

Секция «Сервис и техническая эксплуатация транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования (СГУПС)»

ВЛИЯНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ РАБОЧЕГО ТЕЛА В ВЫПУСКНОМ КОЛЛЕКТОРЕ НА ВЫБРОСЫ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

Сова Петр Витальевич

Студент (бакалавр)

Сибирский государственный университет водного транспорта, Судомеханический факультет, Новосибирск, Россия

E-mail: petersowa@yandex.ru

Правительством Российской Федерации было разработано и принято распоряжение от 28 октября 2019 года №2553-р «Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2035 года», которая выделила ведущие направления государственной политики в сфере развития судостроительной промышленности Российской Федерации на период до 2035 года. Отсюда, цель стратегии – формирование инновационного производства в области судостроения, повышение уровня эффективности управления судостроительными и судоремонтными организациями, решение вопросов импортозамещения при строительстве, сервисном обслуживании и ремонте кораблей, судов и морской техники.

Судовые и транспортные дизельные двигатели являются одним из крупнейших источников загрязнения атмосферы твердыми частицами. Известно, что на одну тонну сожженного топлива судовой дизель выбрасывает в атмосферу с отработавшими газами до 5 кг твердых частиц [1]. В ряде случаев, особенно при неоптимальных режимах сгорания, выбросы могут достигать до 1 % от массы сожженного топлива [2]. Твердые частицы представляют собой сложный конгломерат, основу которого составляет сажа с адсорбированными на ней тяжелыми углеводородами, серой и металлами. Дым от дизелей нарушает работу дыхательных органов человека, поражает легкие, бронхи, вызывает аллергию и болезни кожи. Мелкодисперсные частицы (PM2.5 и PM10) проникают в альвеолы и кровоток, провоцируя сердечно-сосудистые заболевания. По данным ВОЗ, длительное воздействие дизельной сажи является канцерогенным фактором. Поэтому поиск эффективных методов очистки отработавших газов от твердых частиц остается актуальной задачей двигателестроения.

Традиционные методы очистки и их ограничения. Для снижения выбросов твердых частиц применяются:

1. Центробежные уловители (циклоны) – эффективны только для крупных фракций (>10 мкм).
2. Сажевые фильтры – эффективны, но требуют периодической регенерации и увеличивают сопротивление.
3. Электрофильтры – сложны в эксплуатации на судах из-за вибраций и влажности газов.

Альтернативным подходом является дожигание сажи непосредственно в выпускном тракте без использования дополнительных фильтрующих элементов. Однако для этого необходимо создать условия, повышающие скорость окисления частиц. Одним из таких условий является искусственное возбуждение пульсаций рабочего тела – акустических колебаний в выпускном коллекторе. Пульсации давления и скорости газа приводят к интенсивному обдуву раскаленных твердых частиц сажи. Переменный поток увеличивает коэффициент массообмена между частицей и кислородом, а также способствует разрушению пограничного слоя, замедляющего процесс горения. В результате частицы, которые в стационарном потоке могли бы вылететь в атмосферу, успевают полностью догореть.

Описание устройства и принцип действия были описаны в ФГБОУ ВО "СГУВТ" для осуществления процесса сгорания раскаленных твердых частиц разработано, изготовлено и испытано устройство для возбуждения акустических колебаний в выпускном коллекторе. Принцип работы заключается в следующем показано на рисунке 1, а общий вид дизеля с таким устройством показан на рисунке 2

Рисунок.1- Принципиальная схема устройства для возбуждения газодинамических колебаний на такте выпуска: 1 [U+2500] резонатор Гельмгольца 2 [U+2500] выпускной канал 3 [U+2500] клапан выпускной.

Рисунок.2- Общий вид устройства.

Отработавшие газы поступают в выпускной канал 2 двигателя, в котором расположен резонатор Гельмгольца 1, установленный навстречу потоку отработавших газов. Резонатор Гельмгольца представляет собой полость с горловиной, настроенную на определенную резонансную частоту. При прохождении потока газов резонатор возбуждает в потоке отработавших газов газодинамические колебания – периодические изменения давления и скорости. Полученные газодинамические колебания интенсифицируют процесс тепло-массообмена около твердых частиц путем их интенсивного обдува. Переменный поток разрушает ламинарный пограничный слой, окружающий частицу, увеличивая доступ кислорода к поверхности. В результате твердые частицы сгорают быстрее, не успевая покинуть выпускную систему. Таким образом, дополнительные пульсации рабочего тела в выпускном коллекторе позволяют снизить дымность отработавших газов.

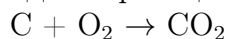
Предложенное устройство было изготовлено и испытано на дизеле Ч10,5/12, работающем по нагрузочной характеристике при частоте вращения коленчатого вала, равной 1500 об/мин. Этот дизель относится к быстроходным двигателям, широко применяемым на малых судах и в стационарной энергетике. Результаты испытаний приведены на рисунок 3.

Рисунок.3- Нагрузочная характеристика дизеля Ч10,5/12,N- дымность по шкале затемнения N (шкала Хартриджа).

По вертикальной оси отложена дымность N – по шкале Хартриджа затемнения (условные единицы, пропорциональные ослаблению светового пучка). По горизонтальной оси – индикаторная мощность P_i (кВт). Кривая, обозначенная символами [U+25CB], показывает дымность дизеля без резонатора Гельмгольца (исходный уровень). Кривая, обозначенная символами [U+25B2], показывает дымность дизеля с резонатором Гельмгольца.

Можно видеть, что применение резонатора Гельмгольца позволило существенно снизить дымность отработавших газов на всех режимах нагрузки. Экспериментально установлено, что дополнительное возмущение газа в выпускной системе дизеля позволяет уменьшить дымность в 1,5–2 раза. Испытания показали работоспособность и эффективность устройства на всех режимах работы двигателя – от холостого хода до номинальной мощности.

Почему пульсации так эффективны? В обычном (стационарном) потоке скорость газа относительно частицы сажи невелика, и кислород плохо проникает к поверхности горячей частицы. Твердая частица окружена пограничным слоем продуктов сгорания, что замедляет реакцию:



При создании газодинамических колебаний возникают следующие эффекты:

1. Интенсивный обдув частицы – переменный поток разрушает ламинарный пограничный слой, заменяя его турбулентным, что увеличивает коэффициент массообмена в 3–5 раз.
2. Акустическая коагуляция – мелкие частицы под действием колебаний сталкиваются и объединяются в более крупные агломераты, которые быстрее догорают.
3. Циклический нагрев – при прохождении волны разрежения температура поверхно-

сти частицы локально повышается за счет релаксационных процессов.

Таким образом, газодинамические колебания, возбуждаемые резонатором Гельмгольца, действуют как активный катализатор процесса дожигания сажи, не требуя внешней энергии.

Способ очистки отработавших газов и устройство для его осуществления защищены патентом РФ на изобретение № 2361094. Авторы: Науменко О. Ф., Коновалов В. В., Юр Г. С. Способ очистки отработавших газов двигателей внутреннего сгорания от твердых частиц, образующихся в камере сгорания, посредством интенсифицирующих сгорание частиц газодинамических колебаний, возбуждаемых в потоке отработавших газов, отличающийся тем, что колебания возбуждают с помощью резонатора Гельмгольца, расположенного в выпускном канале двигателя. Ключевое отличие данного способа от известных аналогов – использование именно резонатора Гельмгольца, который не требует подвижных частей и настраивается на оптимальную частоту для конкретного типа двигателя. Расположение резонатора навстречу потоку обеспечивает максимальную амплитуду колебаний за счет автоколебательного режима.

Практические преимущества и перспективы Использование заявляемого изобретения позволит значительно уменьшить дымность отработавших газов двигателей внутреннего сгорания посредством дожигания твердых частиц. Преимущества перед традиционными сажевыми фильтрами:

1. Не требует регенерации и расходных материалов. Работает в широком диапазоне температур (от 250 до 600°C).
2. Минимальное увеличение противодавления (не более 3–5 кПа).
3. Может быть установлен на действующие дизели без серьезной модернизации.
4. При годовом расходе топлива 1000 тонн снижение выбросов сажи с 5 тонн до 2,5–3,3 тонны существенно улучшает экологическую обстановку в портовых городах и прибрежных акваториях.

Заключение: Проведенные исследования и испытания на дизеле Ч10,5/12 убедительно доказывают, что газодинамические колебания, возбуждаемые резонатором Гельмгольца в выпускном канале, оказывают значительное положительное влияние на процесс дожигания твердых частиц. Дымность по шкале Хартриджа снижается в 1,5–2 раза на всех нагрузочных режимах. Предложенный способ, защищенный патентом РФ № 2361094, является простым, недорогим и эффективным решением проблемы выбросов твердых частиц двигателями внутреннего сгорания и может быть рекомендован к широкому внедрению на судовых и стационарных дизелях.

Литература.

- 1 Мельберт, А.А. Повышение экологической безопасности поршневых двигателей. / А.А. Мельберт . Новосибирск: Наука. 2003. – 170 с.
- 2 Головчук, А.Ф. Снижение дымности дизелей. /А.Ф. Головчук; /Автомобильный транспорт. № 11. 1984. – С. 35-36.

руководитель – канд.техн. наук, доцент Губин Е.С

Иллюстрации

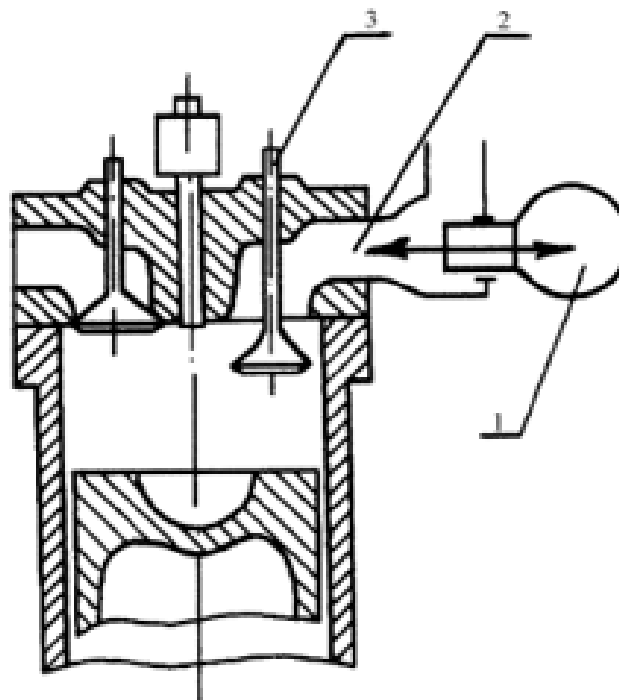


Рис. : Рисунок.1- Принципиальная схема устройства для возбуждения газодинамических колебаний на такте выпуска: 1 [U+2500] резонатор Гельмгольца 2 [U+2500] выпускной канал 3 [U+2500] клапан выпускной.

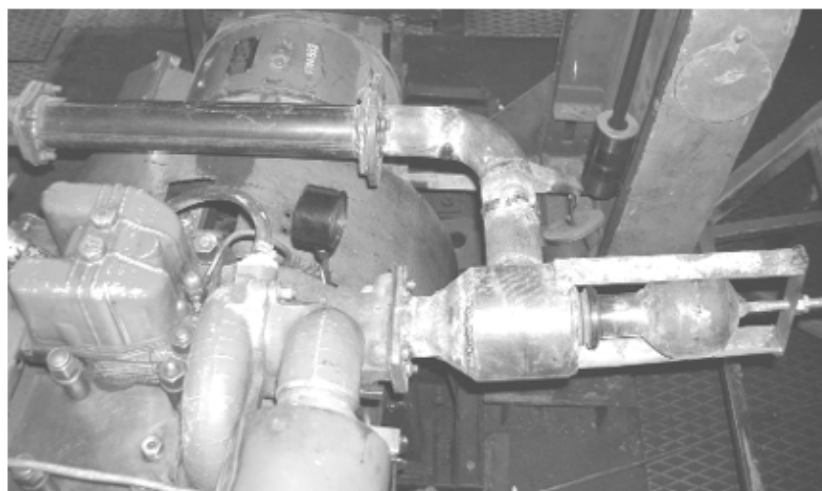


Рис. : Рисунок.2- Общий вид устройства.

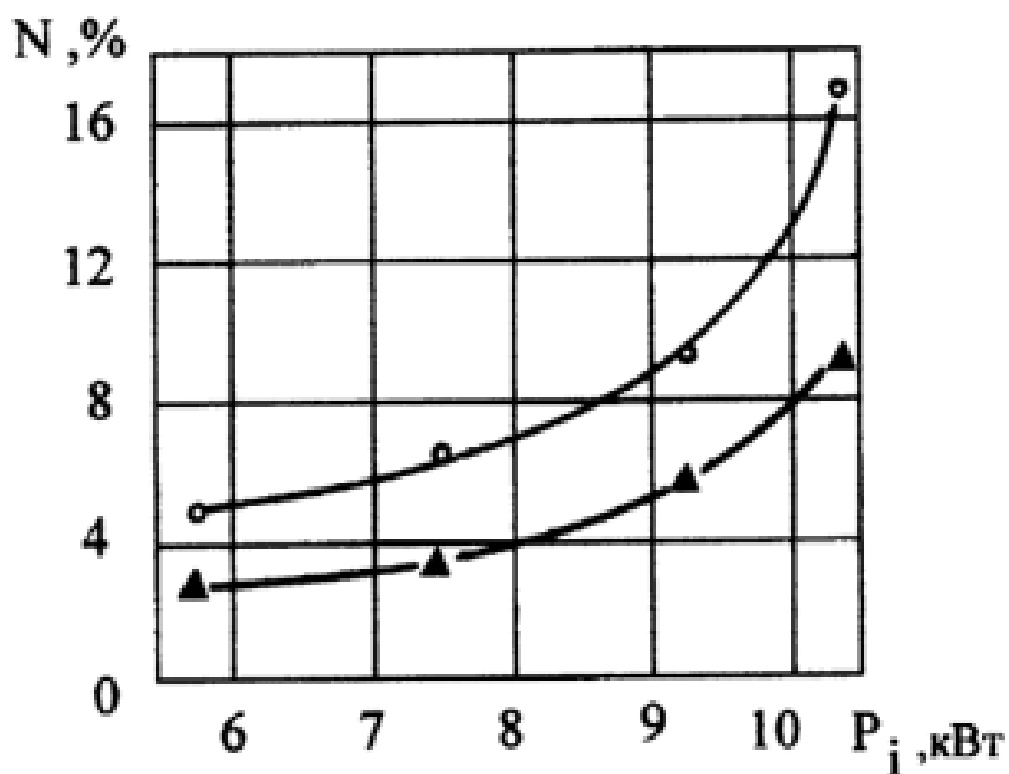


Рис. : Рисунок.3- Нагрузочная характеристика дизеля Ч10,5/12,N- дымность по шкале затемнения Hartidge