

$$m\vec{a} = \vec{F}_D + \vec{F}_a + \vec{F}_G + m\vec{g}. \quad (4)$$

В проекциях на оси координат уравнение движения (4):

$$\begin{cases} m\ddot{x} = \frac{\pi r^2 d^2 P}{D^2} - \pi r^2 \rho A c \omega \cos \omega \left(t - \frac{n}{c} \right) - 6\pi \eta r \frac{dx}{dt}; \\ m\ddot{y} = mg - \pi r^2 \rho A c \omega \cos \omega \left(t - \frac{n}{c} \right) - \frac{\pi r^2 d^2 P}{D^2} - 6\pi \eta r \frac{dy}{dt}. \end{cases} \quad (5)$$

Обозначив:

$$\theta = \frac{6\pi \eta r}{m}; B = \frac{\pi r^2 d^2 P}{D^2 m}; E = \frac{\pi r^2 \rho A c \omega}{m}. \quad (6)$$

С учетом (6) систему (5) получили:

$$\begin{cases} \ddot{x} + \theta \dot{x} = B - E \cos \omega \left(t - \frac{n}{c} \right); \\ \ddot{y} + \theta \dot{y} = g - B - E \cos \omega \left(t - \frac{n}{c} \right). \end{cases} \quad (7)$$

Начальные условия при $t=0$:

$$\begin{cases} y = y_0 = 0; & x = x_0 = 0; \\ \dot{y} = \dot{y}_0 = v_{y_0}; & \dot{x} = \dot{x}_0 = v_{x_0}, \end{cases} \quad (8)$$

где v_{y_0} и v_{x_0} – соответственно начальные скорости движения частицы по осям X и Y.

Решение первого уравнения системы определится как сумма решений однородного уравнения и двух частных. Решение второго уравнения системы (8) аналогично.

Окончательные решения имеют вид:

$$\begin{cases} x = \frac{\dot{x}_0}{\theta} \left[1 - e^{-\theta t} \right] + \frac{B}{\theta} t + \frac{E}{\omega^2 + \theta^2} \left[\cos \omega \left(t - \frac{n}{c} \right) - \frac{\theta}{\omega} \sin \omega \left(t - \frac{n}{c} \right) \right]; \\ y = \frac{\dot{y}_0}{\theta} \left[1 - e^{-\theta t} \right] + \frac{g - B}{\theta} t + \frac{E\theta}{\omega^2 + \theta^2} \left[\cos \omega \left(t - \frac{n}{c} \right) - \frac{\theta^2}{\omega} \sin \omega \left(t - \frac{n}{c} \right) \right]. \end{cases} \quad (9)$$

Правильность полученных решений (9) была проверена их дифференцированием и подстановкой в исходную систему уравнений (7).

Для осуществления коагуляции внутри глушителя время оседания сажи должно быть меньше времени выхода их в атмосферу. Это должно осуществляться хотя бы для чистки самых крупных частиц. С учетом известных в конкретных случаях диаметра глушителя D , его длины L , справедливо

$$\frac{L}{V_x} > \frac{D}{V_y}, \quad (10)$$

или,

$$\frac{V_x}{V_y} > \frac{D}{L}, V_y > \frac{DV_x}{L}. \quad (11)$$

Если для конкретного оборудования величины L , D , V_x - известны, и величина V_y легко рассчитывается, то для проектных целей нужна зависимость связывающая скорости V_x и V_y - физическими параметрами газа. С целью их определения возьмем производные величин x и y (зависимость 9), получим выражения скорости V_x и V_y . Затем из V_x вычтем V_y (при условии начальные скорости равны 0), получим разницу $\Delta_{\dot{x},\dot{y}} = \dot{x} - \dot{y}$:

$$\Delta_{\dot{x}-\dot{y}} = \dot{x} - \dot{y} = \frac{2B - g}{\theta}. \quad (12)$$

раскрыв символы найдем:

$$\Delta_{\dot{x}-\dot{y}} = \dot{x} - \dot{y} = \frac{rd^2P}{D^2m\eta} - \frac{g}{6r\pi\eta m}; \quad (13)$$

$$V_y = V_x \left(\frac{g}{6r\pi} - \frac{rd^2P}{D^2} \right) \frac{1}{m\eta}. \quad (14)$$

То есть скорость падения частицы увеличивается при увеличении давления на входе в глушитель и уменьшается при увеличении вязкости газа.

Формула (14) используется с целью упрощения расчетов и использования в них известных величин V_x и D

Задачу определения коэффициента скорости коагуляции решили использованием уравнения кинетики газа [6,7]:

$$n = n_0 \exp(-Kt), \quad (15)$$

где n и n_0 - счетчик концентрации частиц газа, соответственно текущий и начальный.

Сделаем предположение, что средняя концентрация молекул газа и сажи прямо пропорциональны их массе и обратно пропорциональны занимаемому объему, тогда:

$$m_0 = nm_2 + (1 - n)m_c, \quad (16)$$

где m_0 - начальная масса сажи; m_2 - масса газа; m_c - масса сажи.

Справедливо, $m_c = m_0 - m_2$:

$$m_c = m_0 (1 - e^{-kt}). \quad (17)$$

Логарифмируя и проведя преобразования, получили зависимость коэффициента коагуляции газа от начальной концентрации и времени [7]:

$$K = \ln \frac{m_c}{m_0} / t, \quad (18)$$

где t – время движения частицы газа по глушителю.

Так как

$$t = \frac{V_x}{L}, \quad (19)$$

то для конкретного глушителя

$$K = \frac{L}{V_x} \ln \frac{m_c}{m_0}. \quad (20)$$

Коэффициент коагуляции по своей физической сущности определяет величину скорости этого процесса и имеет размерность c^{-1} .

Эксперимент

Цель эксперимента является - получение зависимостей определяющие параметры коагуляции: массу сажи, коэффициент коагуляции и его скорость.

Для достижения поставленных целей был проведен натурный эксперимент на разработанном лабораторном полноразмерном стенде (Рисунки 3, 4). В процессе эксперимента определялась степень очистки выхлопного газа от СО и СН.

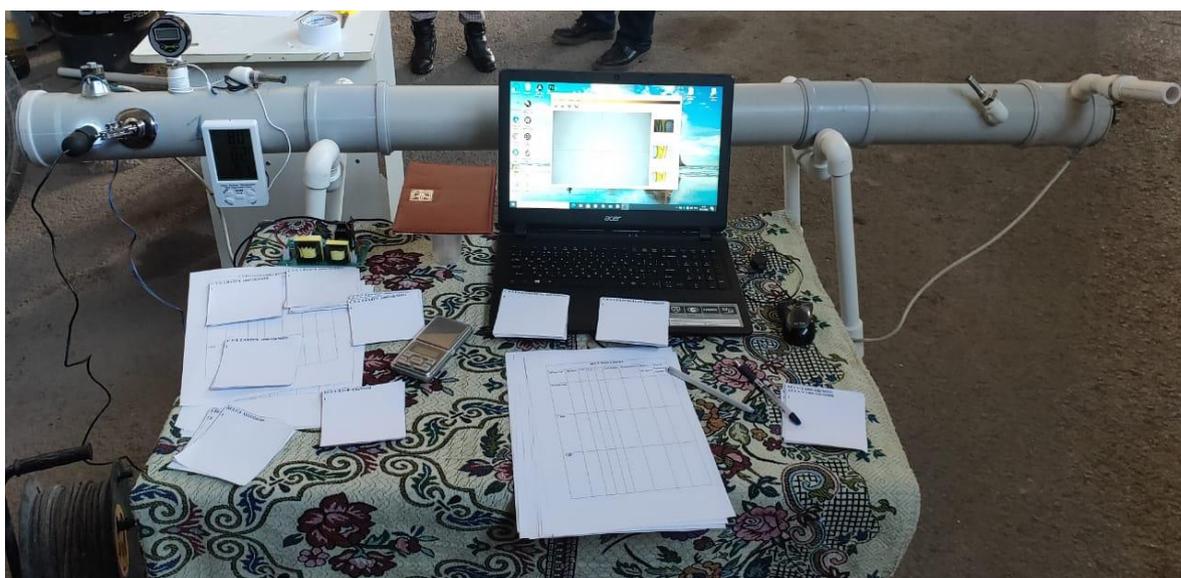
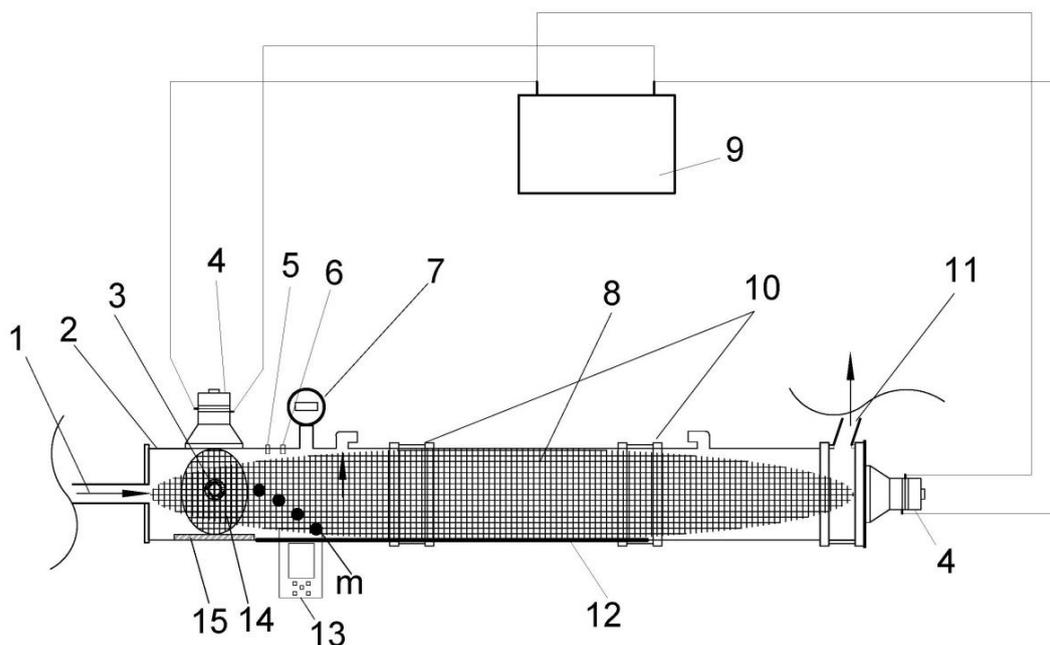


Рисунок 3. Экспериментальный ультразвуковой глушитель

Схема экспериментального ультразвукового глушителя представлена на рисунке 4.



1- входной патрубок; 2 - корпус у/з глушителя; 3 - электронный микроскоп МИКМЕД 2.0; 4 - ультразвуковой излучатель; 5 - датчик температуры; 6 - влагомер; 7 - электронный манометр; 8 - область воздействия продольных ультразвуковых волн; 9 - ультразвуковой генератор; 10 - муфта соединения труб; 11 - выходной патрубок; 12 - место сбора сажи; 13 - термометр-гигрометр; 14 - область воздействия поперечных у/з волн; 15- отражатель.

Рисунок 4. Схема универсального ультразвукового глушителя

Экспериментальный ультразвуковой глушитель (Рисунки 4) состоит из полипропиленовой трубы диаметром 110 мм и длиной 3 м. В корпусе глушителя установлено ультразвуковое оборудование, состоящее из ультразвукового генератора 9, двух ультразвуковых излучателей 4 и отражателя ультразвуковых волн 15; цифровой USB-микроскоп Микмед 2.0 с коэффициентом увеличения от 20 до 200х с возможностью фото и видео фиксации при разрешении 1920×1080 пикселей; датчик температуры 5 и гигрометр 6, передающие информацию на термометр-гигрометр 13; электронный манометр 7; отражатель 15.

В ходе эксперимента была доказана правомерность гипотезы о возможности очистки выхлопных газов ультразвуком в автомобильном глушителе. В таблице 1 и диаграмме (Рисунки 6) указаны концентрации СН и СО в глушителе.

Таблица 1

Концентрация СН и СО при 1000 оборотах в минуту

Работа ультразвукового глушителя	СН (ppm) мин.	СО (%)
Без ультразвука	50	1,2
С ультразвуком (1 поперечный излучатель)	31	1,2
С ультразвуком (2 излучателя)	29	1,6
С ультразвуком (1 продольный излучатель)	27	1,2



Рисунок 6. Диаграмма содержания СН и СО в выхлопном газе при 1000 оборотах коленчатого вала в минуту

Заключение

В статье разработана и исследована математическая модель работы ультразвукового глушителя, рассмотрим силы, действующих на частицу газа движущуюся в ультразвуковом автомобильном глушителе, определены значения скоростей движения коагулируемых частиц по горизонтали и вертикали, коэффициент коагуляции в ультразвуковом глушителе. Для осуществления коагуляции внутри ультразвукового автомобильного глушителя время оседания частиц сажи должно быть меньше времени выхода их в атмосферу [11-15].

Эффективность применения ультразвукового воздействия на выхлопной газ автомобильного транспорта был доказан в ходе проведенного эксперимента и имеет перспективное развитие данного направления очистки аэрозолей от вредных примесей предложенным способом. По результатам эксперимента концентрации углеводорода СН уменьшилась более чем в 2 раза, при 1000 оборотах в минуту с 50 ppm/мин до 27 ppm/мин.

Список использованных источников

1. Korablev R.A., Belokurov V.P., Zelikov V.A., Likhachev D.V., Razgonyaeva V.V., Boyko N.I. Environmental safety of vehicles. - Voronezh, 2011. - 3 p.
2. Kadyrova I.A., Mindubaeva F.A., Grijbovski A.M. Prediction of outcomes after stroke: A systematic review. - Human Ecology (Russian Federation), 2015, 2015(10), стр. 55–64.
3. Kadyrov A., Ganyukov A., Pak I., Suleyev B., Balabekova K. Theoretical and experimental study of operation of the tank equipment for ultrasonic purification of the internal combustion engine exhaust gases, Communications - Scientific Letters of the University of Zilina [online], 2021, 23(3), pp. B219–B226. ISSN 13354205. Available from: <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.3.B219-B226>.
4. Kadyrov A., Zhunusbekova Z., Ganyukov A., Kadyrova I., Kukeshva A. General characteristics for loading the working elements of drilling and milling machines when moving in the clay solution, Communications - Scientific Letters of the University of Zilina [online], 2021, 23(2), p. B97–B105. ISSN 13354205. Available from: <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.2.B97-B105>.

5. Kadyrov A., Sarsembekov B., Ganyukov A., Zhunusbekova Z., Alikarimov K. Experimental Research of the Coagulation Process of Exhaust Gases under the Influence of Ultrasound Communications - Scientific Letters of the University of Zilina [online], 2021, 23(4), B288-B298. Available from: <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.4.B288-B298>.
6. Радж Балдев, Раджендран В., Паланичами П. Применения ультразвука. – М: Техносфера, 2006. – 576 с.
7. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике / Л. Бергман; пер. с нем. изд. В.С. Григорьева и Л.Д. Розенберга. – М.: Издательство иностранной литературы, 1957. – 726 с.
8. Варшавский И.Л., Малов Р.В. Как обезвредить отработавшие газы автомобиля. М.: Транспорт, 1968. – 128 с.
9. В. Н. Ложкин, В. В. Шульгин, Максимов М. А. О моделировании систем очистки отработавших газов ДВС с использованием нейтрализаторов и тепловых аккумуляторов фазового перехода. //Технико-технологические проблемы сервиса, 2011, №2(16) с. 42 – 47.
10. Химическая энциклопедия: В 5 т.; т 2; Даффа – Меди/Редкол.: Кнунянц И.Л. (гл. ред.) и др. –М.: Сов. энцикл., 1990. – 671 с.: ил.
11. Физика процесса ультразвуковой коагуляции выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания автотранспортной техники / А.С. Кадыров, И.А. Пак, И.А. Кадырова, А.А. Ганюков // Вестник ПГУ. Энергетическая серия 2020. №1. С.219-230.
12. T. Shamim. Effect of engine exhaust gas modulation on the cold start emissions // International Journal of Automotive Technology, Vol. 12, No. 4, pp. 475–487 (2011).
13. Dong, S., Lipkens, B., Cameron, T.V. The effects of orthokinetic collision,
14. Результаты экспериментальных исследований работы емкостного оборудования ультразвуковой очистки отработавших газов автотранспорта / М.К. Ибатов, А.С. Кадыров, И.А. Пак, И.А. Кадырова, Б.Ш. Аскараров // Уголь. 2020. № 2. С. 73-78. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-2-73-78.
15. Патент РК №3194. Устройство для ультразвуковой очистки выхлопных газов / М.К. Ибатов, А.С. Кадыров, О.Т. Балабаев, Б.Ш. Аскараров, И.А. Пак; заявл. 20.12.2017; опубл. 02.10.2018.

**А.С. Кадыров, А.А. Ганюков, Б.К. Сарсембеков, Ж. Ж. Жунусбекова,
К.А. Синельников**

Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

Іштен жану қозғалтқышының пайдаланылған газын ультрадыбыстық тазарту процесін зерттеу

Аңдатпа. Авторлар автомобиль көлігінің пайдаланылған газын тазарту бойынша тиімді жұмыс істеу үшін қажетті параметрлерді есептеуге мүмкіндік беретін ультрадыбыстық автомобиль дыбыс сөндіргішінің математикалық моделін әзірледі және зерттеді. Автомобиль көлігінің пайдаланылған газын тазарту үшін ультрадыбыстық әсерді қолданудың тиімділігін дәлелдейтін эксперимент жүргізілді.

Ультрадыбыстық автомобиль дыбыстық сөндіргіште қозғалатын газ бөлшегіне әсер ететін күштер қарастырылды, көлденең және тігінен коагуляцияланған бөлшектердің қозғалыс жылдамдығының мәндері, ультрадыбыстық дыбыс сөндіргіштегі коагуляция коэффициенті анықталады.

Автомобиль көлігінің пайдаланылған газына ультрадыбыстық әсерді қолдану тиімділігі

эксперимент барысында дәлелденді және ұсынылған әдіспен аэрозольдерді зиянды қоспалардан тазартудың осы бағытын болашақта дамытуға ие. Эксперимент нәтижелері бойынша СН концентрациясы 2 еседен астам, минутына 1000 айналым кезінде 50 ppm/мин-тен 27 ppm/мин-ке дейін төмендеді.

Түйін сөздер: ультрадыбыстық сөндіргіштің математикалық моделі, ультрадыбыстық тазарту, пайдаланылған газ, ультрадыбыстық сөндіргіш, коагуляция, іштен жану қозғалтқышы.

A.S. Kadyrov, A.A. Ganyukov, B.K. Sarsembekov, Zh.Zh. Zhunusbekova, K.A. Sinelnikov
Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

Investigation of the process of ultrasonic cleaning of exhaust gases from an internal combustion engine

Abstract. The authors have developed and investigated a mathematical model of the operation of an ultrasonic automobile muffler, which allows calculating the necessary parameters for effective work on cleaning the exhaust gas of motor transport. An experiment has been conducted to prove the effectiveness of ultrasonic exposure for cleaning the exhaust gas of motor vehicles.

There are considered forces acting on a gas particle moving in an ultrasonic automobile muffler, the values of the velocities of motion of coagulated particles horizontally and vertically. There are determined the coagulation coefficient in an ultrasonic muffler.

The effectiveness of ultrasonic exposure to the exhaust gas of motor transport has been proven during the experiment and has a promising development of this direction of cleaning aerosols from harmful impurities by the proposed method. According to the results of the experiment, the concentration of hydrocarbon CH decreased by more than 2 times, at 1000 rpm from 50 ppm/min to 27 ppm/min.

Keywords: a mathematical model of an ultrasonic muffler, ultrasonic cleaning, exhaust gases, ultrasonic muffler, coagulation, internal combustion engine.

References

1. Korablev R.A., Belokurov V.P., Zelikov V.A., Likhachev D.V., Razgonyaeva V.V., Boyko N.I. Environmental safety of vehicles. - Voronezh, 2011.- 3 p.
2. Kadyrova I.A., Mindubaeva F.A., Grjibovski A.M. Prediction of outcomes after stroke: A systematic review. - Human Ecology (Russian Federation), 2015, 2015 (10), p. 55–64
3. Kadyrov A., Ganyukov A., Pak I., Suleyev B., Balabekova K. Theoretical and experimental study of operation of the tank equipment for ultrasonic purification of the internal combustion engine exhaust gases, Communications - Scientific Letters of the University of Zilina [online], 2021, 23 (3), pp. B219 – B226. ISSN 13354205. Available from: <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.3.B219-B226>
4. Kadyrov A., Zhunusbekova Z., Ganyukov A., Kadyrova I., Kukeshva A. General characteristics for loading the working elements of drilling and milling machines when moving in the clay solution, Communications - Scientific Letters of the University of Zilina [online], 2021, 23 (2), p. B97 – B105. ISSN 13354205. Available from: <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.2.B97-B105>
5. Kadyrov A., Sarsembekov B., Ganyukov A., Zhunusbekova Z., Alikarimov K. Experimental Research of the Coagulation Process of Exhaust Gases under the Influence of Ultrasound Communications - Scientific Letters of the University of Zilina [online], 2021, 23 (4), B288-B298. Available from: <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.4.B288-B298>
6. Raj Baldev, Rajendran V., Palanichami P. Application of ultrasound. - M: Technosphere, 2006. - 576 p.

7. Bergman L. Ultrasound and its application in science and technology / L. Bergman; пер. with him. изд. V.S. Grigorieva and L.D. Rosenberg. - М.: Publishing house of foreign literature, 1957. - 726 p.
8. Varshavsky IL, Malov RV How to neutralize the exhaust gases of the car. М.: Transport, 1968. - 128 p.
9. V. N. Lozhkin, B. B. Shulgin, Maksimov M. A. On the modeling of the system of purification of gases used by DVS with the use of neutralizers and thermal accumulators of the phase transition.// Technical and technological problems of the service, 2011, №2 (16) с. 42 - 47.
10. Chemical encyclopedia: In 5 vols.; т 2; Daffa - Medi / Redkol.: Knunyants IL (ch. ed.) and others. -М.: Sov. encycl., 1990. - 671 p.: ill.
11. Physics of the process of ultrasonic coagulation of exhaust gases of engines of internal combustion of motor vehicles / A.S. Kadyrov, IA Pak, I.A. Kadyrova, AA Ganyukov // Bulletin of the PSU. Energy series 2020. №1. P.219-230.
12. T. Shamim. Effect of engine exhaust gas modulation on the cold start emissions // International Journal of Automotive Technology, Vol. 12, no. 4, pp. 475-487 (2011).
13. Dong, S., Lipkens, B., Cameron, T.V. The effects of orthokinetic collision,
14. The results of experimental studies of the capacitive equipment of ultrasonic cleaning of gases used in motor transport / М.К. Ибатов, А.С. Кадиров, IA Pak, I.A. Kadyrova, B.Sh. Askarov // Coal. 2020. № 2. С. 73-78. DOI: 10.18796 / 0041-5790-2020-2-73-78.
15. Patent RK №3194. Instrument for ultrasonic cleaning of exhaust gases / М.К. Ибатов, А.С. Кадиров, ОТ Balabayev, B.Sh. Askarov, IA Pak; application. 20.12.2017; opubl. 02.10.2018.

Сведения об авторах:

Кадиров Адиль Суратович - д.т.н, проф., г. Караганда, Н.Назарбаева 56, факс +7-701-915-09-11, ludmiila77025@mail.ru.

Ганюков Александр Анатольевич - Доктор PhD, г. Караганда, Н.Назарбаева 56, факс 8-705-747-32-14, e-mail sgn2002@mail.ru.

Сарсембеков Бауыржан Кобланович - Карагандинский технический университет, г. Караганда, Н.Назарбаева 56, факс, +7-747-439-05-87, e-mail baurask@mail.ru.

Жунусбекова Жанара Жумаишқызы - Доктор PhD, г. Караганда, Н.Назарбаева 56, факс, +7-705-827-51-6, e-mail zhzhzh_84@mail.ru.

Синельников Кирилл Анатольевич - Карагандинский технический университет, г. Караганда, Н.Назарбаева 56, факс +7-707-363-23-69, e-mail coolzero7777@gmail.com.

Kadyrov Adil Suratovich - - Doctor of Technical Sciences, Professor, Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, N.Nazarbayev 56, Contact phone, +7-701-915-09-11, e-mail ludmiila77025@mail.ru.

Ganyukov Alexandr Anatolyevich - Ph.D., Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, N.Nazarbayev 56, Contact phone, +7-705-747-32-14, e-mail sgn2002@mail.ru.

Sarsembekov Bauyrzhan Koblanovich - Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, N.Nazarbayev 56, Contact phone, +7-747-439-05-87, e-mail baurask@mail.ru

Zhunosbekova Zhanara Zhumashkyzy - Ph.D., Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, N.Nazarbayev 56, Contact phone, +7-705-827-51-61, e-mail zhzhzh_84@mail.ru

Sinelnikov Kirill Anatolyevich - Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, N.Nazarbayev 56, Contact phone, fax, +7-707-363-23-69, e-mail coolzero7777@gmail.com