

УДК 331.452

DOI: 10.46548/21vek-2022-1158-0028

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СИГНАЛИЗАЦИИ
ЗАДНЕГО ХОДА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

© Авторы 2022

SPIN: 7351-2476

AutorID: 312370

ORCID: 0000-0003-4460-5960

ScopusID: 57197837537

ДМИТРИЕВ Михаил Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры автомобильного транспорта, информационных технологий и методики обучения техническим дисциплинам
Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет
(Россия, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69, e-mail: oad2005@mail.ru)

SPIN: 4272-2457

AutorID: 423388

ORCID: 0000-0001-9776-6907

ScopusID: 57205193883

РУДНЕВ Валерий Валентинович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автомобильного транспорта, информационных технологий и методики обучения техническим дисциплинам
Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет
(Россия, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69, e-mail: rudnevrv@cspu.ru)

SPIN: 3166-5689

AutorID: 465606

ORCID: 0000-0002-6558-2254

ScopusID: 57197824964

ХАСАНОВА Марина Леонидовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильного транспорта, информационных технологий и методики обучения техническим дисциплинам
Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет
(Россия, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69, e-mail: marina24-03@mail.ru)

Аннотация. С целью предотвращения несчастных случаев на производстве, связанных с наездом на работающих грузовых автомобилей, движущихся задним ходом, широко применяется звуковая сигнализация, устанавливаемая на транспортных средствах. Чаще всего используется тональный предупредительный сигнал. Известно, что тональная сигнализация заднего хода имеет ряд существенных недостатков: затрудненную слуховую локализацию сигналов, неравномерность распространения звука позади транспортного средства, негативное влияние на окружающую среду. Относительно новая технология широкополосной сигнализации, направлена на преодоление основных проблем, связанных с применением тональных сигналов заднего хода автомобилей. Однако в настоящее время существует мало научных исследований, результаты которых подтверждали бы преимущество указанной технологии. Целью данной работы являлось сравнение характеристик широкополосной и тональной (многотональной) сигнализации заднего хода с точки зрения обеспечения безопасности работников. Для этого были проведены две серии исследований. В первой серии осуществлялись измерения звукового поля, создаваемого сигнализацией позади транспортных средств, с целью изучения его однородности. Во второй серии участники экспериментов подвергались различным психоакустическим тестам. Эти исследования, проведенные в лаборатории, были направлены на оценку различных аспектов восприятия сигналов заднего хода (порог обнаружения, оценка степени опасности и слуховая локализация). Результаты исследования показали, что использование широкополосной сигнализации в целом более предпочтительно для обеспечения безопасности работников и позволили разработать рекомендации по оптимизации ее применения.

Ключевые слова: безопасность труда, грузовой автомобиль, сигнал заднего хода, порог обнаружения, слуховая локализация.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF DIFFERENT TYPES
OF THE TRUCKS REVERSE SIGNALS**

© The Authors 2022

DMITRIEV Mikhail Sergeevich, doctor of engineering sciences, professor of the department of Automobile Transport, Information Technologies and Methods of Teaching Technical Disciplines

RUDNEV Valery Valentinovich, candidate of engineering sciences, associate professor, head of the department of Automobile Transport, Information Technologies and Methods of Teaching Technical Disciplines

KHASANOVA Marina Leonidovna, candidate of engineering sciences, associate professor, associate professor of the department of Automobile Transport, Information Technologies and Methods of Teaching Technical Disciplines

South Ural State Humanitarian Pedagogical University

(Russia, 454080, Chelyabinsk, 69 Lenin Ave., e-mails: oad2005@mail.ru, rudnevrv@cspu.ru, marina24-03@mail.ru)

Abstract. In order to prevent accidents at work associated with collisions with trucks moving in reverse, sound alarms installed on vehicles are widely used. The most commonly used warning tone. It is known that the reversing tone alarm has a number of significant drawbacks: difficult auditory signal localization, uneven sound propagation behind the vehicle, and a negative impact on the environment. Relatively new broadband signaling technology is aimed at overcoming the main problems associated with the use of car reversing tones. However, at present there are few scientific studies, the results of which would confirm the advantage of this technology. The purpose of this work was to compare the characteristics of broadband and tone (multitone) reversing alarm in terms of ensuring the safety of workers. To this end, two series of studies were carried out. In the first series, measurements of the sound field created by the signaling behind vehicles were carried out in order to study its uniformity. In the second series, the participants in the experiments were subjected to various psychoacoustic tests. These studies, carried out in the laboratory, were aimed at evaluating various aspects of the perception of reversing signals (detection threshold, danger assessment and auditory localization). The results of the study showed that the use of broadband signaling is generally more preferable for ensuring the safety of workers and made it possible to develop recommendations for optimizing its use.

Keywords: safety at work, truck, reverse signal, detection threshold, auditory localization.

Для цитирования: Дмитриев М.С. Сравнительный анализ характеристик различных типов сигнализации заднего хода грузовых автомобилей / М.С. Дмитриев, В.В. Руднев, М.Л. Хасанова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 2(58). – С. 159-163. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1158-0028.

Введение. Учитывая, что ежегодно происходит довольно большое количество несчастных случаев с участием транспортных средств, движущихся задним ходом, необходимо обеспечить оптимальную конструкцию сигналов заднего хода, чтобы эффективно предупреждать об опасности персонал, работающий вблизи движущихся автомобилей, ограничивая при этом неудобства, возникающие из-за шума, для людей, проживающих на близлежащих территориях [1-2].

Звуковые сигнальные устройства имеют преимущество перед визуальными, поскольку они обычно привлекают внимание людей, независимо от того, куда устремлен их взгляд.

Однако несчастные случаи могут произойти, когда сигнализация плохо воспринимается на слух, из-за окружающего шума или применения средств индивидуальной защиты (СИЗ) органов слуха (например, наушников). В подобных случаях звуковой сигнал трудно локализуется в пространстве и не вызывает необходимого двигательного рефлекса у рабочих. Иногда он вообще игнорируется, например, когда сигнал часто срабатывает без какой-либо реальной опасности [3-5].

В литературе перечислены как минимум три основные проблемы, связанные с использованием тональной сигнализации заднего хода [6-11]:

- 1) затрудненная слуховая локализация сигналов;
- 2) неравномерность распространения звука позади транспортного средства;
- 3) негативное влияние на окружающую среду.

В Университете Лидса (Великобритания) была разработана технология широкополосной сигнализации [12, 13]. Она направлена на снижение неблагоприятного влияния шума на окружающую среду при одновременном повышении эффективности сигнализации заднего хода за счет более равномерного распространения звука позади транспортных средств

и лучшей слуховой локализации.

Однако в современных исследованиях отсутствуют конкретные подтверждения преимущества технологии широкополосной сигнализации по сравнению с тональной в плане обеспечения безопасности рабочих вблизи транспортных средств, движущихся задним ходом.

Цель исследования состоит в том, чтобы проверить, действительно ли применение широкополосной сигнализации заднего хода способствует повышению безопасности работников независимо от того, используют они СИЗ органов слуха или нет.

В работе поставлены следующие задачи исследования:

1. Провести измерения звукового поля позади транспортных средств, создаваемого сигнализацией заднего хода трех разных типов: тональной, много-тональной и широкополосной, изучить однородность этого звукового поля.
2. Осуществить сравнительный анализ психоакустических характеристик трех типов сигнализации заднего хода (определить пороги обнаружения звука, оценку работниками степени опасности и слуховую локализацию).
3. Предложить рекомендации по оптимальному использованию широкополосных сигналов заднего хода, если результатами исследований будет доказано их преимущество.

Методология. Чтобы оценить характеристики и сравнить три типа сигнализации заднего хода грузовых автомобилей, рассматриваемых в данном исследовании, были осуществлены две группы измерений.

Так называемые «объективные» измерения заключались в определении характеристик звукового поля, создаваемого позади транспортного средства при включенной сигнализации. С использованием измерительных микрофонов определялась однород-

ность звукового поля позади грузового автомобиля для каждого типа сигнализации. Эти измерения проводились на рабочих местах в реальных производственных условиях.

С другой стороны, к так называемым «субъективным» измерениям привлекались участники, которые подвергались различным психоакустическим тестам. Эти исследования, проведенные в лаборатории, были направлены на оценку различных аспектов восприятия сигналов заднего хода [14-16].

Для более детального изучения распределения звукового поля, создаваемого сигнализацией заднего хода, с помощью микрофона была проведена непрерывная запись звукового сигнала позади транспортного средства по разным линиям сканирования (рис. 1).

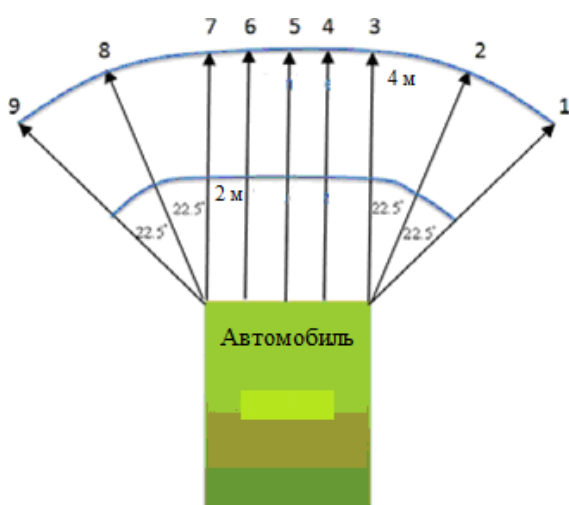


Рисунок 1 – Схема линий сканирования при измерении звукового поля позади транспортного средства

Они представляют собой девять прямых линий (обозначенных цифрами от 1 до 9) и двух дуг окружностей, расположенных на расстояниях 2 и 4 м от автомобиля. Для каждой из линий с 1 по 9 выполнялось сканирование приблизительно в течение 30...40 с. Для обеих дуг окружности время сканирования было большим, чем для прямых линий.

После завершения измерений сигналы были обработаны с помощью программного обеспечения *MATLAB*. Затем был использован алгоритм интерполяции для создания карт уровней звука сигналов заднего хода.

В психоакустических исследованиях, проводимых в лаборатории, участвовало двадцать четыре молодых человека в возрасте от 22 до 31 года (средний возраст = 25,0 лет). Все участники соответствовали следующим критериям отбора: 1) нормальная слуховая чувствительность обеих ушей, 2) отрицательный отологический анамнез, 3) нормальные тимпанограммы [17-20].

Перед тем, как принять участие в экспериментах, участники должны были ознакомиться с информационным письмом, подписать форму согласия и заполнить анкету слухового анамнеза.

Для осмотра слухового прохода был использован отоскоп *Welch Allyn*, а для оценки состояния среднего уха применялся тимпанометр *GSI 38*. Наконец, проверка слуха также проводилась с использованием клинического аудиометра (*Interacoustics AC 40*) в сочетании с наушниками *Telephonics TDH-39P*.

Звуки разных частот (от 250 до 8000 Гц) воспроизводились через наушники, и участники должны были нажать кнопку, как только услышали звук.

В процессе лабораторных исследований участники должны были выполнить три задания, а именно измерение порога обнаружения, оценку степени опасности и слуховую локализацию, с использованием средств индивидуальной защиты органов слуха и без них. Для проведения различных тестов потребовалось два сеанса продолжительностью от 90 до 120 мин. Первый сеанс был посвящен первым двум частям эксперимента, а второй – определению слуховой локализации.

Измерения проводились в звуконепроницаемых кабинках.

Результаты и обсуждение. Анализ карт уровня звука сигналов заднего хода позади транспортных средств позволил выявить, что тональный сигнал характеризуется значительными колебаниями, которые могут достигать 15...20 дБ на расстоянии менее 1 м. Для многотональной сигнализации были получены колебания до 7...8 дБ, в то время как звуковое поле, создаваемое широкополосной сигнализацией позади автомобиля, является однородным с естественным уменьшением уровня громкости звука в зависимости от расстояния.

С этой точки зрения тональная сигнализация заднего хода является наименее эффективной в плане обеспечения безопасности работающих. Рабочий ожидает повышения громкости сигнала при приближении к нему автомобиля, движущегося задним ходом. Однако это явление может происходить и за счет резких колебаний уровня тональной сигнализации. Например, работник может интерпретировать снижение громкости сигнализации как уменьшение опасности, думая, что транспортное средство удаляется, или недооценить фактическое расстояние, отделяющее его от грузового автомобиля. Также возможна ситуация, когда в определенное время громкость падает до такого уровня, что рабочий больше не может обнаружить опасность или среагировать на нее достаточно быстро, особенно если он выполняет производственную задачу.

Таким образом, измерения показали, что широкополосная сигнализация имеет преимущество перед тональной и многотональной за счет большей однородности распространения звука за автомобилями.

В ходе исследований по обнаружению сигнала средние пороги варьировались от -13 до -24 дБ (соотношение сигнал/шум). Другими словами, это означает, что сигнал может оставаться едва слышимым, если его отрегулировать до уровня значительно ниже уровня окружающего шума.

Результаты определения порогов обнаружения показывают, что тональная сигнализация может иметь определенное преимущество перед широкополосной, что выражается в снижении порогов на 5...7 дБ в условиях высокочастотных фоновых шумов при использовании СИЗ органов слуха. При других типах фонового шума преимущество тональной сигнализации составляет максимум 3...4 дБ. Следует обратить внимание на то, что многотональный сигнал показал результаты между тональной и широкополосной сигнализацией, а также на то, что тип СИЗ (беруши или наушники) не оказал существенного влияния на пороги обнаружения.

С практической точки зрения отмеченное выше преимущество следует интерпретировать с учетом гораздо больших вариаций уровней громкости (порядка 15...20 дБ), наблюдаемых позади транспортных средств при использовании тональной сигнализации. Таким образом, наблюдаемое в лабораторных условиях преимущество не проявляется в реальных производственных условиях, учитывая гораздо большую однородность звукового поля, обес-

печиваемую широкополосной сигнализацией заднего хода.

Наиболее важным фактором, влияющим на степень восприятия опасности, является громкость сигналов заднего хода. На основании результатов, представленных в таблице 1, можно определить закономерность, которая характеризует увеличение степени опасности (по шкале от 0 до 100 баллов) в зависимости от уровня громкости (отношение сигнал/шум в дБ). Она составляет около 5 баллов/дБ без СИЗ и около 4 баллов/дБ с использованием средств индивидуальной защиты. В лабораторных условиях тональный сигнал вызывает большее ощущение опасности, чем многотональный (разница в средней степени воспринимаемой опасности составляет от 1 до 27 баллов).

Тональная сигнализация заднего хода провоцирует более сильное чувство опасности также по сравнению с широкополосной в 19 из 24 возможных сравнений. При этом различия варьируются от 0 до 20 баллов. Однако большинство этих различий не являются статистически значимыми.

Таблица 1 – Изменение степени восприятия опасности (в баллах) в зависимости от громкости сигнала при использовании наушников и без них

Тип сигнала	С наушниками		Без наушников	
	Разница между -6 и 0 дБ (сигнал/шум)	Разница между 0 и 6 дБ (сигнал/шум)	Разница между -6 и 0 дБ (сигнал/шум)	Разница между 0 и 6 дБ (сигнал/шум)
Многотональный	28,5	32,4	16,9	25,2
Широкополосный	36,4	32,4	21,0	32,4
Тональный	26,9	24,9	23,9	23,1

Максимальное преимущество тональной сигнализации в 20 баллов означает то, что уровень ее громкости может быть снижен максимум на 4 дБ, чтобы вызвать то же чувство опасности, что и широкополосный сигнал.

Так же, как и при исследовании порогов обнаружения, указанное выше преимущество следует интерпретировать с учетом пространственных вариаций громкости тональной сигнализации позади транспортных средств, которые составляют порядка 15...20 дБ. То есть, максимально возможное снижение громкости тонального сигнала на 4 дБ для того, чтобы вызвать чувство опасности, в лаборатории не может компенсировать гораздо большие колебания громкости в реальных условиях и не представляет реального преимущества на практике.

Кроме того, был проведен опрос участников о факторах, повлиявших на их оценку степени опасности. Многие из них ответили, что недостаточно сильное ощущение опасности при широкополосном сигнале вызвано тем, что он менее знаком.

Результаты исследований слуховой локализации показали, что широкополосный сигнал легче локализовать, чем тональный и многотональный.

При этом локализация сигналов (всех типов) значительно лучше в левом/правом направлении (динамики сзади), чем в переднем/заднем (динамики сбоку).

В направлении «лево/право» количество оши-

бок невелико. Наихудшим вариантом является применение тональной сигнализации при ношении рабочих наушников (около 20% ошибок).

Как и предполагалось, наибольшие различия между типами сигнализации отмечены в направлении «спереди/сзади». Как при тональных, так и при многотональных сигналах участники путали «перед» и «зад», соответственно, примерно в одном случае из трех (33%) и в одном из двух (50%).

В случае использования широкополосной сигнализации ошибки гораздо реже встречаются без применения СИЗ (примерно 10%) и при ношении берушей (примерно 18%). При использовании же наушников процент ошибок значительно возрастает и может достигать 40%.

Необходимо отметить, что при исследованиях участники не должны были двигать головой, что соответствует наиболее сложным условиям локализации.

Выводы. Таким образом, измерения уровня звукового давления, создаваемого сигнализацией, продемонстрировали, что звуковое поле, измеренное позади транспортных средств, гораздо более однородно для широкополосного сигнала, чем для двух других типов сигнализации. То есть, звуковое восприятие широкополосной сигнализации заднего хода также является более однородным.

Психоакустические лабораторные исследования

показали, что тональный сигнал легче обнаружить в условиях фонового шума и что он вызывает несколько более сильное чувство опасности, чем широкополосный, у людей, не привыкших к последнему.

Однако указанные преимущества тональной сигнализации, установленные в лабораторных условиях, не позволяют компенсировать негативное влияние пространственных вариаций уровня громкости сигналов этого типа позади грузового автомобиля (15...20 дБ).

Кроме того, возможность локализации звука в переднем/заднем направлении у широкополосной сигнализации значительно выше, чем у двух других типов сигналов. Это обстоятельство имеет большое значение с точки зрения безопасности труда, поскольку ошибочная локализация сигналов может спровоцировать перемещение рабочего в неправильном (опасном) направлении.

С целью обеспечения оптимального использования широкополосной сигнализации заднего хода можно предложить следующие рекомендации:

1) использовать сигнализацию, регулирующую в зависимости от типа и уровня окружающего шума, для обеспечения адекватной слышимости сигнала в различных условиях;

2) оптимизировать расположение сигнализации на грузовых автомобилях, чтобы обеспечить максимально однородное распространение звука;

3) в качестве СИЗ органов слуха предпочтительно использовать беруши, а не наушники, чтобы способствовать улучшению слуховой локализации;

4) ознакомить работников с широкополосными сигналами перед их использованием на рабочем месте. Это поможет усилить чувство опасности, вызываемое данным типом сигнала, в реальных производственных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Дмитриев М.С. Улучшение условий и охраны труда операторов зерноуборочных комбайнов за счет совершенствования механизмов регулирования рабочих органов [Текст]. Дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 2004. – 230 с.
2. Горшков Ю.Г., Дмитриев М.С., Старунова И.Н. Повышение эффективности транспортно-технологических процессов и улучшение условий труда работников АПК за счет инженерно-технических устройств [Текст] : монография / М. С. Дмитриев, Ю. Г. Горшков, И. Н. Старунова. – Челябинск: ЧГАА., 2010. – 291 с.
3. Горшков Ю.Г., Дмитриев М.С., Сушко Б.А. Оценка уровня безопасности труда операторов мобильных технологических и транспортных машин сельскохозяйственного назначения [Текст] / М.С. Дмитриев, Ю.Г. Горшков, Б.А. Сушко // Вестник науки Костанайского социально-технического университета. Материалы международной науч. – практ. конференции «Алдамжарские чтения» – Алдамжар, 2008 – С. 74–80.
4. Горшков Ю.Г., Дмитриев М.С., Потемкина Д.В. Улучшение условий труда и повышение безопасности водителей автомобилей сельскохозяйственного назначения [Текст] / М. С. Дмитриев, Ю. Г. Горшков, Д. В. Потемкина // Охрана труда и техника безопасности в сельском хозяйстве. – М., 2006 – №9 – С. 17–20.
5. Wilkins, P.A., Martin, A.M. The effects of hearing protectors on the perception of warning and indicator sounds: A general review. Southampton: University of Southampton, 1978.
6. Alali, K.A., Casali, J.G. (2011). The challenge of localizing

vehicle backup alarms: Effects of passive and electronic hearing protectors, ambient noise level, and backup alarm spectral content. Noise and Health, 13(51), 99. doi: 10.4103/1463-1741.77202.

7. Alali, K., Casali, J.G. (2012). Auditory backup alarms: distance-at-first-detection via in-situ experimentation on alarm design and hearing protection effects. Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation, 41(supplement 1), 3599–3607.

8. Casali, J.G., Robinson, G.S., Dabney, E.C., Gauger, D. (2004). Effect of electronic ANR and conventional hearing protectors on vehicle backup alarm detection in noise. Human Factors. – 46(1). – С. 1-10.

9. Catchpole, K., Mckeown, D. (2007). A framework for the design of ambulance sirens. Ergonomics. – 50(8). – 1287-1301. doi:10.1080/00140130701318780.

10. CSA. (2014). Protecteurs auditifs : performances, sélection, entretien et utilisation. Norme CSAZ94.2-14. Ottawa, ON : CSA. Commission de la santé et de la sécurité du travail. (2011). Revue de presse : le vendredi 9 septembre 2011. Montréal, QC : CSST.

11. Giguère, C., Laroche, C., Osman, A., Zheng, Y. (2008). Optimal installation of audible warning systems in the noisy workplace. 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) (Mashantucket, CT. – С. 197-204).

12. Homer, J. P. (2008). Audible warning devices used in the mining industry. INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings. Dearborn, MI. – С. 678-688.

13. Lancaster, J. A., Alali, K., Casali, J. G. (2007). Interaction of vehicle speed and auditory detection of backup alarms AKA: Can the construction worker get out of the way? Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. – 51(20). – 1421-1424. doi: 10.1177/154193120705102010.

14. Laroche, C., Ross, M.-J., Lefebvre, L., Larocque, R. (1995). Détermination des caractéristiques optimales des alarmes de recul. (Rapport no R-117). Montréal, QC: IRSST.

15. Lovejoy, S. M. (2008). Determination of backup alarm masked threshold in construction noise (Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA).

16. May, K. R., Walker, B. N. (2017). The effects of distractor sounds presented through bone conduction headphones on the localization of critical environmental sounds. Applied Ergonomics – 61. – С. 144-158. doi:10.1016/j.apergo.2017.01.009.

17. McKinley R.L. (2000). Communication and localization with hearing protectors. // Damage Risk from Impulse Noise, Aberdeen, MD.

18. Цой Д.Д., Хилько Е.А., Арутюнян Т.В. и др. Изучение частоты слияния и верхнего порога слышимости методом аудиометрии [Текст] / Д.Д. Цой, Е.А. Хилько, Т.В. Арутюнян и др. // Актуальные вопросы биомедицинской инженерии. Материалы V Всероссийской научной конференции. Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.. 2015, Изд-во: Прондо. – С. 203–206.

19. Бобошко М.Ю., Бердникова И.П. и др. Психоакустические методы в диагностике центральных нарушений слуха при сенсоневральной тугоухости [Текст] / М.Ю. Бобошко, И.П. Бердникова и др. // Российская отоларингология. – С-Пб., 2017 – №2 (87) – С. 9–6.

20. Глинов Д.В. Аудиометрические методы диагностики состояния слухового анализатора [Текст] / Д.В. Глинов, Д.П. Юсупов, Л.Ф. Добро // Современное состояние и приоритеты развития фундаментальных наук в регионах: труды X Всерос. науч. конф. молодых ученых и студентов: в 2 т. – Краснодар: Просвещение-Юг, 2013. – Т.1. – С. 36-38.

Статья поступила в редакцию 27.05.2022

Статья принята к публикации 20.06.2022