

УДК: 534.6
OECD: 1.03 AA

Экспериментальные исследования уровней звукового давления колес легкового автомобиля для диагностики повреждения колес по акустическим сигналам

Богданова А.М.^{1*}, Курченко П.С.², Фиев К.П.³

¹Аспирант, ²Ассистент, ³Старший преподаватель

^{1,2,3} Кафедра «Экология и производственная безопасность»

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

Аннотация

В статье представлены результаты экспериментальных исследований уровней звука колес легкового автомобиля, 2019 года выпуска. Проанализированы октавные и третьоктавные спектры шума автомобильных шин с уровнем давления воздуха в них 2 и 1,5 атмосферы. По результатам анализа третьоктавных спектров шума сделан вывод о том, что значимая разница в уровнях звуковых давлений автомобильных шин выявлена в третьоктавном спектре от 25 Гц до 10000 Гц на скоростях до 40 км/ч. При повышении скорости с 40 до 60 км/ч разница в уровнях звуковых давлений автомобильных шин сокращается. В результате проведенного исследования определены значения критериев по уровням звукового давления при разнице давлений воздуха в автомобильных шинах легкового автомобиля 0,5 атмосфер, на скоростях 15, 20, 40 км/ч в третьоктавном спектре от 25 Гц до 10000 Гц. Таким образом, можно сделать вывод, что критерии по уровню звукового давления в процессе снижения давления воздуха в шинах являются значимыми показателями и могут быть применены для диагностирования состояния автомобильных шин.

Ключевые слова: шум, звук, уровень звукового давления, компьютерная диагностика, легковой автомобиль, городской трафик.

Experimental study of sound pressure levels emitted by wheels of a passenger car to determine wheels damage using acoustic signals

Bogdanova A.M.^{1}, Kurchenko P.S.², Fiev K.P.³*

¹Graduate student, ²Assistant, ³Senior Lecturer

*^{1,2,3} Department of Ecology and Industrial Safety, Baltic State Technical University 'VOENMEH',
St. Petersburg, Russia*

Abstract

The article presents the results of experimental studies of the sound levels of the wheels of the passenger car, 2019. Octave and third octave noise spectra of automobile tires with an air pressure level of 2 and 1.5 atmospheres are analyzed. Based on the results of the analysis of the third-octave noise spectra, it was concluded that a significant difference in the sound pressure levels of automobile tires was detected in the third-octave spectrum from 25 Hz to 10000 Hz at speeds up to 40 km/h. When the speed increases from 40 to 60 km/h, the difference in the sound pressure levels of car tires decreases. As a result of the conducted research, the values of criteria for sound pressure levels were determined at an air pressure difference in passenger car tires of 0.5 atmospheres, at speeds of 15, 20, 40 km/h in the third octave spectrum from 25 Hz to 10000 Hz. Thus, it

*E-mail: bogdanovoyanne@gmail.com (Богданова А.М.)

can be concluded that the criteria for the sound pressure level in the process of reducing tire air pressure are significant and can be used to diagnose the condition of car tires.

Keywords: noise, sound, sound pressure level, computer diagnostics, passenger car, urban traffic.

Введение

Существенный рост автомобилизации в России, Европе, Северной Америке, Японии и других странах позволяет предположить, что дорожное движение останется доминирующим источником шума в обществе в обозримом будущем. Многочисленными исследованиями установлено, что при нормальных транспортных потоках и типовом составе транспортных средств на городских дорогах около 60% звуковой мощности дорожного шума обусловлено шумом взаимодействия шин с дорогой [1,2].

По данным НИЦ ГИБДД МВД РФ существенно выше доля дорожно-транспортных происшествий (ДТП), в которых неудовлетворительное техническое состояние транспортных средств (ТС) было сопутствующей причиной ДТП. По результатам отечественных научных исследований, с техническими неисправностями транспорта связано до 13% происшествий всех видов и до 15% – с особо тяжкими последствиями.

Техническая диагностика автомобиля – это совокупность целей и задач, связанных с поиском неисправностей механизмов и систем автомобиля, для их дальнейшего устранения. Процесс диагностирования включает тестирование всех основных параметров и характеристик систем, влияющих на работу автомобиля (блок управления двигателя, автоматическая трансмиссия, пневмоподвеска, система ABS, система безопасности, круиз контроль, иммобилайзер и т.д.). Электронные системы управления оборудованием автомобилей дают новые возможности для автомобилистов при получении данных о техническом состоянии систем и механизмов двигателя.

Эффективное использование средств диагностирования на станциях обслуживания автомобилей и в автотранспортных предприятиях возможно лишь в результате правильного их применения и эксплуатации. Поэтому исследованию диагностического оборудования, а также методов прогнозирования остаточного ресурса автомобиля в последнее время уделяется особое внимание [3].

Диагностика и устранение неисправности автомобиля и заблаговременное предотвращение серьёзных автомобильных аварий возможно при помощи водительского интерфейса, если автомобиль оборудован соответствующими датчиками путём архивирования накопленных звуков и отправкой сообщения об основных возникших неисправностях автомобиля водителю [4].

Не менее важно контролировать безопасность механических частей автомобиля.

Программа диагностики автомобиля с помощью звука может быть передана владельцу-водителю при выпуске автомобиля, может выполнять самодиагностику, устанавливаясь на автомобиль, и может использоваться с приложением в интеллектуальной среде [5].

Авторами [5] предлагается использовать непосредственную расшифровку фонем, опираясь на характерные звуки определённых неисправностей, которые использовались опытными водителями и механиками прошлых поколений. Предлагается записывать в качестве эталонных звуки запуска двигателя, остановки двигателя и звук при движении. Однако, учитывая хорошую шумоизоляцию современных автомобилей, использование единственного датчика звука даёт возможность выделить фонемы неисправностей только

в идеальных «лабораторных» условиях, в отсутствие других источников звука, а при использовании нескольких микрофонов, шумовая составляющая не позволяет сравнивать их сигналы непосредственно.

Авторам работ [6, 7] удалось удачно применить время-частотный принцип, но опять-таки в идеальных «лабораторных» условиях и с единственным источником звукового сигнала.

Из всех компонентов и деталей автомобиля только шины находятся в непосредственном контакте с дорожным покрытием. Поэтому их состояние крайне важно для любого авто. Ведь от него зависит не только проходимость и экономичность машины, но и безопасность водителя, пассажиров, да и других участников движения. Одним из главных показателей состояния покрышек является давление воздуха в них. Чтобы поддерживать его оптимальное значение, нужно контролировать давление во всех колесах не реже, чем раз в месяц [8].

1. Описание экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования выполнены с целью выявления критериев, показывающих различие в акустических характеристиках колёс легкового автомобиля при их контакте с дорожным покрытием для обнаружения неисправности, а именно, снижения давления в автомобильных шинах.

Задачами экспериментальных исследований являлись:

- определение уровней звукового давления, излучаемых правой и левой задними шинами движущегося легкового автомобиля при давлении воздуха в них равном 2 и 1,5 атмосферы при одновременном измерении;
- анализ уровней звукового давления, излучаемых шинами;
- определение критериев, характеризующих изменения уровней звукового давления шин при движении со скоростями 15 км/ч, 20 км/ч, 40 км/ч с разницей давления в шинах 0,5 атмосфер.

Авторами статьи было проведено исследование акустических характеристик колес легкового автомобиля в условиях городского трафика в зимнее время.

Испытания проводились в условиях реального городского трафика, микрофоны располагались в районе крыльев задних колес автомобиля. В данной работе в качестве бортовых устройств использовались шумомеры 1 класса точности с цифровыми микрофонами (далее – микрофон 1, микрофон 2), расположенными таким образом, что удалось создать пространственную времячастотную модель (Рисунок 1).

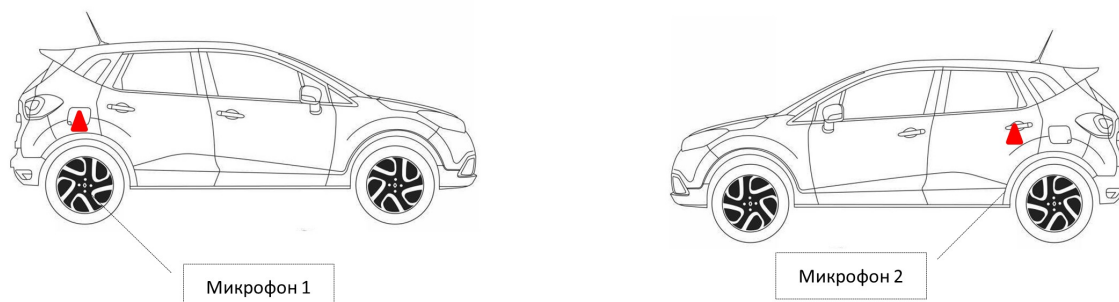


Рис. 1. Функциональная схема бортового устройства для получения акустических характеристик колес автомобиля

Для проведения измерений применялось следующее оборудование:

- шумомеры-анализаторы спектра 1 класса точности Экофизика 110А, Октава 110А;
- цифровые микрофоны МК-233, ВМК-205, программное обеспечение для анализа файлов и телеметрии «Signal+».

Цифровые микрофоны были установлены при помощи строительного скотча на поверхность крыльев автомобиля на расстоянии 10 см от поверхности шины. Расположение микрофонов 1, 2 схематично представлено на рисунке 1. Микрофоны 1,2 были соединены с шумомерами-анализаторами посредством микрофонных удлинительных кабелей.

Экспериментальные исследования выполнялись на легковом автомобиле 2019 года выпуска. Технические характеристики автомобиля и характеристики испытанных шин представлены в Таблице 1.

На рисунке 2 представлены фотографии автомобильных шин Yokohama 215/65 R16 102T IG65, использованных для проведения натурных измерений.

Таблица 1

Технические характеристики легкового автомобиля

Характеристики автомобиля	
Класс автомобиля	В
Количество дверей	5
Количество мест	5
Расположение руля	Левый
Объем	1.6 л
Тип двигателя	бензиновый
Привод	передний
Характеристики шин	
Производитель	Yokohama 215/65 R16 102T IG65
Сезонность	зимние
Класс шин	В
Шипы	есть



Рис. 2. Колесо легкового автомобиля с шиной марки Yokohama 215/65 R16 102T IG65

Процесс записи акустических сигналов автомобильных шин осуществлялся несколькими последовательными итерациями прогона автомобиля в городском трафике.

Средние значения времени измерения, при изменении уровня давления воздуха в шинах с 2 до 0,5 атмосфер в диапазоне скоростей 15 км/ч – 60 км/ч, составили от 0,5 до 3 минут.

2. Уровни шума автомобильных шин Yokohama 215/65 R16 102T IG65

В результате серии натурных исследований были получены значения уровней звукового давления (УЗД) в октавных (Таблица 2) и третьоктавных полосах (Таблица 4) частот при накаченных шинах колес автомобиля, с давлением в 2 атмосферы, и при частично спущенных шинах колес автомобиля, с давлением 1,5 атмосферы.

Таблица 2

Результаты измерения УЗД в октавных полосах частот

Давление в шинах задних колес автомобиля, атмосферы	Скорость автомобиля, км/ч	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука/эквивалентные уровни звука, дБА	Максимальный уровень звука, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Микрофон 1 (правое заднее колесо)												
2	15	77,4	65,7	59,9	54,1	53,6	53,5	47,4	41,9	34,3	56,7	58,1
2	20	82,6	85,0	77,9	71,5	73,1	78,1	71,6	61,2	49,7	80,0	80,7
2	40	88,1	90,9	89,1	84,8	86,3	88,1	80,5	68,3	57,6	90,2	91,1
2	50	95,0	94,5	90,8	88,0	88,6	89,8	81,3	69,5	60,2	92,0	92,6
2	60	99,7	97,1	93,9	90,4	91,2	92,0	83,8	72,4	63,2	94,3	95,6
1,5	15	87,9	87,8	83,7	75,8	77,7	81,6	74,7	61,8	51,0	83,5	84,6
1,5	20	88,5	89,8	85,2	79,2	81,2	84,3	76,6	64,2	53,7	86,1	86,6
1,5	40	80,9	88,5	85,2	78,0	81,2	83,7	76,1	62,8	53,0	85,6	87,2
1,5	50	94,3	93,7	90,3	86,0	86,3	87,7	80,5	67,4	58,5	90,0	91,0
1,5	60	100,1	99,1	95,7	91,5	91,3	92,1	84,0	71,9	63,0	94,5	95,0
Микрофон 2 (левое заднее колесо)												
2	15	78,7	64,3	59,2	55,1	54,0	53,7	49,7	44,8	38,7	57,6	58,8
2	20	81,3	87,5	81,9	72,5	77,0	80,1	76,6	66,5	56,0	83,0	85,5
2	40	88,4	91,9	91,2	86,8	89,6	89,3	84,1	72,4	63,1	92,4	94,1
2	50	95,4	92,9	91,1	88,6	91,7	90,4	84,4	72,9	64,9	93,6	94,2
2	60	100,2	97,3	94,5	91,5	94,4	92,9	87,0	75,7	68,7	96,2	97,2
1,5	15	87,5	89,3	85,3	76,2	80,8	81,9	77,6	65,4	55,4	84,8	86,0
1,5	20	88,2	91,2	87,3	80,1	84,2	84,5	79,3	68,7	61,0	87,5	88,3
1,5	40	94,1	92,6	90,4	85,9	89,4	88,0	82,6	70,3	62,4	91,3	91,9
1,5	50	97,5	95,7	91,6	89,4	92,3	90,9	85,2	73,7	66,0	94,2	94,9
1,5	60	100,0	96,2	93,3	90,7	94,2	92,3	86,3	74,6	67,3	95,7	96,1

Предварительный частотный анализ этой модели показал, что при скоростях до 40 км/ч в частотных полосах октавного спектра, уровни звукового давления для шин с давлением воздуха 2 атм. ниже, чем для шин с давлением 1,5 атм. При увеличении скорости автомобиля включительно до 60 км/ч отмечается сближение уровней звукового давления на всех выбранных среднегеометрических частотах.

Результаты измерений уровней звукового давления шума автомобильных шин для частотных полос третьоктавного спектра представлены в Таблице 3 и на рисунках 3-5.

Таблица 3

Результаты измерения УЗД в третьоктавных полосах частот

Скорость автомобиля, км/ч	Уровни звукового давления, дБ, в 1/3 октавных полосах частот, Гц									
	15	20	40	50	60	60	50	40	20	15
25										
31,5										
40										
50										
63										
80										
100										
125										
160										
200										
250										
315										
400										
500										
630										
800										
1000										
1250										
1600										
2000										
2500										
3150										
4000										
5000										
6300										
8000										
10000										
Микрофон 1 (правое колесо) 2 атм.										
15	77,1	77,2	84,2	90,8	96,0	95,1	90,2	83,1	78,2	64,4
20	77,2	78,2	83,0	89,9	93,5	92,9	90,2	83,1	75,7	62,7
40	78,1	80,4	86,5	89,3	92,4	91,9	90,0	87,7	82,4	58,1
50	62,4	61,1	58,1	55,4	56,5	52,6	51,5	47,9	47,7	50,2
60	46,9	48,8	49,3	49,2	47,5	44,6	42,4	39,9	37,9	37,8
60	48,8	49,2	47,5	44,6	42,4	39,9	37,9	37,8	35,4	32,1
50	49,3	49,2	47,5	44,6	42,4	39,9	37,9	37,8	32,1	28,6
40	49,2	47,5	44,6	42,4	39,9	37,9	37,8	35,4	32,1	25,6
20	46,9	48,8	49,3	49,2	47,5	44,6	42,4	39,9	37,9	37,8
15	48,8	49,2	47,5	44,6	42,4	39,9	37,9	37,8	35,4	32,1
Микрофон 1 (правое колесо) 1,5 атм.										
15	83,1	83,2	83,5	84,2	82,2	82,6	82,0	77,0	74,6	71,6
20	83,2	83,5	84,2	82,2	82,6	82,0	77,0	74,6	71,6	70,3
40	83,5	84,2	82,2	82,6	82,0	77,0	74,6	71,6	70,3	71,3
50	84,2	82,2	82,6	82,0	77,0	74,6	71,6	70,3	71,3	73,1
60	82,2	82,6	82,0	77,0	74,6	71,6	70,3	71,3	73,1	71,5
60	71,6	70,3	71,3	73,1	71,5	73,9	77,0	77,7	75,8	72,5
50	73,9	77,0	77,7	75,8	72,5	69,5	64,7	60,2	55,4	51,5
40	77,0	77,7	75,8	72,5	69,5	64,7	60,2	55,4	51,5	48,3
20	71,6	70,3	71,3	73,1	71,5	73,9	77,0	77,7	75,8	72,5
15	73,9	77,0	77,7	75,8	72,5	69,5	64,7	60,2	55,4	51,5
60	71,6	70,3	71,3	73,1	71,5	73,9	77,0	77,7	75,8	72,5
50	73,9	77,0	77,7	75,8	72,5	69,5	64,7	60,2	55,4	51,5
40	77,0	77,7	75,8	72,5	69,5	64,7	60,2	55,4	51,5	48,3
20	71,6	70,3	71,3	73,1	71,5	73,9	77,0	77,7	75,8	72,5
15	73,9	77,0	77,7	75,8	72,5	69,5	64,7	60,2	55,4	51,5

Скорость автомобиля, км/ч		Уровни звукового давления, дБ, в 1/3 октавных полосах частот, Гц					
		60	50	40	20	15	
25		96,4	92,0	84,6	76,2	79,7	
31,5		95,4	91,2	84,4	77,8	60,2	
40		94,2	88,3	82,0	75,3	59,4	
50		93,3	87,6	81,0	73,6	60,8	
63		92,2	86,8	88,9	84,3	60,5	
80		92,0	89,7	88,4	84,6	56,4	
100		91,6	87,5	88,6	80,4	54,4	
125		89,5	86,3	86,3	74,6	55,9	
160		87,2	84,5	82,8	70,9	52,2	
200		87,6	85,4	84,5	68,8	53,8	
250		85,1	81,9	79,0	65,3	46,8	
315		87,4	84,0	81,6	68,1	47,5	
400		87,4	84,6	82,3	69,3	49,6	
500		90,8	88,1	85,7	72,6	49,9	
630		90,1	87,4	85,9	73,8	48,1	
800		89,0	86,7	85,2	74,6	48,5	
1000		89,1	86,4	85,6	76,8	49,6	
1250		85,1	82,4	82,1	74,3	48,7	
1600		84,9	82,3	82,0	74,3	46,7	
2000		81,6	79,1	78,7	71,3	43,7	
2500		77,4	75,0	74,9	67,9	43,4	
3150		73,7	71,1	70,7	64,4	41,1	
4000		69,4	66,5	65,6	60,6	39,8	
5000		65,3	61,6	61,1	55,9	37,6	
6300		63,8	59,6	59,0	53,2	35,8	
8000		64,2	60,2	58,1	51,1	33,3	
10000		63,8	60,5	57,5	47,6	31,9	
Микрофон 2 (левое колесо), 2 атм.							
60		96,2	93,7	90,5	84,7	82,5	
50		95,5	92,5	89,6	83,8	82,1	
40		93,6	92,3	87,7	81,0	83,4	
31,5		91,8	91,4	87,6	79,7	85,4	
25		91,5	91,9	88,8	88,8	82,8	
20		91,2	89,0	87,3	86,9	85,3	
16		90,1	87,7	87,7	84,3	83,4	
12,5		88,6	87,5	85,5	82,6	78,3	
10		86,3	84,4	82,6	79,2	76,4	
8		87,2	85,6	83,7	76,3	72,5	
6,3		83,8	83,0	77,4	73,5	68,6	
5		86,4	85,4	80,9	75,4	71,6	
4		87,3	85,5	82,2	76,9	72,9	
3,15		90,6	88,2	85,1	79,6	76,2	
2,5		89,9	88,5	85,8	80,9	77,7	
2		89,1	87,3	84,5	80,5	77,6	
1,6		87,9	86,6	83,7	80,4	78,0	
1,25		84,2	83,2	80,3	77,8	75,1	
1		84,1	83,1	80,4	77,1	75,3	
0,8		81,3	80,1	77,7	74,0	72,5	
0,63		76,5	75,4	73,0	69,6	68,3	
0,5		72,7	71,7	68,5	66,2	63,8	
0,4		68,1	67,8	63,7	63,4	58,4	
0,315		63,8	62,8	58,8	59,3	53,8	
0,25		62,3	61,4	57,3	57,6	51,6	
0,2		62,6	61,5	57,8	56,2	50,6	
0,16		62,8	60,8	57,7	54,1	49,3	
Микрофон 2 (левое колесо) 1,5 атм.							

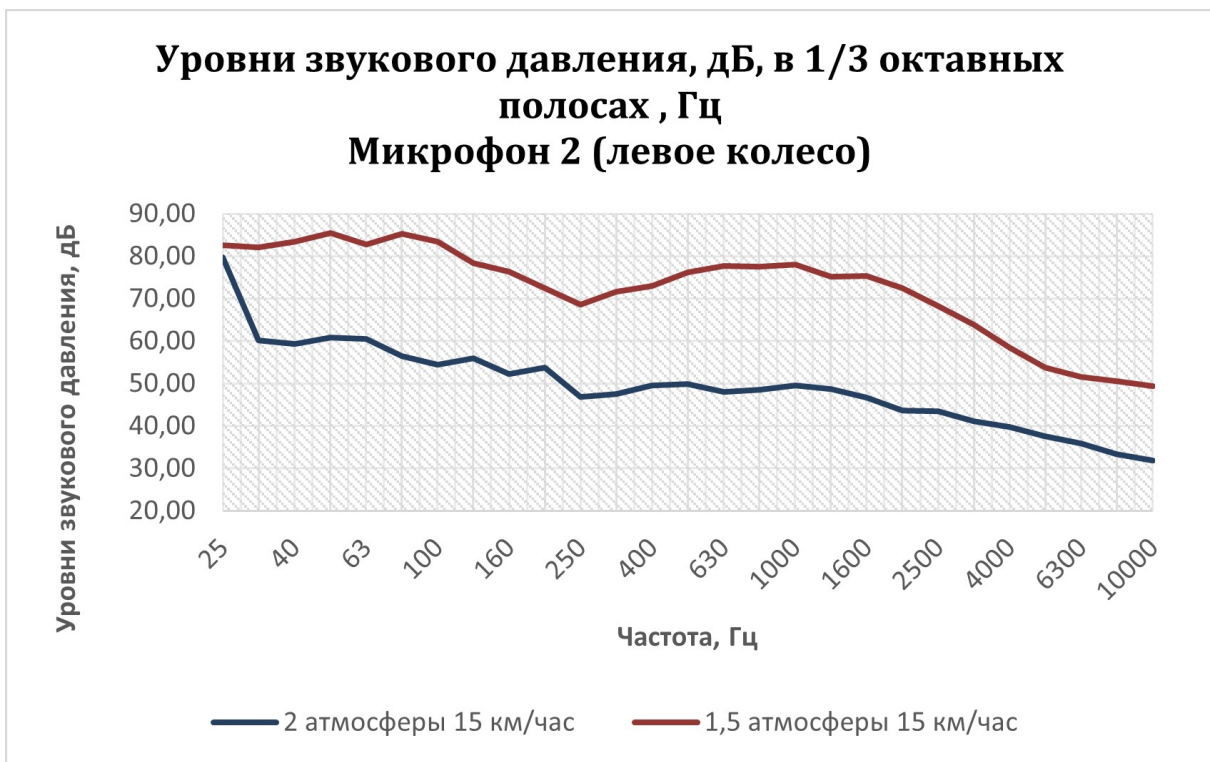
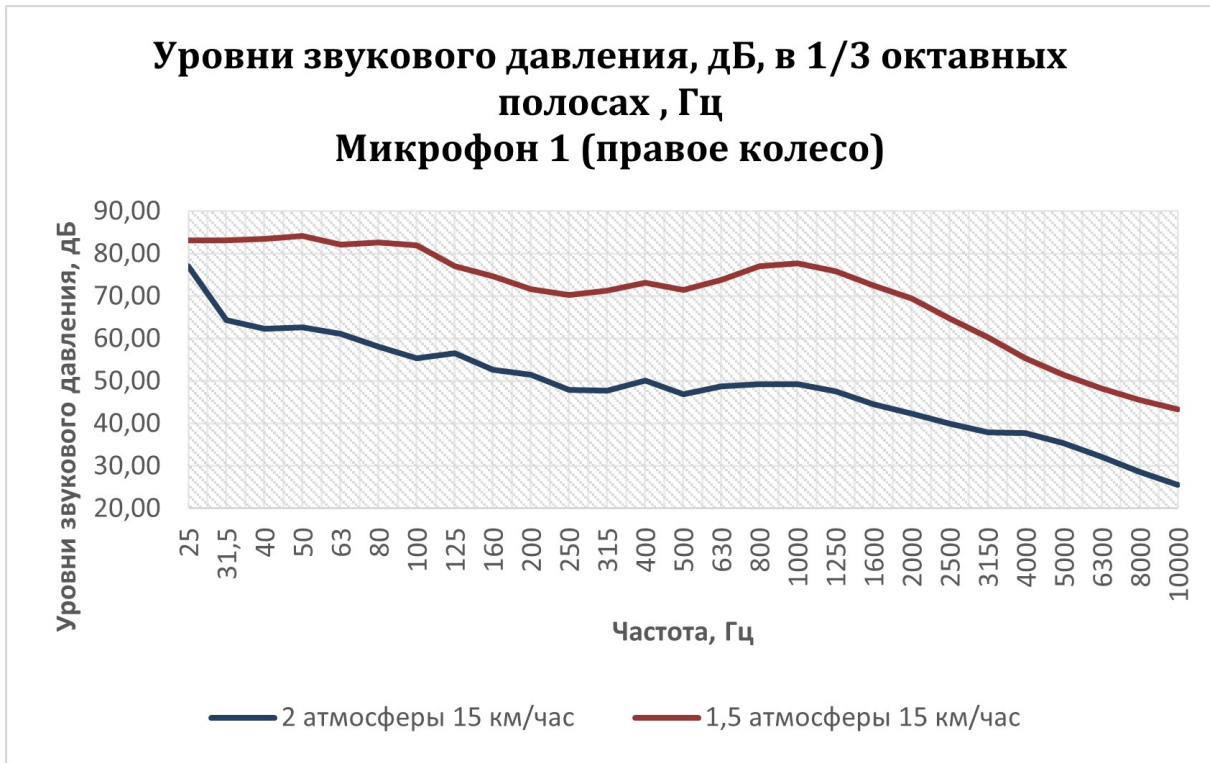


Рис. 3. Треть-октавные спектры шума автомобильных шин Yokohama 215/65 R16 102T IG65 на скорости 15 км/ч

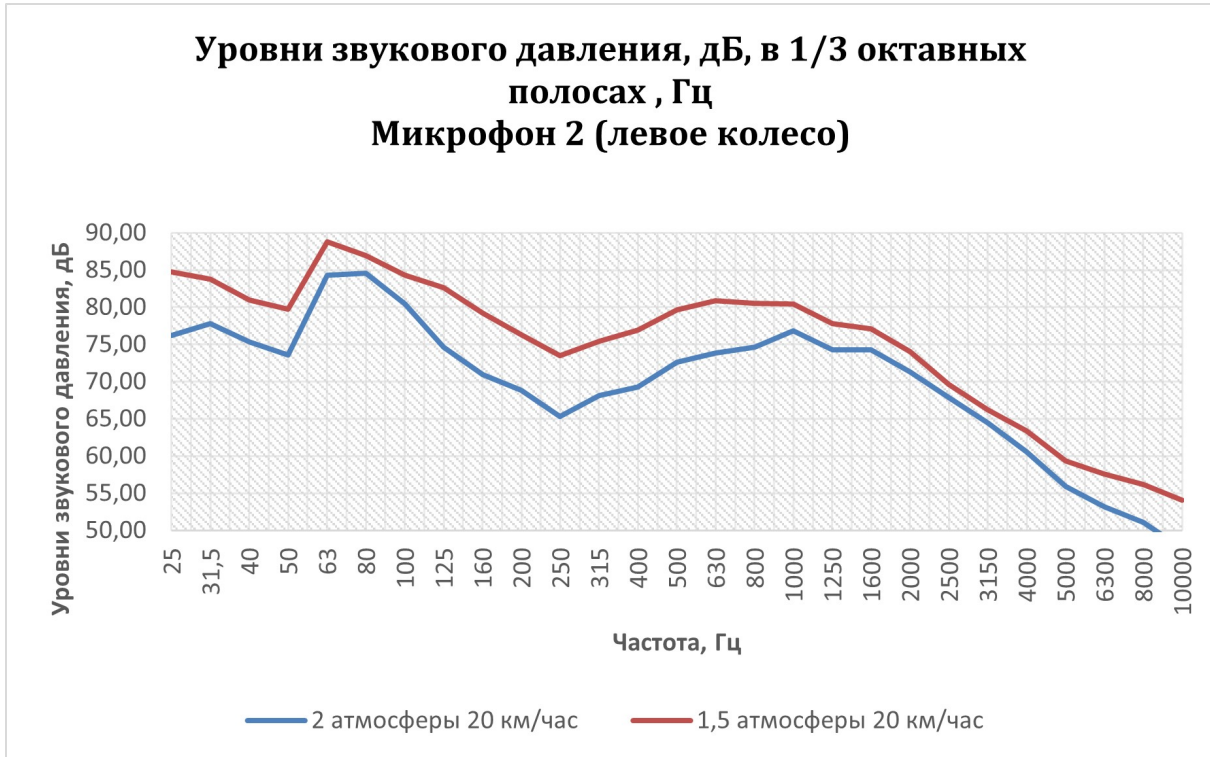
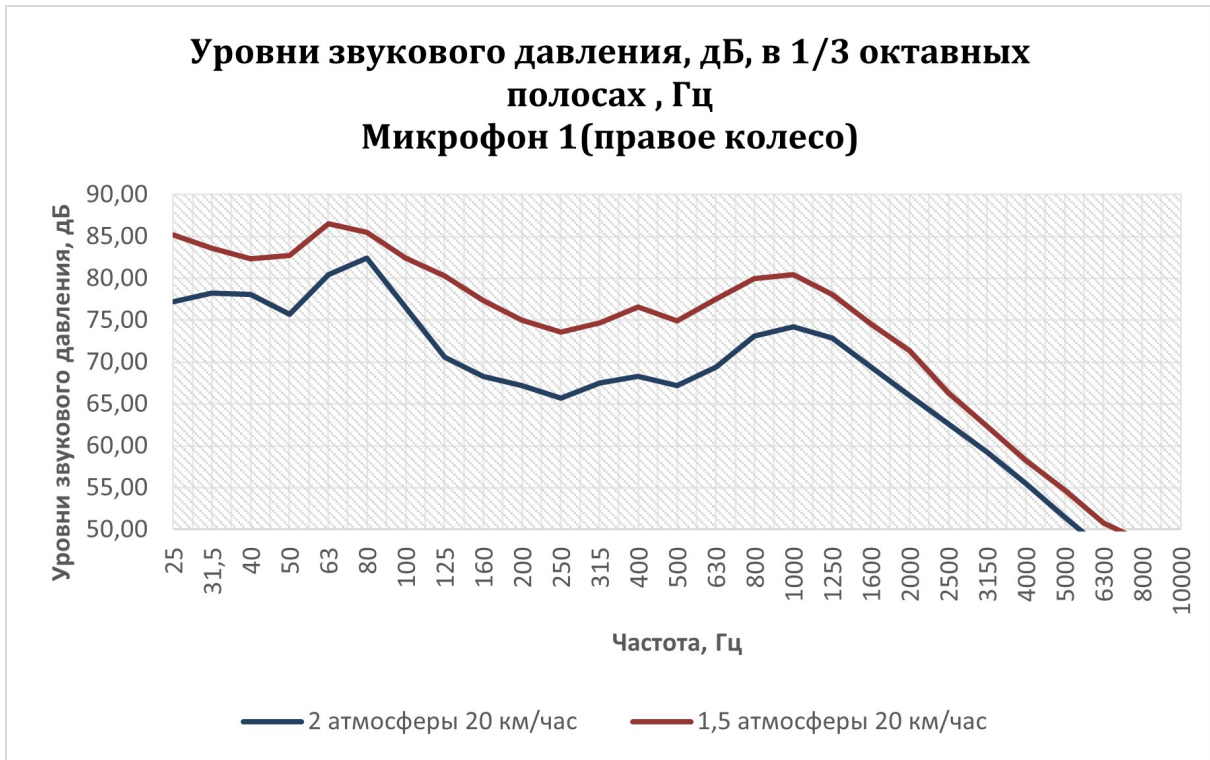


Рис. 4. Треть-октавные спектры шума автомобильных шин Yokohama 215/65 R16 102T IG65 на скорости 20 км/ч

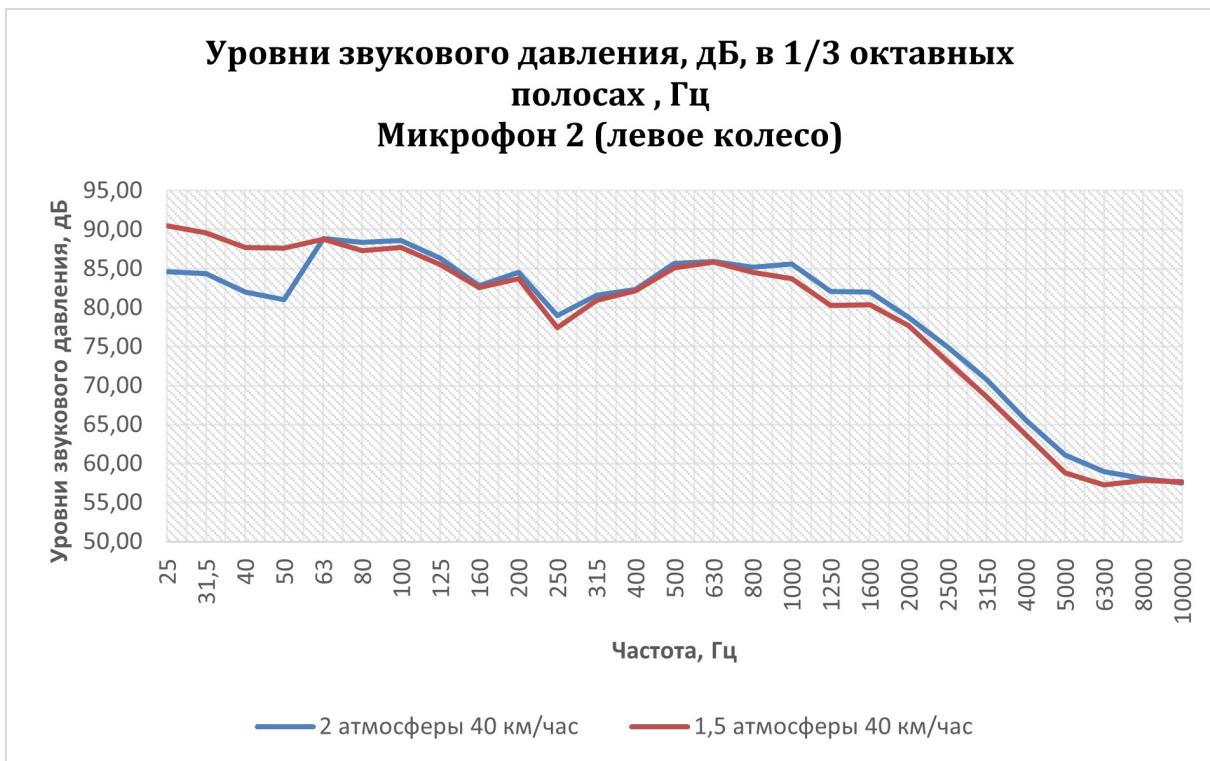
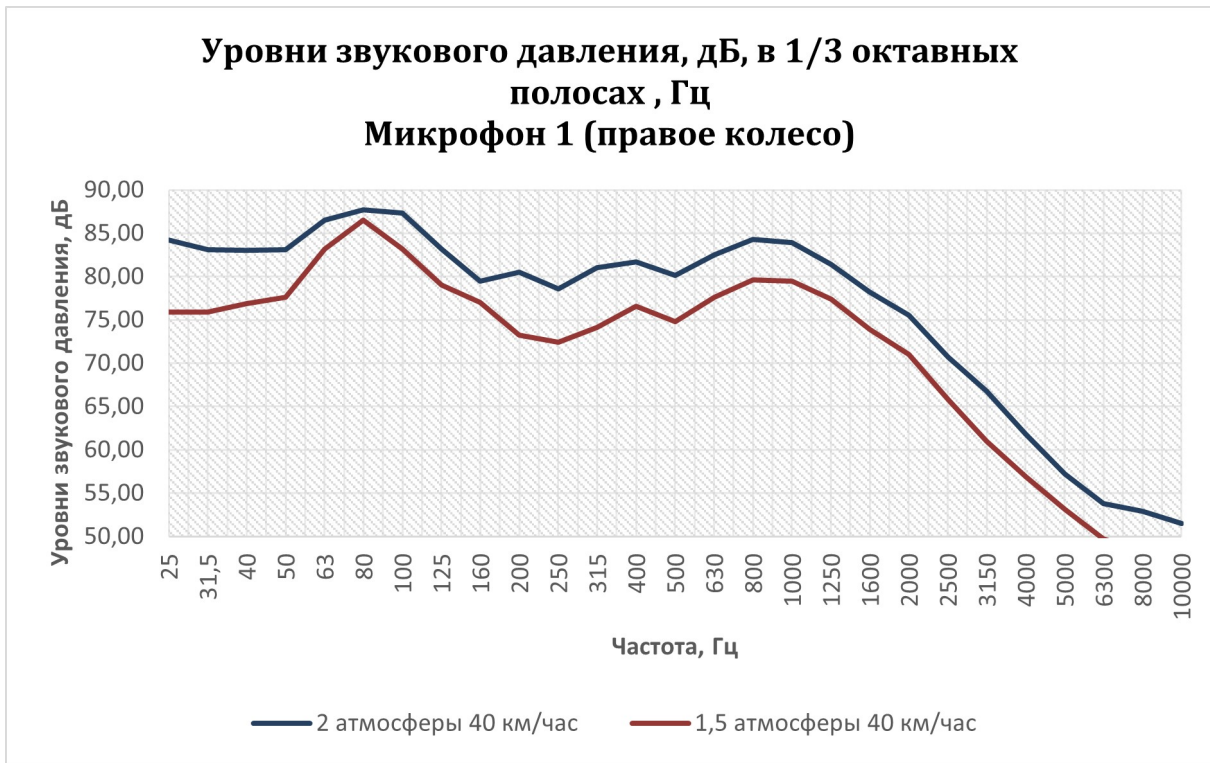


Рис. 5. Треть-октавные спектры шума автомобильных шин Yokohama 215/65 R16 102T IG65 на скорости 40 км/ч

В результате анализа значений УЗД источника шума для частотных полос третьоктавного спектра получили более детальное представление об изменениях УЗД в зависимости от давления воздуха в шинах на выбранных скоростях (Рисунок 3-5).

В таблице 4 представлены значения критериев, которые показывают изменение УЗД в шинах для третьоктавного спектра при разнице давления воздуха в шинах колес 0,5 атм.

Таблица 4

Значения критерия уровня звукового давления при разнице давления воздуха в шинах колес автомобиля 0,5 атм

Скорость автомобиля, км/ч	Уровни звукового давления, дБ, в 1/3 октавных полосах, Гц									
	60	50	40	20	15	60	50	40	20	15
25	-0,2	-0,9	-8,3	8,0	6,0	-0,2	-0,9	-8,3	8,0	6,0
31,5	0,1	-0,6	-7,2	5,4	18,8	0,2	-0,6	-7,2	5,4	18,8
40	-0,6	4,0	5,7	5,7	24,0	1,7	-0,8	-6,1	4,2	21,1
50	-1,5	3,8	6,6	6,1	24,6	1,4	-0,9	-5,5	7,0	21,5
63	-0,7	5,1	-0,1	4,5	22,3	2,2	0,1	-3,3	6,1	21,1
80	-0,8	-0,7	-1,1	2,3	28,9	2,4	-1,8	-1,2	3,1	24,5
100	-1,5	0,2	-0,9	3,9	29,0	1,5	-0,7	-4,1	5,9	26,6
125	-0,9	1,2	-0,8	8,0	22,4	1,7	-0,1	-4,2	9,7	20,5
160	-0,9	-0,1	-0,2	8,3	24,2	2,5	-0,8	-2,5	9,1	22,0
200	-0,4	0,2	-0,8	7,5	18,7	2,4	-1,0	-7,3	7,8	20,1
250	-1,3	1,1	-1,6	8,2	21,8	1,7	-3,1	-6,2	7,9	22,4
315	-1,0	1,4	-0,7	7,3	24,1	-0,3	-2,3	-6,9	7,2	23,6
400	-0,1	0,9	-0,1	7,6	23,3	0	-2,2	-5,1	8,3	22,9
500	-0,2	0,1	-0,6	7,0	26,3	0,2	-2,7	-5,3	7,7	24,6
630	-0,2	1,1	-0,1	7,1	29,6	0,1	-2,3	-4,9	8,1	25,1
800	0,1	0,6	-0,7	5,9	29,1	0,3	-2,3	-4,7	6,9	27,7
1000	-1,2	0,2	-1,9	3,6	28,4	0	-2,1	-4,4	6,2	28,5
1250	-0,9	0,8	-1,8	3,5	26,4	-0,3	-1,5	-4,0	5,2	28,3
1600	-0,8	0,8	-1,6	2,8	28,6	0,4	-0,5	-4,3	5,1	27,9
2000	-0,3	1,0	-1,0	2,7	28,8	-0,1	-1,3	-4,5	5,4	27,1
2500	-0,9	0,4	-1,9	1,7	24,9	0	-1,1	-4,9	3,7	24,8
3150	-1,0	0,6	-2,2	1,8	22,7	-0,6	-2,0	-5,8	3,1	22,3
4000	-1,3	1,3	-1,9	2,8	18,6	-0,2	-2,3	-4,9	2,8	17,6
5000	-1,5	1,2	-2,3	3,4	16,2	-0,3	-1,8	-4,1	3,2	16,1
6300	-1,5	1,8	-1,7	4,4	15,8	0,1	-1,0	-4,1	3,2	16,2
8000	-1,6	1,3	-0,3	5,1	17,3	-0,4	-1,9	-4,7	4,2	17,0
10000	-1,0	0,3	0,2	6,5	17,4	-0,5	-2,6	-5,2	6,5	17,8
	Микрофон 2 (левое колесо)									
60	-0,2	1,7	5,9	8,5	2,8	-0,2	1,7	5,9	8,5	2,8
70	0,1	1,3	5,2	6,0	21,9	0,1	1,3	5,2	6,0	21,9
80	-0,6	4,0	5,7	5,7	24,0	-0,6	4,0	5,7	5,7	24,0
90	-1,5	3,8	6,6	6,1	24,6	-1,5	3,8	6,6	6,1	24,6
100	-0,7	5,1	-0,1	4,5	22,3	-0,7	5,1	-0,1	4,5	22,3
110	-0,8	-0,7	-1,1	2,3	28,9	-0,8	-0,7	-1,1	2,3	28,9
120	-1,5	0,2	-0,9	3,9	29,0	-1,5	0,2	-0,9	3,9	29,0
130	-0,9	1,2	-0,8	8,0	22,4	-0,9	1,2	-0,8	8,0	22,4
140	-0,9	-0,1	-0,2	8,3	24,2	-0,9	-0,1	-0,2	8,3	24,2
150	-0,4	0,2	-0,8	7,5	18,7	-0,4	0,2	-0,8	7,5	18,7
160	-1,3	1,1	-1,6	8,2	21,8	-1,3	1,1	-1,6	8,2	21,8
170	-1,0	1,4	-0,7	7,3	24,1	-1,0	1,4	-0,7	7,3	24,1
180	-0,1	0,9	-0,1	7,6	23,3	-0,1	0,9	-0,1	7,6	23,3
190	-0,2	0,1	-0,6	7,0	26,3	-0,2	0,1	-0,6	7,0	26,3
200	-0,2	1,1	-0,1	7,1	29,6	-0,2	1,1	-0,1	7,1	29,6
210	0,1	0,6	-0,7	5,9	29,1	0,1	0,6	-0,7	5,9	29,1
220	-1,2	0,2	-1,9	3,6	28,4	-1,2	0,2	-1,9	3,6	28,4
230	-0,9	0,8	-1,8	3,5	26,4	-0,9	0,8	-1,8	3,5	26,4
240	-0,8	0,8	-1,6	2,8	28,6	-0,8	0,8	-1,6	2,8	28,6
250	-0,3	1,0	-1,0	2,7	28,8	-0,3	1,0	-1,0	2,7	28,8
260	-0,9	0,4	-1,9	1,7	24,9	-0,9	0,4	-1,9	1,7	24,9
270	-1,0	0,6	-2,2	1,8	22,7	-1,0	0,6	-2,2	1,8	22,7
280	-1,3	1,3	-1,9	2,8	18,6	-1,3	1,3	-1,9	2,8	18,6
290	-1,5	1,2	-2,3	3,4	16,2	-1,5	1,2	-2,3	3,4	16,2
300	-1,5	1,8	-1,7	4,4	15,8	-1,5	1,8	-1,7	4,4	15,8
310	-1,6	1,3	-0,3	5,1	17,3	-1,6	1,3	-0,3	5,1	17,3
320	-1,0	0,3	0,2	6,5	17,4	-1,0	0,3	0,2	6,5	17,4

В Таблице 5 представлены относительные максимальные и минимальные значения критерия, характеризующего разницу уровней звукового давления шин, при разнице давления воздуха в шинах 0,5 атмосфер.

Таблица 5

Относительные максимальные и минимальные значения критерия при разнице давления воздуха в шинах 0,5 атм.

№ п/п	Скорость автомобиля, км/ч	Минимальное значение критерия по УЗД, дБ		Максимальное значение критерия по УЗД, дБ	
		слева	справа	слева	справа
1	15	2,8	6	29,6	28,5
2	20	1,7	3,1	8,5	9,7
3	40	(-) 0,1	(-)1,2	6,6	(-) 8,3
4	50	0,2	0,1	5,1	(-) 3,1
5	60	0,1	0	(-)1,6	2,5

Заключение

Согласно полученным данным, можно сделать вывод, что при движении автомобиля на скорости до 40 км/ч, при уменьшении давления воздуха в шинах на 0,5 атмосферы в третьоктавном спектре от 25 Гц до 10000 Гц, наблюдается разница в уровне шума шин.

При увеличении скорости автомобиля с 40 км/ч до 60 км/ч, и уменьшении давления воздуха в шинах на 0,5 атмосферы в третьоктавном спектре от 25 Гц до 10000 Гц, разница в уровне шума шин значительно сокращается, из чего можно сделать вывод, что при скорости до 40 км/ч возможно учитывать критерий, характеризующий разницу уровней звукового давления шин, при разнице давления воздуха в шинах 0,5 атм. для диагностики технического состояния автомобильных шин.

Результаты проведенного исследования позволили определить относительные минимальные и максимальные значения критерия разницы уровней шума автомобильных шин. Данный критерий может быть предложен для учёта при разработке программного комплекса для оценки технического состояния транспортного средства и принятия управленческих решений по акустическим сигналам.

Список литературы

1. Шум автомобильного транспорта / Васильев В.А., Ксенофонтова В.К.//Noise Theory and Practice. -2020. -том 6. -(1), -с.66-76.
2. Engineering acoustics. Noise and vibration control / Malcolm J. Crocker, Jorge P. Arenas / John Wiley & Sons Ltd – 2021– P. 640-643.
3. Диагностика современного автомобиля / Храпов Ю. Н. Успенский И. А. Кокорев Г. Д. Полищук С. Д. Костенко М. Ю. Шемякин А. В. Юхин И. А. Колупаев С. В. Синицин П. С. Салтан В. В. Филюшин О. В. Шафоростов В. А. Гусаров С. Н. // Научный журнал КубГАУ. – 2016. – №118 (04).

4. Fault Diagnosis of Car Engine by Using a Novel GA-Based Extension Recognition Method [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2014/735485/> – (дата публикации 17.03.2014, дата обращения 14.03.2023).

5. A Study on Fault Diagnosis of Vehicles using the Sound Signal in Audio Signal Processing /Journal of Engineering Technology/ – 2015. – №3 (7) – P. 89-95. 6. Real-Time Fault Detection and Diagnosis Using Intelligent Monitoring and Supervision Systems / Fausto Pedro García Márquez // Fault Detection, Diagnosis and Prognosis – 2020. – 176 p.

6. Системный анализ акустических шумовых сигналов автомобильных двигателей для определения их технического состояния / Касем Муамар Мохаммед Салех // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук – 2009. – 19 p.

7. Какое давление в шинах должно быть зимой [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <https://auto.mail.ru/article/85643-kakoe-davlenie-v-shinah-dolzno-byit-zimoj/> (дата публикации 21 октября 2023, дата обращения 03.02.2024).

References

1. Highway traffic noise/Vasiliev V.A., Ksenofontova V.K.//Noise Theory and Practice. -2020. -Vol. 6. -(1), -p.66-76.

2. Engineering acoustics. Noise and vibration control / Malcolm J. Crocker, Jorge P. Arenas// John Wiley & Sons Ltd – 2021– P. 640-643.

3. Diagnostics of a modern car / Khrapov Yu. N. Uspensky I. A. Kokorev G. D. Polishchuk S. D. Kostenko M. Y. Shemyakin A.V. Yukhin I. A. Kolupaev S. V. Sinitzin P. S. Saltan V. V. Filyushin O. V. Shaforostov V. A. Gusarov S. N. // Scientific journal KubGAU. – 2016 – №118 (04).

4. Fault Diagnosis of Car Engine by Using a Novel GA-Based Extension Recognition Method – Available at – URL: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2014/735485/> – (Publication date March 14, 2014, Date of the application 14.03.2023).

5. A Study on Fault Diagnosis of Vehicles using the Sound Signal in Audio Signal Processing /Journal of Engineering Technology/ – 2015. – №3 (7) – P. 89-95.

6. Real-Time Fault Detection and Diagnosis Using Intelligent Monitoring and Supervision Systems / Fausto Pedro García Márquez // Fault Detection, Diagnosis and Prognosis – 2020. – 176 p.

7. System analysis of acoustic noise signals of automobile engines to determine their technical condition / Kasem Muammar Mohammed Saleh // Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences – 2009. – 19 p.

8. What tire pressure should be in winter – Available at – URL: <https://auto.mail.ru/85643-kakoe-davlenie-v-shinah-dolzno-byit-zimoj/> (Publication date October 21, 2023, Date of the application 03.02.2024).