

УДК 621.43.068

О ВОЗМОЖНОСТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СУДОВЫХ ГАЗОВЫПУСКНЫХ СИСТЕМ МАЛОМОЩНЫХ ДИЗЕЛЕЙ БЕЗ НАДДУВА

Васильев Николай Викторович¹, ведущий эксперт (Центр обеспечения и экспертиз научно-исследовательских проектов и программ развития транспортной отрасли)

e-mail: nikwas55@mail.ru

Храмов Михаил Юрьевич², к.т.н., доцент, доцент кафедры Эксплуатации судовых энергетических установок,

e-mail: m.u.hramov@yandex.ru

¹ Российский университет транспорта, Москва, Россия

² Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Ключевые слова: судовой дизель малой мощности, удельный расход топлива, активный глушитель, низкое аэродинамическое сопротивление.

Аннотация. В статье обсуждаются особенности конструкции газовыхлопной системы, позволяющие в дизелях без наддува увеличить мощность и снизить удельный расход топлива.

ABOUT THE POSSIBILITY OF IMPROVING MARINE EXHAUST SYSTEMS FOR LOW-POWER NATURALLY ASPIRATED DIESEL ENGINES

Nikolai V. Vasilev¹, Leading Expert (Center for Support and Expertise of Research Projects and Development Programs in the Transport Industry)

e-mail: nikwas55@mail.ru

Mikhail Yu. Khramov², Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor

e-mail: m.u.hramov@yandex.ru

¹ Russian University of Transport, Moscow, Russia

² Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article discusses the design features of the exhaust system that allow non-turbocharged diesel engines to increase their power output and reduce their fuel consumption.

Keywords: low-power marine diesel, specific fuel consumption, active silencer, low aerodynamic resistance.

Энергетические ресурсы, которые служат источником энергии делятся на первичные (топливо или энергия различных природных процессов) и вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) – «полученные в виде отходов производства и потребления, деятельности

функциональное назначение которой не связано с производством соответствующих видов энергетических ресурсов» [1].

Энергоэффективность означает разумное использование первичных и вторичных источников энергии, соответствующее достигнутому уровню внедренных технологий и требований сохранности окружающей среды.

Двигатель внутреннего сгорания – не только потребитель первичных ресурсов, но и типичный пример источника вторичных ресурсов. Попробуем рассмотреть возможность снизить потребление первичных ресурсов (топлива), за счет использования вторичных ресурсов, но не снижая мощности двигателя. В качестве примера рассмотрим очень важные типоразмеры судовых дизелей малой мощности без наддува размерностей: 8,5/11 и 9,5/11 до 12/14 и посмотрим возможно ли улучшить его энергоэффективность за счет использования его способности генерировать ВЭР.

Такие двигатели обычно используются на спасательных шлюпках морских судов неограниченного района плавания, а также на рабочих шлюпках, катерах. Это самые простые в обращении двигатели, одобренные классификационными обществами, для применения на спасательных шлюпках. По данным из таблицы 1 удельный расход топлива этих дизелей лежит в диапазоне 270-300 г/кВт ч [2].

Таблица 1. Справочная информация по дизелям. Дизели судовые

Конструктивные и эксплуатационные технические данные серийных дизелей речных судов							
Дизели СССР							
Характеристика							
	2Ч 8,5/11	4Ч 8,5/11	4ЧСП 8.5/11-5	6ЧСП 9.5/11	2ЧСп 10.5/13	6ЧСП 12/14	6ЧНСП 12/14
Заводская марка	—	—	—	—	—	К-160М	К-166М
Мощность дизеля, кВт	12,8	18,4	25	47	14,7	66,2	110
Частота вращения коленчатого вала, с ⁻¹	31,66	25	31,66	30	25	25,83	25
Удельный расход топлива/масла, г/(кВтч)	272/3,4	277/5	272/3,4	300/13,6	270/7	285/2,8	234/2,1 8

Попробуем «осовременить» «условный дизель» из таблицы, правильно выбрав критерий, которым будем руководствоваться.

Критерий разумно определить из требований к спасательной шлюпке согласно п. 4.4.6.8 Международного кодекса по спасательным средствам SLA (в редакции на 1 января 2013 года с изменениями на 23 мая 2024 года) – об обеспечении минимальной продолжительности движения полностью нагруженной спасательной шлюпки со скоростью 6 уз в течение не менее 24 ч. Мы естественно не будем и не имеем права менять объем и массу снабжения (экипировки) спасательных шлюпок, изменять механическую и топливные составляющие двигателя. Поэтому посмотрим возможности двигателя, как генератора вторичного энергетического ресурса на предмет увеличения топливной автономности шлюпки. В качестве располагаемого вторичного ресурса будут отработавшие газы судовых энергетических установок [3].



Изучая схемные решения используемых типовых глушителей/искрогасителей марки ГИ, стало ясно, что такая техническая возможность имеется и требуется лишь правильно организовать аэродинамические процессы истечения выпускных газов из двигателя в атмосферу, снизив импульсное (волновое) сопротивление внутри барабана глушителя, улучшив аэродинамические свойства газоотводящей системы.

За базовое решение имеет смысл принять гидродинамическую схему, предложенную в 1978 году инженером Глубоковым Е.В. [4].

По схеме этот глушитель можно отнести к активным трехкамерным глушителям, которым присуще низкое аэродинамическое сопротивление, но в отличие от поглощающих материалов/покрытий в качестве акустической нагрузки используется кинетическая энергия выпускных газов двигателя, затрачиваемая на эжекцию и глубокое расширение, что способствует гашению шума двигателя в широком диапазоне частот [4].

Типовой глушитель, идущий в комплекте с двигателем 8,5/11 и 9,5/11 по классификации, приведенной в литературе [5], можно отнести к двухкамерному отражательно-реактивному глушителю. Принципиальные различия сравниваемых глушителей - в организации движения газового потока в барабане глушителя.

Для наглядности представлены принципиальные схемы обоих глушителей (рис. 1 и рис. 2).

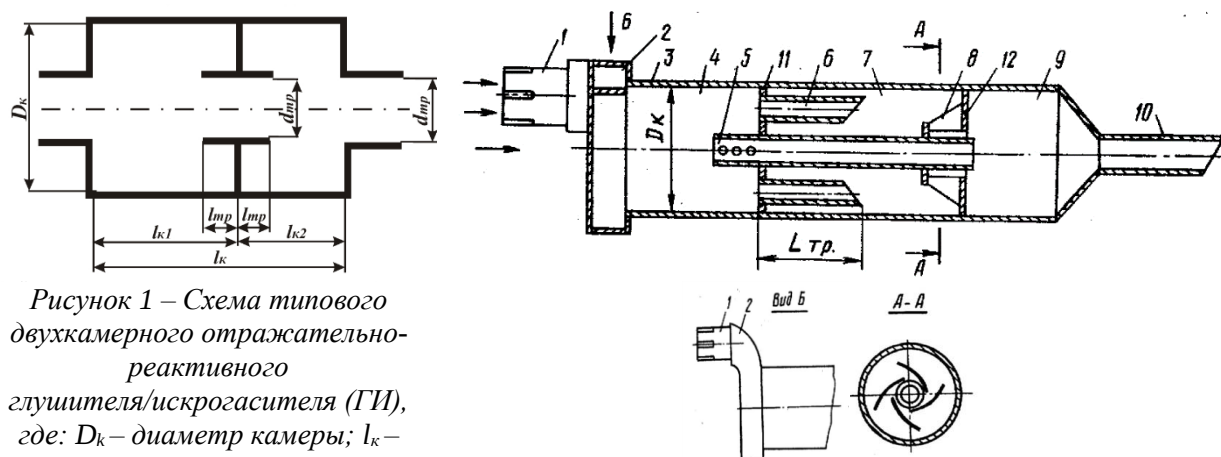


Рисунок 1 – Схема типового двухкамерного отражательно-реактивного глушителя/искрогасителя (ГИ), где: D_k – диаметр камеры; L_k – длина расширительной камеры (соответственно L_{k1} и L_{k2}); $d_{тр}$ – диаметр трубы; $L_{тр}$ – длина трубки отражателя



Рисунок 2 – Схема, сечения и фотография активного трехкамерного глушителя, предложенная Глубоковым Е.В., где: D_k – внутренний диаметр корпуса; $L_{тр}$ – длина резонансных трубок

Массогабаритных показателях глушителя для двигателя мощностью 50-70 кВт представленного на рисунке 2:

- наружный диаметр барабана глушителя совпадает с диаметром улитки -125 мм,

- длина барабана (с улиткой) 350 мм,
- масса барабана без изоляции приблизительно 8 кг.
- материал – нержавеющая сталь.

В типовом глушителе/искрогасителе (рис. 1), состоящего из двух отсеков газ, попадая во внутренний объем, теряет энергию от резкого расширения внутри барабана, но встречается с отраженными от переборок и стен глушителя фронтами предыдущих звуковых волн, являющихся сопротивлением для встречного потока.

В предлагаемой к рассмотрению схеме глушителя (рис. 2) используется эффект Ранка-Хилша (известен как «вихревая трубка»), выраженный к разнице температур между центром вихря и периферией организованного потока. Выпускной газ, попадает в барабан глушителя (поз.1) тангенциально через улитку (поз.2), закручиваясь в вихрь начинает движение вдоль стенок барабана (поз.3). Вихрь имеет высокое давление на периферии, и низкое по центру. Поток газа низкого давления через эжекционную трубу (поз.5), расположенную по центру глушителя (поз.4), проходит в выпускную камеру (поз.9), а поток газа высокого давления (основная среда передачи низкочастотных колебаний), через резонансные трубки (поз.6) в переборке (поз.11), настроенные на подавляемые частоты, поступает в центральную камеру (поз.7), а далее, пройдя через направляющий аппарат-щелевой завихритель (поз.8), образованный второй поперечной перегородкой (поз.12), поток закручивается вокруг эжекционной трубы (поз.5) и поступает в выпускную камеру (поз.9), создавая при этом разряжение на оси глушителя, т.е. способствует эжекции газов в выпускной патрубок (поз.10). Коническая форма задней стенки выпускной камеры усиливает эжекционный эффект.

Необходимо отметить и то, что при закрутке потока создаются особые условия, включая увеличение времени для дожигания остатков топлива и несгоревших частиц и самоочистки стенок глушителя, так как путь газа, движущегося по окружности вихря значительно превосходит длину глушителя. Время нахождения частицы в зоне высоких температур, обеспечивает их дожигание, а высокая скорость потока – эффективный обмыв стенок и охлаждение материала искр, попадающих в область разряжения в выпускной камере. Снижение аэродинамического сопротивления глушителя дает небольшой прирост мощности.

Результаты натурных испытаний глушителей Глубокова в 1978 году, установленных на автотранспорте с бензиновыми двигателями без наддува (90 л.с. и 75 л.с.) по мощности и по удельным расходам топлива сопоставимых с двигателями 6ЧСП 12/14 и 6ЧСП 9.5/11, выявили экономию топлива до 30% (без перенастройки топливной аппаратуры) при номинальной нагрузке, активное подавление газодинамического шума в широком диапазоне и соответствии его уровня санитарным нормам; отмечалась отсутствие отложений в глушителе, вызванное правильной организации потока.

Используя конструкторские идеи, заложенные в обсуждаемый глушитель, можно получить дополнительный источник холода или тепла, улучшить обитаемость закрытой шлюпки; при наличии на судне утилькотлов можно поднять их КПД, увеличив перепад температур.

Ниже (для примера универсальности эффекта от идей/приемов, использованных в глушителе) приводится результат расчета изменения характеристик СВП проекта 12061 «Мурена»: он говорит, что правильно организованный нагнетательный газо-воздушный тракт снизит до минимума или даже исключит, из расчета потребной тяги импульсную составляющую сопротивления, связанную с преодолением сил инерции засасываемого в подушку воздуха, оцениваемую по расчёту как 23,8% полного сопротивления. Силовая установка проекта 12061 - два газотурбинных двигателя мощностью по 10 000 л.с. Поэтому эти «свободные» 23,8% можно расценивать как увеличения пропульсивного КПД не менее



чем в 2 раза, т.е. есть возможности либо существенно увеличить радиус действия судна, либо увеличить его грузоподъемность.

С учетом активного освоения северного морского пути СВП таких размерений, но с возросшими экономическими характеристиками могут быть востребованы.

Вывод

Нет сомнения, требуется провести соответствующие испытания таких схем глушителей применительно к дизелям малой мощности без наддува для снятия всех характеристик. С учетом достигнутых показателей экономичности на бензиновых двигателях, можно ожидать существенного среднего снижения расхода топлива (от паспортного) на 8–12% при работе маломощных четырехтактных дизелей без наддува размерности 8,5/11 и 9,5/11 до 12/14 в диапазоне 80-100% номинальной нагрузки, т.е. обеспечить не менее 6 часов времени дополнительной работы дизеля при том же запасе горючего без всякой переделки дизеля. Такая экономия топлива окупает дизель менее чем за 3000 часов, назначенных до ремонта. Масса такого глушителя при сравнимых параметрах выпускных газов в 2-2,5 раза меньше применяемого типового (ГИ).

Если мы действительно хотим осуществлять политику энергоэффективности, подразумевая и экологические аспекты, то стоит не только строить новые двигатели, но и рационально взглянуть на располагаемые энергетические ресурсы и степень их использования.

Список литературы:

1. Вторичные_энергетические_ресурсы. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 23.05.2026)
2. ДИЗПРОМ. Справочная информация по дизелям. Дизели судовые. – URL: <https://dizprom.narod.ru/dok/dn.htm> (дата обращения: 18.05.2026)
3. Медведев, Г.В., Храмов, М.Ю. Воздействие температуры отработавших газов судовых энергетических установок на качество их очистки с использованием метода каталитической нейтрализации / Медведев, Г.В., Храмов, М.Ю.// Научные проблемы водного транспорта, (62), 167-174. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi62.47>
4. . Е.В. Глубоков Авторское свидетельство СССР 838097, кл. F 01№ 1/08, 1978), описание SU 1280140 A1
5. Сидоров, А.А., Зайцев, А.Б. Системы ДВС. Акустический расчет глушителя системы выпуска отработавших газов ДВС: Учеб. пособие. СПб: Политехн. ун-т, 2012-57с

