
**АКУСТИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ.
ШУМЫ И ВИБРАЦИИ**

УДК 534.836.2

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЗАМЕТНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, ДВИЖУЩИХСЯ С ПОСТОЯННОЙ СКОРОСТЬЮ

© 2024 г. А. О. Субботкин^{a,b,c,*}, Г. Н. Кузнецов^a, Е. В. Талачев^c,
Г. А. Романенко^d, А. С. Тюрин^{b,c}

^aИнститут общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, Москва, Россия

^bНаучно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры
и строительных наук (НИИСФ РААСН), Москва, Россия

^cООО “Кар Системс”, Москва, Россия

^dООО “Девесофт Рус”, Москва, Россия

* e-mail: subov-an@yandex.ru

Поступила в редакцию 02.06.2023 г.

После доработки 16.07.2024 г.

Принята к публикации 05.09.2024 г.

Представлены результаты экспериментов по оценке субъективных показателей акустической заметности приближающегося с постоянной скоростью транспортного средства. Субъективные показатели заметности определялись экспертами как расстояние между транспортным средством и экспертом в тот момент, когда эксперт услышал (зафиксировал) звук приближающегося автомобиля, а также как время подъезда автомобиля к эксперту в этот момент. Субъективные показатели заметности сопоставляются с измеренными по методике из правил ООН № 138 объективными параметрами шума от автомобиля — уровнем звукового давления, его частотной характеристикой, а также уровнем звука. Исследование представляется актуальным в связи с проблемой безопасности движения электрифицированных транспортных средств, обладающих малой шумностью, к которым относятся, в частности, электромобили, электроскутеры и электросамокаты. Приведены первые результаты исследования проблемы увеличения заметности для пешеходов малозумных транспортных средств без нанесения ущерба акустической экологии городов и пригородов.

Ключевые слова: акустическая экология дорожного движения, шум от транспорта, шум от электротранспорта, AVAS, AVAS системы, шум от электромобиля

DOI: 10.31857/S0320791924050107, **EDN:** XBFWOS

ВВЕДЕНИЕ

Последние 15 лет на дорогах городов появляется все больше и больше электромобилей, которые создают меньше шума, чем традиционные транспортные средства. Традиционные автомобили и мотоциклы приходят в движение за счет довольно шумной работы двигателя внутреннего сгорания. Электротранспорт работает на электродвигателях с питанием от бесшумных или малозумных источников энергии (аккумуляторов, топливных элементов, конденсаторов и т.п.). В результате электромобиль создает основной шум только за счет соприкосновения шин с асфальтом и за счет турбулентных потоков воздуха на корпусе автомобиля. Это делает передвижение электротранспорта

менее шумным, а на низких скоростях — практически бесшумным [1].

По этой причине правилами ООН № 138 [2] электрифицированные транспортные средства (ТС) классифицируются, как бесшумные автотранспортные средства (БАТС). Однако, при несомненной пользе для акустической экологии городов и пригородов, малозумность электрифицированных ТС является угрозой для человека — БАТС обладает низкой акустической заметностью на малых скоростях, и пешеход вовремя не услышать приближения электромобиля к нему. Законодательство многих стран мира обязывает оборудовать электромобили специальными звуковыми устройствами — акустическими системами оповещения

транспортных средств AVAS (Acoustic Vehicle Alert System), которые увеличивают акустическую заметность электротранспорта.

В последние годы на дорогах и тротуарах городов также стали массово появляться самые разнообразные микромобильные транспортные средства — самокаты, гироскутеры, моноколеса, сигвеи и прочее, которые иногда не определяются нормативными документами как ТС вовсе. Двигаясь со скоростью до 40 км/ч (а иногда и больше) и являясь практически бесшумным, микроэлектротранспорт (МЭТ) несет не меньшую опасность для пешеходов.

Правила ООН № 138 [2] классифицируют как БАТС только транспортные средства категории М (пассажирские транспортные средства) и N (грузовые автомобили), но правила не распространяются на МЭТ. В то же время проблема малой заметности относится и к МЭТ средствам, и к электрифицированным ТС категории L (мототранспортные средства — мопеды, мотовелосипеды, мокики, мотоциклы, мотороллеры, трициклы, квадроциклы). Вопрос обеспечения безопасности движения МЭТ средств уже начинает привлекать внимание исследователей и разработчиков AVAS систем, но законодательно не решен ни в одной стране мира.

В статье представлены результаты натуральных экспериментов по оценке субъективных показателей акустической заметности пешеходами приближающегося с постоянной скоростью ТС разного типа — электромобиль, электросамокат, электромопед, автомобили с ДВС разного типа. По результатам измерений сделан ряд выводов.

Результаты оценки субъективных показателей представлены в виде двух взаимосвязанных параметров — расстояния подъезда и времени подъезда. Расстояние подъезда определялось как расстояние между пешеходом и ТС в тот момент, когда пешеход услышал (зафиксировал), что к нему приближается транспортное средство. Время подъезда — соответственно, время, за которое автомобиль преодолет расстояние подъезда. При этом время подъезда — основной параметр, т.к. характеризует время, которое есть у пешехода для принятия решения о своих действиях.

Субъективные показатели заметности сопоставляются с измеренными по методике из правил ООН № 138 [2] объективными параметрами шума от автомобиля — уровнем звукового давления, его частотной характеристикой, а также уровнем звука. Уровнем звука (УЗ) называют уровень звукового давления (УЗД), скорректированный по шкале А согласно стандарту [3], т.е. сигнал фильтруется специальным фильтром со стандартизированной амплитудно-частотной характеристикой, форма которой схожа с обратной формой частотной неравномерности чувствительности человеческого слуха [4].

В настоящей статье опубликованы первые результаты, посвященной проблеме увеличения заметности для пешеходов малошумных ТС без нанесения ущерба акустической экологии городов и пригородов.

Для участников дорожного движения заметность сигналов, излучаемых транспортным средством или AVAS системой, определяется соотношением громкости излучаемого сигнала к громкости фонового шума (отношением сигнал/шум), спектральным составом излучаемого сигнала и фонового шума, а также динамическими свойствами самого звука (характер нарастания звука, пульсация и т.д.). Факторы, влияющие на заметность, совпадают с факторами, определяющими порог слышимости любых многосоставных сигналов при наличии звукового широкополосного маскира [5, 6]. Исследованием количественной зависимости заметности ТС от характеристик излучаемого и фонового шума занимаются многие исследователи по всему миру.

Начаты в 2007 г. исследования [7] показали, что заметность электромобилья, движущегося с постоянной скоростью, заметно повышается, если его оснастить внешним динамиком, через который будут проигрываться различные звуки. Результаты исследования стали основой для выпущенных в 2010 г. руководящих указаний к системе AVAS [8], а также для предложений по руководящим документам в отношении слышимости гибридных и электрических транспортных средств [9] и регулирующего документа ЕС 540/2014 [10]. В 2009–2012 гг. была проведена исследовательская работа «Малошумные автомобили и безопасность слепых пешеходов» [11], результаты были опубликованы в [12–15]. Выводы этого исследования хорошо согласовывались с составленными ранее рекомендациями [16] и стали основой представленного в 2013 г. проекта американского федерального стандарта [17], устанавливающего минимальные уровни звука гибридных и электрических транспортных средств, в соответствии с требованиями закона США о повышении безопасности пешеходов от 2010 г. [18].

Результатом исследований [7–18] стало создание целого ряда национальных стандартов, которые осуществляют техническое регулирование принципов работы AVAS систем в разных странах: в США с 2016 г. действует федеральный стандарт FMSS 141 [18], в Японии — стандарт TRIAS 43(7)-R138-02 [19], в Китае — стандарт GB/T 37153-2018 [20], в Европейском союзе — стандарт ЕЭК ООН № 138 [2]. В настоящий момент и в России проходит обсуждение проект пакета изменений № 3 в Технический регламент Таможенного союза “О безопасности колесных транспортных средств” (ТР ТС 018/2011) [21], который предусматривает введение в отношении малошумных транспортных средств категорий М и N правил ЕЭК ООН № 138-01 [2].

Данные правила, принятые в 2016 г., устанавливают требования к минимальному уровню звука, излучаемого системой AVAS, при движении транспортного средства с постоянной скоростью 10 и 20 км/ч, а также сдвига частоты при изменении скорости от 5 до 20 км/ч включительно.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОПИСАНИЕ СХЕМЫ ПРОЕЗДНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Целью исследования являлась количественная оценка и сопоставление между собой зарегистрированных экспертами показателей субъективной акустической заметности приближающихся к пешеходу с постоянной скоростью различных ТС (с выключенной или включенной AVAS системой). В качестве параметров, описывающих субъективную акустическую заметность, использовались т.н. «расстояние подъезда» и «время подъезда». Расстояние подъезда определялось как расстояние между пешеходом (далее — эксперты) и ТС в тот момент, когда эксперт услышал, что к нему приближается ТС (акустически зафиксировал приближение). Время подъезда определялось как время, за которое ТС проезжает «расстояние подъезда» при заданной постоянной скорости.

Испытательная площадка находилась в удаленном от города и транспортных магистралей малошумном месте. Измерения проводились на прямом участке дороги длиной около 800 м, который был разбит на несколько зон, как показано на рис. 1. В конце дороги располагалась зона операторов, зона экспертов, зона измерений и зона остановки движения. В начале дороги располагалась точка старта движения ТС и зона его ускорения. В конце зоны ускорения ТС набирало требуемую постоянную скорость и далее двигалось с этой скоростью до зоны остановки движения. Зона движения с

постоянной скоростью включала в себя зону измерений. Во время измерений транспортное средство двигалось прямолинейно.

Участок измерительной площадки с зонами операторов и экспертов показан на рис. 2. Зона операторов и зона экспертов располагались на расстоянии 2,3 м друг от друга и на расстоянии 5 м от линии движения ТС. Рядом с зоной экспертов устанавливался измерительный микрофон, обозначенный на рис. 2 окружностью с касательной прямой. Зона измерений длиной 20 м была ограничена с двух сторон парами электронных инфракрасных датчиков, обозначенных треугольниками на рис. 2, каждый из которых располагался в 5 м от линии движения ТС. В центре зоны измерений на расстоянии 2 м от линии движения ТС были установлены измерительные микрофоны. Зона измерений располагалась смежно с зоной экспертов и зоной остановки движения ТС.

В руках у каждого эксперта находился регистрационный пульт, на который было необходимо нажать в момент фиксации приближения автомобиля (т.е. в тот момент, когда эксперт начинал слышать, что к нему приближается автомобиль). Все исходные параметры получались в процессе постобработки сигналов ИК датчиков, регистрационных пультов и микрофонов. По сигналам с ИК-датчиков определялась точная скорость движения ТС, а также время и расстояние.

Шум от ТС, согласно методике [2], определяется при проезде ТС участка пути в 20 м с центром в точке размещения микрофона (+/-10 м от линии размещения микрофона) и описывается следующими параметрами — максимальный уровень звука (УЗ) и частотная характеристика максимальных значений уровня звукового давления (УЗД) в каждой из 1/3 октавных полос (начиная со 100 Гц). Дополнительно измерялся максимальный УЗД.

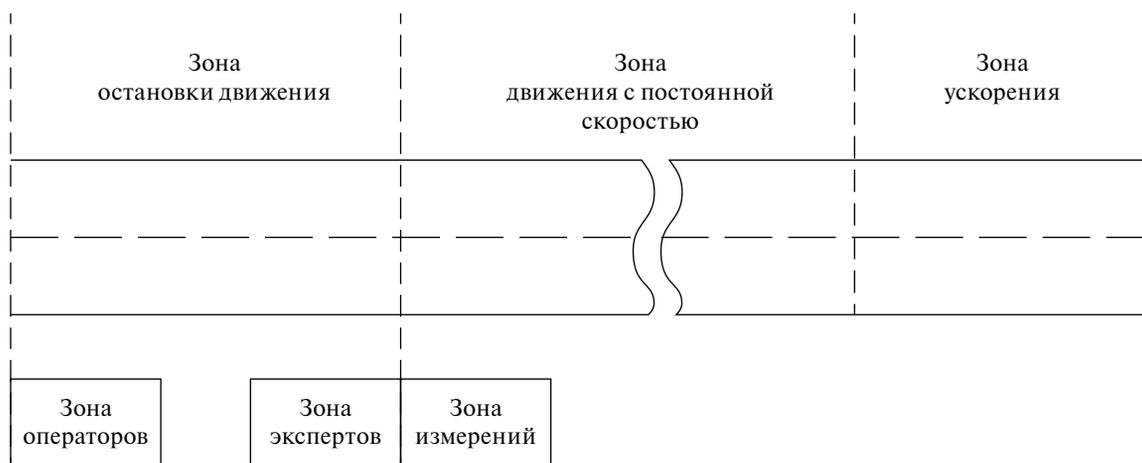


Рис. 1. Схема измерительной площадки.

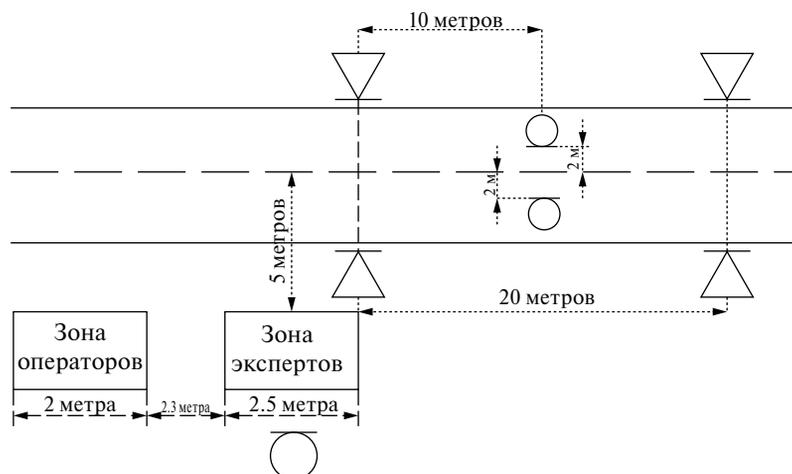


Рис. 2. Схема части площадки для измерений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения проводились для семи различных ТС: четырех автомобилей с ДВС, одного электромотоцикла, одного электромопеда и одного электросамоката. Для всех трех электрофицированных ТС измерения проводились при включенной и выключенной AVAS системе. В момент измерений на всех ТС были летние шины. Модели ТС и тип шин перечислены в табл. 1. Проездные измерения проводились при движении ТС с постоянной скоростью от 10 до 50 км/ч с шагом 10 км/ч. В эксперименте принимали участие до 6 экспертов одновременно.

В первую очередь была проведена оценка погрешности при измерении субъективного показателя — времени подъезда. Для Tesla model 3 без AVAS системы при участии четырех экспертов была 27 раз произведена оценка времени подъезда при скорости движения ТС 40 км/ч, результаты показаны на рис. 3. По этим данным было рассчитано

стандартное отклонение для каждого эксперта (табл. 2). Усредненное для всех экспертов стандартное отклонение времени подъезда составило 2.6 с.

На рис. 4 показаны медианные значения результатов оценки всеми экспертами времени и расстояния подъезда для транспортных средств без включенной AVAS системы. Пунктиром обозначены ТС с электродвигателями, сплошной линией — с ДВС. Из графиков видно, во-первых, что автомобили с ДВС более заметны, чем электромотоцикл Tesla model 3 (за исключением Volvo S80, который с ним сопоставим), во-вторых, что мопед и самокат обладают очень низкой заметностью.

На рис. 5 показаны результаты измерений по методике [2] максимального уровня звука L_{Amax} , дБА (нормируемого нормативными документами параметра) и максимального уровня звукового давления L_{Zmax} , дБ для транспортных средств без AVAS. На рис. 6 показаны частотные характеристики максимальных значений уровня звукового

Таблица 1. Характеристики испытуемых транспортных средств.

№	Тип транспортного средства	Марка и модель	Тип/объем двигателя, л	Масса, т	Шины
1	Автомобиль	Volkswagen Polo	ДВС / 1.4	1.2	Pirelli Cinturato P1 185/60 R15
2	Автомобиль	Audi Q3	ДВС / 1.4	1.6	DUNLOP SPORT MAXX
3	Автомобиль	Peugeot 3008	ДВС / 1.6	1.5	Continental ContiCrossContact LX2 225/55 R 18 V
4	Автомобиль	Volvo S80	ДВС / 1.6	1.6	Pirelli Cinturato P7 225/50/R17
5	Электромотоцикл	Tesla model 3	Эл. двигатель	1.6	MISHELIN PILOT SPORT 4S
6	Электромопед	Ninebot eScooter E125	Эл. двигатель	0.1	CST 90/80 — 12
7	Электросамокат	Ninebot KickScooter Max G30	Эл. двигатель	0.02	CST 60/70 — 6.5

Таблица 2. Стандартное отклонение результатов измерения времени подъезда Tesla со скоростью 40 км/ч.

Эксперт	Стандартное отклонение, с
№ 1	3.1
№ 2	2.2
№ 3	3.0
№ 4	2.1
Среднее	2.6

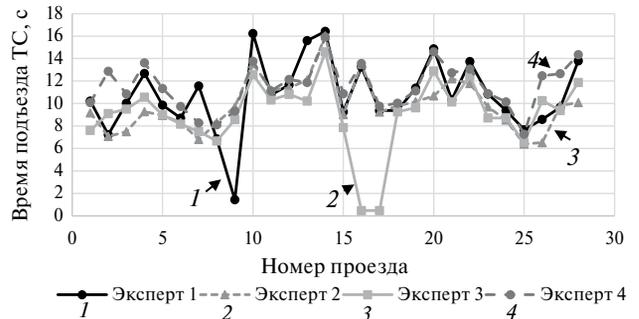


Рис. 3. Результаты измерения времени фиксации для 27 проездов Tesla model 3 с постоянной скоростью 40 км/ч.

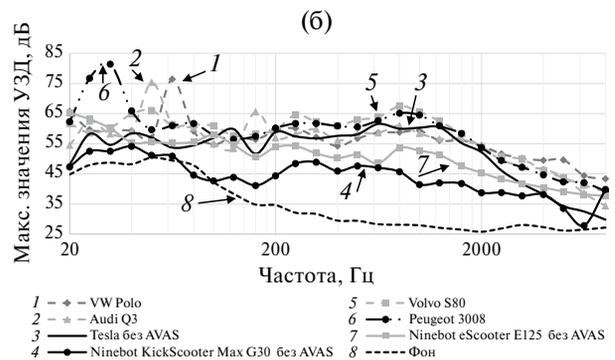
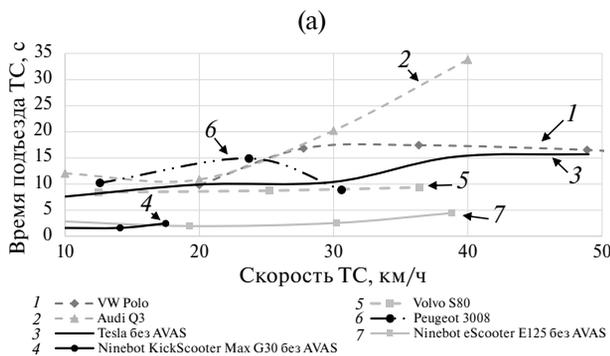


Рис. 4. Медианные значения результатов оценки всеми экспертами (а) — времени и (б) — расстояния подъезда для транспортных средств без включенной AVAS системы.

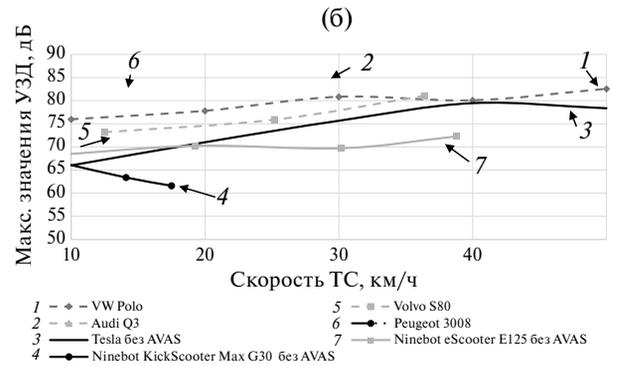
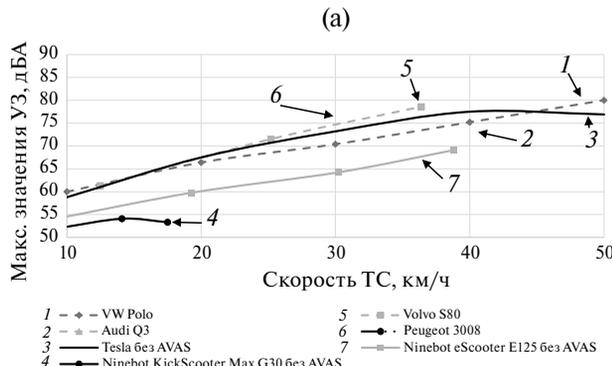


Рис. 5. Результаты измерений по методике [2] (а) — максимального уровня звука и (б) — максимального уровня звукового давления.

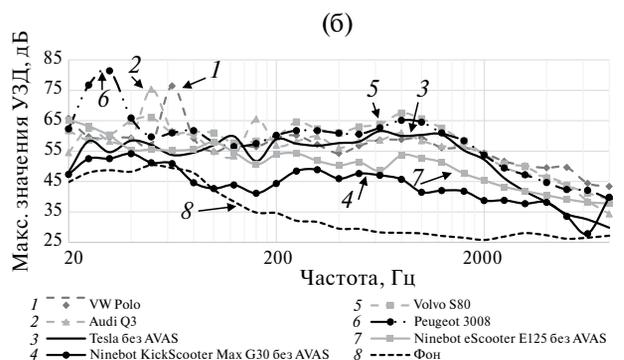
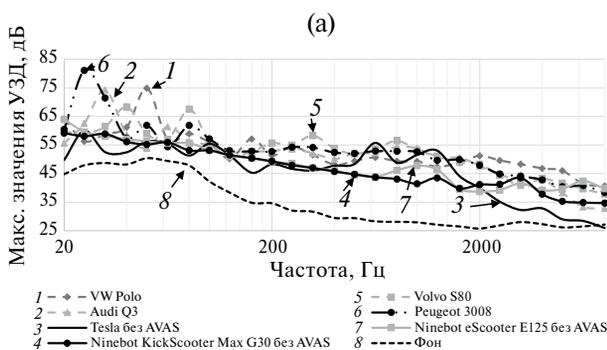


Рис. 6. Результаты измерений по методике [2] частотных характеристик максимальных значений уровня звукового давления в 1/3 октавных полосах для скоростей (а) — 10 и (б) — 20 км/ч.

давления в 1/3 октавных полосах для скоростей 10 и 20 км/ч. Видно, что L_{Amax} для автомобилей с ДВС не отражает результатов измеренной заметности — полученные результаты близки с результатами для электрокара, а на скоростях 10 и 20 км/ч вовсе принимают практически одинаковые значения. В то же время графики L_{Zmax} лучше соотносятся с результатами оценки времени подъезда. Большое различие между L_{Amax} и L_{Zmax} для автомобилей с ДВС обусловлено наличием низкочастотных составляющих в спектре (рис. 6), являющихся, вероятнее всего, вторыми гармониками от частоты работы двигателя. Измерения шума также объясняют низкую заметность Volvo S80 — для этого автомобиля L_{Zmax} оказался ниже, чем у других автомобилей с ДВС. Для мопеда и самоката наблюдается противоположная картина. На низких скоростях их УЗД сопоставимы с результатами для Tesla при значительно более низкой заметности. Для Tesla форма кривой УЗ и УЗД не изменяется.

На рис. 7 показаны медианные значения результатов оценки всеми экспертами времени подъезда, а на рис. 8 — результаты измерения уровня звука L_{Amax} для электрифицированных транспортных средств с работающей AVAS системой в сравнении со значениями для выключенной AVAS системой

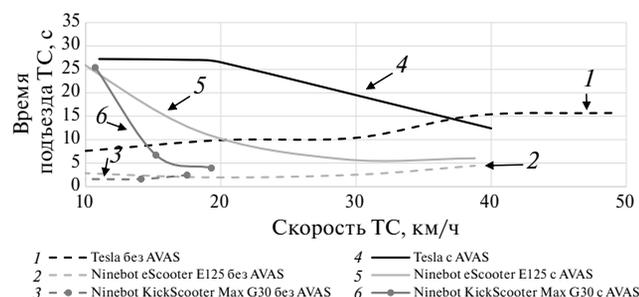


Рис. 7. Медианные значения результатов оценки всеми экспертами времени подъезда для электрифицированных транспортных средств с работающей AVAS системой в сравнении со значениями для выключенной AVAS системы.

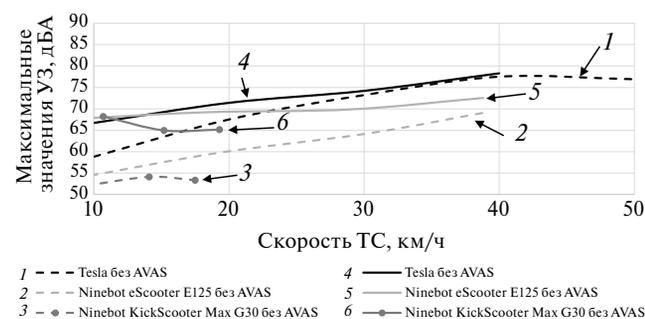


Рис. 8. Результаты измерений по методике [2] максимального уровня звука для электрифицированных транспортных средств с работающей AVAS системой в сравнении со значениями для выключенной AVAS системы.

значениями для выключенной AVAS системы. Видно, что, оставаясь в пределах допустимых нормативными документами значений уровня звука, можно значительно повысить заметность ТС. Для данного фонового окружения типа “тихий пригород” такая заметность будет являться даже избыточной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка субъективных показателей заметности для транспортных средств хорошо согласуется с результатами измерений объективных показателей. Высокая заметность автомобилей с ДВС обусловлена низкочастотными составляющими в спектре, по этой причине она лучше описывается уровнем звукового давления, чем уровнем звука. Это объясняется тем, что значительный вклад в шум от автомобилей с ДВС вносят высокие значения УЗД в 1/3 октавной частотной полосе со среднегеометрической частотой 31.5 или 50 Гц. Она влияет на значение уровня звукового давления, но не влияет на значение уровня звука из-за коррекции спектра по шкале А. Заметность электрифицированных транспортных средств, наоборот, лучше описывается уровнем звука.

Экспериментально установлено, что на низких скоростях (10-20 км/ч) заметность электромобиля с выключенной AVAS системой может быть в 1.5 раз ниже заметности автомобиля с ДВС. Это делает электромобиль более опасным для пешеходов. Заметность мопеда и самоката с выключенной AVAS системой в два раза меньше заметности электромобиля. При достаточно тихом загородном фоновом окружении заметность в абсолютном исчислении составляет всего 2–3 с. В более шумной городской среде эти значения могут стремиться к нулю, что недопустимо.

С помощью AVAS системы можно, во-первых, значительно увеличивать, а во-вторых, управлять заметностью электрифицированного транспортного средства. Для уменьшения негативного влияния AVAS системы на акустическую экологию городов и пригородов рекомендуется регулировать уровень воспроизведения звука в зависимости от уровня шум фонового окружения, добиваясь оптимальной заметности.

Очевидно, что наиболее предпочтительный режим работы AVAS системы должен обеспечивать независимость заметности электромобиля от скорости, т.е. время подъезда с ростом скорости должно оставаться неизменным. Существование такой AVAS системы требует разработки специальных звуков и алгоритмов их воспроизведения. Для обеспечения оптимальной заметности звуки должны тембрально и динамически изменяться в зависимости от скорости и фонового окружения.

Необходимо предпринимать усилия для введения в нормативно-техническую базу РФ

стандартов, обеспечивающих безопасность движения бесшумных транспортных средств разных типов, включая микроэлектротранспорт. Необходимо локализовать как существующие зарубежные стандарты, так и продолжать исследования в этой области с целью разработки требований к адаптивным AVAS системам, которые смогут обеспечивать одинаковый уровень субъективной акустической заметности вне зависимости от скорости движения ТС, типа фонового окружения и времени суток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhang E.L., Peng Z.L., Li Z.J., Lin Y.B., Zhuo J.M. Four-Channel Active Noise Control Modeling and Offline Simulation for Electric Bus Sound Quality Based on Two FxLMS Algorithms // *Acoust. Phys.* 2024. V. 70. № 1. P. 143–152.
2. Правила ЕЭК ООН № 138. Единые предписания, касающиеся официального утверждения бесшумных автотранспортных средств в отношении их пониженной слышимости. 05 октября 2016. 43 с.
3. ГОСТ Р 53188.1-2019. Государственная система обеспечения единства измерений. ШУМОМЕТРЫ. Часть 1. Технические требования.
4. Римская-Корсакова Л.К., Пятаков П.А., Шуляков С.А. Оценки раздражающего действия шума // *Акуст. журн.* 2022. Т. 68. № 5. С. 550–561.
5. Цвикер Э., Фельдкеллер Р. Ухо как приемник информации. Изд. 2. 1971.
6. Вахитов Я.Ш. Слух и речь. Л.: ЛИКИ. 1973. Т. 124.
7. Sakamoto I., Tanaka T., Sekine M., Morita K., Masayuki S., Takeshi K. and Yoshiike A. Reviews on countermeasure to safety risk associated with quietness of hybrid or electric vehicles in Japan // *Proc. Inter-noise 2010.* 2010. 8 p.
8. Guideline for the Approaching Vehicle Audible System. Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT), 2010. (in Japanese)
9. Proposal for guidelines on measures ensuring the audibility of hybrid and electric vehicles. Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles (R.E.3), Annex 2, ECE/TRANS/WP.29. Geneva, Switzerland, 2011.
10. On the sound level of motor vehicles and of replacement silencing systems: Regulation (EU) No 540/2014 of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014, amending Directive 2007/46/EC and repealing Directive 70/157/EEC // *Official Journal of the European Union* 158. 2014. P. 131–195.
11. Quieter Cars and the Safety of Blind Pedestrians: The NHTSA Research Plan, April 2009. www.regulations.gov (Docket No. NHTSA-2008-0108-0025)
12. Garay-Vega, et al. Quieter Cars and the Safety of Blind Pedestrians: Phase I, Report No. DOT HS811304, U.S. Dept. of Transportation, Washington, DC. 2010.
13. Garay-Vega et al. Quieter Cars and the Safety of Blind Pedestrians, Phase 2: Development of Potential Specifications for Vehicle Countermeasure Sounds, Report No. DOT HS811496. Dept. of Transportation, Washington, DC. 2011.
14. Evans L.R. and Harris J.R. Quieter Vehicle Performance Test Development Research Report, Report No. DOT HS810, Dept. of Transportation, Washington, DC.
15. Hastings A., Guthy C. and Pollard J.K. Research on Minimum Sound Specifications for Hybrid and Electric Vehicles, Report No. DOT HS810, Dept. of Transportation, Washington, DC.
16. Проект рекомендаций по глобальным техническим правилам, касающимся систем звукового оповещения о наличии транспортного средства для бесшумных автотранспортных средств, ECE/TRANS/WP.29/GRB, 56 сессия, Женева, 3–5 сентября 2012 г.
17. Moore, et al. A model for the prediction of thresholds, loudness, and partial loudness // *J. Audio Eng. Soc.* 1997. V. 45(5).
18. Federal Motor Vehicle Safety Standards; Minimum Sound Requirements for Hybrid and Electric Vehicles; Notice of proposed rulemaking, Dept. of Transportation, Washington, DC, Federal Register. V. 78. No. 9. January 14, 2013. P. 2798–2868.
19. Pedestrian Safety Enhancement Act of 2010, Public Law No: Public Law No. 111–373 (01/04/2011).
20. GB/T 37153-2018. Acoustic vehicle alerting system of electric vehicles running at low speed, State Administration for Market Regulation; Standardization Administration of the People's Republic of China. December 2018.
21. Технический Регламент Таможенного Союза ТР ТС 018 / 2011 “О безопасности колесных транспортных средств”.

Study of the Acoustic Perceptibility of Vehicles Moving with a Constant Speed

A. O. Subbotkin^{a,b,c,*}, G. N. Kuznetsov^a, E. V. Talachev^c, G. A. Romanenko^d, A. S. Tyurin^{b,c}

^a A. M. Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

^b Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN), Moscow, Russia

^c OOO "Kar Systems", Moscow, Russia

^d OOO "Devesoft Rus", Moscow, Russia

* e-mail: subov-an@yandex.ru

The paper presents the results of an experiment on the assessment of subjective indicators of acoustic perceptibility by pedestrians (experts) of a vehicle approaching at a constant speed (TS) and some conclusions. Subjective indicators of perceptibility were defined as the distance between the vehicle and the expert, at the moment when the expert heard (recorded) the sound of an approaching car, as well as the time of the car's approach to the expert at that moment. Subjective indicators of perceptibility are compared with the objective parameters of car noise measured by the method of UN Regulation No. 138 — the sound pressure level, its frequency response, as well as the sound level. The study is motivated by the problem of traffic safety of electrified vehicles with low noise, which include, in particular, electric cars, electric scooters and electric scooters. This article publishes the first results of a research paper devoted to the problem of increasing the perceptibility of low-noise vehicles for pedestrians without damaging the acoustic ecology of cities and suburbs.

Keywords: acoustic ecology of road traffic, transport noise, electric transport noise, AVAS, AVAS systems, electric vehicle noise