

СНИЖЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО АЭРОАКУСТИЧЕСКОГО ШУМА В САЛОНЕ АВТОМОБИЛЯ ВАЗ-1118

© 2004 Е. В. Шахматов¹, С. П. Прохоров²

¹Самарский государственный аэрокосмический университет

²ОАО «АвтоВАЗ»

В статье представлен комплекс разработанных мероприятий, направленных на улучшение акустического комфорта и снижение уровня шума в салоне автомобиля ВАЗ-1118 «Калина». Приведены результаты экспериментальной оценки предложенного комплекса мероприятий.

Движение легкового автомобиля по поверхности дорожного покрытия с высокими скоростями может быть рассмотрено как перемещение в воздушном пространстве замкнутой оболочки, образующей пространство салона. Формирование соответствующего распределения полей (эпюр) давлений по внешней поверхности этой движущейся с высокими скоростями оболочки может повлечь определенное динамическое взаимодействие внешнего обтекающего воздушно-го потока с внутренним квазистабильным воздушным пространством салона автомобиля через отдельные каналы связи – негерметичности конструктивного, технологического или эксплуатационного характера. Кроме того, некоторые детали экстерьера автомобиля (зеркала, антенны, спойлеры и т.п.) могут являться активными вихреобразующими шумоактивными элементами. Данные динамические взаимодействия приводят к генерированию аэродинамического шума, проникающего в пространство салона автомобиля и неблагоприятно воздействующего на организм человека, к снижению акустического комфорта водителя и пассажиров, уменьшению привлекательности автомобиля с точки зрения потребительского спроса [1, 2].

В мировой практике распространены следующие мероприятия по снижению внутреннего шума в салоне автомобиля [1, 3]:

- использование высокоэффективных вибродемпфирующих покрытий (ламинатов) на поверхностях панелей кузова (щитках передка, пола);

- использование высокоэффективных глушителей шума систем впуска и выпуска

газов;

- применение эффективных виброизолирующих опор силового агрегата и системы выпуска отработавших газов;

- согласование акустических свойств полого пространства пассажирского салона и виброакустических свойств панелей кузова;

- увеличение звукоизоляции салона от шума качения колес и шума, генерируемого двигателем и его системами, агрегатами трансмиссии автомобиля;

- использование в салоне и моторном отсеке автомобиля цельноформованных многофункциональных деталей с высокими звукопоглощающими и звукоизолирующими характеристиками;

- применение низкошумной системы подачи и удаления воздуха из салона и т. д.

Большое значение при реализации указанных мероприятий по уменьшению шума в салоне занимает аэроакустическая доводка автомобиля в аэродинамических или аэроакустических трубах ведущих мировых научно-технических центров автомобильной индустрии.

В данной работе представлены мероприятия по доводке автомобиля ВАЗ-1118 серии 200 по аэроакустическому внутреннему шуму салона. Исследовалась модификация ВАЗ-1118 серии 200 «Норма» (рис. 1) в нескольких комплектациях в соответствии с таблицей 1. В исходном состоянии автомобиль ВАЗ-1118 был укомплектован:

- фарами-муляжами, изготовленными из фар автомобиля ВАЗ-2111;

- повторителями указателя поворота, смонтированными на фарах-муляжах;

- наружными зеркалами заднего вида серии 200;
- уплотнителями кузова серии 200;
- шинами Би-391 размерностью 175/70 R13 производства АО «Белшина».

Испытания автомобиля по внутреннему шуму проводились в аэродинамической трубе. Скорость воздушного потока определялась по перепаду давления ΔP_d между форкамерой и началом рабочей части трубы в соответствии с выражением

$$V = \sqrt{\frac{2Q}{\rho}},$$

где ρ - плотность воздуха; Q – скоростной напор воздушного потока в рабочей части:

$$Q = 1,028 \cdot \Delta P_d + 3 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta P_d^2.$$

Уровень акустических помех в неработающей аэродинамической трубе (при отсутствии воздушного потока) не превышал 50 дБА. Испытания автомобиля проводились на режимах имитации набегающего потока воздуха с постоянными скоростями 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 км/ч. Измерения уров-

ней внутреннего шума проводились в продольной плоскости симметрии автомобиля на уровне органов слуха водителя и переднего пассажира (точка Т1) и на уровне органов слуха задних пассажиров (точка Т2).

При испытаниях и обработке результатов использовалась автоматизированная система регистрации и анализа внутреннего шума, которая включает:

- цифровой частотный анализатор LD2900 производства фирмы «Ларсон-Дэвис» (США);
- микрофоны типа 4133 производства фирмы «Брюль и Кьер» (Дания);
- калибратор типа 4231 производства фирмы «Брюль и Кьер» (Дания);
- компьютер «Hewlett Packard Vectra VL», входящий в систему обработки результатов;
- программное обеспечение «Октава 3.0» фирмы «Октава +» (Россия).

В таблице 2 представлены результаты аэроакустических испытаний автомобиля ВАЗ-1118 модификации «Норма» с мероприятиями, оказывающими наибольшее влияние на аэродинамический внутренний шум салона.

Таблица 1

Список комплектаций с мероприятиями по акустической доводке салона автомобиля ВАЗ-1118 серии 200

Комплектации автомобиля	Мероприятия, соответствующие комплектации автомобиля модификации «Норма»
Комплектация 0'	Исходное состояние
Комплектация 0	Доработанное исходное состояние с термовздукоизолирующими заглушками, установленными в пустотелых сечениях силового каркаса кузова (порогах, стойках, лонжеронах)
Комплектация 1	Поверхность фар-муляжей выровнена под установку штатных стекол фар стальной лентой с дополнительной герметизацией зазоров при помощи пластилина (рисунок 1)
Комплектация 2	Дополнительно к комплектации 1 пластилином герметизированы зазоры между капотом и сопрягаемыми элементами кузова, разъем между передними крыльями и бампером. Вместо штатного брызговика двигателя установлен развитый экран низа моторного отсека, футерованный шумопоглощающим материалом LA 12,5 SE. Внешняя поверхность стекол боковых дверей при помощи жесткого картона и пластилина выведена на уровень наружной плоскости стоек кузова, пластилином герметизированы разъемы боковых дверей. В багажном отсеке пластилином герметизированы вытяжные каналы системы вентиляции салона автомобиля, а также зазоры между крышкой багажника и сопрягаемыми элементами кузова, разъем между крышкой багажника и задним стеклом автомобиля. Дополнительно пластилином герметизированы разъемы между боковинами кузова и задним бампером. Проведено дополнительное ужесточение крепления жабо к кузову
Комплектация 3	Дополнительно к комплектации 1 проведены следующие мероприятия: - герметизация разъемов боковых дверей; - герметизация разъемов между боковинами кузова и задним бампером; - ужесточение крепления жабо к кузову



Рис. 1. Автомобиль ВАЗ-1118 по комплектации 1 с поверхностью фар-муляжей, выровненной под установку штатных стекол фар стальной лентой и пластилином

Из таблицы 2 видно, что при скоростях потока воздуха 60...180 км/ч уровни внутреннего шума автомобиля ВАЗ-1118 в комплектации 0', принятой за исходное состояние, имеют достаточно высокие значения – 55,8...82,5 дБА, соответственно. При этом уровни шума в точке Т2 на 0,8...1,5 дБА выше, чем в зоне органов слуха водителя и переднего пассажира. После установки термозвукоизолирующих заглушек в пустотелых сечениях силового каркаса кузова (комплектация 0, принятая за доработанное исходное состояние)

максимальные уровни внутреннего шума автомобиля на данных режимах обдува значительно снизились (до 1,9...3,5 дБА) и составили 53,9 и 79,9 дБА при скоростях 60 и 180 км/ч, соответственно. При этом на скорости потока воздуха 100 км/ч максимальные уровни аэродинамического внутреннего шума снизились на 2,8 дБА - с 68,5 дБА до 65,7 дБА.

Таблица 2

Результаты аэроакустических испытаний автомобиля ВАЗ-1118 модификации «Норма»

Режимы имитации набегающего потока воздуха, км/ч	Комплектация 0'		Комплектация 0		Комплектация 1 (базовая)		Комплектация 2		Комплектация 3	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
60	55,2	55,8	53,1	53,9	53,1	54,0	51,2	52,1	51,2	52,4
80	62,2	63,0	59,9	60,4	59,6	60,1	58,1	59,0	57,9	59,0
100	67,3	68,5	65,4	65,7	65,3	65,5	63,6	64,4	63,3	64,3
120	71,3	72,8	69,9	70,0	69,7	69,9	68,3	69,0	68,0	68,9
140	75,2	76,3	73,5	73,7	73,4	73,5	72,5	73,7	72,3	73,5
160	78,7	80,5	77,0	76,9	76,7	76,7	75,7	76,6	75,5	76,4
180	81,0	82,5	79,9	79,8	79,6	79,5	78,6	79,1	78,3	79,1

В ходе проведения исследований по отработке мероприятий, призванных улучшить аэроакустику салона автомобиля ВАЗ-1118 серии 200, за базовое состояние принята комплектация 1, в которой дополнительно к мероприятиям, реализованным в комплектации 0, была выполнена доработка внешних поверхностей кузова, имитирующая установку штатных блок-фар на кузов автомобиля с помощью фар-муляжей. Поверхность фар-муляжей выровнена стальной лентой с дополнительной герметизацией зазоров при помощи пластилина. При этом максимальные уровни аэродинамического внутреннего шума салона по сравнению с доработанным исходным состоянием автомобиля (комплектация 0) снизились незначительно - на 0,3 дБА (таблица 2).

Практически при всех имитируемых скоростях набегающего потока воздуха, при перекрытии воздушных каналов системы охлаждения двигателя и обусловленном этим увеличении скорости набегающего потока под нижнюю зону кузова автомобиля общие уровни аэроакустического внутреннего шума возрастают до 1,3 дБА при $V = 120...180$ км/ч.

Исследования показали, что некоторые мероприятия (например, герметизация зазоров между капотом и сопрягаемыми элементами кузова, разъема между передними крыльями и бампером, установка развитого экрана низа моторного отсека, футерованного шумопоглощающим материалом LA 12,5 SE), апробированные по отдельности, не оказывают существенного влияния на уровень внутреннего шума салона. Однако их совместное применение (комплектация 2) приводит к снижению уровня шума по отношению к базовому состоянию автомобиля (таблица 2). При этом наблюдается снижение общего уровня внутреннего шума салона по отношению к базовому состоянию (комплектация 1) на 1,9 дБА при всех имитируемых скоростях набегающего потока воздуха.

Анализ уровней аэроакустических шумов в салоне автомобиля при имитации набегающего потока воздуха с постоянной скоростью 60...180 км/ч показал, что наиболее

эффективными в отношении снижения уровня внутреннего шума кузова автомобиля ВАЗ-1118 являются комплектации 2 и 3 модификации «Норма». В комплектации 2 реализованы совместно все предложенные мероприятия. В комплектации 3 оценены лишь некоторые мероприятия, а именно:

- дополнительное ужесточение крепления жаб к кузову. При обратном устранении введенного ужесточения крепления общие уровни шума увеличиваются до 1,7 дБА;

- герметизация разъемов боковых дверей с помощью пластилина. При проведении обратной разгерметизации салона общие уровни шума увеличиваются до 0,8 дБА;

- герметизация зазоров между боковинами кузова и задним бампером с помощью пластилина. При обратной разгерметизации салона общие уровни шума увеличиваются до 0,9 дБА.

Уровни внутреннего шума в салоне автомобиля ВАЗ-1118 в комплектации 3 являются достаточно близкими по значениям к уровням для комплектации 2. Разница по общим уровням не превышает 0,3 дБА. Таким образом, по отношению к базовому состоянию (комплектация 1) мероприятия, реализованные в комплектации 3, обеспечивают эффект снижения общего уровня внутреннего шума салона на 2 дБА в точке T1 и на 1,6 дБА в точке T2 и являются наиболее рациональными, так как в этом случае при меньшем числе зон герметизации пространства салона обеспечивается практически равнозначный эффект снижения уровня шума по сравнению с комплектацией 2.

В таблице 3 представлены результаты аэроакустических испытаний автомобиля ВАЗ-1118 в комплектации 3 модификации «Норма» в сравнении с импортными автомобилями-аналогами, а также среднестатистические данные по аэроакустике четырех образцов автомобилей ВАЗ-1118 серии 200 комплектации 0'.

Из сравнения результатов аэроакустических испытаний автомобилей ВАЗ-1118 и импортных автомобилей-аналогов следует, что полученные значения общих уровней

Таблица 3
 Результаты аэроакустических испытаний автомобиля ВАЗ-1118 и импортных автомобилей-аналогов

Режимы имитации набегающего потока воздуха, км/ч	ВАЗ-1118 (комплектация 3)	Seat Cordoba	VW Golf	Toyota Yaris	ВАЗ-1118 серии 200
	Максимальные значения общего уровня аэродинамического внутреннего шума, дБА				
60	52,4	54,3	53,6	54,3	56,8
80	59,0	61,3	60,1	61,1	63,9
100	64,3	66,4	65,1	66,4	69,6
120	68,9	71,1	69,4	70,7	73,7
140	73,5	74,9	73,1	74,3	77,4
160	76,4	78,1	76,3	77,5	80,6
180	79,1	80,9	78,7	80,3	83,0

внутреннего шума в салоне автомобиля ВАЗ-1118 комплектации 3 модификации «Норма» ниже по сравнению с уровнями шума современных автомобилей-аналогов. Из таблицы 3 видно, что уровни внутреннего шума кузова автомобиля ВАЗ-1118 комплектации 3 при скоростях обдува 60-180 км/ч ниже на 1,3...2,2 дБА, чем у автомобиля Seat Cordoba, и ниже на 0,8...1,9 дБА, чем у автомобиля Toyota Yaris. По отношению к автомобилю VW Golf отмечены меньшие уровни шума на 0,5...1,2 дБА при скоростях набегающего потока воздуха 60...120 км/ч. Из таблицы 3 также следует, что значения общих уровней внутреннего шума кузова автомобиля ВАЗ-1118 в комплектации 3 на режимах имитации набегающего потока воздуха 60-180 км/ч значительно ниже аналогичных средних значений уровней шума автомобилей семейства ВАЗ-1118 серии 200 в комплектации 0' на величины до 4...5 дБА, что указывает на существенное улучшение акустического комфорта в салоне автомобиля за счет проведенных доводочных мероприятий и необходимость внедрения данных мероприятий в конструкцию автомобилей семейства ВАЗ-1118.

Проведенные исследования эффективности мероприятий по снижению внутреннего аэроакустического шума в салоне автомобиля ВАЗ-1118 позволяют сделать следующие выводы.

1. Установка термозвукоизолирующих заглушек в пустотелые сечения кузова автомобиля ВАЗ-1118 на режимах имитации постоянных скоростей обдува воздушным по-

током 60, 80, 100, 120, 140, 160 и 180 км/ч снижает максимальные значения общих уровней внутреннего шума по сравнению с базовым состоянием семейства автомобилей ВАЗ-1118 серии 200 с 55,8...82,5 дБА до 53,9...79,9 дБА, соответственно. Эффект снижения максимальных значений общих уровней внутреннего шума на данных режимах обдува составляет 1,9...3,5 дБА.

2. Реализация мероприятий в комплектации 2 включает:

- герметизацию зазоров между капотом и сопрягаемыми элементами кузова, а также разъема между передними крыльями и бампером;

- установку развитого экрана низа моторного отсека, футерованного шумопоглощающим материалом LA 12.5 SE взамен штатного брызговика двигателя;

- ужесточение крепления жабо с введением дополнительных точек крепления;

- выведение внешней поверхности стекол боковых дверей на уровень наружной плоскости стоек кузова;

- герметизацию разъемов боковых дверей;

- герметизацию вытяжных каналов системы вентиляции салона в багажном отсеке автомобиля;

- герметизацию зазоров между крышкой багажника и сопрягаемыми элементами кузова, а также разъемов между крышкой багажника и задним стеклом автомобиля;

- герметизацию разъемов между боковинами кузова и задним бампером дополнительно к базовой комплектации 1 модификации «Норма».

Максимальные значения общих уровней аэродинамического внутреннего шума кузова автомобиля ВАЗ-1118 на режимах имитируемых постоянных скоростей обдува воздушным потоком 60...180 км/ч значительно ниже аналогичных значений уровней шума для автомобиля в базовом состоянии модификации «Норма» на величину ~ 1,9 дБА, что указывает на существенный дополнительный резерв улучшения акустического комфорта в салоне автомобиля при реализации указанных мероприятий повышения герметизации.

Дополнительно к базовой комплектации 1 модификации «Норма» (установлены звукотермоизолирующие пробки в пустотелые сечения силовых элементов кузова и выровнены с помощью стальной ленты поверхности фар-муляжей под установку штатных стекол фар с дополнительной герметизацией зазоров пластилином) в опытной комплектации 3 выполнены:

- ужесточение крепления жабо к кузову;
- герметизация всех разъемов боковых дверей;
- герметизация боковых разъемов кузова и заднего бампера.

В такой комплектации уровни аэродинамического внутреннего шума кузова автомобиля ВАЗ-1118 при имитации набегающего потока воздуха с постоянной скоростью 100 км/ч составляют 63,3 и 64,3 дБА в точках Т1 и Т2, соответственно. Таким образом, указанные мероприятия приводят к снижению уровня аэродинамического внутреннего шума кузова на 2 дБА в точке Т1 и на 1,2 дБА в точке Т2 и обеспечивают более рациональную комплектацию, так как при меньшем числе зон герметизации кузова обеспечивается практически равнозначный эффект снижения уровня шума по сравнению с комплектацией 2.

В комплектации 2 реализованы мероприятия, слабо изменяющие уровни аэродинамического внутреннего шума кузова автомобиля ВАЗ-1118 (разность уровней шума не превышает величин 0,2...0,5 дБА в сравнении с комплектацией 3). К таким низкоэффективным мероприятиям относятся:

- герметизация зазоров между капотом и сопрягаемыми элементами кузова, а также разъема между передними крыльями и бампером;

- герметизация вытяжных каналов системы вентиляции салонов автомобиля;

- герметизация зазоров между крышкой багажника, сопрягаемыми элементами кузова и задним стеклом автомобиля;

- выведение поверхности стекол боковых дверей на уровень наружной плоскости стоек кузова.

3. Значение общих уровней аэродинамического внутреннего шума кузова исследованных прототипов автомобилей ВАЗ-1118 серии 200 в исходном состоянии (комплектация 0') в зависимости от скоростного режима обдува в аэродинамической трубе выше аналогичных значений уровней, полученных на современных автомобилях – аналогах. Значение общих уровней аэродинамического внутреннего шума кузова автомобиля ВАЗ – 1118 после аэроакустической доводки ниже, чем у современных автомобилей – аналогов.

4. Значения достигнутых уровней аэродинамического внутреннего шума автомобиля ВАЗ-1118 модификации «Норма» на режиме обдува со скоростью воздушного потока 100 км/ч составляют 63...64 дБА, что на 1...2 дБА ниже нормируемого требования (65 дБА) на соответствующем режиме движения накатом. Данный контрольный параметр на режиме движения накатом является составным компонентом суммарного аэродинамического внутреннего шума кузова – шума, генерируемого в процессе динамического взаимодействия шин с дорожным покрытием, транслируемого через элементы подвески автомобиля, и шума от вибрационного возбуждения структуры кузова рабочими процессами в элементах трансмиссии.

5. Для уменьшения аэродинамического внутреннего шума кузова автомобилей ВАЗ-1118 целесообразно использовать следующие конструктивные и технологические мероприятия по снижению генерирования и прямой передачи виброакустической энергии от аэродинамического возбуждения набегающим воздушным потоком в салон:

- установку термозвукоизолирующих пробок в пустотелые сечения силовых элементов кузова (лонжероны, стойки, усилители);

- герметизацию разъемов всех боковых дверей и дверных проемов кузова с использованием многоконтурных массивных уплотнителей дверей с повышенной герметизацией и виброзвукоизоляцией;

- введение дополнительных уплотнительных элементов в местах сопряжения боковин кузова с задним бампером;

- ужесточение крепления жабо к кузову с введением дополнительных точек крепления;

- применение конструктивных мероприятий, ослабляющих процесс направления шумогенерирующего набегающего потока воздуха под нижнюю зону кузова за счет его перераспределения.

Все указанные мероприятия прошли экспериментальную отработку на стендовом оборудовании НТЦ ОАО «АвтоВАЗ» и обеспечивают повышение конкурентоспособности автомобилей семейства ВАЗ-1118 по акустическому комфорту в салоне.

Список литературы

1. Луканин В. Н., Гудцов В. Н., Бочаров Н. Ф. Снижение шума автомобиля. – М.: Машиностроение, 1981. – 157 с.

2. Bisping R. Emotional Effect of Car Interior Sound; Pleasantness and Power and Their Relation to Acoustic Key Features // Proceedings of the 1995 Noise and Vibration Conference. Vol. 2. -Warrendale, Society of Automotive Engineers, 1995. - P. 1203-1209.

3. Leinfellner H., Sommer D., Leiter K. On our Way Towards Silent Vehicles //AVL Proceedings. Engine and Environment. - Graz, Austria, 1996.- P.209-212.

REDUCTION OF INTERNAL AEROACOUSTIC NOISE IN A VAZ-1118 AUTOMOBILE SALON

© 2004 Ye. V. Shakhmatov¹, S. P. Prokhorov²

¹Samara State Aerospace University

²«AUTO VAZ» Joint Stock Company

The paper presents a complex of measures aimed at improving acoustic comfort and reducing noise level in the salon of VAZ-1118 “Kalina” automobile. Results of experimental assessment of the proposed complex of measures are given.