

УДК 629.3.018

Оценка вклада газодинамической составляющей во внешний и внутренний шум легкового автомобиля

Галевко Юрий Владимирович¹

yuriy.galevko@nami.ru

Тюрин Виктор Петрович^{1(*)}

viktor.tyurin@nami.ru

Кузьмин Александр Олегович¹

alexandr.kuzmin@nami.ru

Юдин Станислав Иванович²

stanislav.yudin@nami.ru

Галевко Елизавета Юрьевна²

elizaveta.galevko@nami.ru

¹ НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ», Московская обл., пос. Автополигон, Россия

² ФГУП «НАМИ», Москва, Россия

Аннотация. В статье проводится оценка влияния газодинамического шума выхлопа на внешний и внутренний шум транспортного средства на примере легкового автомобиля категории М1. Показан метод определения вклада газодинамической составляющей в общий шум, основанный на применении дополнительного глушителя. Применение дополнительного глушителя позволяет оценить эффективность системы выпуска отработавших газов двигателя в реальных условиях эксплуатации на различных режимах.

Ключевые слова: автомобиль, внешний шум, внутренний шум, система выпуска отработавших газов, газодинамический шум

Assessment of the contribution of the gas-dynamic component to the external and internal noise of a passenger car

Galevko Yuriy Vladimirovich¹

yuriy.galevko@nami.ru

Tyurin Victor Petrovich^{1(*)}

viktor.tyurin@nami.ru

Kuzmin Alexander Olegovich¹

alexandr.kuzmin@nami.ru

Yudin Stanislav Ivanovich²

stanislav.yudin@nami.ru

Galevko Elizaveta Yuryevna²

elizaveta.galevko@nami.ru

¹ NICIAMT FSUE "NAMI", Moscow Region, pos. Avtopoligon, Russia

² FSUE "NAMI", Moscow, Russia

Abstract. The article assesses the impact of gas-dynamic exhaust noise on the external and internal noise of a vehicle using the example of a M1 category passenger car. It demonstrates a method for determining the contribution of the gas-dynamic component to the overall noise based on the use of an additional muffler. The use of an additional muffler allows for evaluating the effectiveness of the engine exhaust system under real operating conditions at various modes.

Keywords: car, external noise, internal noise, exhaust system, gas-dynamic noise

Введение. Известно, что основным источником шума в городе является автотранспорт, на его долю приходится до 80 % шумового загрязнения [1]. Согласно исследованиям, шум от автотранспортных потоков представляет наибольшую опасность для здоровья человека, так как автотранспортный поток является источником постоянного линейного шума в непосредственной близости от мест проживания [2]. Одним из основных источников шума автомобиля, оснащенного двигателем внутреннего сгорания, является система выпуска отработавших газов (СВОГ), ее вклад в общий шум для некоторых категорий транспортных средств может достигать 50 % [3]. Шум системы выпуска подразделяется на два источника: «корпусной шум» — шум, излучаемый каркасными поверхностями глушителей и газодинамический шум, генерируемый истечением газов из выхлопной трубы в атмосферу, второй является наиболее значимым, корпусной шум менее заметен [4]. Действия, происходящие в камерах сгорания двигателей внутреннего сгорания (ДВС), порождают сложные акустические процессы, связанные с перемещением потока отработавших газов по трубопроводам и глушителям [5]. Шум от выхлопа попадает в салон автомобиля в основном воздушным путем через неплотности кузова (уплотнители дверных проемов, технологические отверстия пола, уплотнители стекол). Длительное воздействие повышенного шума негативно влияет на здоровье человека и может стать причиной ряда серьезных заболеваний, привести к возникновению аварийной ситуации. В данной работе проведена оценка вклада газодинамического шума выхлопа на внешний и внутренний шум транспортного средства на примере легкового автомобиля категории М1 с бензиновым V-образным 8 цилиндровым двигателем с искровым зажиганием, с автоматической коробкой переключения передач, с двух объемным кузовом, типа «универсал». Конструкция серийной СВОГ представляла собой параллельную схему расположения нейтрализаторов и трубопроводов с общим резонатором и с двухсторонним расположением задних (основных) глушителей и выпускных труб.

Методы и условия проведения испытаний. Измерения проводились на специальных дорогах НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ», предназначенных для испытаний транспортных средств по внешнему и внутреннему шуму, определялись акустические показатели автомобиля в серийной комплектации и с дополнительным глушителем. Дополнительный глушитель (условное наименование «абсолютный») крепился в задней части автомобиля и подключался последовательно в продолжение штатной СВОГ, на рис. 1 показана 3D-модель глушителя и его краткое описание.

Трехсекционный глушитель диссипативного типа объемом $0,345 \text{ м}^3$ диаметром 0,680 мм, длиной 950 мм, с двумя входами и одним выходом, обеспечивает широкополосное ослабление звука при относительно малых потерях давления. В качестве звукопоглощающего материала в глушителе используется базальтовое волокно, которое преобразует звуковую энергию в тепловую посредством трения в волокнистом материале, материал расположен в середине и по краям глушителя с двух сторон.

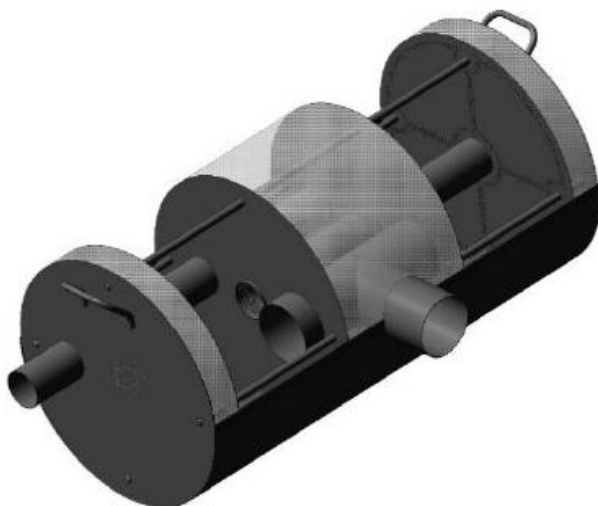


Рис. 1. Дополнительный («абсолютный») глушитель

На рис. 2 показана установка «абсолютного» глушителя на автомобиле и расположение измерительных микрофонов. Для оценки внешнего шума, в ближнем поле, микрофоны устанавливались на расстоянии 0,14 м от выпускных труб под углом 45° . Для оценки внутреннего шума микрофоны устанавливались у правого уха водителя и у левого уха заднего пассажира. Замеры проводились в режиме интенсивного разгона (полная подача топлива) на 3-й передаче $25 \rightarrow 110$ км/ч ($1300 \dots 6000$ мин $^{-1}$) и на неподвижном транспортном средстве при работе двигателя на минимальных оборотах холостого хода (750 мин $^{-1}$). Также измерения и оценка внешнего шума проводились по методике Правил ООН № 51-02 [3]. Это шум от проезжающего автомобиля (при интенсивном разгоне на 20-метровом участке), измерительные микрофоны устанавливались в центре участка, на расстоянии 7,5 м с двух сторон от осевой линии движения) и измерения также проводятся на неподвижном транспортном средстве при расположении микрофонов на расстоянии 0,5 м от среза выпускных труб под углом 45° , при работе двигателя на холостом ходу (3325 мин $^{-1}$).

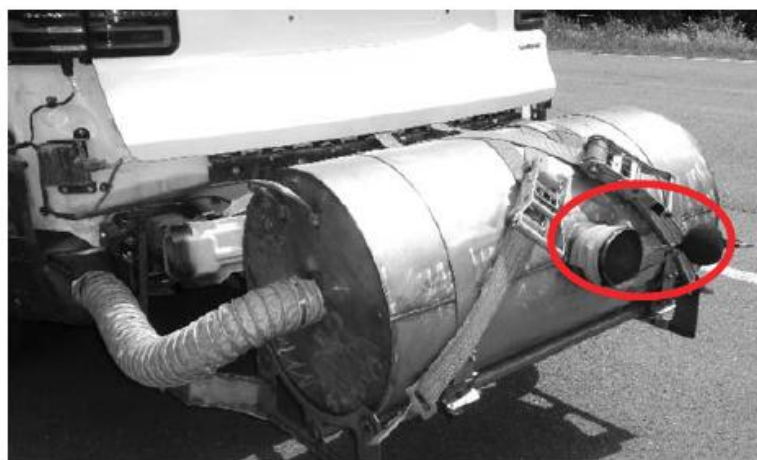
Вклад газодинамической составляющей во внешний и внутренний шум определялся по разнице полученных результатов. Разница во внешнем шуме определялась с учетом суммарного значения уровней от двух источников, левой и правой труб серийной СВОГ.

Результаты испытаний. Результаты, полученные при работе двигателя на холостом ходу (750 мин $^{-1}$) показали, что вклад газодинамической составляющей во внутренний шум автомобиля, по общим уровням составил: у правого уха водителя — 1 дБ(А) (возрастание от 41 до 42 дБ(А)), у левого уха пассажира — 3 дБ(А) (возрастание от 40 до 43 дБ(А)). Из данных, полученных для частотной области видно, что уменьшение шума внутри салона в обеих точках произошло за счет снижения уровней в треть октавной полосе 50 Гц. Это частота рабочих процессов восьмицилиндрового двигателя $4n/60$ — четвертая моторная гармоника. У левого уха пассажира в этом частотном диапазоне

уровни упали на 15 дБ(А), у правого уха водителя на 10 дБ(А). Результаты замеров в ближнем поле у выпускных труб ($0,14 \times 45^\circ$) показывают значительное снижение шума при подключении «абсолютного» глушителя, разница по общим уровням составила 14 дБ(А) это произошло за счет снижения в широкой частотной области (40 — 800) Гц. Одна из доминантных зон — третьоктавная полоса 50 Гц, где уровень понизился на 11 дБ(А). На рис. 3 представлены третьоктавные уровни звукового давления у правого уха водителя и у среза выпускных труб при работе двигателя на холостом ходу.



а



б

Рис. 2. Установка микрофонов в ближнем поле у среза выпускных труб ($140\text{мм} \times 45^\circ$):
а — серийная комплектация СВОГ; б — СВОГ с дополнительным глушителем

При разгоне автомобиля вклад газодинамической составляющей во внешний шум в ближнем поле (у среза выпускных труб) был значительным и составлял на всем протяжении разгона от 8 дБ(А) до 12 дБ(А). Внутри автомобиля явного проявления шума выхлопа не было. В точке у правого уха водителя уровни примерно одинаковые, а у левого уха пассажира выявлен небольшой вклад 1...3 дБ(А) на оборотах свыше 3500 мин^{-1} . В диапазоне $1600...2600 \text{ мин}^{-1}$ уровни звукового давления (УЗД) в комплектации с дополнительным глушителем были даже чуть выше, чем без него, результаты показаны на рис. 4.

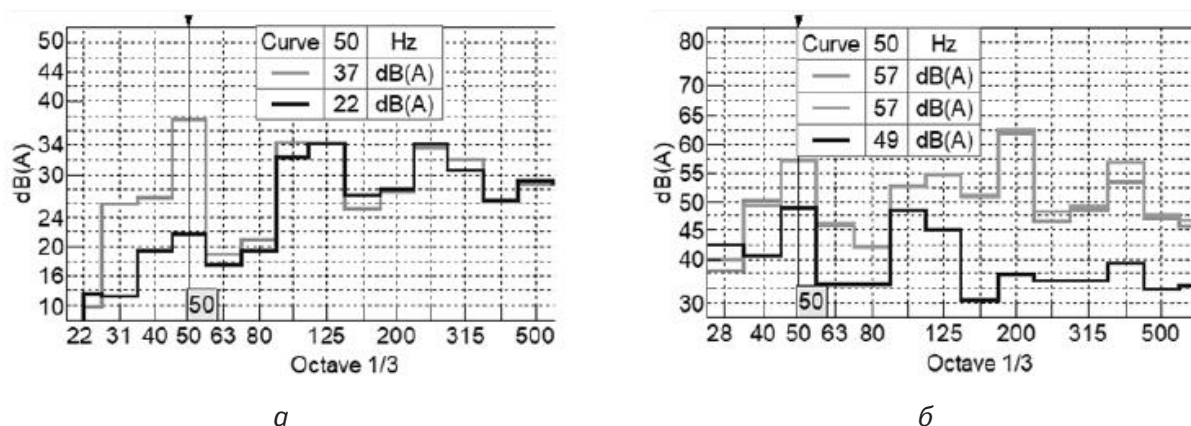


Рис. 3. Треть октавные уровни звукового давления при работе ДВС на холостом ходу:
серийная СВОГ —; серийная СВОГ + доп. глушитель —;
а — у правого уха водителя; б — у среза выпускных труб (140мм x45°)

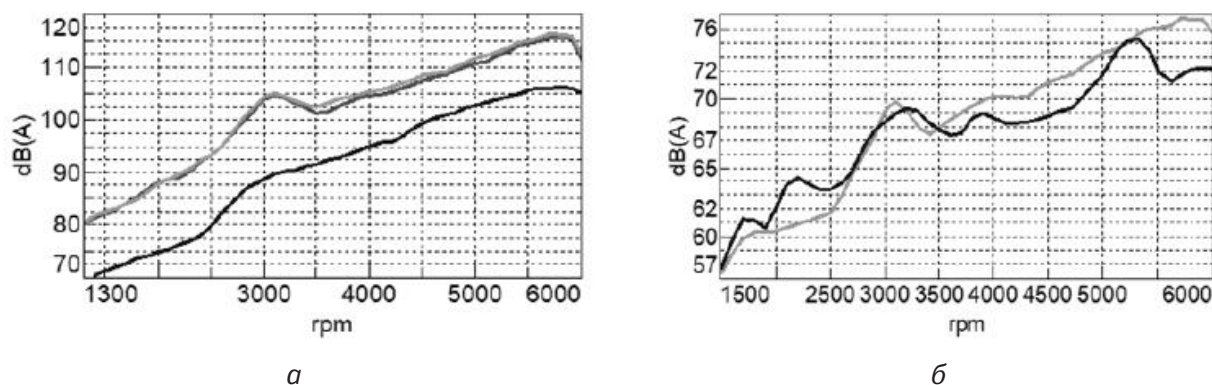


Рис. 4. Общие уровни звука у среза выпускной трубы при разгоне на 3-й передаче:
а — у среза выпускных труб; б — у левого уха пассажира

На сонограммах (рис. 5) представлены результаты измерений в частотной области в ближнем поле до и после установки «абсолютного» глушителя, общий шум в серийной комплектации СВОГ (левый график) главным образом определяет 4-я моторная гармоника рабочего процесса 4n/60 и резонансные зоны с центральными частотами 387, 556, 739 Гц и выше. Также при разгоне шум определяется моторными гармониками 2,5; 3 порядков.

С дополнительным глушителем шум практически исчез во всем диапазоне (правый график) он стал менее выражен и проявляется только в небольшой зоне (100...400) Гц в конце разгона, на сонограмме эта область отмечена кругом. Результаты показали высокую эффективность применения «абсолютного» глушителя в широком диапазоне частот.

На рис. 6 представлены основные частотные составляющие, определяющие шум в салоне автомобиля (на примере шума у левого уха пассажира) это 4-я моторная гармоника и резонанс на частоте 387 Гц, который также виден у среза серийного глушителя на рис. 5. Учитывая, что на правом графике (рис. 6) эта резонансная составляющая отсутствует можно утверждать, что

шум на указанной частоте носит проникающий характер и попадает в салон через неплотности в задней части кузова, предположительно дверь багажника.

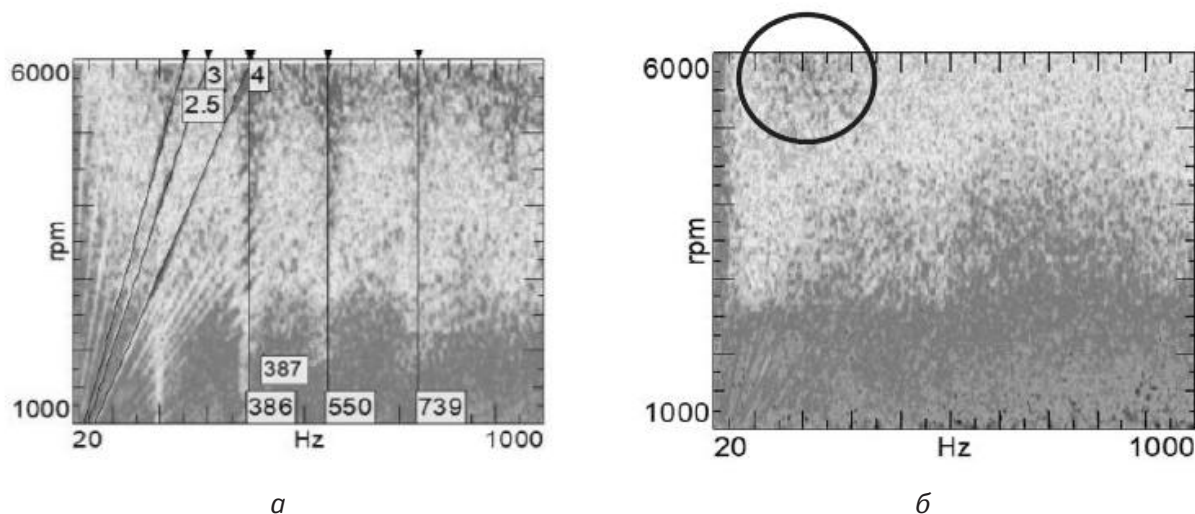


Рис. 5. Шум у среза выпускных труб при интенсивном разгоне не 3-й передаче:

а — серийная СВОГ; б — серийная СВОГ + до. глушитель

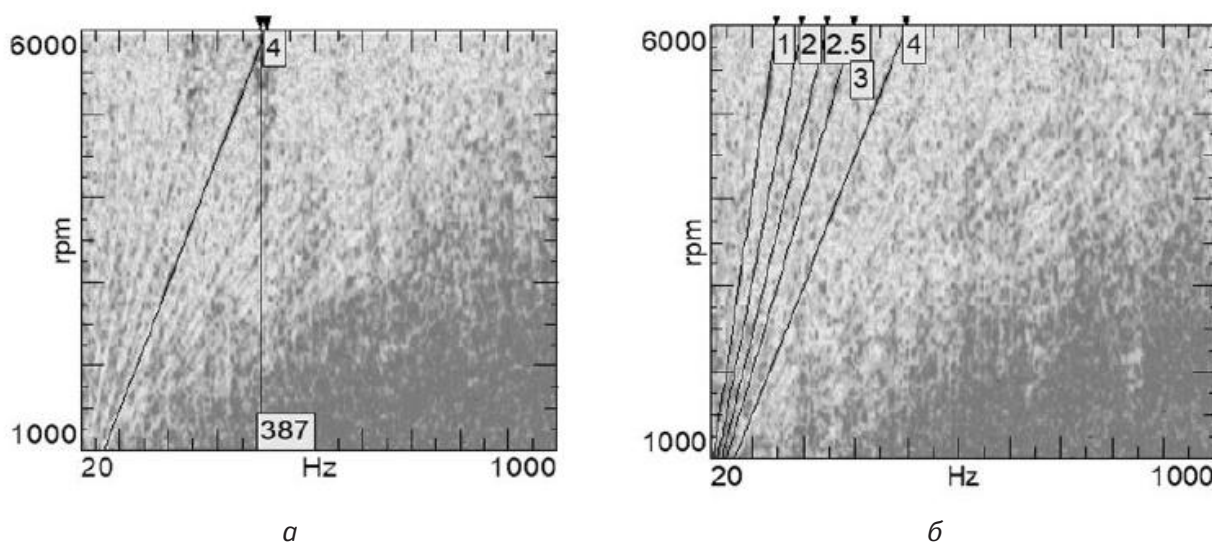


Рис. 5. Шум у у левого уха пассажира:

а — серийная СВОГ; б — серийная СВОГ + до. глушитель

В табл. 1 представлены результаты испытаний по методике Правил ООН № 51-02, а именно измерение шума, производимого движущимся транспортным средством, с учетом минус 1 дБ(А) на погрешность измерительных приборов. В табл. 2 приведены результаты измерений шума, производимого транспортным средством в неподвижном состоянии при частоте вращения коленчатого вала двигателя 3325 мин^{-1} .

Обсуждение. Полученные данные (рис. 3) на минимальных оборотах холостого хода (750 мин^{-1}) показали, что общий шум в салоне определяет низкочастотная область в треть октавах 31, 40, 50 Гц. Из полученных результа-

тов видно, что газодинамический шум попадает внутрь салона воздушным путем, высокочастотный шум доминирующий снаружи у среза глушителей, в салон не проникает, высокие частоты хорошо изолируются кузовом (материалами, уплотнителями). Шум в задней точке, относительно передней, больше (на 2 дБ(А)), так как пассажир находится ближе к выхлопу, учитывая, тип кузова (универсал), можно предположить, что шум проникает внутрь через заднюю дверь.

Таблица 1

Шум от движущегося транспортного средства

Комплектация СВОГ	Уровни звука, дБ(А)						Результат, дБ(А)
	Слева			Справа			
Исходная	71,1	71,9	71,4	71,0	70,7	71,1	71,9
С дополнительным глушителем	71,7	71,5	70,6	71,9	71,3	71,8	71,9
Допустимый уровень	74 дБ(А)						

Таблица 2

Шум на неподвижном транспортном средстве у среза выхлопных труб

Комплектация СВОГ	Уровни звука (слева / справа), дБ(А)			Результат, дБ(А)
Исходная (серийная СВОГ)	87 (83 + 85)	86 (82 + 84)	87 (83 + 85)	87
С дополнительным глушителем	66	65	66	66

Как уже упоминалось, при интенсивном разгоне на 3-й передаче в газодинамическом шуме определились три ярко выраженные резонансные зоны, это говорит о недостаточно хорошей работе СВОГ и о необходимости ее доработки, направленной на подавление резонансных частот, в первую очередь это касается частоты 387 Гц которая также проявляется в салоне автомобиля. Возможно, что решением данной проблемы было бы включение в резонатор или (и) глушители звукопоглощающего наполнителя. На рис. 6 (правый график) видно, что в комплектации с «абсолютным» глушителем во внутреннем шуме открылись моторные гармоники (1, 2, 2.5, 3 порядков), ранее замаскированные газодинамическим шумом, это открывает возможности по определению влияния гармонических составляющих на внутренний шум автомобиля и проведению мероприятий по их снижению.

Определение внешнего шума по Правилам ООН 51-02 в движении показали одинаковые уровни, полученные в серийной и опытной (с «абсолютным» глушителем) комплектациях СВОГ, отсутствие эффекта снижения шума здесь связано с тем, что автомобиль на коротком участке не успевает

разогнаться и проезжает участок на относительно низких оборотах к. в. двигателя ($1700 \rightarrow 2000$) мин⁻¹. Как видно из левого графика рис. 5 в этой области шум выпуска не проявляется, здесь доминируют другие источники — шины и двигатель. При замерах на месте, на холостых оборотах двигателя (3350 мин⁻¹) шум в ближнем поле формирует газодинамическая составляющая, влияние других источников здесь ничтожно мало, поэтому разница в пользу опытной комплектации более 20 дБ(А).

Заключение. В статье на практических примерах показано влияние шума выхлопа на общий шум автомобиля на стационарных режимах и в движении, при интенсивных разгонах. Применение дополнительного глушителя позволило провести количественную оценку вклада газодинамической составляющей во внешний и внутренний шум автомобиля, определить эффективность работы серийной СВОГ и доминирующие частотные составляющие и определить характер шума. Метод изоляции одного из основных источников дает возможность найти другие «замаскированные» источники шума, провести анализ и исследования. В данной работе были выявлены моторные гармоники 1, 2, 2.5, 3 порядков проведена оценка их влияния на внутренний шум. Применение указанных методов позволит оптимизировать конструкцию глушителей, снизить шум выхлопа и улучшить акустический комфорт автомобилей.

Список источников

- [1] Галевко Ю.В., Щепкин А.И. Европейское техническое нормирование в области ограничения шума транспортных средств. *Журнал Автомобильных инженеров*, 2014, № 2 (85), с. 6–10.
- [2] Макарова И.В., Маврин В.Г., Магдин К.А. Влияние шумового загрязнения автомобильного транспорта на состояние окружающей среды урбанизированных территорий. *Журнал Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация*, 2018, № 2 (78), с. 13–24.
- [3] Галевко Ю.В., Елесин А.Н., Иванова Т.В., Тюрин В.П. Методика и результаты оценки источников шума автомобиля с учетом его положения на измерительном участке. *Вектор науки ТГУ*, 2011, № 2 (16), с. 104–108.
- [4] Галевко В.В., Надарейшвили Г.Г., Юдин С.И. Совершенствование методики расчетно-экспериментального определения акустических характеристик элементов системы выпуска. *Вектор науки ТГУ*, 2013, № 3 (25), с. 124–127.
- [5] Галевко В.В., Рахматов Р.И. Расчетное и экспериментальное исследование систем обработки отработавших газов. *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*, 2017, т. 16, № 3, с. 145–154.