

ОПЫТ ПОДГОТОВКИ АВТОМОБИЛЕЙ МАЗ С ДВИГАТЕЛЯМИ DEUTZ К СЕРТИФИКАЦИОННЫМ ИСПЫТАНИЯМ ПО ШУМУ

Канд. техн. наук КУНОВСКИЙ Э. Б.

Белорусский национальный технический университет

Требования экологии привели к необходимости с начала 2005 г. иметь в номенклатуре продукции РУП «МАЗ» автомобили, соответствующие требованиям Евро-3 и Правилам ЕЭК ООН № 51-02. В основном на автомобили МАЗ устанавливаются двигатели Ярославского моторного завода, но ЯМЗ не может обеспечить необходимое количество двигателей, соответствующих нормам Евро-3. В то же время ряд европейских стран уже перешли к выпуску автомобилей, соответствующих более высоким экологическим нормам, а вступление прибалтийских стран и стран восточной Европы (которые традиционно являются рынком сбыта продукции Минского автозавода) в Евросоюз поставило задачу быстрого освоения

производства автомобилей с двигателями, соответствующими требованиям Евро-3.

Служба маркетинга завода остановила свой выбор на продукции немецкой фирмы Deutz. Были закуплены четыре типа двигателей, на основе которых создано семейство автомобилей (табл. 1).

Короткие сроки разработки конструкторской документации не позволили в полной мере проанализировать принятые при конструировании автомобилей решения, с точки зрения их соответствия требованиям международных норм по внешнему шуму. Поэтому проблемы, связанные с внешним шумом автомобилей, решались главным образом в процессе их испытаний на соответствие нормативным документам, для получения сертификатов.

Таблица 1

Краткие технические характеристики автомобилей МАЗ с двигателями Deutz

Модель автомобиля	Колесная формула	Полная масса, кг	Модель двигателя (число и расположение цилиндров)	Мощность двигателя, номин. обороты	КПП (передаточные числа)
МАЗ-437030	4×2	10100	Deutz BF4M1013FC Code 125G1 (4R)	125 кВт, 2400 мин ⁻¹	ZF S5-42 (5,72; 2,94; 1,61; 1,00; 0,76)
МАЗ-533731	4×2	18000	Deutz BF4M1013FC Code 140G2 (6R)	140 кВт, 2300 мин ⁻¹	ZF 6S850 (6,72; 3,68; 2,15; 1,41; 1,00; 0,97)
МАЗ-555132	4×2	18000	Deutz BF6M1013FC Code CE 180F1 (6R)	180 кВт, 2300 мин ⁻¹	ZF 9S75 (9,56; 6,47; 4,72; 3,50; 2,54; 1,85; 1,35; 1,00; 0,73)
МАЗ-533632	4×2	18200	Deutz BF6M1013FC Code CE 180F1 (6R)	180 кВт, 2300 мин ⁻¹	ZF 9S75 (9,56; 6,47; 4,72; 3,50; 2,54; 1,85; 1,35; 1,00; 0,73)
МАЗ-551633	6×2	33000	Deutz BF6M1013FC Code CE 210F2 (6R)	210 кВт, 2300 мин ⁻¹	ZF 9S109 (10,24; 6,57; 4,78; 3,53; 2,61; 1,86; 1,35; 1,00; 0,74)
МАЗ-630333	6×2	26700	Deutz BF6M1013FC Code CE 210F2 (6R)	210 кВт, 2300 мин ⁻¹	ZF 9S109 (10,24; 6,57; 4,78; 3,53; 2,61; 1,86; 1,35; 1,00; 0,74)

Рассмотрим основные источники шума автомобиля МА3-551633. Для этого построим его виброакустическую матрицу [1–3] на основе конструктивных особенностей, которая представляет собой своего рода веер зубцовых частот, проявляющихся на мультиспектрах шумов автомобиля или мультиспектрах вибраций его отдельных агрегатов при проезде автомобилем измерительного участка в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН № 51–02. Для анализа доминирующих источников шума автомобиля выбирается режим его движения на той передаче, на которой фиксируется максимальный уровень внешнего шума. Так, для автомобиля МА3-551633 – это четвертая передача. Автомобиль должен приближаться к измерительному участку на четвертой передаче со скоростью, соответствующей вращению коленчатого вала двигателя с частотой 1725 мин⁻¹. Если отбросить зубцовые частоты, которые на мультиспектрах шума автомобиля не проявились или выражены слабо, то виброакустическая матрица МА3-551633 может быть рассчитана исходя из его конструктивных особенностей (табл. 2, 3, рис. 1). Наложение виброакустической матрицы на мультиспектры шума дает анализ источников внешнего шума автомобиля (рис. 2).

Таблица 2
Конструктивные особенности МА3-551633

Колесная формула	4×2
Двигатель (изготовитель, модель): - тип - тактность - число и расположение цилиндров - номинальная мощность - частота вращения коленчатого вала двигателя при номинальной мощности, мин⁻¹	Deutz BF6M1013FC Code CE 210F2 дизельный 4-тактный 6R 210 кВт 2300
Коробка передач (модель): - тип - способ переключения - число передач переднего хода - передаточные числа	ZF 9S109 механическая, ручной 9 10,24; 6,57; 4,78; 3,53; 2,61; 1,86; 1,35; 1,00; 0,74
Информация о конструктивных особенностях КП	Отсутствует
Передаточное отношение ведущей тележки, в том числе количество: - зубьев ведущей шестерни центрального редуктора - зубьев ведомой шестерни центрального редуктора - зубьев входной шестерни колесной передачи моста - сателлитов колесной передачи моста - о зубьев сателлита - зубьев коронной шестерни	6,59 13 25 21 4 15 51

Таблица 3

Возможные частоты в мультиспектрах шума автомобиля МА3-551633 на четвертой передаче при изменении оборотов коленчатого вала двигателя от 1725 до 2300 мин⁻¹

№ п/п	Причина шума или вибрации	Формула	Обозначение	Диапазон частот
1	Частота следования выхлопов и частота опрокидывающего момента двигателя	$f_{\text{вых}} = \frac{n}{60} \frac{i}{\tau}$	i – количество цилиндров двигателя; τ – тактность двигателя	86,25–112,5 Гц
2	Вторые гармоники частоты следования выхлопов и частоты опрокидывающего момента двигателя	$f_{2\text{вых}} = 2 f_{\text{вых}}$		172,5–225 Гц
3	Частота перекладки поршней цилиндропоршневой группы	$f_{\text{пер}} = \frac{bni}{60}$	b – число перекладок поршня	345–450 Гц
4	Зубцовая частота центрального редуктора моста	$f_{\text{ред}} = \frac{n}{60i_k} z_{\text{в.м}}$	i_k – передаточное отношение КП; $z_{\text{в.м}}$ – количество зубьев ведущей шестерни моста	172,5–225 Гц

Окончание табл. 3

№ п/п	Причина шума или вибрации	Формула	Обозначение	Диапазон частот
5	Вторая гармоника – зубцовая частота центрального редуктора моста или фазовые соотношения между главными передачами среднего и заднего мостов	$f_{2\text{ред}} = 2 f_{\text{ред}}$		286,4–373,6 Гц
6	Зубцовая частота входной шестерни бортовой передачи моста	$f_{\text{пол}} = \frac{n}{60 i_k i_{г.р}} z_{п.к}$	$i_{г.р}$ – передаточное отношение главного редуктора моста; $z_{п.к}$ – количество зубьев входной шестерни бортовой передачи моста	120,5–157,2 Гц
7	Фазовые соотношения входной шестерни колесной передачи и сателлитов колесной передачи моста	$f_{\phi 2} = f_{\text{пол}} k_{см}$	$k_{см}$ – количество сателлитов колесной передачи моста	482–628,8 Гц

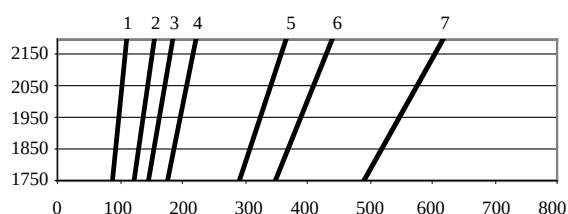


Рис. 1. Виброакустическая матрица автомобиля МА3-551633: 1 – частота следования выхлопов; 2 – зубцовая частота шестерни бортовой передачи моста; 3 – вторая гармоника частоты следования выхлопов; 4 – зубцовая частота центрального редуктора моста (ЗЧЦРМ); 5 – вторая гармоника ЗЧЦРМ; 6 – частота перекачки поршней двигателя; 7 – фазовые соотношения сателлитов моста

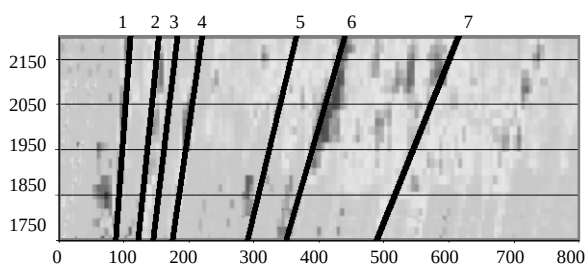


Рис. 2. Анализ основных источников шума автомобиля МА3-551633 (обозначения – на рис. 1)

Анализ спектрального состава шумов МА3-551633 показал, что доминирующим источником шума этого автомобиля является двигатель. Наиболее интенсивные спектральные составляющие шума определяются частотами, связанными с перекачкой поршней двигателя и срабатыванием клапанов газораспределительного механизма. Второй по интенсивности источник шума – шум ведущей тележки автомобиля. Исходя из анализа, можно сделать вывод о том, что необходим поиск конструкторских решений по совершенствованию капсулы

силового агрегата, а если за счет капсулирования достичь допустимого уровня шума не представится возможным, то потребуются мероприятия по снижению уровня шума ведущей тележки.

Вторым по значимости источником шума является ведущая тележка автомобиля, на мультиспектрах шума хорошо просматриваются зубцовые частоты шестерни бортовой передачи моста и ведущей шестерни центрального редуктора.

Капсула силового агрегата построена с использованием верхних экранов, закрепляемых на кабине, и нижних экранов, поддерживаемых рамой таким образом, чтобы обеспечить доступ к верхней части двигателя путем опрокидывания кабины. Подобная конструкция опробована на Минском автозаводе при решении вопросов снижения внешнего шума автомобилей с двигателями фирмы MAN [4].

Отличие данного решения заключается в более тщательной проработке экранов капсулы, установленных над коробкой передач автомобиля в связи с использованием малой серийной кабины. Фотографии отдельных элементов капсулы представлены на рис. 3–6.

Однако одного капсулирования оказалось недостаточно для снижения шума автомобиля до допустимой Правилами ЕЭК ООН № 51-02 нормы в 80 дБ·А, пришлось дополнительно устранять технологические отверстия в раме автомобиля за счет использования резиновых грибков, а также уменьшать шум ведущей тележки за счет использования колесных шумоизолирующих колпаков и закреплении на щитках тормоза ведущей тележки шумоизоляционного материала.



Рис. 3. Кожух капсулы, установленный над КП за кабиной автомобиля

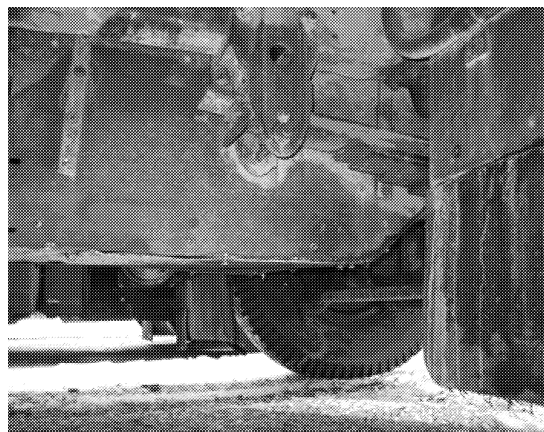


Рис. 4. Экраны капсулы, установленные в нижней части силового агрегата



Рис. 5. Верхний боковой экран капсулы

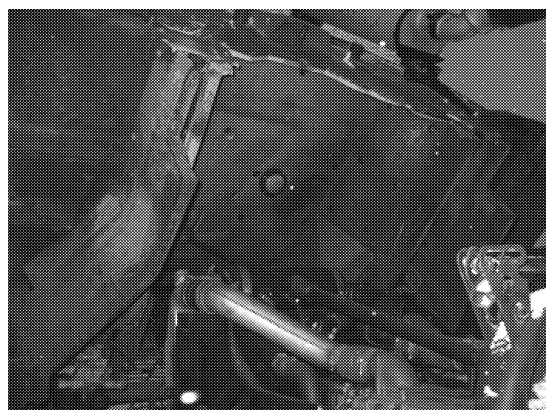


Рис. 6. Экраны капсулы, закрепленные на кабине

При анализе мультиспектров шума автомобиля МАЗ-555132, помимо шума, двигателя проявился еще один достаточно интенсивный источник шума – система выпуска отработавших газов. Капсула силового агрегата автомобиля МАЗ-555132 выполнена аналогично капсуле МАЗ-551633, а систему выпуска отработавших газов пришлось оперативно дорабатывать. Серийный трехкамерный глушитель 630300-1201010, который используется на автомобилях с восьмицилиндровыми двигателями ЯМЗ и на автомобиле МАЗ-551633, оказался неэффективным. Причина этого, по-видимому, заключается в том, что в связи с более низкой мощностью двигателя, установленного на автомобиле МАЗ-555132, уменьшилось противодействие, оказываемое системой выпуска отработавших газов на двигатель и, как следствие, упала ее эффективность по

подавлению шумов выпуска. Идея доработки глушителя шума выпуска состояла в том, чтобы повысить противодействие серийного глушителя и тем самым увеличить его эффективность по заглушению шума выпуска, тем более, что имелся значительный запас по противодействию. Такое решение удалось найти при изменении конструкции средней камеры глушителя. Вместо перфорированной трубы, которая стояла во второй камере и соединяла вторую камеру глушителя с третьей, напротив входа во вторую камеру была включена перфорированная перегородка с конусом. Такая конструкция обеспечивала, во-первых, более равномерное распределение газов по второй камере за счет конуса, во-вторых, за счет прохождения газов через отверстия перегородки газовый поток становился менее турбулентным, и, наконец, наличие конуса с которым встречался

газовый поток при выходе из первой камеры повышало противодавление глушителя, что тоже обычно приводит к увеличению эффективности глушителя. Схема нового глушителя приведена на рис. 7, а его конструкция защищена патентом [5].

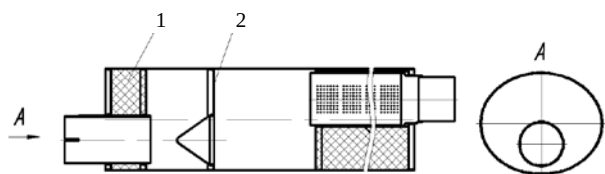


Рис. 7. Схема модифицированного глушителя шума выпуска для двигателя Deutz мощностью 180 кВт: 1 – базальтовое волокно; 2 – перфорированная перегородка с конусом

Анализ мультиспектров шума автомобилей МАЗ-533731 и МАЗ-437030 показал, что шумы двигателей у этих автомобилей проявляются существенно меньше. Конструкции капсул не потребовали специальной проработки, а изготовлены для МАЗ-533731 по чертежам, используемым для серийных автомобилей с шестицилиндровыми двигателями ЯМЗ, а для МАЗ-437030 – по чертежам серийного автомобиля МАЗ-457040. Основная проблема снижения внешнего шума этих автомобилей связана с необходимостью повышения эффективности систем выпуска отработавших газов.

Для автомобиля МАЗ-437030 решения по модернизации одного из серийных глушителей, использующихся на заводе, найти не удалось, пришлось создавать новый. Следует отметить, что удалось сохранить все трубопроводы системы выпуска и даже крепежные элементы глушителя, поскольку для нового глушителя использован корпус от серийного 5337-1201010, а его внутреннее устройство (рис. 8) переработано полностью. На конструкцию данного глушителя также получен патент на изобретение [6].

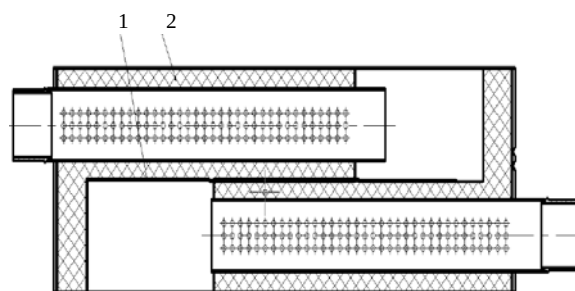


Рис. 8. Схема глушителя для четырехцилиндрового двигателя Deutz мощностью 125 кВт: 1 – перфорированная перегородка; 2 – базальтовое волокно

ВЫВОД

Разработанная методика идентификации источников шума автомобилей позволяет без использования дорогостоящего оборудования оперативно решать сложные научно-технические задачи по доработке автомобилей по уровню создаваемого ими внешнего шума и своевременно сертифицировать выпускаемую продукцию. В настоящее время автомобили в виде машинокомплектов поставляются в прибалтийские страны, в которых организовано их сборочное производство.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куновский, Э. Б. Спектральный анализ как инструмент идентификации источников шума автомобилей / Э. Б. Куновский, С. М. Минюкович // Автомобильная промышленность. – 2004. – № 4. – С. 35–38.
2. Куновский, Э. Б. Идентификация источников шума автомобиля / Э. Б. Куновский. – Минск: Технопринт, 2005. – 100 с.
3. Куновский, Э. Б. Идентификация источников шума автомобилей на основе спектральных представлений / Э. Б. Куновский, С. М. Минюкович // Материалы конференции ААИ. – Дмитров: НИЦИАМТ, 2003. – Вып. II. – С. 96–101.
4. Капсулирование силовых агрегатов автомобилей МАЗ / И. С. Гаухштейн [и др.] // Автомобильная промышленность. – 2003. – № 4. – С. 10–13.
5. Глушитель шума выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания: пат. на полезную модель Республики Беларусь ВУ № 2426 06.22.2005 / П. В. Амброзевич, Э. Б. Куновский, С. М. Талалов.
6. Глушитель шума выпуска газов двигателя внутреннего сгорания: пат. на изобретение Российской Федерации RU № 2272155 / П. В. Амброзевич, В. С. Душкин, А. М. Захарик, И. П. Малявко, Э. Б. Куновский, А. П. Ракосин.

Поступила 10.01.2007