

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ОЦЕНОЧНЫХ КРИТЕРИЕВ АКУСТИЧЕСКОГО КОМФОРТА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

© 2015

А.В. Краснов, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Управление промышленной и экологической безопасностью»
Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)

Ключевые слова: автотранспортное средство; акустический комфорт; уровень шума; индекс артикуляции; индекс акустического комфорта.

Аннотация: Обеспечение заданного уровня акустического комфорта в пассажирских помещениях автотранспортных средств (АТС) и низких уровней внешнего шума представляет собой важное направление при их проектировании и доводке. Одной из актуальных задач при этом является разработка объективных критериев, характеризующих достигаемый уровень акустического комфорта разрабатываемой конструкции АТС. Известные методы и объективные критерии оценки акустического комфорта характеризуются ограниченностью анализируемых нагрузочно-скоростных режимов эксплуатации, сложностью интерпретации и ранжирования получаемых результатов, недостаточной корреляцией с результатами субъективных экспертных оценок. В статье анализируются результаты экспериментальных исследований внутреннего шума 70 моделей АТС (легковых автомобилей) отечественных и зарубежных производителей, выполненных в дорожных и стендовых условиях испытаний. Дорожные акустические испытания проводились на дорогах общего пользования при движении с интенсивным разгоном, стабилизированными скоростями, накатом с выключенным двигателем. Стендовые акустические испытания проводились на неподвижных образцах АТС в условиях полномасштабной аэродинамической трубы и большой полубезэховой акустической камеры. При анализе полученных результатов исследований оценивается статистическое распределение исследуемых параметров, характер их изменения в зависимости от нагрузочно-скоростных режимов эксплуатации, хронологические тенденции. Исследованные образцы АТС ранжируются по четырем категориям акустического комфорта на каждом из исследуемых режимов испытаний. Разработана модель формирования комплексного индекса акустического комфорта АТС, составленная из параметров уровней шума, уровней звуковых давлений на частотах моторных гармоник, индексов артикуляции. Вклады каждого из акустических параметров, замеренных на различных режимах испытаний, определяются эмпирическими коэффициентами весомости. Объективные критерии ранжирования акустических параметров могут быть использованы в технических требованиях на проектирование новых и модернизацию производимых моделей АТС. Комплексный индекс акустического комфорта предлагается применять при определении уровня конкурентоспособности и совершенства конструкций АТС внутри целевой группы аналогов.

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим направлением проектирования и доводки конструкций автотранспортных средств (АТС) является обеспечение заданного уровня акустического комфорта в их пассажирских помещениях и низких уровней шума, излучаемого во внешнюю среду [1–3]. При этом весьма актуальна разработка объективных критериев, позволяющих достоверно оценить ощущение акустического комфорта в АТС, которое воспринимается субъективно и зависит от физиологических особенностей отдельного человека [4]. Решение представленной задачи усложняется необходимостью учета свойств когерентности и векторной направленности распространения звуковых волн, локализуемых в частично замкнутых пространствах АТС [5].

В публикациях [6–8] представлены результаты разработки комплексных критериев акустического комфорта АТС, сформированных из следующих параметров: эквивалентный уровень шума, разборчивость речи, громкость, флуктуация, тональность, звукоизоляция элементов кузова. Описанные критерии нарабатывались на ограниченном количестве образцов АТС (не более 20), нагрузочно-скоростных режимов эксплуатации и имеют недостаточную корреляцию с результатами субъективных экспертных оценок внутреннего шума.

В документе [9] описано предложение по маркировке АТС, произведенных на территории Европейского

союза, индексами $A...G$, характеризующими величины общих уровней внешнего и внутреннего шума, зарегистрированные при их сертификационных испытаниях. Указанная маркировка иллюстрирует относительную безразмерную оценку соответствия конструкций АТС санитарным и экологическим требованиям, однако не позволяет в должной мере оценить достигнутый уровень акустического комфорта.

Известны методы оценки качественных характеристик АТС [10–16], основанные на анализе объективных психоакустических критериев и субъективных психосоматических реакций человека на звуки различной сложности. Реализация указанных методов, как правило, связана с необходимостью проведения большого количества экспериментов по оценке влияния различных звуков на восприятие человеком, сложностью интерпретации и ранжирования получаемых результатов.

С целью исследования характеристик внутреннего шума современных АТС и выработки объективных критериев оценки уровня их акустического комфорта был выполнен анализ результатов акустических испытаний 70 моделей АТС (легковых автомобилей) категории $M1$ [17] 26 отечественных и зарубежных производителей, реализуемых на территории РФ в период 1996...2013 г. Среди исследованных образцов АТС 85 % имели постоянный привод на переднюю или заднюю ось и 15 % имели постоянный или подключаемый полный привод на обе оси.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Измерения акустических параметров образцов АТС проводились в дорожных и стендовых условиях испытаний на различных нагрузочно-скоростных режимах. Дорожные акустические испытания проводились на участках дорог общего пользования, соответствующих требованиям ГОСТ Р 51616 [18] и технического регламента о безопасности колесных транспортных средств [19]. Оценивались режимы движения АТС с интенсивным разгоном, стабилизированными скоростями и движения накатом с выключенным двигателем. Регистрация акустических параметров при движении с интенсивным разгоном производилась в диапазоне изменения оборотов двигателей $0,45n_{Ne} \dots 0,90n_{Ne}$ (мин⁻¹), где n_{Ne} соответствует номинальному значению эффективной мощности двигателя N_e (кВт), заявленному при официальных сертификационных испытаниях АТС по ГОСТ Р 41.85 [20]. При испытаниях АТС на режимах стабилизированного движения и накатом с выключенным двигателем выполнялась оценка акустических параметров в диапазоне скоростей 60...120 км/ч.

Стендовые акустические испытания проводились на неподвижных образцах АТС в условиях полномасштабной аэродинамической трубы (ПАДТ) и большой полубезэховой акустической камеры (БПАК). При стендовых аэроакустических испытаниях выполнялась оценка внутреннего шума АТС при имитации ПАДТ набегающего потока воздуха со скоростями 60...160 км/ч. При испытаниях в БПАК производилась оценка внутреннего шума АТС при работе двигателя на оборотах холостого хода и работе климатической (отопительно-вентиляционной) установки на режимах минимальной и максимальной производительности. Подробное описание применяемых методов стендовых акустических испытаний представлено в работе [21].

На каждом из исследуемых режимов измерения проводились в контрольных точках 1 и 2 пассажирских помещений АТС, соответствующих контрольным точкам Б и А по ГОСТ Р 51616 [18]. Определялись значения следующих акустических параметров: общих уровней шума (дБА), уровней звуковых давлений (дБ) на 2-й и 4-й порядковых моторных гармониках, спектральных составляющих уровней шума (дБА) в диапазоне частот 20...20000 Гц, индексов артикуляции (%).

Для сопоставительной оценки зарегистрированных акустических параметров АТС с группой аналогов определялись значения математического ожидания $M(X)$, значения верхней $+X$ и нижней $-X$ границ доверительного интервала. Сравнительная группа аналогов была составлена из АТС, обладающих общими классификационными признаками, функциональным назначением, масштабами производства и продаж, близкими техническими и экономическими показателями.

Категорийность акустического комфорта АТС на различных нагрузочно-скоростных режимах определялась следующими условиями распределения значений акустических параметров:

- категория 1 с экстравысоким уровнем, при значениях ниже $-X$;
- категория 2 с высоким уровнем, при значениях от $-X$ до $M(X)$;
- категория 3 со средним уровнем, при значениях от $M(X)$ до $+X$;

– категория 4 с низким уровнем, при значениях выше $+X$.

Ввиду того что величины индексов артикуляции имеют обратную значимость (более высокие значения соответствуют лучшей разборчивости речи), определение категорий по этому акустическому параметру выполняется в обратном порядке.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты проведенных акустических исследований АТС на режиме движения с интенсивным разгоном показали (см. рис. 1), что значение математического ожидания $M(X)$ общих уровней шума составляет 75,7 дБА, индексов артикуляции 65,1 %. Значения верхней $+X$ и нижней $-X$ границ доверительного интервала общих уровней шума составляют 78,8 дБА и 72,6 дБА, индексов артикуляции составляют 75,6 % и 54,5 %. Тенденции изменения среднегодовых значений общих уровней шума характеризуются несущественным уменьшением (0,5 дБА за 10 лет), а значений индексов артикуляции – положительным ростом (2 % за 10 лет).

Полученные результаты исследований акустических параметров АТС на режимах движения со стабилизированными скоростями 60...120 км/ч показали (см. рис. 2), что значения математического ожидания $M(X)$ общих уровней шума и индексов артикуляции составляют 64,2...72,6 дБА и 50,4...81,9 %. Значения верхней $+X$ и нижней $-X$ границ доверительного интервала при этом составили соответственно 67,1...75,3 дБА и 61,2...90,1 %; 61,4...69,9 дБА и 39,6...73,6 %. Отмечается равномерное увеличение значений общих уровней шума при нарастании стабилизированной скорости движения без выделения резонансного увеличения и спада. Тенденции изменения среднегодовых значений общих уровней шума и индексов артикуляции характеризуются положительным ростом на 1 дБА и 3 % за 10 лет, соответственно.

Сопоставление общих уровней шума одних и тех же образцов АТС на режимах движения со стабилизированными скоростями и движения накатом с выключенным двигателем свидетельствует о средней разнице их значений, равной 1,4...1,9 дБА. При этом на отдельных образцах АТС (5 % от общего числа) указанная разница достигает 4,3...6,1 дБА. Это косвенно свидетельствует о существенном вкладе силового агрегата и узлов ходовой части во внутренний шум этих АТС и указывает на резервы заметного улучшения их акустического комфорта.

Анализ уровней аэродинамического шума (см. рис. 3) свидетельствует о том, что подавляющее большинство (71 %) исследованных образцов АТС характеризуется категориями 2 – высокого (27 %) и 3 – среднего (44 %) акустического качества. Наименьшее количество исследованных образцов АТС (9 %) представлено категорией 4 низкого акустического качества. Разница в значениях общих уровней внутреннего шума идентичных образцов АТС на режиме движения со стабилизированными скоростями и на режиме имитации набегающего потока воздуха составляет в среднем 2,6...10,4 дБА. Наибольшая разница в указанных значениях общих уровней шума отмечается на минимальной скорости контролируемого скоростного диапазона 60 км/ч. Это свидетельствует о доминирующем вкладе в процесс генерирования виброакустического возбуждения и излучения силового агрегата и узлов ходовой части АТС.

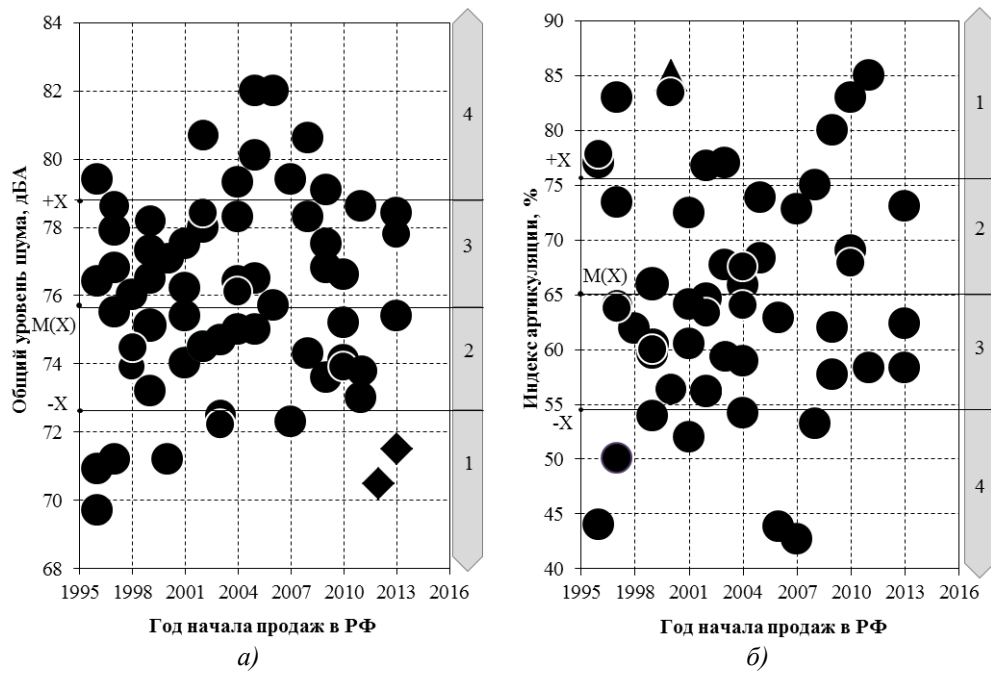


Рис. 1. Общие уровни шума (а) и индексы артикуляции (б), зарегистрированные в пассажирских помещениях АТС на режиме движения с интенсивным разгоном

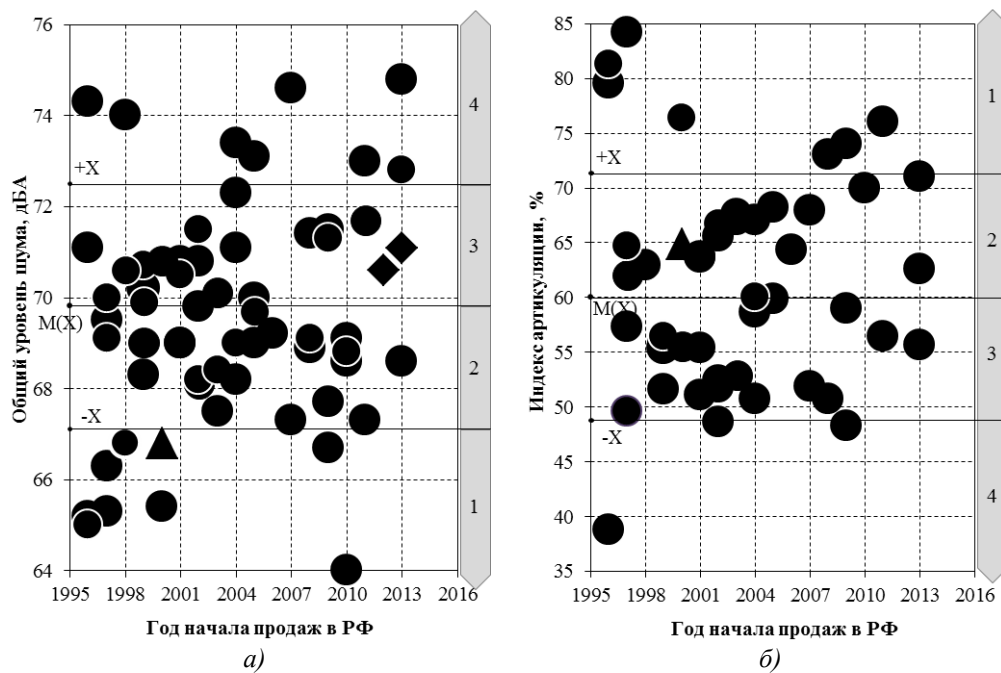


Рис. 2. Общие уровни шума (а) и индексы артикуляции (б), зарегистрированные в пассажирских помещениях АТС на режиме движения со стабилизированной скоростью 100 км/ч

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ АКУСТИЧЕСКОГО КОМФОРТА

Определение комплексного индекса акустического комфорта CI предлагается выполнять с использованием выражения:

$$CI = 0,4 \cdot I_W + 0,3 \cdot I_C + 0,15 \cdot I_N + 0,15 \cdot I_A,$$

где I_W , I_C , I_N , I_A – индексы акустического комфорта АТС на режимах движения с интенсивным разгоном (I_W), со стабилизированными скоростями (I_C), накатом с выключенным двигателем (I_N), режимах аэродинамического воздействия потоков воздуха (I_A), определяемые представленными ниже выражениями.

$$I_W = 0,55 \cdot P_{WT} + 0,2 \cdot P_{2E} + 0,15 \cdot P_{4E} + 0,10 \cdot P_{WA},$$

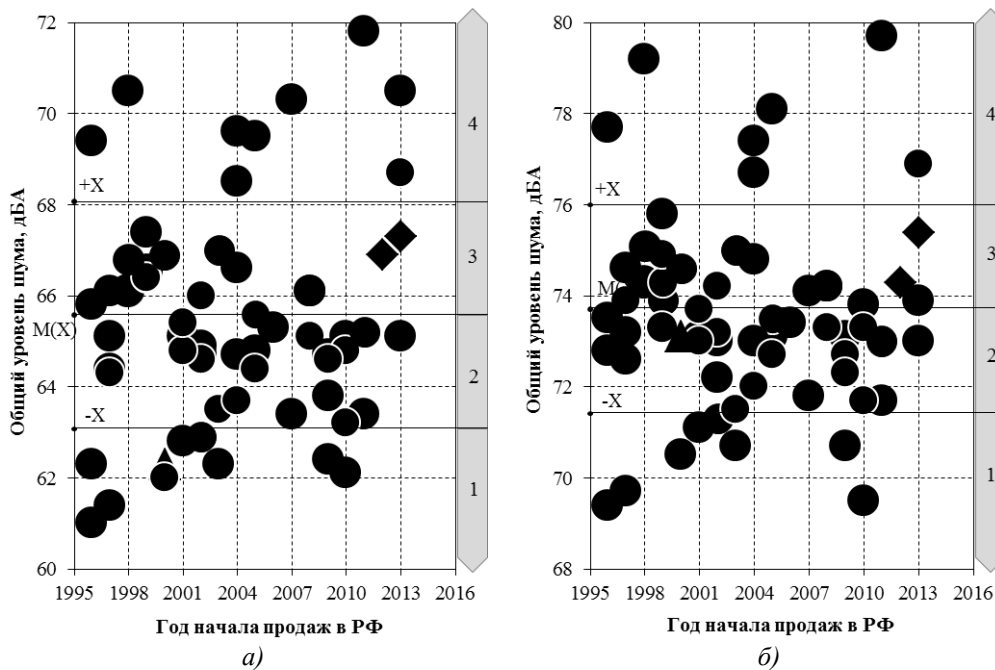


Рис. 3. Общие уровни шума, зарегистрированные в пассажирских помещениях неподвижных АТС при имитации набегающего потока воздуха со скоростями 100 км/ч (а) и 140 км/ч (б) в условиях ПАДТ

где P_{WT} , P_{2E} , P_{4E} – показатели общего уровня шума, уровней звуковых давлений на частотах второй и четвертой моторных гармоник, зарегистрированных на режиме движения АТС с интенсивным разгоном; P_{WA} – показатель индекса артикуляции при оборотах двигателя $0,65n_{Ne}$, мин^{-1} , зарегистрированного на режиме движения АТС с интенсивным разгоном.

$$I_C = 0,7 \cdot \sum_{v=60}^{120} k_1 \cdot P_{CTv} + 0,3 \cdot \sum_{v=60}^{120} k_1 \cdot P_{CAv}$$

$$I_N = \sum_{v=60}^{120} k_1 \cdot P_{NTv}$$

где P_{CTv} , P_{NTv} – показатели общих уровней шума, зарегистрированных на режимах движения со стабилизированными скоростями v и движения накатом с выключенным двигателем со скоростью v ;

P_{CAv} – показатели индексов артикуляции, зарегистрированных на режимах движения со стабилизированными скоростями v ;

$k_1 = 0,55 - \frac{v}{300}$ – коэффициент весомости показателей

P_{CT} , P_{NT} и P_{CA} при скорости v ;

v – текущая стабилизированная скорость движения или текущая скорость начала движения накатом, км/ч (в диапазоне 60...120 км/ч с шагом 20 км/ч).

$$I_A = 0,7 \cdot \sum_{s=60}^{160} k_2 \cdot P_{ATs} + 0,18 \cdot P_{HT} + 0,12 \cdot P_{HA}$$

где P_{ATs} – показатели общих уровней шума, зарегистрированных при имитации набегающего потока воздуха со скоростями s ;

k_2 – коэффициент весомости показателей P_{ATs} при s (определяется нелинейной зависимостью);

s – текущая стабилизированная скорость набегающего потока воздуха, км/ч (в диапазоне 60...160 км/ч с шагом 20 км/ч);

P_{HT} , P_{HA} – показатели общих уровней шума и индексов артикуляции, зарегистрированных при работе климатической (отопительно-вентиляционной) установки АТС на режиме ее максимальной производительности.

Показатели общих уровней шума P_{WT} , P_{CT} , P_{NT} , P_{AT} , P_{HT} и уровней звуковых давлений P_{2E} , P_{4E} определяются с использованием следующего выражения:

$$P_{XX} = 1 - \frac{A - A_{\min}}{A_{\max} - A_{\min}}$$

При этом показатели индексов артикуляции P_{WA} , P_{CA} , P_{HA} определяются с использованием выражения:

$$P_{YY} = \frac{A - A_{\min}}{A_{\max} - A_{\min}}$$

где A , A_{\min} , A_{\max} – текущее, минимальное и максимальное значения акустических параметров, зарегистрированные на рассматриваемом нагруженно-скоростном режиме.

На рисунке 4 представлены расчетные значения комплексных индексов CI акустического комфорта исследованных образцов АТС. Полученный массив значений CI ранжирован по акустическому комфорту на 4 группы: экстравысокое ($>0,7$), высокое ($0,5...0,7$), среднее ($0,3...0,5$), низкое ($<0,3$). Рассчитанные значения комплексного индекса CI акустического комфорта АТС следует рассматривать как интегральную оценку достигнутого уровня и совершенства конструкций с точки зрения внутреннего шума.

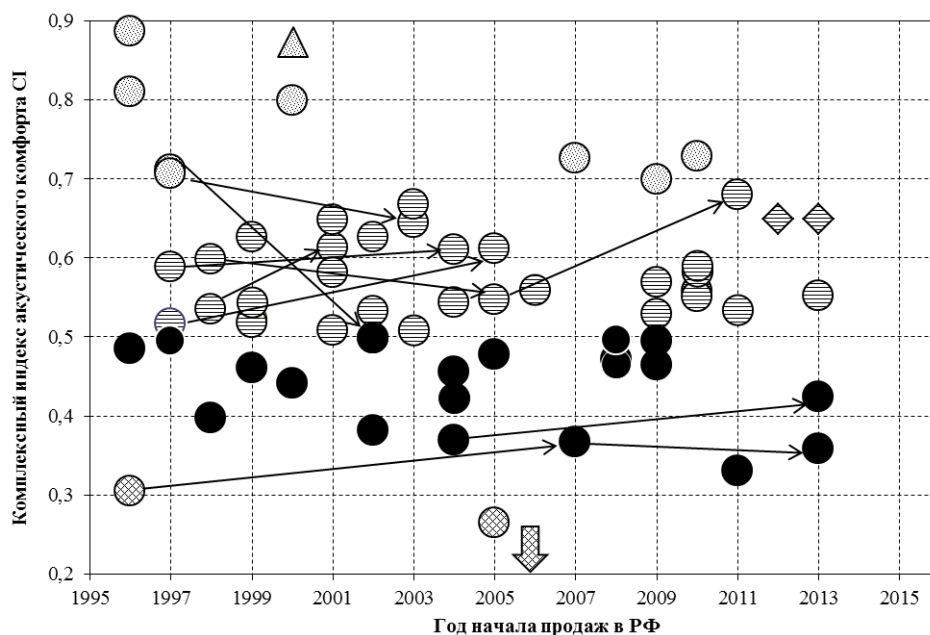


Рис. 4. Комплексные индексы CI акустического комфорта исследованных АТС

Таким образом, к группе экстравысокого акустического комфорта отнесены 14 % исследованных образцов АТС. К примеру, к ним относятся АТС моделей VW Passat, VW Golf, Audi A4, Toyota Prius, Nissan Quashqai, Skoda Yeti, Mazda 6. Группа высокого акустического комфорта включает 48 % образцов АТС, в частности, к ним относятся Opel Astra, Ford Focus, Kia Sportage, Skoda Fabia, Suzuki Grand Vitara, Chevrolet Cruze, Honda Civic, Hyundai Solaris и др. К группам среднего и низкого акустического комфорта относятся, соответственно, 34 % и 4 % исследованных образцов АТС.

Как показал анализ результатов выполненных расчетов, тенденция изменения среднегодовых значений комплексного индекса CI характеризуется устойчивым спадом. При этом изменение значений комплексного индекса CI различных поколений идентичных моделей АТС (Ford Focus, Opel Astra, Lada Kalina, Peugeot 306/307 и др.) характеризуется положительной тенденцией роста (до 20 % за 10 лет).

Правомерность использования представленной расчетной модели оценочных критериев акустического комфорта АТС подтверждается сильными корреляционными связями индексов I_W , I_C , I_N , I_A с субъективными экспертными оценками внутреннего шума АТС на идентичных нагрузочно-скоростных режимах испытаний. В частности, коэффициенты корреляции на режимах движения с интенсивным разгоном, движения со стабилизированными скоростями и накатом, имитации набегающего потока воздуха составляют 0,86...0,98. При этом коэффициент корреляции комплексного индекса CI акустического комфорта с суммарной субъективной экспертной оценкой составляет 0,97.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Проанализировано статистическое распределение акустических параметров 70 моделей АТС категории M1, оценен характер их изменения в зависимости от нагрузочно-скоростных режимов эксплуатации и года выпуска.

2. Определены объективные оценочные критерии ранжирования акустических параметров АТС, регистрируемых в их пассажирских помещениях, по четырем категориям комфорта.

3. Разработана модель формирования комплексного индекса, позволяющего оценивать уровень конкурентоспособности и совершенства конструкций АТС с точки зрения акустического комфорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dings J. Can you hear us?. Belgium: T&E – European Federation for Transport and Environment, 2008. 12 p.
2. Галевко Ю.В., Щепкин А.И., Фесина М.И. Вопросы шума АТС в КВТ ЕЭК ООН (к 50-летию Женевского соглашения 1958 года) // Журнал автомобильных инженеров. 2008. № 4. С. 36–43.
3. Environmentally Friendly Vehicles and the World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations (WP.29). 2003–2012: Ten Years of Progress and Future Trends. Geneva: UNECE, 2013. 39 p.
4. Fastl H., Zwicker E. Psychoacoustics. Facts and Models. Berlin: Springer-Verlag, 2007. 471 p.
5. Geib W. Schallflub im Automobil // ATZ. 1991. № 9. S. 562–576.
6. Rossi F., Nicolini A., Filipponi M. An Index for Motor Vehicle Passengers Acoustical Comfort // The 32nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering. Korea, 2003. P. 1–8.
7. Prasad M.S., Watkins S., Wang X., Hill S., Weymouth D. Rating criteria for vehicle in-cabin noise with emphasis on HVAC system operation // Int. J. Vehicle Noise and Vibration. 2009. Vol. 5. № 1-2. P. 175–191.
1. Genuit K. Sound-Engineering im Automobilbereich. Methoden zur Messung und Auswertung von Geräuschen und Schwingungen. Berlin: Springer-Verlag, 2010. 610 s.
2. Sliggers J. A noise label for motor vehicles: towards quieter traffic // Informal document GRB-61-01. 61st GRB. Rome, 2015. P. 1–18.

3. Pflüger M., Brandl F., Bernhard U., Feitzelmayer K. *Fahrzeugakustik*. Wien: Springer-Verlag, 2010. 222 s.
4. Lyon R.H. Product Sound Quality - from Perception to Design // *Sound and Vibration Magazine*. 2003. № 3 (March). P. 18–22.
5. Bowen D.L. Correlating Sound Quality Metrics and Jury Ratings // *Sound and Vibration Magazine*. 2008. № 9 (September). P. 12–14.
6. Kim T.G., Lee S.K., Lee H.H. Characterization and quantification of luxury sound quality in premium-class passenger cars // *Journal of Automobile Engineering*. 2009. Vol. 223. № 3. P. 343–353. DOI: 10.1243/09544070JAUTO989.
7. Nakasaki R., Hasegawa H., Kasuga M. Subjective evaluation of sound images of air-conditioning system in a vehicle // *Acoust. Sci. & Tech.* 2011. Vol. 32. № 4. P. 137–142.
8. Bodden M. Instrumentation for Sound Quality Evaluation // *ACUSTICA. Acta acustica*. 1997. Vol. 83. P. 775–783.
9. Robinson D., Hawksford M. Psychoacoustic models and non-linear human hearing // *AES 109th Convention*. Los Angeles, 2000. P. 11–14.
10. Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles (R.E.3) // *World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations*. 161th session. Geneva, 2014. P. 1–102.
11. ГОСТ Р 51616. Автомобильные транспортные средства. Шум внутренний. Допустимые уровни и методы испытаний. М.: Изд-во стандартов, 2000. 19 с.
12. РФ. Правительство. Технический регламент о безопасности колесных транспортных средств : утв. постановлением № 720 от 10.09.2009.
13. ГОСТ Р 41.85-99. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двигателей внутреннего сгорания или систем электротяги, предназначенных для приведения в движение механических транспортных средств категорий М и N, в отношении измерения полезной мощности и максимальной 30-минутной мощности систем электротяги. М.: Изд-во стандартов, 2001. 32 с.
14. Фесина М.И., Краснов А.В., Горина Л.Н. Автомобильные акустические материалы. Проектирование и исследование низкошумных конструкций автотранспортных средств. В 2 ч. Ч. 1. Тольятти: ТГУ, 2010. 304 с.
15. *International Congress and Exposition on Noise Control Engineering*. Korea, 2003, pp. 1–8.
16. Prasad M.S., Watkins S., Wang X., Hill S., Weymouth D. Rating criteria for vehicle in-cabin noise with emphasis on HVAC system operation. *Int. J. Vehicle Noise and Vibration*, 2009, vol. 5, no. 1-2, pp. 175–191.
17. Genuit K. *Sound-Engineering im Automobilbereich. Methoden zur Messung und Auswertung von Geräuschen und Schwingungen*. Berlin, Springer-Verlag, 2010. 610 s.
18. Sliggers J. A noise label for motor vehicles: towards quieter traffic. *Informal document GRB-61-01. 61st GRB*. Rome, 2015, pp. 1–18.
19. Pflüger M., Brandl F., Bernhard U., Feitzelmayer K. *Fahrzeugakustik*. Wien, Springer-Verlag, 2010. 222 s.
20. Lyon R.H. Product Sound Quality - from Perception to Design. *Sound and Vibration Magazine*, 2003, no. 3 (March), pp. 18–22.
21. Bowen D.L. Correlating Sound Quality Metrics and Jury Ratings. *Sound and Vibration Magazine*, 2008, no. 9 (September), pp. 12–14.
22. Kim T.G., Lee S.K., Lee H.H. Characterization and quantification of luxury sound quality in premium-class passenger cars. *Journal of Automobile Engineering*, 2009, vol. 223, no. 3, pp. 343–353. DOI: 10.1243/09544070JAUTO989.
23. Nakasaki R., Hasegawa H., Kasuga M. Subjective evaluation of sound images of air-conditioning system in a vehicle. *Acoust. Sci. & Tech.*, 2011, vol. 32, no. 4, pp. 137–142.
24. Bodden M. Instrumentation for Sound Quality Evaluation. *ACUSTICA. Acta acustica*, 1997, vol. 83, pp. 775–783.
25. Robinson D., Hawksford M. Psychoacoustic models and non-linear human hearing. *AES 109th Convention*. Los Angeles, 2000, pp. 11–14.
26. Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles (R.E.3). *World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations*. 161th session. Geneva, 2014, pp. 1–102.
27. *GOST R 51616. Avtomobilnye transportnye sredstva. Shum vnutrenniy. Dopustimye urovni i metody ispytaniy* [Motor vehicles. Internal noise. Permissible levels and methods of tests]. Moscow, Izdatelstvo standartov Publ., 2000. 19 p.
28. RF Government order “Standards and Recommended Practices on safety of wheeled vehicles” of September 10, 2009 no. 720 (in Russian).
29. *GOST R 41.85-99. Edinoobraznye predpisaniya, kasayushchiesya ofitsialnogo utverzhdeniya dvigateley vnutrennego sgoraniya ili sistem elektrotzyagi, prednaznachennykh dlya privedeniya v dvizhenie mekhanicheskikh transportnykh sredstv kategoriy M i N, v otnoshenii izmereniya poleznoy moshchnosti i maksimalnoy 30-minutnoy moshchnosti sistem elektrotzyagi* [Uniform provisions concerning the approval of internal combustion engines or electric drive trains intended for the propulsion of motor vehicles of categories M and N with regard to the measurement of the net power and the maximum 30 minutes power of electric drive trains]. Moscow, Izdatelstvo standartov Publ., 2001. 32 p.
30. Fesina M.I., Krasnov A.V., Gorina L.N. *Avtomobilnye akusticheskie materialy. Proektirovanie i issledovanie*

REFERENCES

1. Dings J. *Can you hear us?* Belgium, T&E – European Federation for Transport and Environment, 2008. 12 p.
2. Galevko Yu.V., Shchepkin A.I., Fesina M.I. Issues of MV noise in ITC UNECE (to the 50th anniversary of the Geneva Convention of 1958). *Zhurnal avtomobilnykh inzhenerov*, 2008, no. 4, pp. 36–43.
3. *Environmentally Friendly Vehicles and the World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations (WP.29)*. 2003–2012: Ten Years of Progress and Future Trends. Geneva, UNECE, 2013. 39 p.
4. Fastl H., Zwicker E. *Psychoacoustics. Facts and Models*. Berlin, Springer-Verlag, 2007. 471 p.
5. Geib W. Schallflub im Automobil. *ATZ*, 1991, no. 9, pp. 562–576.
6. Rossi F., Nicolini A., Filipponi M. An Index for Motor Vehicle Passengers Acoustical Comfort. *The 32nd In-*

nizkoshumnykh konstruksiy avtotransportnykh sredstv
[Automobile sound proof materials. Development and

research of low noise designs of motor vehicles]. Togliatti, TGU Pulb., 2010, part 1, 304 p.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF EVALUATION CRITERIA OF MOTOR VEHICLES ACOUSTIC COMFORT

© 2015

A. V. *Krasnov*, PhD (Engineering),
assistant professor of Chair “Management of industrial and environmental safety”
Togliatti State University, Togliatti (Russia)

Keywords: motor vehicle; acoustic comfort; noise level; articulation index; acoustic comfort index.

Abstract: Ensuring the set level of acoustic comfort in passenger compartments of motor vehicles (hereinafter – MV) and low levels of external noise represents the important direction in their design and improvement. One of the important tasks in this process is the development of the objective criteria that characterize the attainable level of acoustic comfort of the developed construction of a vehicle. Well-known methods and objective criteria for assessment of acoustic comfort are characterized by limited load and high-speed modes of operation, complexity of interpretation and ranging of the obtained results, and insufficient correlation with results of the subjective expert opinion. The paper analyzes results of experimental studies of internal noise of 70 models of motor vehicles (cars) of the domestic and foreign manufacturers executed in road and bench test conditions. Road acoustic tests were carried out on public roads, moving with intensive acceleration, stabilized speeds, and motion with the engine switched off. Bench acoustic tests were carried out on motionless samples of motor vehicles in the conditions of a full-scale whirl tube and a big semi-anechoic acoustic chamber. In the course of analysis of the obtained results the researcher assesses statistical distribution of the studied parameters; the nature of their change depending on the load and high-speed modes of operation; chronological tendencies. The studied samples of MV are ranged into four categories of acoustic comfort in each of the studied modes of acoustic tests. The model of formation of a complex index of MV acoustic comfort has been developed based on the parameters of noise levels, levels of sound pressure at frequencies of motor harmonicas, and articulation indexes. Contribution of each of the acoustic parameters measured on various modes of tests is defined by empirical coefficients of weight. Objective criteria of ranging the acoustic parameters in various load and high-speed modes of operation can be used in technical requirements to design of the new and modernization of the existing models of MV. The complex index of acoustic comfort is offered to be applied for determination of competitiveness level and perfection of MV design within the target group of analogs.