

# **ТРАНСПОРТНЕ** **МАШИНОБУДУВАННЯ**

УДК 629.1.032.1

*Бобер А.В., Мормило Я.М., Чучмарь И. Д., Крот С.Г., Лазурко А.В.*

## **СИСТЕМЫ ВЫПУСКА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ОБЪЕКТОВ ЛЕГКОБРОНИРОВАННОЙ ТЕХНИКИ**

**Актуальность проблемы.** В последнее время специалисты ХКБМ им. А.А. Морозова ведут работы по разработке новых типов различных объектов легкобронированной техники и по модернизации уже существующих. Одним из основных требований, предъявляемых к этим изделиям, является повышение параметров подвижности, что, в свою очередь, влечет за собой необходимость применения более мощных двигателей.

Поскольку в Украине имеется производство только 2-х тактных дизельных двигателей мощностью до 600 л.с., специалисты ХКБМ им. А.А. Морозова вынуждены разрабатывать силовые установки, базирующиеся на 4-х тактных дизельных двигателях иностранного производства – фирм DEUTZ (Германия), IVECO (Италия), MTU (Германия) и др. Высокие требования по противодействию выпуску отработавших газов (0,075...0,1), предъявляемые производителями двигателей к системам выпуска, не позволяют проектировать традиционные для 2-х тактных дизелей эжекционные системы охлаждения. Поэтому возникает необходимость в использовании глушителей, которые рекомендуют фирмы-производители.

Однако размеры и конфигурация «фирменных» глушителей не всегда позволяют использовать их из-за особенностей компоновки проектируемого изделия, поэтому возникает необходимость в самостоятельной разработке глушителей.

**Целью** данной статьи является отражение теоретических и экспериментальных исследований по проектированию и изготовлению систем выпуска отработавших газов и их составных частей, применительно к различным типам бронетранспортеров и машин на их базе.

**Основная часть.** Наиболее эффективным методом снижения шума выпуска является применение различных глушителей. Основными требованиями к глушителям являются:

- эффективность (уровень шума изделия не должен превышать 80 дБА [1]);
- минимальное влияние на мощность двигателя и его экономические показатели;
- небольшие геометрические размеры и масса;
- технологичность изготовления;
- надежность и простота эксплуатации.

Один из типов глушителей, применяемых в системах выпуска отработавших газов – резонансный. Их отличает высокая акустическая эффективность в относительно узком диапазоне частот и обеспечение работы двигателя с небольшими потерями мощности. Однако узкий частотный диапазон глушения – основной недостаток этого типа глушителей, т. к. в процессе работы двигателя транспортного средства постоянно из-

меняется частота вращения коленчатого вала, а значит, и частота выхлопа. Поэтому только резонансные глушители имеют ограниченное применение, а наиболее распространены комбинированные резонансные глушители с расширительными камерами.

В последнее время конструкции глушителей усложняются и представляют собой схемы из последовательно и параллельно включенных расширительных и резонаторных камер, с многократными поворотами потока отработавших газов, а также с наличием различного рода дожигателей, искрогасителей и других устройств.

Проектирование глушителя для бронетранспортера БТР-4В проводилось в следующем порядке:

- были ориентировочно определены требуемый объем и площади сечений патрубков глушителя;
- произведена привязка глушителя требуемого объема к конструкции бронетранспортера БТР-4В и трассировка трубопроводов;
- был проведен анализ распространенных схем глушителей и выбрана схема глушителя;
- были детально проработаны форма и геометрические размеры глушителя, положение патрубков, способ крепления и т. д.

Одновременно производился выбор материала и покрытий, которые определяются их обрабатываемостью, стоимостью и условиями эксплуатации глушителя [2]. При выборе материалов было учтено, что глушители системы выпуска испытывают воздействие ряда отрицательных факторов, таких как:

- присутствие в отработавших газах паров воды, кислот и различных солей;
- высокой температуры и высокой скорости отработавших газов;
- высокого давления внутри глушителя;
- наличие внутреннего конденсата;
- резких перепадов температуры (при попадании воды на нагретый глушитель).

Легированные стали и стали с покрытием, например, алюминизированные, устойчивы к влиянию этих факторов, однако плохо поддаются обработке и сварке и в несколько раз дороже обычных сталей, поэтому в качестве основного материала была выбрана листовая малолегированная сталь с высоким сопротивлением разрыву. Эта сталь сравнительно недорога, хорошо поддается механической обработке и сварке, хотя и не так стойка к воздействию вышеперечисленных факторов. В качестве покрытия наружных поверхностей применен кремне-органический лак с добавлением алюминиевой пудры (т. н. «серебрянка»).

Таким образом, при проектировании системы выпуска отработавших газов бронетранспортера БТР-4В с двигателем DEUTZ BF 6M 1015CP была выбрана схема комбинированного резонансного глушителя с расширительными камерами (см. рис.1).

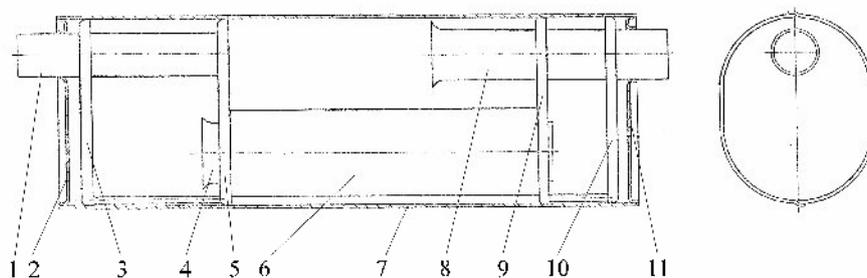


Рис. 1. Схема комбинированного глушителя:  
1, 4, 8 - трубы с перфорацией; 2, 11 - доннышко; 3, 9, 10 - перфорированные перегородки; 5 - сплошная перегородка; 6 – труба; 7 - обечайка

Расчет резонаторного глушителя велся в соответствии с классической теорией резонаторов.

Уровень глушения в децибелах на заданной частоте определяется по формуле [3]

$$\Delta L = 10 \lg \left[ 1 + \frac{\frac{KV}{4F_0^2}}{\left(\frac{f-f_0}{f_0}\right)^2} \right], \quad (1)$$

где  $\Delta L$  – величина заглушения, дБ;  $K$  – проводимость отверстий, м;  $V$  – объем резонансной камеры, м<sup>3</sup>;  $F_0$  – площадь поперечного сечения внутренней трубы, м<sup>2</sup>;  $f$  – резонансная частота, Гц;  $f_0$  – частота, на которой определяется заглушение, Гц.

Проводимость отверстий  $K$  определяется по формуле [3]

$$K = \frac{\frac{\pi}{4} d^2 n}{l_c + \frac{\pi d}{4\varphi(\xi)}}, \quad (2)$$

где  $d$  – диаметр отверстий, м;  $n$  – число отверстий;  $l_c$  – толщина стенки внутренней трубы, м;  $a$  – шаг отверстий, м;  $\varphi(\xi)$  – функция Фока, которая характеризует присоединенную массу воздуха в районе отверстия (см. рис. 2);

$$\xi = \frac{d}{a}. \quad (3)$$

Функция Фока определяется по формуле [4]

$$\varphi(\xi) = \left( 1 - 1,41\xi + 0,38\xi^3 + 0,068\xi^5 \right)^{-1}. \quad (4)$$

График функции Фока приведен на рис. 3.

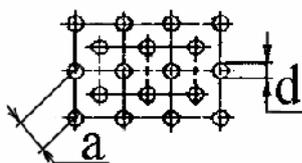


Рис. 2. Схема перфорации

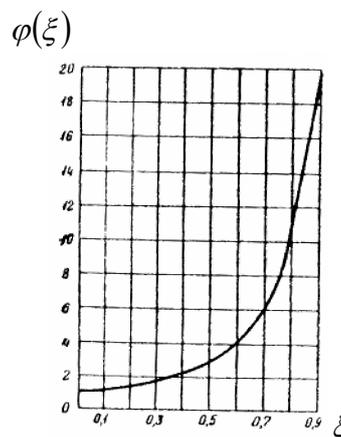


Рис. 3. График функции Фока

Частота настройки резонансного глушителя рассчитывается по формуле [3]

$$f_0 = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{T}{273}} \sqrt{\frac{K}{V}}, \quad (5)$$

где  $c_0$  – скорость распространения звука в воздухе или газе при нормальных условиях, м/с;  $T$  – температура воздуха или газа, °К.

Расчет резонансного глушителя ведется в следующем порядке:

- по частоте настройки  $f_0$  и температуре  $T$  воздуха или газа в глушителе и принятому объему  $V$  по формуле (5) определяется проводимость отверстий  $K$ ;
  - по найденной проводимости отверстий  $K$ , объему  $V$ , площади поперечного сечения внутренней трубы  $F_0$  по формуле (1) определяется заглушение  $\Delta L$  в выбранном диапазоне частот;
  - задаваясь толщиной стенки внутренней трубы  $l_c$ , диаметром  $d$  и шагом  $a$ , по найденной проводимости  $K$  определяется необходимое число отверстий  $n$  по формуле (2).
- Акустический расчет расширительной камеры ведется по формуле [4]

$$\Delta L = 10 \lg \left[ 1 + \frac{1}{4} \left( m - \frac{1}{m} \right)^2 \sin^2 \frac{2\pi fl}{c_0 \sqrt{\frac{T}{273}}} \right], \quad (6)$$

где  $\Delta L$  – величина заглушения, дБ.

$$m = \frac{F_k}{F_{тр}}, \quad (7)$$

где  $m$  – степень расширения,  $F_k$  – площадь сечения камеры расширения,  $m^2$ ;  $F_{тр}$  – площадь сечения трубопровода,  $m^2$ ;  $l$  – длина расширительной камеры, м.

Необходимо отметить, что соотношение между длиной  $l$  и диаметром  $D$  расширительной камеры оказывает значительное влияние на акустические характеристики глушителя. На практике наиболее распространены глушители, у которых этот показатель составляет 4...6.

С другой стороны, объем расширительной камеры  $V_{гл}$  зависит от рабочего объема двигателя и ориентировочно может быть определен по формуле [5]

$$V_{гл} = (1,5 \dots 2,5) V_{ц} i, \quad (8)$$

где  $V_{ц}$  – рабочий объем одного цилиндра, л;  $i$  – количество цилиндров.

Глушитель неподвижно закрепляется на борту изделия с помощью металлических лент и снаружи прикрывается защитным кожухом, который затем покрывается деформирующей окраской во время покраски изделия (см. рис. 4, 5).



Рис. 4. Общий вид БТР-4В с двигателем DEUTZ BF 6M 1015CP и глушителем разработки ХКБМ им. А.А. Морозова

Для компенсации тепловых расширений и снижения уровня вибраций, возникающих при работе силовой установки, в конструкцию выпускного трубопровода включен компенсатор, выполненный на базе многослойного металлического силфона.

При сравнении внешних видов бронетранспортеров с различными силовыми установками видно, что глушитель на рис. 4 имеет меньшие габаритные размеры и не выходит за габарит изделия.



Рис. 5. Общий вид БТР-4А с двигателем IVECO CURSOR 10 и глушителем Eberspächer

**Выводы.** Таким образом, в процессе проведения стендовых и полевых испытаний было установлено, что расчетные данные вполне соответствуют натурным замерам. Система выпуска отработавших газов бронетранспортера БТР-4В показала себя работоспособной. Система выпуска выполняет возложенные на нее задачи - обеспечивает снижение шума и заметности по выделяемому теплу, защиту членов экипажа и десанта от ожогов и достаточно органично вписывается в общий дизайн изделия.

**Литература:** 1. Система «человек - машина» Стабильный акустический шум на рабочем месте человека-оператора ГОСТ В 21950-76. – М.: Издательство стандартов, 1976. –16с. 2. Назаров Н.И. «Значение конструкции в шумообразовании двигателей внутреннего сгорания» / Труды МАДИ. Тезисы докладов конф. [ «Рабочие процессы в двигателях внутреннего сгорания»]. – М.: МАДИ, 1978. – С. 146-148. 3. Изотов А.Д. «Графический метод расчета акустических глушителей»/ Изотов А.Д., Скворонский Е.М., Шандалов К.С., Гордин П.В. / Сборник статей. – М.: НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1981. – С. 29-36. 4. Тузов Л. В. «Глушители шума в отечественном и зарубежном дизелестроении» / Тузов Л. В., Киселев М. А., Егоров Л. Г., Кныш А. В., Чирков И. М. / Сборник статей. – М.: НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1968. – С. 3-16. 5. Луканин В.Н. «Шум автотракторных двигателей». – М.: Машиностроение, 1971. – 272 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Sistema «chelovek - mashina» Stabil'nyj akusticheskij шум na rabochem meste cheloveka-operatora GOST V 21950-76. – М.: Izdatel'stvo standartov, 1976. –16s. 2. Nazarov N.I. «Znachenie konstrukcii v shumobrazovanii dvigatelej vnutrennego sgoranija» / Trudy MADI. Tezisy dokladov konf. [ «Rabochie processy v dvigateljah vnutrennego sgoranija»]. – М.: MADI, 1978. – S. 146-148. 3. Izotov A.D. «Graficheskij metod rascheta akusticheskikh glushitelej»/ Izotov A.D., Skovronskij E.M., Shandalov K.S., Gordin P.V. / Sbornik statej. – М.: NIIN-FORMTJaZhMASH, 1981. – S. 29-36. 4. Tuzov L. V. «Glushiteli shuma v otechestvennom i zarubezhnom dizelestroenii» / Tuzov L. V., Kiselev M. A., Egorov L. G., Knysh A. V., Chirkov I. M. / Sbornik statej. – М.: NIINFORMTJaZhMASH, 1968. – S. 3-16. 5. Lukanin V.N. «Shum avtotraktornyh dvigatelej». – М.: Mashinostroenie, 1971. – 272 s.

Бобер А.В., Мормило Я.М., Чучмар І.Д., Крот С.Г., Лазурко О.В.

#### СИСТЕМИ ВИПУСКУ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ОБ'ЄКТІВ ЛЕГКОБРОНЬОВАНОЇ ТЕХНІКИ

У статті наведено теоретичні та експериментальні дослідження з проектування й виготовлення систем випуску відпрацьованих газів двигуна та їх складових частин, стосовно різних типів бронетранспортерів та машин на їх базі.

Бобер А.В., Мормило Я.М., Чучмарь И. Д., Крот С.Г., Лазурко А.В.

**СИСТЕМЫ ВЫПУСКА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ОБЪЕКТОВ  
ЛЕГКОБРОНИРОВАННОЙ ТЕХНИКИ**

В статье представлены теоретические и экспериментальные исследования по проектированию и изготовлению систем выпуска отработавших газов двигателя и их составных частей, применительно к различным типам бронетранспортеров и машин на их базе.

Bober A.V., Mormylo Y. M., Snuchmar I.D., Krot S.G., Lazurko O.V.

**WASTE GASES EXHAUST SYSTEM OF LIGHT ARMOURED VEHICLES**

In this article given were the theoretical and experimental studies for design and manufacture of waste gases exhaust systems and their component parts as to application of various types of the armored personnel carriers and vehicles on their base.

---

УДК 629.114.2

*Болдовский В.Н., канд. техн. наук*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОХОДИМОСТИ ГРУЗОВЫХ  
АВТОМОБИЛЕЙ ПО ДОРОГАМ С НИЗКОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ**

**Постановка проблемы.** Эксплуатация грузовых автомобилей выполняется по различным типам дорог, как с твердым покрытием, так и по дорогам с низкой несущей способностью. При движении автомобилей по дорогам с твердым покрытием их проходимость высокая, т.к. имеются все необходимые факторы, обеспечивающие преодоление дорожных препятствий. В условиях движения грузовых автомобилей по дорогам с низкой несущей способностью (грунтовая дорога и т.п.), особенно в условиях повышенной влажности (после выпадения осадков и т.д.) значительно снижается проходимость автомобилей, что вызвано изменением физических свойств дорожного основания – грунтовой дороги. В зависимости от физического состояния грунтового дорожного основания проходимость автомобиля можно условно разделить на два вида, проезд возможен, и проезд невозможен. Эти два существующие случая оценки можно применить к грузовым автомобилям повышенной проходимости, используемых во время проведения специальных видов работ (срочная перевозка груза, доставка на место чрезвычайного происшествия и т.п.).

**Анализ последних достижений и публикаций.** Взаимодействие движителей автомобилей с деформируемой опорной поверхностью является одним из наиболее сложных процессов, происходящих при движении автомобиля, на который влияет множество факторов. Вопросами взаимодействия движителей с деформируемой опорной поверхностью занимались ученые Золотаревская Д.И., Беккер М.Г., Кацыгин В.В. и другие. Аналитические и экспериментальные исследования взаимодействия с почвой колес автомобилей проводятся обычно с целью установления зависимостей между кинематическими режимами движения и силовыми показателями взаимодействия движителей с почвой [1, 2]. Существующие методы описания взаимодействия движителей с опорной поверхностью чаще всего базируются на эмпирических зависимостях. Развитие современных компьютерных технологий позволяет решать многие задачи сложно-напряженного состояния методом конечных элементов [3].