

АНАЛИЗ ПРИЧИН ШУМА БРОНЕТРАНСПОРТЕРА БТР-4Е И КОНСТРУКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПО ЕГО СНИЖЕНИЮ

Актуальность проблемы. В настоящее время специалисты ГП 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 показателей подвижности, что влечет за собой необходимость применения более мощных двигателей. Это, в свою очередь, приводит к возрастанию их звуковой мощности и ухудшению акустических характеристик. Уровень шума двигателя служит одним из параметров, по которым оценивают качество машины в целом, культуру производства и уровень развития применяемых технологий. Кроме того, отдельные характеристики шума, издаваемого двигателем, такие как спектральный состав, уровень звукового давления и уровень звуковой мощности, используют в качестве диагностических параметров.

Таким образом, борьба с шумом является важной задачей. Ведущие фирмы-производители легкобронированной техники, из США, Германии, Италии, Франции, России и других стран, в своих разработках стараются использовать передовые решения и современные технологии, применяя в качестве основы для силовых установок хорошо зарекомендовавшие себя дизельные двигатели гражданского назначения или адаптированные для «военного» использования. Эти двигатели отличаются высокими мощностными и массо-габаритными характеристиками, невысоким уровнем шума и высокими экологическими показателями.

ЦЕЛЬЮ данной статьи является попытка провести анализ причин повышенного шума бронетранспортера БТР-4Е, а также определить возможные пути по снижению шума.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ. Вожение боевых машин по пересеченной местности и особенно на маршах, связано с большими психологической и физической нагрузками в первую очередь на механика-водителя. Однако остальные члены экипажа (десанта) после длительных маршей, вследствие действия ряда неблагоприятных факторов также испытывают значительное физическое и психологическое утомление, сопровождающиеся снижением работоспособности (боеготовности). К таким факторам относятся вибрации, колебания, шум, а также микроклимат в обитаемых отделениях.

Вибрации и колебания машины, возникающие при работе двигателя на холостом ходу (на стоянке), носят достаточно ритмичный характер, а их амплитуда относительно невелика. Гораздо более неблагоприятное влияние оказывают колебания при движении боевых машин по пересеченной местности. Колебания носят сложный характер и имеют различную направленность. Амплитуда и ускорение колебаний часто достигают таких величин, что люди могут получить ушибы и даже ранения. Колебания вызывают утомление членов экипажа и десанта, существенно усложняют условия работы экипажа, создают помехи для ведения прицельного огня на ходу, мешают пользоваться оптическими приборами, могут вызвать укачивание.

© Я.М. Мормило, 2017

Наиболее сильно влияет на психологическое состояние человека и его работоспособность шумовое воздействие. Кроме того, повышенный уровень шума для военной техники является серьезным демаскирующим фактором и может оказаться причиной, препятствующей выполнению боевой задачи.

Степень неблагоприятного воздействия шума зависит от его интенсивности и спектрального состава, а также от исходного функционального состояния организма, подвергающегося шумовому влиянию.

Шумом называется сочетание звуковых колебаний различной частоты и интенсивности. Звуковые колебания – акустические колебания, лежащие в диапазоне частот от 16 Гц до 22 кГц (см. рис 1).

Важнейшими характеристиками звука являются [1]:

– звуковое давление p – переменная часть давления, возникающая при прохождении звуковой волны в среде; эта величина воспринимается человеческим ухом, Па;

– сила звука I – количество звуковой энергии, прошедшее через единичную площадь, перпендикулярную направлению распространения звука, Вт/м²;

– звуковая мощность W – общее количество энергии, излучаемой двигателем в окружающее пространство в виде звука и прошедшей через поверхность полусферы радиуса r в единицу времени, Вт;

– уровень звукового давления – десятичный логарифм отношения силы звука к пороговому значению $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² или двадцатикратный логарифм отношения звукового давления к пороговому значению $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Па. Его измеряют в децибелах (дБ):

$$L = 10 \lg(I/I_0) = 20 \lg(p/p_0) \quad (1)$$

– уровень звуковой мощности

$$L_w = 10 \lg(W/W_0), \quad (2)$$

где пороговое значение $W_0 = 10^{-12}$ Вт.

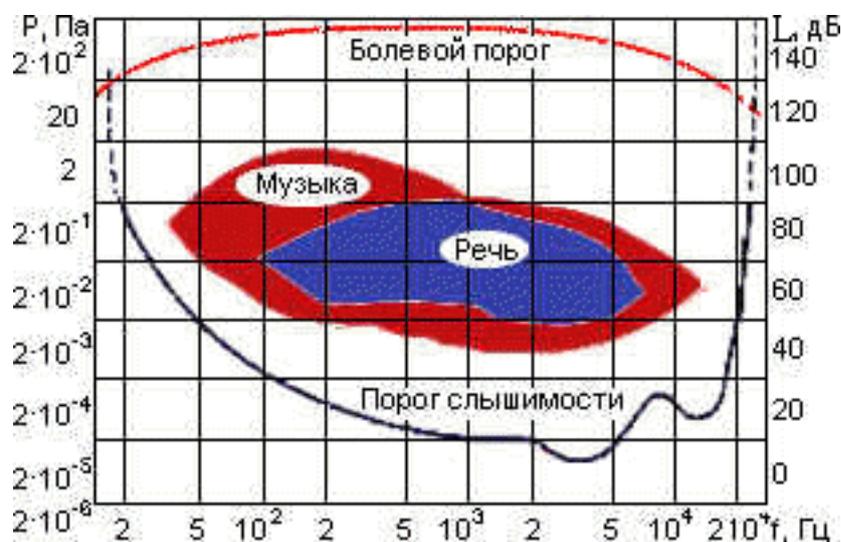


Рис. 1. Область слышимости

Различают три степени воздействия шума на человека:

– раздражающее воздействие;

– воздействие шума на принимаемые решения, что важно, например, для механика-водителя или оператора боевого модуля при быстрой смене обстановки в боевых условиях. Специальными контрольно-войсковыми испытаниями установлено, что от 30% и более отказов боевой техники происходит из-за человеческого фактора (случайные или ошибочные действия личного состава);

– ухудшение состояния здоровья (устойчивое понижение остроты слуха, заболевания желудочно-кишечного тракта, расстройства центральной нервной системы, изменения в сердечно-сосудистой системе и др.).

Уже после суточного марша на 250-300 км появляются факторы, ухудшающие состояние личного состава. К ним относятся: ослабление внимания, ухудшение памяти, снижение мышечного тонуса, повышение порога слышимости, ухудшение точности наводки при стрельбе, увеличение числа ошибок при вождении и т. п. Экспериментально установлено [5], что внимание членов экипажа может снизиться на 70%, кратковременная память на цифровые символы снижается на 60%, а время ответных реакций на внешние световые и звуковые раздражители увеличивается на 5-10%

Особенно ответственным и напряженным видом боевой деятельности является выполнение огневых задач, а также непосредственное боевое столкновение. В этом случае к шумам от источников внутри боевой машины (в нашем случае, бронетранспортера) добавляются наружные шумы от взрывов, выстрелов из стрелкового оружия и пушек, от ударов по броне пуль, осколков, камней и др. В таблице 1 приведены уровни шума от некоторых источников в различных условиях [1], [4].

Таблица 1

№ пп	Источник шума	Слышимость (физиологические ощущения)	Шумовая характеристика, дБА
1	сельская местность вдали от дорог	тихо	25
2	тихий разговор, офис без явных источников шума, уровень звукового фона днём в городском помещении с закрытыми окнами	хорошо слышно	40
3	обычный разговор, обычная обстановка для офисов	шумно	60
4	крики; мотоцикл с глушителем; работающий двигатель грузового автомобиля	повышенный шум	80
5	пневматический отбойный молоток, двигатель тяжёлого дизельного грузовика, движущийся грузовой вагон	очень шумно	90
6	шум работающего трактора на расстоянии 1 м, громкая музыка, двигатель вертолѐта	крайне шумно	110
7	гром , сирена , шум клѐпки котлов, орудиный выстрел	почти невыносимо — болевой порог	125
8	взлѐт реактивного самолѐта на расстоянии 25 м, максимальная громкость музыки на рок-концерте	шок, возможна травма внутреннего уха	140
9	выстрел из винтовки близко от уха; ударная волна от сверхзвукового самолѐта или взрыва давлением 0,002 МПа	шок, травмы, возможен разрыв барабанной перепонки	160

10	светошумовая граната, воздушная ударная волна давлением 0,02 МПа,	длительный звук вызывает баротравмы и даже смерть	180
11	взрыв заряда взрывчатого вещества, максимальное давление 61 МПа	шок, травмы, контузия, смерть	249,7

Медицинские исследования определили, что после стрельбы острота слуха снижается на 15...20 дБ, а в отдельных случаях – на 70 дБ, что может в течение нескольких часов сопровождаться шумом и звоном в ушах.

При измерении шума [7] бронетранспортера БТР-4Е были получены следующие результаты (см. табл. 2).

Таблица 2

Зона	Стационарные испытания, н, мин ⁻¹				Разгон до 50-100 км/ч, L, дБА	Фон, L, дБА
	1200	2000	2000+ФВУ	2700		
1	91	96	96	100	101	35
2	89	93	93	97	103	24
3	84	90	94	96	100	22

Зона 1 – отделение управления, между командиром и механиком – водителем

Зона 2 – между оператором боевого модуля и десантником

Зона 3 – в районе задних дверей между десантниками

Очевидно, что уровень шума значительно превышает допустимый уровень шума в 80 дБА [3]. В чем же причина такого шума?

В любой подвижной машине существует, как правило, несколько источников шума, среди которых выделяется несколько доминирующих. Обычно эффективное снижение шума до определенного уровня получают при частичном подавлении шума именно от этих доминирующих источников.

При определении общего уровня шума от нескольких источников принято пользоваться формулой

$$L = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}}, \quad (3)$$

где L_i – уровень звуковой мощности, излучаемой отдельным источником, кВт; n – количество отдельных источников.

На практике, для упрощения расчетов, можно воспользоваться графиком (рис. 2), на котором по оси абсцисс отсчитывают разность L_1-L_2 , а по оси ординат – определяется величина ΔL , которую следует прибавить к большему уровню L_1 .

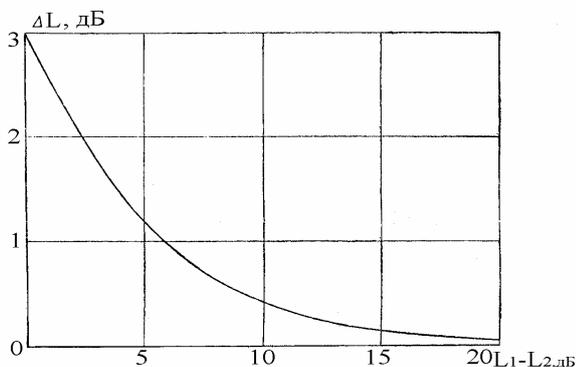


Рис. 2. График определения суммарного звукового уровня

В бронетранспортере, как и в любом транспортном средстве, существует несколько основных источников шума, которые можно условно разделить на две группы:

а) первичные:

- двигатель со вспомогательными агрегатами;
- система забора воздуха и система выпуска отработавших газов двигателя;
- трансмиссия;
- взаимодействие между движителем и поверхностью грунта (шум движения);

б) вторичные:

- металлические панели корпуса;
- крупногабаритные детали интерьера (панель приборов, двери и люки, листы пола, накладки, панели облицовки и пр.);
- небольшие металлические конструкции (клапаны, различные вспомогательные механизмы, электродвигатели, пневмо– и гидроцилиндры и т.п.).

Очевидно, что основным источником шума является двигатель и его системы. В БТР-4Е установлен двигатель ЗТД-3А, который представляет собой трехцилиндровый однорядный с горизонтальным расположением цилиндров и встречно движущимися поршнями двухтактный многотопливный турбопоршневой дизель, с непосредственным смесеобразованием и прямоточно-щелевой продувкой, мощностью 500 л.с.

Важными факторами, влияющими на интенсивность и характер шума любого двигателя, являются [2]:

- тип двигателя;
- мощность и тактность двигателя;
- частота вращения коленчатого вала двигателя;
- число цилиндров;
- тип охлаждения двигателя;
- конструктивные особенности двигателя (материал для цилиндро-поршневой группы, конструкция поршня, блока цилиндров, величины зазоров, типы применяемых подшипников и др.);
- тип применяемой системы выпуска отработавших газов.

Наиболее «весомыми» в спектре шума двигателя являются следующие ряды составляющих:

$$f_1 = \frac{kn}{60}, \quad (4)$$

$$f_2 = \frac{knm}{60\tau}, \quad (5)$$

$$f_3 = \frac{knzi}{60}, \quad (6)$$

где k – натуральный числовой ряд ($k = 1, 2, 3 \dots$); n – частота вращения коленчатого вала двигателя, мин^{-1} ; m – число цилиндров; i – передаточное отношение; τ – тактность двигателя ($\tau = 1$ – для двухтактных, $\tau = 2$ – для четырехтактных двигателей); z – число зубьев шестерен.

Первый ряд возникает из-за неуравновешенности вращающихся деталей, второй ряд определяется шумами, которые возникают в процессе сгорания и при работе впу-

скных и выпускных систем, а третий ряд определяет шумы, возникающие при работе зубчатых передач.

У двухтактного двигателя открытие выпускных окон происходит более резко и при большем давлении в цилиндре, чем у четырехтактного (см. рис. 3). Этим объясняется различие шума двух этих типов двигателя.

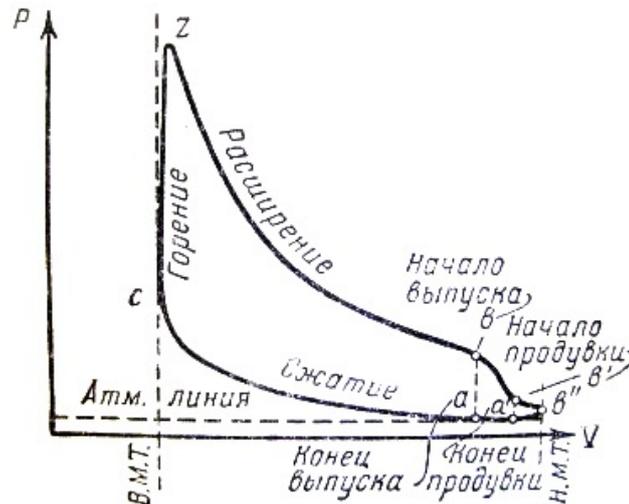


Рис. 3. Индикаторная диаграмма двухтактного дизельного двигателя

Шум от **процесса сгорания** проявляется в наиболее акустически и физиологически неблагоприятной высокочастотной (свыше 1000 Гц) области частотного спектра, поэтому снижение шума от указанного источника существенно влияет на уровень шума.

Установлено [4], что наибольшее влияние на уровень шума процесса сгорания имеет тип смесеобразования. Наименее шумным являются дизельные двигатели с пленочным (М-процесс) и послойным смесеобразованием, а также с разделенной камерой сгорания. Благодаря особенностям образования топливо-воздушной смеси в разделенной камере сгорания происходит как бы двухступенчатое сгорание топлива. Это снижает нагрузку на поршневую группу, а также делает звук работы двигателя более мягким.

Также возможно снизить уровень шума дизельного двигателя за счет оптимизация процесса горения топливо-воздушной смеси, при которой обеспечивается высокая точность дозирования и точность момента впрыскивания. Сделать это можно, только подняв давление впрыска топлива и применив электронное управление процессом топливоподачи. Хорошие результаты дает использование насос-форсунок или применение системы подачи топлива типа Common Rail (топливо поступает из общей топливной магистрали на электромагнитные форсунки и впрыскивается по команде электронного блока управления).

В настоящее время, благодаря возможности электронного управления процессом дозирования топлива, удалось оптимизировать процесс сгорания топливной смеси также в дизелях с непосредственным впрыском, что позволило снизить уровень шума.

Применение сложных законов подачи топлива, однако, не обеспечивает снижение уровня шума на всех скоростных и нагрузочных режимах без повышения показателей дымности и ухудшения показателей топливной экономичности, что для военных машин является одними из основных требований.

Шум **топливоподающей аппаратуры** вносит значительный вклад в общую картину шума. При испытаниях различных топливных насосов высокого давления было определено, что уровни их шума достаточно отличаются по величине и могут достигать значений до 106-107 дБ, в то время как менее шумные из них создают шум на уровне 95-98 дБ.

Источниками шума топливных насосов являются изгибные колебания кулачкового вала и неравномерность реактивного момента, действующего на корпус насоса.

Уровень шума от **форсунки** также весьма высок и находится в пределах 99-102 дБ. Шум возникает от истекания струи топлива, от вибрации пружин и от ударов иглы об седло. Снижение уровня шума может быть достигнуто снижением массы иглы и уменьшением жесткости пружины.

В **системе впуска** шум возникает в результате пульсации воздуха. Колебания столба воздуха состоят из вынужденных и собственных колебаний. Частота вынужденных колебаний определяется числом впусков в секунду (см. формулу (4)), а частота собственных колебаний в трубе, открытой с одного конца, определяется по формуле

$$f_c = (2k-1) \frac{c}{4(l + \pi r / 2)}, \quad (7)$$

где c – скорость звука, м/с; l – длина трубы, м; r – радиус трубы, м; k – числовой ряд ($k = 1, 3, 5, 7, \dots$).

При перетекании воздуха через впускные окна возникает также «щелевой шум», частота $f_{щ}$ которого определяется по формуле

$$f_{щ} = \text{Sh} \frac{u}{d} k, \quad (8)$$

где Sh – критерий Струхаля (принимается $\text{Sh} \approx 0,05$); u – скорость потока воздуха, м/с; d – геометрический размер щели, м; k – числовой ряд ($k = 1, 2, 3, 4, \dots$).

Если на двигателе установлен нагнетатель, то в этом случае добавляется тональный шум, связанный с вращением лопастей ротора. Частота этого шума определяется по формуле

$$f_m = k \frac{n_n z}{60}, \quad (9)$$

где n_n – частота оборотов вала ротора, мин^{-1} ; z – число лопастей ротора; k – числовой ряд ($k = 1, 2, 3, 4, \dots$).

«Вклад» системы впуска в картину общего шума достигает 8-12 дБ. Для понижения уровня шума системы применяют глушители шума впуска. Для БТР-4Е была разработана система воздухоочистки с эффективным трехступенчатым воздухоочисти-

телем, которая помимо очистки и подачи воздуха в цилиндры, является также глушителем шума впуска.

Для бронетранспортера БТР-4Е была спроектирована эжекционная система охлаждения, скомбинированная с **системой выпуска**. Такая конструкция традиционна для изделий с двухтактным двигателем, которые разрабатываются специалистами ГП ХКБМ. Наряду с рядом положительных свойств, этой конструкции присущи также недостатки, основным среди которых является повышенный уровень шума. Это связано с тем, что в системе выпуска отработавших газов (самом мощном источнике шума двигателя) глушитель отсутствует, а выпуск отработавших газов происходит с помощью соплового аппарата ресивера через проточную часть эжекторной коробки, которая состоит из плоских листов большой площади; при этом имеется свободная связь с атмосферой. В результате, поток отработавших газов из турбины двигателя разделяется на множество отдельных мелких газовых струй, равномерно распределенных по сечению проточной части эжекторной коробки. Смешение струй газа с атмосферным воздухом является основным источником шума выпуска двигателя.

Известно, что в структуре струи газа различают явно выраженные участки (рис. 4). Область струи, содержащая ядро постоянной скорости протяженностью около пяти диаметров сопла, называется начальным участком струи. В этой части потока при удалении от среза сопла происходят сужение ядра постоянной скорости и нарастание толщины пограничного слоя. Далее на участке струи протяженностью еще пять диаметров, где полностью исчезает след ядра постоянной скорости, начинается интенсивное падение скорости струи. Этот участок струи называется переходным. При дальнейшем удалении от среза сопла (на участке длиной более десяти диаметров сопла) наряду с уменьшением осевой скорости продолжает также увеличиваться ширина струи. В этой зоне пограничный слой струи заполняет поперечное сечение, и этот участок струи называется основным, или областью полностью развитого потока.

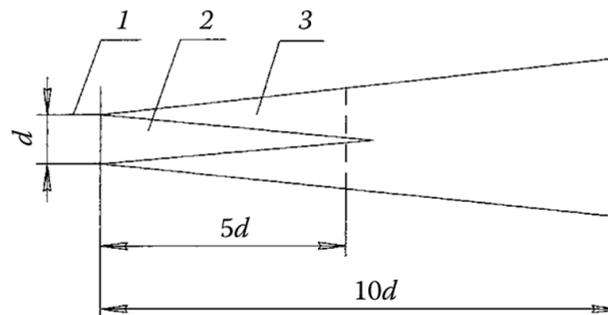


Рис. 4. Схема образования шума в струе:

1 – срез сопла; 2 – ядро струи; 3 – область смешения струи с окружающим воздухом

После выхода струи из сопла между движущимся потоком и окружающей воздухом образуется кольцевая зона смешения, где образуются турбулентные завихрения, определяющие шумовые характеристики струи. Небольшие вихри возле сопла являются источником высокочастотного шума, а более крупные, образующиеся ниже по потоку, рождают низкочастотный шум.

Схема распределения акустической мощности объема струи протяженностью от среза сопла до произвольного сечения представлена на рис. 5, откуда следует, что на

начальном участке акустическая мощность струи не зависит от ее расположения относительно среза сопла. На переходном и основном участках акустическая мощность резко падает. Установлено, что начальный участок струи излучает примерно 65% акустической мощности струи. Вся акустическая мощность струи излучается на участке протяженностью около 10 диаметров сопла от его среза. Максимальное звуковое излучение наблюдается в направлении, составляющем 30 - 50° с осью струи.



Рис. 5. Распределение акустической мощности

В соответствии с теорией турбулентных струй [6], акустическая мощность W , излучаемая цилиндрической струей газа, пропорциональна скорости струи в 6-8 степени (в зависимости от величины скорости), квадрату плотности газа в струе и квадрату диаметра струи:

$$W = 0,9 \times 10^{-5} \frac{\rho_c^2 v^6 d^2}{\rho_0 v_{зв}^3}, \quad \text{при} \quad \frac{v}{v_{зв}} \leq 0,5 \quad (10)$$

$$W = 3,0 \times 10^{-5} \frac{\rho_c^2 v^8 d^2}{\rho_0 v_{зв}^5}, \quad \text{при} \quad \frac{v}{v_{зв}} = 0,5 \dots 1,0, \quad (11)$$

где W – акустическая мощность, Вт; ρ_c – плотность газа в струе, кг/м³; v – скорость струи газа, м; d – диаметр струи, м; ρ_0 – плотность воздуха в окружающей среде, кг/м³; $v_{зв}$ – скорость звука в окружающем пространстве, м/с.

Анализ формул (10) и (11) показывает, что добиться снижения шума газовых струй можно следующими способами:

- снижением скорости струи;
- уменьшением плотности газа в струе и ее диаметра;
- изменением структуры струи таким образом, чтобы преобразовать газовую струю с ярко выраженной направленностью в размытое газовое «облако».

Наиболее эффективный способ снижения шума газовой струи – уменьшение ее скорости. Экспериментальные исследования показали, что уменьшение скорости струи в два раза вызывает снижение ее шума приблизительно на 20-40 дБ.

Определенный эффект дает применение специальных шумозаглушающих сопел многолепестковой конструкции и звукопоглощающей облицовки эжекторной коробки. Такое сопло, за счет подсоса окружающего воздуха, интенсифицирует процесс смешения и укорачивает высокоскоростной участок струи, а эжекторная коробка за счет об-

лицовки звукопоглощающими покрытиями (ЗПП) поглощает акустическое излучение. Замеры показывают, что шум струи снижается на 20 дБ при коэффициенте эжекции $k=2,5...3$.

На практике неравномерность потока газо-воздушной смеси на выходе эжектора и излучение акустической энергии из объема, закрытого эжектором, ведет к ухудшению акустических показателей. Условия размещения двигателя в бронетранспортере БТР-4Е, плотность компоновки МТО и ряд конструктивных требований к изделию, накладывают ограничения на длину эжектора и площадь его сечения, а также на размер и конструкцию сопел. Укорачивание эжектора повышает неравномерность потока на выходе, уменьшает площадь ЗПП и ухудшает возможности экранирования источников шума. Уменьшение проходной площади эжектора ухудшает характеристики смешения, что приводит к снижению эффективности работы системы охлаждения.

Сложность изготовления качественного ЗПП эжекторной коробки заключается в том, что требуется материал, который должен обладать несколькими взаимоисключающими свойствами:

- обладать высоким коэффициентом поглощения в необходимом частотном диапазоне и быть достаточно легким;
- иметь высокую пористость и быть устойчивым к износу;
- быть стойким к замасливанню и обладать негорючестью;
- иметь низкую гигроскопичность и высокую биологическую стойкость;
- иметь невысокую стоимость и быть недефицитным;
- быть не опасным для человека и быть простым в использовании.

Очевидно, что одновременное выполнение всех требований весьма затруднено, поэтому необходим разумный компромисс при решении данной проблемы.

Зубчатые передачи также являются главным источником вибраций и шума в разнообразных агрегатах. С повышением скорости зубчатых передач проблема снижения вибраций и шума приобретает все большее значение. Уровень шума зубчатых передач является одним из важнейших эксплуатационных показателей.

Уровень шума зубчатых передач определяется точностью зубчатых зацеплений, инерционными и жесткостными параметрами системы. Погрешности зацепления являются возбудителями вынужденных колебаний, а инерционные и жесткостные параметры определяют собственные колебания системы.

Обычно фактические размеры основных шагов ведущего и ведомого колес различны. Это приводит к ударам сопряженных зубьев, когда они входят в зацепление. Сила удара находится в прямой зависимости от величины погрешности зацепления, которая определяется разностью основных шагов ведущего и ведомого колес и их окружной скоростью. При возрастании скорости вращения вала соответственно возрастает и интенсивность шума.

$$L=L_0+10\lg u^k, \quad (12)$$

где L_0 – начальная составляющая шума (обычно принимается $L_0=35...50$ дБА); u – окружная скорость зубчатого колеса, м/с; k – коэффициент (обычно принимается $k=1,5...3$).

Возрастание уровня шума в зависимости от передаваемой нагрузки выражается следующей зависимостью

$$L=L_0+20\lg N, \quad (13)$$

где N – передаваемая мощность, кВт.

Другой причиной вибраций и шума зубчатых передач является мгновенное изменение жесткости зубчатого зацепления при переходе от двухпарного зацепления зубьев к однопарному, а также изменение направления силы трения, действующей между рабочими профилями зубьев в полосе зацепления.

Погрешности профиля зубьев, возникающие в процессе их нарезки, а также огранка профиля зубьев в результате прерывности процесса резания вызывают ударные импульсы. Эти погрешности обуславливают неудовлетворительную форму пятна контакта между сопрягающимися зубьями, что также способствует повышению шума и вибраций.

Возникновению повышенного шума способствуют погрешности расточки базовых отверстий в корпусе зубчатой передачи. Даже при качественном изготовлении зубчатых колес перекосы валов, на которых они монтируются, могут привести к результатам, аналогичным тем, какие получаются при погрешностях самих зубчатых колес.

Снижение вибраций и шума зубчатых передач можно достигнуть следующими способами:

- изменение формы зубьев;
- фланкирование профилей зубьев для компенсации погрешностей при изготовлении и монтаже зубчатых колес, а также для уменьшения влияния деформации зубьев при их работе под нагрузкой;
- введение операции шевингования зубьев, повышающей плавность зацепления.
- применением отделочной операции (притирки зубьев).

Способы снижения шума зубчатых передач с помощью некоторых конструктивных, эксплуатационных и наладочных мероприятий представлены в табл. 3

Таблица 3

Наименование мероприятий	Снижение уровня шума, дБ
Ликвидация <u>погрешностей</u> в зацеплении шестерен	10
Замена прямозубых зубчатых колес на косозубые (угол наклона зубьев 20...45 °)	5
Совершенствование геометрии зуба	3 ... 5
Применение свободной посадки вместо плотной	12
Замена зубчатой передачи на клиноременную	15
Применение шумозаглушающего кожуха	9 ... 15
Применение высококачественной смазки	5 ... 10
Замена подшипников качения на подшипники скольжения	15
Замена металлических корпусов на пластмассовые:	
в области высоких частот	7–15
в области средних частот	2–6
Качественная сборка с использованием регулировки подшипниковых опор	5

ВЫВОДЫ. Таким образом, в процессе проведения стендовых и полевых испытаний, а также во время эксплуатации бронетранспортера БТР-4Е было установлено, что уровень шума превышает допустимые нормы. Как показали натурные замеры, основным источником шума является двигатель ЗТД-3А.

Двигатели семейства ЗТД разработаны на базе танковых двухтактных дизелей 5ТДФ, 6ТД-1 и 6ТД-2, которые по своим характеристикам не уступают лучшим зарубежным образцам, а по некоторым параметрам и превосходят их. Как и его предшественники, двигатель ЗТД-3А обладает рядом положительных свойств, таких как:

- отсутствие газораспределительного механизма;
- высокая компактность;
- достаточно низкая теплоотдача;
- высокая литровая мощность;
- высокая эффективность наддува и возможность использования энергии отработавших газов;
- возможность эксплуатации при температурах окружающей среды от минус 50°С до плюс 55 °С;
- возможность работы на различных видах топлива и их смесях.

Впрочем, двигателям семейства ЗТД присущи и недостатки, такие как:

- повышенный расход масла и неполное сгорание рабочей смеси (образуется более дымный и токсичный выхлоп);
- высокая чувствительность двигателя к пыли;
- повышенный шум.

Шум дизельного двигателя является следствием целого ряда факторов – типа рабочего процесса, конструкции механизмов и систем двигателя, конструкции нагруженных и ненагруженных корпусных деталей, наличия звукоизолирующих кожухов или экранов, качества изготовления и сборки, степени доводки и пр. Улучшение виброакустических характеристик двигателя может быть осуществлено воздействием как комплексно на все вышеперечисленные факторы, так и по отдельности на некоторые из них.

Так, наряду с совершенствованием процесса сгорания, необходимо рациональное конструирование узлов и систем двигателя, что позволит уменьшить акустическую энергию, излучаемую основными источниками шума.

Одновременно специалистами ГП «ХКБМ» разрабатываются и внедряются конструктивные мероприятия, направленные на уменьшение акустической энергии для изделия БТР-4Е в целом, например:

- использование качественно отбалансированных малозумных агрегатов и элементов трансмиссии и ходовой части;
- более точный подбор характеристик эластичных элементов подвески силового агрегата, трансмиссии и ходовой части;
- оптимизация конструкции систем воздухоочистки и выпуска отработавших газов, топливной системы и системы смазки двигателя;
- повышение общей жесткости корпуса бронетранспортера и др.

Применяются также пассивные методы борьбы с шумом, которые предусматривают уменьшение количества акустической энергии, проходящей от источника шума к органам слуха оператора. К ним можно отнести:

- широкое применение шумо- и виброизоляционных материалов в обитаемых отделениях, которые позволяют снизить структурные шумы;
- применение эффективных защитных кожухов над шумящими агрегатами;
- использование личным составом – экипажем и десантом – индивидуальных средств защиты органов слуха (наушники, шлемофоны).

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- дизельный двухтактный двигатель ЗТД-3А, который используется в силовой установке бронетранспортера БТР-4Е, позволяет достичь требуемых характеристик подвижности; при этом особое внимание следует уделить вопросам снижения шума этого двигателя и уменьшению расхода масла;
- применение танкового, по своей сути, двигателя требует разработки силового отделения с использованием танковых конструктивных решений, таких как «двухэтаж-

ная» компоновка МТО, эжекционная система охлаждения двигателя, воздухоочиститель циклонного типа и др.;

– использование систем и агрегатов, применяемых в бронетанковой технике, позволяет ускорить подготовку производства, упростить и удешевить серийное изготовление бронетранспортера БТР-4Е. Такой подход отличается от мировой практики изготовления легкобронированной техники на базе автомобильных агрегатов гражданского назначения, но позволяет облегчить процесс освоения бронетранспортера БТР-4Е в войсках, упростить его техническое обслуживание, а также снизить расходы на эксплуатацию и ремонт;

– производство большинства комплектующих на производственных площадях основного изготовителя – ГП «ЗиМ» – экономит время и снижает расходы на транспортировку, а также позволяет оперативно решать возникающие вопросы;

– применение комплектующих отечественного производства позволяет производить БТР-4Е по замкнутому циклу.

Литература: 1. Под ред. проф. Юдина Е.Я «Борьба с шумом». М., Стройиздат, 1964 г., 702 с. 2. «Борьба с шумом мототранспорта» //Обзор статей, М., НИИАВТОПРОМ, 1967 г., 26 с. 3. ГОСТ В 21950-76 Система «человек-машина». Стабильный акустический шум на рабочем месте человека-оператора. М., Издательство стандартов, 1976 г., 16 с. 4. Под ред. С.П. Алексеева и А.В. Кузнецова «Борьба с шумом на транспорте». М., ГОСИНТИ, 1960 г., 441 с. 5. Ефремов А. С. «Пути улучшения условий боевой работы экипажа танка Т-80» «Техника и вооружение» №2, 2013 г., 2-6 с. 6. Голованов В. И. «Акустические характеристики большерасходного глушителя шума газовых струй» / Голованов В. И., Славянинов В. Н., Федоров В. К. // Электронный журнал «Техническая акустика» № 2, 2002г., с 9.1-9.6. 7. Акт державних випробувань № 157 від 19.06.2012 р., ГП ХКБМ, Харків, 2012 г.

Bibliography (transliterated): 1. Pod red. prof. YUdina E.YA «Bor'ba s shumom». M., Strojizdat, 1964 g., 702 s. 2. «Bor'ba s shumom mototransporta» //Obzor statej, M., NIIAVTOPROM, 1967 g., 26 s. 3. GOST V 21950-76 Sistema «chelovek-mashina». Stabil'nyj akusticheskij shum na rabochem meste cheloveka-operatora. M., Izdatel'stvo standartov, 1976 g., 16 s. 4. Pod red. S.P. Alekseeva i A.V. Kuznecova «Bor'ba s shumom na transporte». M., GOSINTI, 1960 g., 441 s. 5. Efremov A. S. «Puti uluchsheniya uslovij boevoj raboty ehkipazha tanka T-80» «Tekhnika i vooruzhenie» №2, 2013 g., 2-6 s. 6. Golovanov V. I. «Akusticheskie harakteristiki bol'sheraskhodnogo glushitelya shuma gazovyh struj» / Golovanov V. I., Slavyaninov V. N., Fedorov V. K. // EHlektronnyj zhurnal «Tekhnicheskaya akustika» № 2, 2002g., s 9.1-9.6. 7. Akt derzhavnih viprobuvan' № 157 vid 19.06.2012 r., GP HKBM, Har'kov, 2012 g.

Мормило Я.М., Бобер А.В., Крот С.Г., Лазурко О.В., Фолунін С.О., Кривохижа С.В.

**АНАЛІЗ ПРИЧИН ШУМУ БРОНЕТРАНСПОРТЕРА БТР-4Е ТА
КОНСТРУКТИВНІ ЗАХОДИ ПО ЙОГО ЗНИЖЕННЮ.**

У статті наведено теоретичні та експериментальні дослідження щодо визначення складових підвищеного шуму в бронетранспортері БТР-4Е й машин на його базі, в яких встановлено двигун 3ТД-3А, та здійснена спроба визначити основні напрямки конструкторських заходів по зменшенню шуму.

Ya. Mormilo, A. Bober, K. G.rot, A. Lazurko, S. Folunin, S. Kryvokhyzha

**ANALYSIS OF THE CAUSES OF NOISE OF BTR-4E APC AND DESIGN
METHODS TO REDUCE IT**

The article describes theoretical and experimental studies regarding constituents of increased noise in the armoured personnel carrier BTR-4E and vehicles of its family, which are equipped with engine 3TD-3A and the attempt to find out the main directions of design works to reduce the noise has been made.