

# Конструктивные варианты устройств ультразвуковой очистки отработавших газов двигателей внутреннего сгорания

<sup>1</sup>ИБАТОВ Марат Кенесович, д.т.н., профессор, ректор, m.ibatov@bk.ru,

<sup>2</sup>БАУРОВА Наталья Ивановна, д.т.н., профессор, nbaurova@mail.ru,

<sup>1\*</sup>ПАК Игорь Анатольевич, докторант, i.pak@mail.ru,

<sup>1</sup>Карагандинский технический университет, Казахстан, 100027, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

<sup>2</sup>Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Россия, 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64,

\*автор-корреспондент.

**Аннотация.** Цель исследования – анализ конструктивных вариантов устройств ультразвуковой очистки отработавших газов двигателей внутреннего сгорания. Авторами выделяются классификационные признаки конструкций ультразвуковых устройств системы выпуска отработавших газов двигателей внутреннего сгорания транспортной техники. В соответствии с этим, различают варианты конструкций проточного, накопительного и комбинированного типа. Конструкции устройств могут также отличаться схемой расположения ультразвукового оборудования. Конструкции устройств ультразвуковой очистки накопительного типа могут быть одно- и многоёмкостные. Представлены различные варианты конструкции устройств, реализующих принцип ультразвуковой коагуляции. Приведенные в статье конструкции ультразвуковых устройств позволяют производить очистку, сбор и утилизацию загрязняющих компонентов отработавших газов. Приведена схема подключения ультразвуковых устройств накопительного типа в системе выпуска отработавших газов и описание режима их работы.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, глушитель, отработавшие газы, ультразвуковая коагуляция, седиментация, утилизация.

## Введение

С развитием тенденции роста количества транспортной техники, оснащенной двигателями внутреннего сгорания, обостряются проблемы экологии, связанные с увеличением выбросов вредных веществ в атмосферу. Превышение предельно допустимых концентраций вредных веществ в атмосфере наблюдается в местах повышенного скопления транспортной техники – в крупных городах, рабочих зонах промышленных карьеров и т.п.

Значительная часть транспортной техники оснащена дизельными двигателями, которые характеризуются большей долей содержания в отработавших газах окислов азота и твердых частиц, преимущественно сажи, по сравнению с бензиновыми [1].

К основным методам очистки газов от технических загрязнений относятся: абсорбционный и адсорбционные методы, термическое дожигание, термокаталитические методы, озонные методы, биохимические методы, плазмокатализический метод, фотокатализический метод [2]. Известен

также ультразвуковой метод очистки промышленных газов.

Для снижения токсичности отработавших газов транспортной техники наибольшее распространение получили абсорбционные, термокаталитические методы, термическое дожигание. Устройства снижения токсичности отработавших газов, основанные на термокаталитических методах, являются наиболее эффективными, но и более дорогостоящими. Для решения вопроса использования ультразвукового метода очистки отработавших газов на транспортной технике требуется разработка наиболее эффективных конструкций устройств ультразвуковой очистки.

Эффективность ультразвуковой очистки выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания (ДВС) была подтверждена нашими экспериментальными исследованиями, результаты которых опубликованы в работе [3].

Явление интенсификации процессов коагуляции твердых частиц выхлопных газов под воздействием ультразвука предлагается использовать в устройствах различных вариантов конструкции.

### Результаты исследований

Нами разработаны конструкции устройств ультразвуковой очистки проточного, накопительного и комбинированного типа. В проточных устройствах выхлопной газ проходит через устройство, очищается и, не задерживаясь там, выводится в атмосферу. В накопительных устройствах выхлопной газ накапливается в ёмкости, где подвергается ультразвуковой очистке в течение определенного промежутка времени, и затем выводится в атмосферу.

Варианты устройств отличаются схемой расположения ультразвукового оборудования, включающего в себя ультразвуковой генератор, излучатель и отражатели ультразвуковых волн, формой, ёмкостью и др. В устройствах проточного типа возможны следующие варианты установки ультразвукового оборудования: с поперечным воздействием ультразвука относительно движения газового потока; с продольным воздействием ультразвука, причем как по ходу, так и против хода движения газового потока; с множественным воздействием ультразвукового излучения под различными углами; динамической системой ультразвукового воздействия.

Одним из них является система ультразвуковой очистки проточного типа, встраиваемого в глушитель, при котором выхлопной газ, проходя через выхлопную систему, подвергается ультразвуковому воздействию. Схема работы ультразвукового оборудования глушителя с поперечным воздействием ультразвука приведена на рисунке 1.

Отработавший газ подается в корпус глушителя 2 через входной патрубок 1. Внутри глушителя располагаются излучатели 3 и отражатели 7 ультразвуковых волн. В образовавшихся зонах стоячих

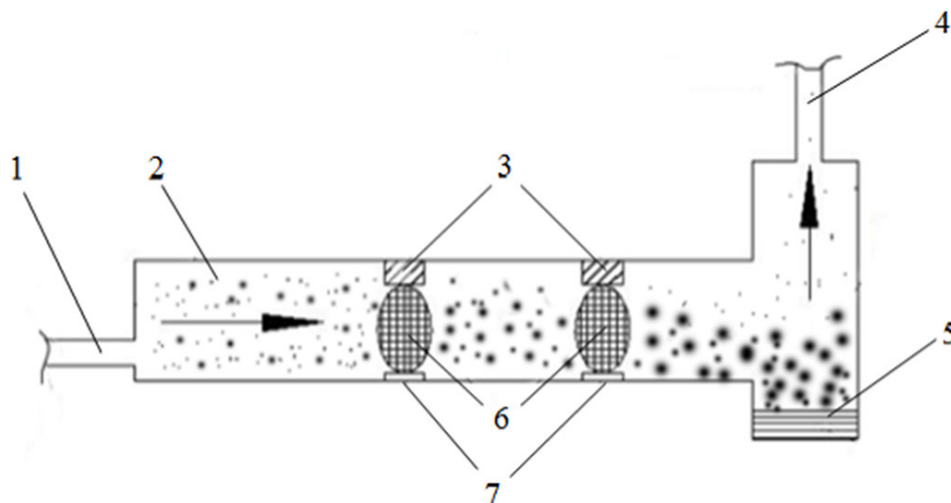
волн 6 интенсивно происходит коагуляция частиц выхлопного газа. Частицы газа, в том числе и увеличенные в размерах, смещаются в сторону выходного патрубка 4. При изменении направления движения газового потока, укрупненные и соответственно более тяжёлые частицы осаживаются в нижней части глушителя, с наибольшей вероятностью в месте для сбора и извлечения сажи 5. Не успевшие осесть, но уже укрупненные в размерах частицы, улавливаются каким-либо фильтром, устанавливаемым после ультразвукового устройства.

В данном устройстве ультразвуковое воздействие происходит поперечно относительно движения газового потока. Укрупненные в результате коагуляционных процессов твердые частицы оседают на дно, которые затем утилизируются.

Также предлагается реализация продольного воздействия ультразвука в глушителе. На рисунке 2 приведены схемы ультразвукового оборудования глушителя с продольным воздействием ультразвука по ходу движения газового потока (а) и против хода движения газового потока (б).

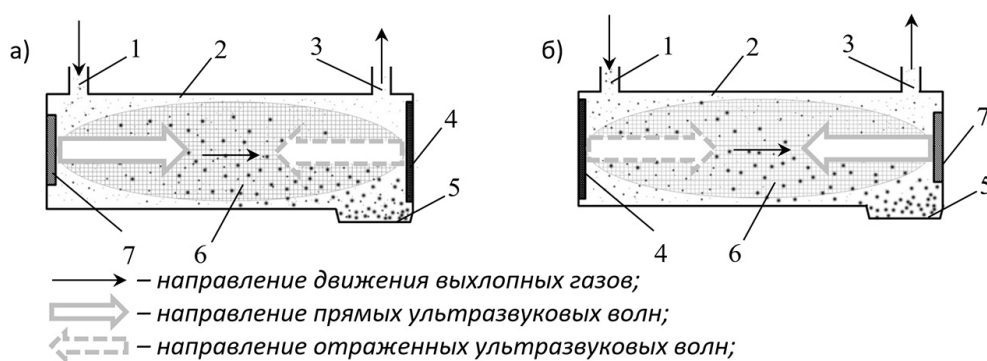
На рисунке 3 изображено разработанное и запатентованное нами устройство для ультразвуковой очистки выхлопных газов [4], в котором происходит множественное воздействие ультразвука под различными углами.

Устройство для ультразвуковой очистки выхлопных газов содержит следующее оборудование: впускной патрубок 1, выпускной патрубок 2, корпус 3, первая коагуляционная камера 4, вторая коагуляционная камера 5, излучатели ультразвуковых колебаний 6, ультразвуковые преобразователи 7, верхние отражатели 8, нижние отражатели 9, отверстия 10, первая накопительная емкость 11, вторая накопительная емкость 12, отверстия с



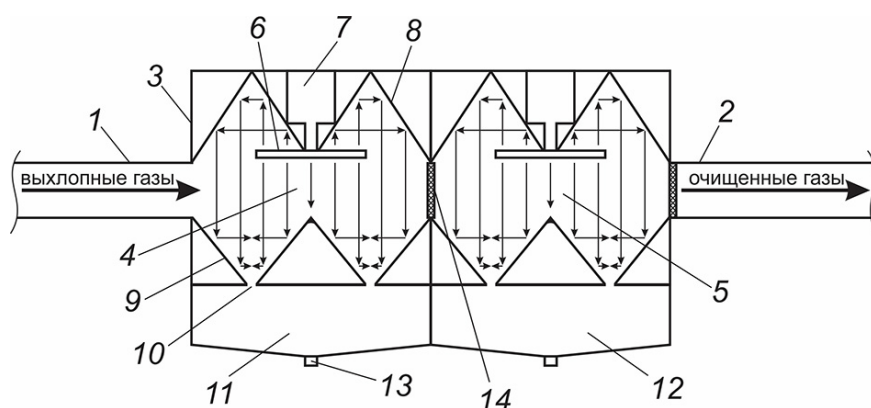
1 – впускной патрубок; 2 – корпус глушителя; 3 – излучатель ультразвуковых волн; 4 – выпускной патрубок; 5 – место сбора и извлечения сажевых частиц; 6 – зона стоячих волн; 7 – отражатель ультразвуковых волн

Рисунок 1 – Схема работы ультразвукового оборудования глушителя с поперечным воздействием ультразвука



1 – впускной патрубок; 2 – корпус глушителя; 3 – выпускной патрубок; 4 – отражатель ультразвуковых волн; 5 – место сбора и извлечения сажевых частиц; 6 – зона стоячих волн; 7 – излучатель ультразвуковых волн

Рисунок 2 – Схемы работы ультразвукового оборудования глушителя с продольным воздействием ультразвука



1 – впускной патрубок; 2 – выпускной патрубок; 3 – корпус; 4 – коагуляционная камера 1; 5 – коагуляционная камера 2; 6 – излучатель ультразвуковых колебаний; 7 – преобразователь ультразвуковых колебаний; 8 – верхние отражатели; 9 – нижние отражатели; 10 – отверстия для удаления частиц; 11, 12 – накопительные ёмкости для сбора частиц; 13 – отверстия с пробкой; 14 – фильтрационные сетки

Рисунок 3 – Устройство для ультразвуковой очистки выхлопных газов с воздействием ультразвука под различными углами

пробкой 13, фильтрационные сетки 14.

Работа устройства для ультразвуковой очистки выхлопных газов осуществляется следующим образом. Предлагаемое устройство устанавливается в транспортное средство путем монтажа в систему выпуска выхлопных газов; при работе двигателя внутреннего сгорания транспортного средства, продукты сгорания (выхлопные газы) попадают в систему выпуска выхлопных газов, где они через впускной патрубок 1 проходят через первую 4 и вторую 5 коагуляционные камеры предлагаемого устройства. В верхних частях коагуляционных камер установлены излучатели ультразвуковых колебаний 6, которые механически и акустически связаны с ультразвуковыми преобразователями 7. В коагуляционных камерах установлены также верхние 8 и нижние отражатели 9 ультразвуковых колебаний, позволяющие создать в камерах ультразвуковые поля с резонансным распространением ультразвуковых колебаний.

Очистка выхлопных газов от твердых частиц происходит за счет созданных ультразвуковых полей в коагуляционных камерах 4 и 5. Колебания в ультразвуковых полях влияют на твердые частицы, которые начинают активно двигаться, соударяются и слипаются (происходит ультразвуковая коагуляция). Для сдерживания скоагулированных частиц на выходах с камер установлены фильтрационные сетки 14, которые также очищаются при помощи ультразвуковых полей. Удаление седиментированных частиц осуществляется через отверстия 10 в нижних отражателях; частицы оседают в накопительных емкостях 11 и 12, где часть газов конденсируется и сливается через отверстия с пробкой 13. Очищенные газы выпускаются с патрубка 2. Таким образом, предлагаемое устройство повышает экологическую безопасность транспортных средств при работе двигателей внутреннего сгорания.

Один из вариантов устройства очистки отра-

ботавших газов с динамической системой ультразвукового воздействия приведен на рисунке 4, состоящего из корпуса 1 в виде трубы круглого сечения, внутри которого размещен механизм вращения 6, обеспечивающий свободное вращение ультразвукового излучателя 4 с трехлопастным винтом 3, который крепится в устройстве на трёх стойках 5, расположенных под углом  $120^\circ$ . Передача электрических сигналов от ультразвукового генератора на излучатель производится с помощью вращающегося контактного устройства (ВКУ) 7.

Металлические лопасти винта распространяют ультразвуковые волны от ультразвукового излучателя как по ходу, так и против хода движения выхлопных газов и по окружности, т.к. имеют возможность вращаться под действием движущегося потока выхлопного газа, уменьшая при этом динамическое сопротивление прохождению выхлопного газа через устройство. Укрупненные в результате коагулирующего ультразвукового воздействия частицы оседают в месте сбора и извлечения сажевых частиц 9, а очищенный газ выводится в атмосферу через выпускной патрубок 8.

Устройства накопительного типа могут быть как одноёмкостные, так и многоёмкостные, с вертикальным и горизонтальным расположением ультразвукового оборудования.

В многоёмкостных устройствах заполнение ёмкостей происходит попеременно – последовательно, что обеспечивает большую эффективность очистки за счет увеличения времени обработки выхлопного газа в накопительной ёмкости на величину времени заполнения последующих ёмкостей.

Нами предлагается устройство для ультразвуковой очистки отработавших газов (рисунок 5), содержащее накопительную емкость с впускным патрубком и выпускным патрубком с перепуск-

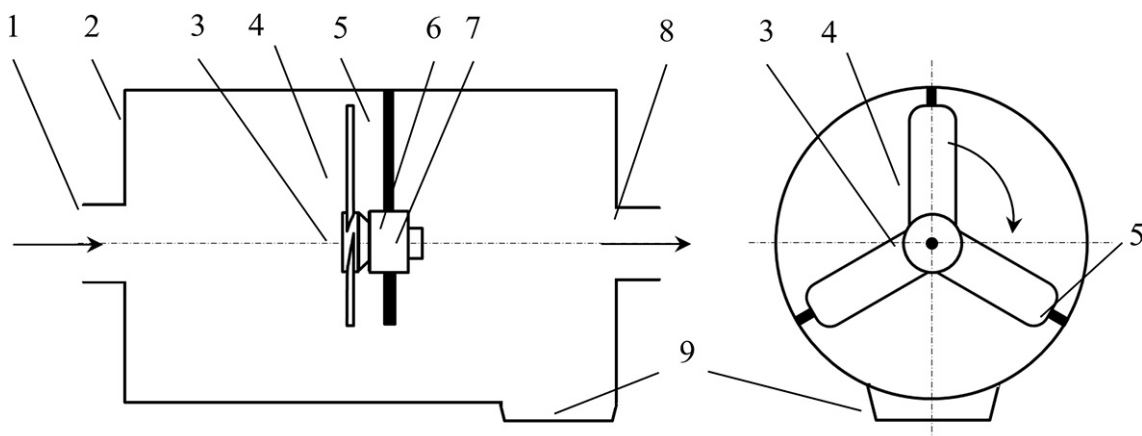
ным клапаном, отличающееся тем, что в накопительной емкости смонтирован ультразвуковой генератор, в нижней части имеется отражатель звуковых волн, а поддон устройства выполнен съемным.

Устройство (рисунок 5) работает следующим образом. В накопительную емкость 1 через впускной патрубок 2 поступает выхлопной газ. От ультразвукового генератора 3, расположенного сверху, возникает прямая волна. На поддоне 7 емкости располагается отражатель звуковых волн 6. При отражении прямая и отраженная волны движутся навстречу друг другу, возникает интерференция и образуется стоячая волна. В зоне образования стоячих волн 8 коагуляционные процессы происходят наиболее интенсивно.

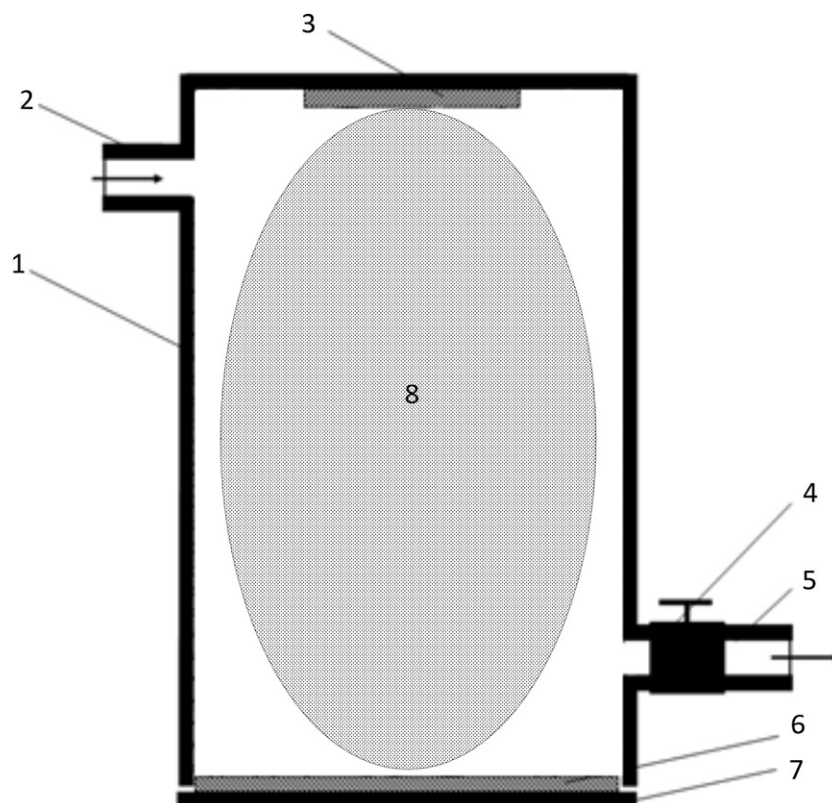
Через рассчитанный период времени газ с уменьшенным содержанием загрязняющих веществ выпускается в атмосферу перепускным клапаном 4 через выпускной патрубок 5, поддон емкости 7 с отражателем звуковых волн 6 снимается и очищается от сажи. В данном устройстве реализовано вертикальное расположение ультразвукового оборудования.

Также нами предлагается устройство очистки отработавших газов с горизонтальным расположением ультразвукового оборудования. Данная конструкция позволяет использовать устройство в режиме оборудования очистки как проточного, так и режиме накопительного типа, т.е. является устройством комбинированного типа. Схема устройства приведена на рисунке 6.

В режиме очистки как устройства накопительного типа принцип работы такой же, как и в предыдущей конструкции. В случае работы данного устройства, как устройства проточного типа, оно работает следующим образом. Выхлопной газ в устройстве проходит через две коагуляционные камеры 7, в которых ультразвуковые колебания,

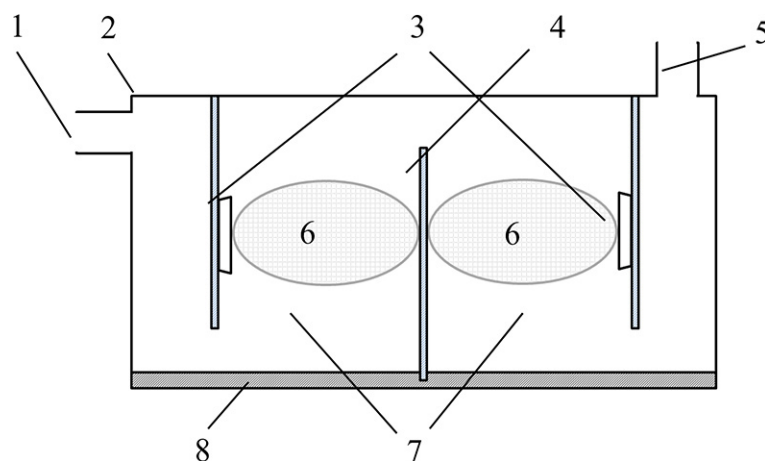


1 – впускной патрубок; 2 – корпус; 3 – ультразвуковой излучатель; 4 – лопастной винт; 5 – стойка; 6 – механизм вращения; 7 – ВКУ; 8 – выпускной патрубок; 9 – место сбора и извлечения сажевых частиц  
Рисунок 4 – Устройство очистки отработавших газов с динамической системой ультразвукового воздействия



1 – накопительная ёмкость; 2 – впускной патрубок; 3 – генератор ультразвуковых волн; 4 – переключатель; 5 – выпускной патрубок; 6 – отражатель звуковых волн; 7 – поддон; 8 – зона стоячих ультразвуковых волн

Рисунок 5 – Устройство ультразвуковой очистки отработавших газов с вертикальным расположением ультразвукового оборудования



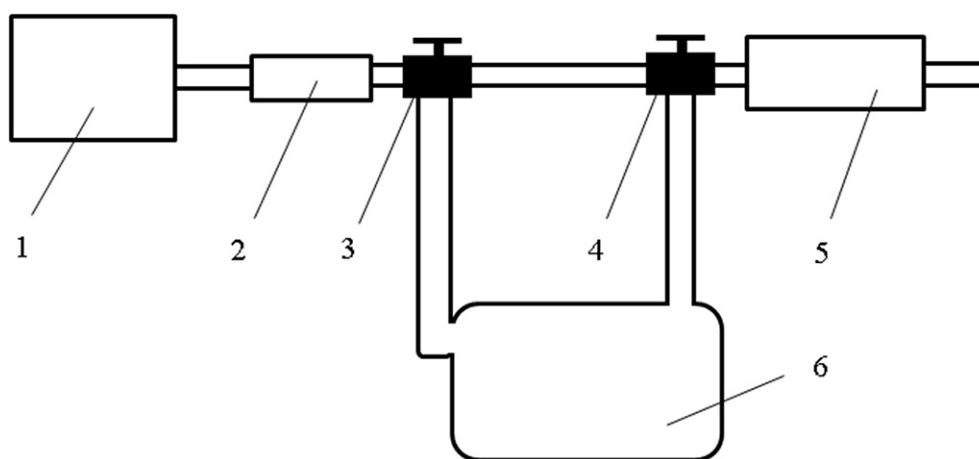
1 – впускной патрубок; 2 – корпус; 3 – ультразвуковой излучатель; 4 – звукоотражающая перегородка; 5 – выпускной патрубок; 6 – зона стоячих волн; 7 – коагуляционные камеры; 8 – поддон

Рисунок 6 – Устройство очистки отработавших газов комбинированного типа с горизонтальным расположением ультразвукового оборудования

создаваемые ультразвуковыми излучателями, отражаясь от звукоотражающей перегородки 4, создают зоны стоячих волн 6 с высоким коагулирующим воздействием. При изменении направления движения газового потока утяжеленные частицы осаживаются на съемный поддон 8 устройства,

который периодически извлекается и очищается от накопившейся сажи, которая в свою очередь утилизируется.

Схема подключения устройств ультразвуковой очистки отработавших газов накопительного типа представлена на рисунке 7 [3].



1 – двигатель; 2 – резонатор; 3 – впускной клапан; 4 – выпускной клапан;  
5 – глушитель; 6 – ультразвуковое устройство очистки

Рисунок 7 – Схема установки оборудования ультразвуковой очистки отработавших газов автотранспорта

Оборудование работает в активном и пассивном режимах. В пассивном режиме клапаны 3 и 4 (рисунок 7) пропускают отработавший газ от резонатора 2 к глушителю 5, минуя накопительную емкость оборудования. Во время прогрева двигателя, при движении на подъем, разгоне или при подъезде транспортного средства к остановке устройство переключается в активный режим – впускной клапан 3 переводится в режим наполнения емкости, выпускной клапан устройства 4 перекрывает выпуск из накопительной емкости и газ накапливается в ёмкости 6, т.е. происходит временная изоляция выхлопных газов от выброса в атмосферу на период остановки транспортного средства и некоторого времени, после трогания с места.

В тот же самый момент включается ультразвуковое устройство и в ёмкости происходит ультразвуковая коагуляция частиц сажи, сопровождающаяся их утяжелением и осаживанием. Через заданный промежуток времени, например, при отдалении автомобиля от места скопления транспорта, автобуса от автобусной остановки на достаточное расстояние или по достижении определенного давления в ёмкости, устанавливае-

мого критическим режимом заполнения, выпускной клапан открывается и происходит выпуск очищенного отработавшего газа через глушитель 5 и какое-либо фильтрующее устройство в атмосферу.

### Заключение

Ультразвуковые устройства очистки газов не только позволяют седиментировать укрупненные в результате коагуляции частицы сажи, но и повышают эффективность последующей фильтрации, т.к. эффективность многих фильтров во многом зависит от дисперсности частиц. За счет ультразвуковой коагуляции диаметр сажевых частиц увеличивается, что повышает эффективность работы фильтрующего элемента.

Все вышеприведенные устройства могут использоваться также и в системах вентиляции производственных помещений автотранспортных предприятий, станций технического обслуживания.

Приведенные варианты конструкций определяют направления дальнейших научных исследований.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Графкина М.В., Михайлов В.А., Иванов К.С. Экология и экологическая безопасность автомобиля: учебник. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2016. – 320 с. (Профессиональное образование).
2. Сольнищев Р.И. Системы управления «природа – техногенка» / Р.И. Сольнищев, Г.И. Коршунов. – СПб: Политехника, 2013. – 205 с.: ил.
3. 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. Аскарв // Уголь. 2020. № 2. С. 73-78. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-2-73-78.
4. Кадыров А.С., Пак И.А., Сарсембеков Б.К. Исследование ультразвуковой очистки отработавших газов двигателей внутреннего сгорания: Материалы XV Международной научно-практической конференции «Перспективные вопросы мировой науки». № 13. 15-22 декабря. София: БялГРАД-БГ ОДД, 2019.
5. Патент на полезную модель РК № 3194. Устройство для ультразвуковой очистки выхлопных газов / Ибатов Марат Кенесович; Кадыров Адиль Сураатович; Балабаев Оюм Темиргалиевич; Аскарв Бахтияр Шарапиденович; Пак Игорь Анатольевич; заявл. 20.12.2017; опубл. 15.10.2018, бюл. № 38.

**Іштен жану қозғалтқыштарының пайдаланылған газдарын ультрадыбыстық тазарту құрылғыларының құрылымдық нұсқалары**

<sup>1</sup>**ИБАТОВ Марат Кенесович**, т.ғ.д., профессор, ректор, m.ibatov@bk.ru,

<sup>2</sup>**БАУРОВА Наталья Ивановна**, т.ғ.д., профессор, nbaurova@mail.ru,

<sup>1\*</sup>**ПАК Игорь Анатольевич**, докторант, i.pak@mail.ru,

<sup>1</sup>Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан, 100027, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

<sup>2</sup>Мәскеу автомобиль-жол мемлекеттік техникалық университеті, Ресей, 125319, Мәскеу, Ленин даңғылы, 64,

\*автор-корреспондент.

**Аңдатпа.** Зерттеудің мақсаты – іштен жану қозғалтқыштарының пайдаланылған газдарын ультрадыбыстық тазарту құрылғыларының құрылымдық нұсқаларын талдау. Авторлар көлік техникасының іштен жану қозғалтқыштарының пайдаланылған газдарын шығару жүйесінің ультрадыбыстық құрылғылары конструкцияларының жіктеу белгілерін ажыратады. Осыған сәйкес ағынды, жинақтау және аралас типтегі құрылым нұсқалары ерекшеленеді. Құрылғының құрылымы ультрадыбыстық жабдықтың орналасу схемасымен де ерекшеленуі мүмкін. Жинақтау түріндегі ультрадыбыстық тазарту құрылғыларының құрылымы бір және көп сыйымды болуы мүмкін. Ультрадыбыстық коагуляция принципін жүзеге асыратын құрылғыларды жобалаудың әртүрлі нұсқалары ұсынылған. Мақалада келтірілген ультрадыбыстық құрылғылардың құрылымы пайдаланылған газдардың ластаушы компоненттерін тазалауға, жинауға және жоюға мүмкіндік береді. Пайдаланылған газдарды шығару жүйесінде жинақтау типіндегі ультрадыбыстық құрылғылардың қосылу схемасы және олардың жұмыс режимінің сипаттамасы келтірілген.

**Кілт сөздер:** ішкі жану қозғалтқышы, тұншықтырғыш, пайдаланылған газдар, ультрадыбыстық коагуляция, тұндыру, кәдеге жарату.

**Design Options of Ultrasonic Cleaning Devices for Exhaust Gases of Internal Combustion Engines**

<sup>1</sup>**IBATOV Marat**, Dr. Tech. Sci., Professor, Rector, m.ibatov@bk.ru,

<sup>2</sup>**BAUROVA Natalia**, Dr. Tech. Sci., Professor, nbaurova@mail.ru,

<sup>1\*</sup>**PAK Igor**, doctoral student, i.pak@mail.ru,

<sup>1</sup>Karaganda Technical University, Kazakhstan, 100027, Karaganda, N. Nazarbayev ave., 56,

<sup>2</sup>Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Russia, 125319, Moscow, Leninskiy ave., 64,

\*corresponding author.

**Abstract.** The purpose of the study is to analyze design options of ultrasonic cleaning devices for exhaust gases of internal combustion engines. The authors highlight the classification features of the designs of ultrasonic devices for the exhaust system of internal combustion engines of transport equipment. In accordance with this, there are distinguished the variants of flow-through, storage and combined types designs. The device designs can also differ in the layout of the ultrasonic equipment. The designs of storage-type ultrasonic cleaning devices can be single- and multi-capacity ones. Various design options for devices that implement the principle of ultrasonic coagulation are presented. The designs of ultrasonic devices presented in the article allow cleaning, collecting and disposing the polluting components of exhaust gases. The diagram of connection of storage-type ultrasonic devices in the exhaust system and a description of their operating mode is given.

**Keywords:** internal combustion engine, muffler, exhaust gases, ultrasonic coagulation, sedimentation, disposal.

**REFERENCES**

1. Grafkina M.V., Mikhailov V.A., Ivanov K.S. Ekologiya i ekologicheskaya bezopasnost avtomobilya: uchebnik. – 2-e izd., ispr. i dop. – M.: FORUM: INFRA-M, 2016. – 320 s. (Professionalnoe obrazovanie).
2. Solnitsev R.I. Sistemy upravleniya «priroda – tekhnogenika» / R.I. Solnitsev, G.I. Korshunov. – SPb: Politehnika, 2013. – 205 s.: il.
3. Rezultaty eksperimentalnykh issledovaniy raboty emkostnogo oborudovaniya ultrazvukovoi ochistki otrabotavshikh gazov avtotransporta / M.K. Ibatov, A.S. Kadyrov, I.A. Pak, I.A. Kadyrova, B.Sh. Askarov // Ugol. 2020. № 2. S. 73-78. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-2-73-78.
4. Kadyrov A.S., Pak I.A., Sarsembekov B.K. Issledovanie ultrazvukovoi ochistki otrabotavshikh gazov dvigatelei vnutrennego sgoraniya: Materialy XV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Perspektivnye voprosy mirovoi nauki». № 13. 15-22 dekabrya. Sofiya: ByalGRAD-BG ODD, 2019.
5. Patent na poleznuyu model RK № 3194. Ustroistvo dlya ultrazvukovoi ochistki vykhlopnykh gazov / Ibatov Marat Kenesovich; Kadyrov Adil Suratovich; Balabaev Oyum Temirgalievich; Askarov Bakhtiyar Sharapidenovich; Pak Igor Anatolevich; zayavl. 20.12.2017; opubl. 15.10.2018, byul. № 38.