

УДК: 331.451; 628.517.2

OECD: 01.03.AA

Высокочастотный шум и особенности его снижения средствами индивидуальной защиты

Васильева В.К.^{1*}, Храмов А.В.², Мышинский Э.Л.³, Тюрина Н.В.⁴

¹ Ассистент, ² Д.м.н., профессор, ⁴ Д.т.н., профессор

^{1,2,4} Кафедра «Экология и производственная безопасность», Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

³ Д.т.н., главный научный сотрудник, ФГУП «Крыловский государственный научный центр», г. Санкт-Петербург, РФ

Аннотация

В современном мире применение высокочастотного звука оценено как важная составляющая машиностроительных производств, металлообрабатывающих и металлорежущих установок, также применение его в медицине и косметологии, в бытовых и хозяйственных сферах. Но, не смотря на всю пользу, система охраны труда должна учитывать его воздействие на человека, так как уровень восприятия и чувствительности высоких и низких частот – индивидуален. Так же индивидуально и строение органа слуха, в частности слухового прохода, которое и влияет на восприятие шума различных частот.

Задача авторов - рассмотреть существующие, наиболее распространенные средства индивидуальной защиты органа слуха от высокочастотного шума, так как он, в отличие от низкочастотного, активизирует отделы вегетативной нервной системы, отвечающие за стресс и тем самым нанося вред организму человека.

Ключевые слова: высокочастотный шум, наушники, вкладыши (беруши), слуховой проход, орган слуха, средства индивидуальной защиты.

High-frequency noise and features of its reduction by personal protective equipment

Vasilyeva V.K.^{1*}, Khramov A.V.², Myshinsky E.L.³, Tyurina N.V.⁴

¹ Assistant, ^{2,4} DSc, professor

^{1,2,4} The department of Ecology and Industrial Safety, Baltic State Technical University 'VOENMEH' named after D.F. Ustinov, St. Petersburg, Russia

³ DSc, chief researcher, Federal State Unitary Enterprise 'State Scientific Center Krylovsky', St. Petersburg, Russia

Abstract

In the modern world, the use of high-frequency sound is evaluated as an important component of the machinery production, metalworking and metal-cutting installations, as well as its use in medicine and cosmetology, in household and economic spheres. However, despite all the benefits, the labor protection system must take into account its impact on a person, since the level of perception and sensitivity of high and low frequencies is individual. The structure of the hearing organ, in particular the ear canal, is also individual, which affects the perception of noise of various frequencies.

The objective of the authors is to consider the existing, most common means of individual protection of the hearing organ from high-frequency noise, because contrary to low-frequency noise, it activates the parts of the autonomic nervous system responsible for stress and thereby harming the human body.

Keywords: *high-frequency noise, ultrasound, headphones, earplugs, ear canal, hearing organ, personal protection equipment.*

Введение

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), около 24% болезней людей в современном мире развивается в результате воздействия на человека окружающей среды. Постоянный рост загрязнения окружающей среды является причиной эволюции многих заболеваний, что весьма наглядно оценивается, например, при прочтении учебника по внутренним болезням 80-летней давности[1].

В том числе и производственный шум, оказывающий негативное влияние на производительность труда и приводящий к повышению уровня травмоопасности при работах на предприятии[2,3]. Такой эффект может наблюдаться и при относительно умеренном шумовом воздействии (65-70 дБ), а с повышением интенсивности шума частота негативных последствий возрастает. Однако если зависимость отрицательных последствий шумового воздействия от его интенсивности хорошо изучена, то значение индивидуальных особенностей организма работника требует дальнейшего исследования. Один человек спокойно реагирует на повышенный шумовой фон, а у другого развиваются психические аффекты. Ограничения при приеме на работу в условиях повышенного шума в настоящее время касаются лиц с рядом заболеваний органов слуха и вестибулярными расстройствами (Приказ Минздравсоцразвития РФ от 12.04.11 г. N 302н), то есть в основном направлены на профилактику профессиональной тугоухости. При профотборе задействованы врачи-специалисты и методики, которые позволяют выявить у потенциальных работников только нарушения слуха. При этом полезно было бы изучить и другие реакции организма на шум.

1. Диапазоны частотного спектра

В современной науке шумы подразделяются на низкочастотные, среднечастотные и высокочастотные[4,5].

Звуки с частотой меньше 16 Гц называются неслышимым шумом или инфразвуком. Такие колебания могут вызывать вибрацию внутренних органов из-за резонанса частот собственного биения. Низкие частоты влияют на самочувствие, усиливают головные боли, что может повлиять на работоспособность. Известными источниками низкочастотного шума являются, например, автомобильный транспорт, железнодорожный транспорт, землетрясения, гром, машиностроительные предприятия и другие.

Звуки с частотой выше 20 КГц могут способствовать нагреву среды, в которой они распространяются. Сила нагрева зависит от мощности сигнала и свойств источника такого шума. Примерами высокочастотных колебаний являются вентиляционные системы, изношенные вращающиеся системы, с нарушением центровки или дефектами, системы в которых преобладают высокие скорости движения и оборотов и другие.

Вибрация, ультразвук и шум имеют одинаковое происхождение; их источниками являются колебания в газообразных средах, твердых телах и жидкости.

Шум по частотной характеристике подразделяется на:

Низкочастотный – от 20 до 250 Гц;

Среднечастотный – от 250 до 4000 Гц (в некоторых источниках 5 кГц);

Высокочастотный – от 4000 до 20 000 Гц[6].

Важное значение в оценке гигиены труда и безопасности имеет определение частотного спектра шума. Известно, что низкочастотный шум легче проникает через различные барьеры, и работник не может быть надежно защищен от него экранированием, что особенно эффективно в борьбе с распространением высокочастотного шума. Высокочастотный шум создает нагрузку не только на орган слуха, но и косвенно воздействует на центральную (нервную) систему, воспринимающую информацию из внешнего мира.

Рассмотрим подробнее пути воздействия.

2. Анатомические варианты слухового прохода

Звуковые волны на частотах от 16 до 20 000 Гц при соответствующей интенсивности являются раздражителями органов слуха. Функционально орган слуха состоит из звукопроводящего и из звуковоспринимающего аппарата. Под воздействием звука в этих органах, кроме звуковых ощущений, могут возникнуть различные функциональные изменения.

2.1. Строение органа слуха

Анатомически ухо состоит из трех частей: Наружное, среднее и внутреннее ухо. Рассмотрим в данной статье «звукопроводящий аппарат» органа слуха (рис. 1). Анатомически он включает ушную раковину и примыкающий к ней наружный слуховой проход S-образной формы. Границей между наружным и средним ухом служит барабанная перепонка – кожаная эластичная мембрана, втянутая рукояткой «молоточка» (одна из слуховых косточек) в сторону среднего уха, что придает ей воронкообразную форму[7,8].

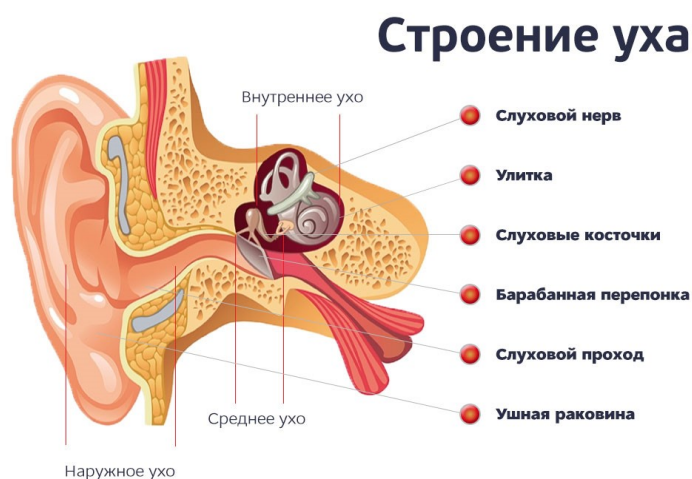


Рис. 1. Строение человеческого уха [9]

Среднее ухо представляет собой заполненную воздухом и содержащую слуховые косточки полость, соединяющуюся с помощью слуховой (евстахиевой) трубы с носоглоткой, благодаря чему разность давлений по обе стороны барабанной перепонки компенсируется. В то время, как рукоятка молоточка срывается с барабанной перепонкой, головка молоточка шарнирно связана с «наковальней» (еще одна слуховая косточка), а чечевицеобразный отросток наковальни соединен со «стремнем» (овальное окно) во внутреннем ухе[10].

2.2. Преобразование частот

Собственная частота воздушного столба в наружном слуховом проходе 2-4 кГц, благодаря чему в этом диапазоне частот из-за резонанса усиливаются все звуковые колебания. В результате попадания звуковых волн на барабанную перепонку она колеблется как единая жесткая поверхность вокруг оси вращения, расположенной в районе ее верхней кромки. Движение барабанной перепонки передается сросшимся с ней молоточком через наковальню на стремя. Основание стремени, которое входит в овальное окно, колеблется вокруг оси вращения, расположенной у задней кромки овального окна. Соотношение площади барабанной перепонки (55 мм²) и основания стремени (3,5 мм²), а также длинные рычажки слуховых косточек обуславливают 22-кратное усиление звукового давления. Оптимальный коэффициент преобразования, с учетом собственной частоты среднего уха, отмечается на 1-2 кГц. Из-за движения основания стремени в жидкости вестибулярной полости образуются бегущие волны: при каждом движении основания внутрь, благодаря несжимаемости жидкости, мембрана в круглом окне барабанной полости прогибается в сторону среднего уха. Скорость волн зависит от эластичности базилярной мембраны, повышающейся от основания к вершине улитки. Соответственно скорость и длина волны уменьшаются к вершине. Затем при достижении волнами определенной длины следует передача энергии колебаний на мембрану Рейснера и на базилярную мембрану. Чем ниже частота возбуждения и чем больше длина волны, тем на большем расстоянии от овального окна амплитуда колебаний будет максимальной. При низкой звуковой частоте максимум прогиба базилярной мембраны находится ближе к вершине улитки, при высокой частоте – ближе к основанию. Восприятие громкости звука зависит от числа изменений потенциала в единицу времени и от количества возбужденных клеток, а восприятие частоты – от образования концентраций возбуждения в определенных волокнах.

2.3. Синдром суженного слухового прохода и усиление звукового сигнала

Наружный слуховой проход представляет собой S-образную трубку длиной примерно 3 см и диаметром 0,7 - 1,0 см, которая снаружи открывается слуховым отверстием и отделяется от полости среднего уха барабанной перепонкой. Самый узкий участок наружного слухового прохода, перешеек (рис. 2) (диаметр которого составляет 1,5 мм, тогда как диаметр ее открытого отверстия в барабанной полости составляет 3 - 6 мм), соответствует стыку хрящевой и костной частей. Передненижняя стенка канала слегка длиннее, чем задневерхняя, поэтому между передней стенкой канала и барабанной перепонкой образуется острый угол.

Под сужением слухового канала следует понимать состояние, при котором просвет слухового канала сужается в результате разрастания мягких или костных тканей. Наружное ухо и слуховой проход (вместе с ушной раковиной) можно представить в виде резонатора типа трубы. Так как звуковой сигнал поступает в наружный слуховой проход, в котором происходит усиление сигнала, обусловленное собственным резонансом стенок наружного слухового прохода, то в трубе сложной геометрической формы усиление восприятия звукового сигнала предсказуемо[11].



Рис. 2. Строение человеческого уха [9]

3. Изменения в нервной системе под действием высокочастотного шума

Давно известно, что волокна слуховых нервов достигают центральных областей продолговатого мозга, откуда раздражение передается далее. Эти ключевые области, располагаясь совместно с центрами, управляющими мускулами век, дыханием, кровообращением, координируют свои реакции так, что изолированные раздражения одного органа (например уха) будут сопровождаться комплексной реакцией. Пример типичной реакции на неожиданное звуковое раздражение: человек съеживается, поворачивает голову, закрывает глаза, сначала задерживая дыхание, затем учащая его. Еще большее значение имеют реакции, протекающие с пониженной возбудимостью, длительность которых, как правило, больше, чем время действия раздражающего сигнала, и медленно затухающие[12].

Роль вегетативной нервной системы (далее ВНС) – постоянное регулирование функций органов и систем органов, в соответствии с реакциями на внутренние и внешние раздражители. ВНС помогает поддерживать регуляцию внутренней среды путем координации различных функций, таких как секреция гормонов, пищеварение, кровообращение, выделения и дыхание. ВНС каждую секунду функционирует бессознательно, мы и не представляем, какую из важных задач она выполняет непрерывно каждый день.

ВНС делится на две подсистемы, симпатическая нервная система (СНС) и парасимпатическая нервная система (ПНС).

Симпатическая нервная система (СНС) – обеспечивает то, что обычно известно, как «борьба или бегство»:

- расширение бронхов;
- повышение артериального давления;
- расширение зрачков;
- увеличение частоты сердечных сокращений;
- ослабление перистальтики.

Парасимпатическая нервная система (ПНС) – иногда называют как система «отдыха и усвоения». В общем, ПНС действует в противоположном направлении к СНС, ликвидируя последствия ответной реакции «борьбы или бегства». Тем не менее, более

правильно сказать, что СНС и ПНС дополняют друг друга.

- усиление перистальтики;
- снижение частоты сердечных сокращений;
- снижение потоотделения;
- сужение зрачка;
- снижение артериального давления (снижение числа сокращений сердца).

Ранее проведенные исследования показали [13], что воздействие высокочастотного шума (>4 кГц) на человека активирует парасимпатическую систему. То есть, громкий звук высокой частоты провоцирует пассивную реакцию «замереть и съежиться». В этом случае происходит уменьшение объема протекающей крови, а также снижение температуры кожи, в частности в конечностях человека, объясняющееся сужением артериальных сосудов в системе кровообращения в результате воздействия звукового раздражителя с преобладающими высокими частотами. Возрастная разница отклика нервной системы на звуковой сигнал заключается в том, что у детей и молодежи реакция менее выражена по силе и частоте, чем у взрослых. Также реакция зависит от образа жизни, наличия вредных привычек, экологической обстановки в регионе и наследственности.

4. Средства индивидуальной защиты от высокочастотных сигналов

В качестве средств индивидуальной защиты (далее – СИЗ) для органа слуха можно применять вкладыши, наушники, шлемы (каска) и костюмы. Рассмотрим подробнее вкладыши и шумозащитные наушники.

4.1. Вкладыши или беруши

Основными характеристиками этого СИЗ являются: быстрое и максимальное принятие формы наружного слухового прохода, а также равномерное распределение давления внутри ушного канала. Беруши (рис.3) считаются предпочтительными для маленького и среднего ушного канала.



Рис. 3. Вкладыши (беруши)[14]

Для эффективного использования противозумного вкладыша важно правильно вставить его в ушной канал, приподняв ухо для выравнивания ушного канала, предварительно туго скрутив (чистыми руками) до состояния тугого жгута. Беруши подразделяются на одноразовые и многоразовые. Вторые могут выполнены индивидуально под строение ушного канала, благодаря этому можно повысить их эффективность. Одноразовые вкладыши часто выполнены из губчатого полиуретана, который нельзя мыть, так как при смачивании он теряет свое свойство упругости и эластичности.

По поглощению шума вкладыши подразделяются на две группы А и Б. Минимальные значения приведены в таблице 1[15].

Таблица 1

Значения минимального поглощения для вкладышей при испытаниях. Группы (А, Б)

Группы вкладыша	Значение минимального поглощения шума для вкладышей ($M_f - s_f$)*, дБ, на частоте, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
А	5	8	10	12	12	12	12
Б	-	5	7	9	9	9	9

* M_f - среднее значение поглощения шума;

s_f - стандартные отклонения в соответствии с ГОСТ Р 12.4.211.

Потребность в применении берушей возникает, когда уровень шума превышает пороговое значение в 85 дБ. На производстве громкость работающего оборудования варьируется от 85 дБ до 100 дБ, а в некоторых случаях достигает 115 дБ и выше (как, например, при пескоструйной обработке). Для сравнения: двигатель реактивного самолета воспроизводит звук громкостью 140 дБ. Использование вкладышей является практически повсеместной производственной необходимостью. Однако, существует очень важный нюанс: эффективность использования берушей значительно снижается, если они не применяются на протяжении всего времени пребывания человека в зоне шумового воздействия. Так, 2 часа рабочей смены без вкладышей сводит к нулю их реальную защиту, попросту говоря, в течение этого периода слуховой аппарат получает весь объем негативного воздействия.

4.2. Противошумные наушники

Все типы наушников можно разделить на четыре категории: полноразмерные наушники, накладные наушники, наушники-вкладыши и внутриканальные наушники (рис.4).



Рис. 4. Категории наушников: а – полноразмерные; б - накладные; в - вкладыши; г - внутриканальные

Полноразмерные наушники (рис. 4 а) имеют оголовье, соединенное с шумозащитной чашей, имеющую уплотнительную амбушюру. Зачастую оголовье

выполнено из пластиковых материалов или композитов. Уплотнительные кольца, плотно прилегающие к ушной раковине и височной кости, состоят из пористых материалов (иногда заполнены жидкостью). Обеспечивают максимальную изоляцию органа слуха от источника шума. Такие наушники могут являться как пассивным, так и активным шумозащитным средством. По поглощению шума наушники подразделяются на две группы А и Б. Минимальные значения приведены в таблице 2[15].

Таблица 2

Значения минимального поглощения для наушников при испытаниях. Группы (А, Б)

Группы наушников	Значение минимального поглощения шума ($M_f - s_f$)*, дБ, на частоте, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
А	5	8	10	12	12	12	12
Б	-	5	7	9	9	9	9

* M_f - среднее значение поглощения шума;

s_f - стандартные отклонения в соответствии с ISO 4869-1.

Накладные наушники (рис. 4 б) так же, как и полноразмерные имеют оголовье и шумозащитные чаши. Разница заключается в отсутствии уплотнительных колец, что позволяет шуму проникать в слуховой проход на большем участке спектра.

Наушники-вкладыши (рис. 4 в) или «вакуумные» по принципу действия похожи на СИЗ вкладыши (беруши). Маленькие амбушюры выполнены из силикона и благодаря этому «плотно» заполняют геометрию слухового канала, что не позволяет постороннему шуму проникать к барабанной перепонке. В комплекте стандартно идет несколько вариантов размера амбушюры, что позволяет подобрать наиболее подходящий, удобный и эффективный вариант.

Авторами [16] представлена такая разновидность вкладышей, как модель EAR. Результатами проведенных лабораторных исследований эффективности противошумных наушников (рассмотренных выше) в сравнении со вкладышами EAR доказана более высокая эффективность наушников на средних и высоких частотах 2000 Гц - 8000 Гц. Однако испытуемыми отмечено удобство и гигиеничность использования вкладышей EAR.

Но нельзя также исключить прямое воздействие берушей и некоторых наушников на вегетативную нервную систему человека. Возле слухового прохода залегает большой каменистый нерв (п. Petrosus), раздражение которого приводит, например, к кашлю.

Внутриканальные наушники (рис. 4 г), в отличие от вакуумных, размещаются неглубоко относительно слухового прохода так как не имеют уплотнительных амбушюр. Посторонний шум легко проникает к барабанной перепонке. Из-за жесткости динамика наушники могут вызвать дискомфорт в наружном и среднем ухе, а при длительном использовании и головную боль. Также известно, что внутриканальные наушники аудиоплееров увеличивают риск развития отомикоза (ушного грибка). [17, 18] Однако, по мнению авторов необходимо уточнить возможную роль данных СИЗ в развитии этой болезни.

Заключение

В охране труда в качестве средств индивидуальной защиты органов слуха от высокочастотного шума используются внутриканальные вкладыши (беруши), внутриканальные наушники и полноразмерные наушники с оголовьем. При этом

остаются невыясненными некоторые важные механизмы, определяющие конкретные показания и противопоказания к применению различных СИЗ.

Проведенный авторами анализ имеющихся в литературе результатов исследований показал, что проблема использования средств индивидуальной защиты от высокочастотного шума требует дальнейшего изучения, так как гигиеничность и возможные побочные эффекты применения различных СИЗ изучены не до конца. Требуют также уточнения индивидуальных анатомических особенностей наружного слухового прохода при назначении и выборе средств индивидуальной защиты. Кроме того, важным в настоящий момент является исследование новых материалов и систем с возможностью применения их в производстве более эффективных наушников или вкладышей. Решение проблемы защиты от высокочастотного шума может решаться только на стыке инженерной акустики, физиологии и охраны труда.

Список литературы

1. Лурья Р.А. // Учебник внутренних болезней // Учебник, М.: Биомедгиз – 1937. С. 494.
2. Карпов Б.Д., Ковшило В.Е. // Справочник по Гигиене труда // Изд. «Медицина», Л.: – 1979. с. 5-6.
3. Балакина Н.А., Балакин А.И. // Оценка экономической эффективности мероприятий по борьбе с производственным шумом // Бюллетень науки и практики Т.6, №3, – 2020. с. 289-294.
4. Иванов Н.И., Шашурин А.Е. // Защита от шума и вибрации // Учебное пособие, СПб: Печатный цех, – 2019. с. 32-34
5. Тупов В.Б. // Факторы физического ТЭС на окружающую среду // Учебное пособие, Москва: Издательский дом «МЭЙ», – 2012. с. 21-22.
6. Иванов Н.И., Шашурин А.Е. // Спектральные и временные характеристики шума // В кн. Иванов Н.И. «Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом», Санкт-Петербург: Печатный Цех, – 2019. с. 30-32.
7. Королева И. В., Пудов В. И., Клячко Д. С., Левин С. В., Левина Е. А., и др. // Настройка процессора кохлеарного импланта у особых групп пациентов // Пособие для врачей, Санкт-Петербург, Полифорум Групп, – 2019. с. 13-15.
8. Левина Е.А. // Сенсоневральная тугоухость – общие принципы медикаментозного подхода // Consilium Medicum, №15 (11), – 2013. с. 64-71.
9. Netsluha.ru // Дальневосточный портал о слухе, 29 сентября 2020, [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: <https://netsluha.ru/o-sluhe/kak-ustroen-chelovecheskiy-sluh>, (дата обращения 20.09.2020).
10. Heckl M., Muller H.A. // Taschenbuch der technischen akustik // Справочник по технической акустике: Пер. с нем./Под ред. М. Хекла и Х.А. Мюллера. – Л.:1980. – с. 77-80.
11. Лопатина Л.А., Бараева Л.М., Матвиенко О.Н. // Изучение морфологических элементов ушной раковины // МЦНП «Новая наука», Актуальные вопросы современной науки и образования, – 2019. с. 376-379.
12. Heckl M., Muller H.A. // Taschenbuch der technischen akustik // Справочник по технической акустике: Пер. с нем./Под ред. М. Хекла и Х.А. Мюллера. – Л.:1980. – с. 82-86.
13. Ксенофонтова В.К., Левин С.В., Левина Е.А., Храмов А.В. // Влияние высокочастотного шума (4000Гц) на показатели вариабельности сердечного ритма //

Труды конференции «Молодежь. Техника. Космос.», Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ» №50, – 2018. с. 151-153.

14. Сайт «3М. Наука, Воплощенная в жизнь», 10 октября 2020, [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: <https://3m-shop.ru/>, (дата обращения 10.10.2020).

15. ГОСТ Р 12.4.255-2011 (ЕН 13819-1:2002) Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органа слуха. Общие технические требования. Механические методы испытаний.

16. Харитонов В.И. // Экспериментальное изучение эффективности противозумов для профилактики интенсивного шумового воздействия // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова, Т. 26, №4. – 2018. с. 484-492.

17. Храмов А.В., Петров С.К., Левин С.В., Левина Е.А. // Может ли длительное ношение наушников увеличить риск развития гиперacusии? // Noise theory and practice, Том 6, №1 (I, 2020), с. 60-65.

18. Pawlaczyk L., Dudarewicz A., Zaborowski K. // Noise Exposure and Hearing Status Among Call Center Operators» // Noise and Health, № 20 (96), - 2018. pp. 178-189.

References

1. Luria R.A. // Internal Medicine Textbook // Textbook, Moscow: Biomedgiz, – 1937. P. 494.

2. Karpov B.D., Kovshilo V.E. // Occupational Hygiene Handbook // Ed. "Medicine", Leningrad, – 1979. pp. 5-6.

3. Balakina N.A., Balakin A.I. // Evaluation of the economic efficiency of measures to combat industrial noise // Science and Practice Bulletin, Vol. 6, № 3, – 2020. pp. 289-294.

4. Ivanov N.I., Shashurin A.E. // Noise and vibration protection // Textbook, St. Petersburg: Pechatnyj cekh, – 2019. pp. 32-34

5. Tupov V.B. // Factors of physical TPP on the environment // Textbook, Moscow: Publishing house "MAY", – 2012. pp. 21-22.

6. Ivanov N.I., Shashurin A.E. // Spectral and temporal characteristics of noise // Engineering acoustics. Theory and practice of noise control, Saint Petersburg: Pechatnyj cekh, – 2019, pp. 30-32.

7. Koroleva I.V., Pudov V.I., Klyachko D.S., Levin S.V., Levin E.A., etc. // Cochlear Implant Processor Customization for Special Patient Groups // Handbook for doctors, Saint Petersburg, Polyforum Group, – 2019. pp. 13-15.

8. Levina E.A. // Sensorineural hearing loss-General principles of the drug approach // Consilium Medicum, №15 (11), – 2013. pp. 64-71.

9. Netsluha.ru // Far Eastern portal about hearing, September 29, 2020, [electronic resource] – Available at URL: <https://netsluha.ru/o-sluhe/kak-ustroen-chelovecheskiy-sluh>, (date of the application 2020-09-29).

10. Heckl M., Muller H.A. // Teaschenbuch der technischen akustik // Technical Acoustics Handbook: Translated from German Edited by M. Heckl and H.A. Müller. Leningrad: – 1980. pp. 77-80.

11. Lopatina L.A., Baraev, L.M., Matvienko O.N. // The study of morphological elements of the auricle // mtsnp "New science" Topical issues of modern science and education, – 2019. pp. 376-379.

12. Heckl M., Muller H.A. // Teaschenbuch der technischen akustik // Technical Acoustics Handbook: Translated from German Edited by M. Heckl and H.A. Müller. Leningrad: – 1980. pp. 82-86

13. Ksenofontova V.K., Levin S.V., Levina E.A., Khramov A.V. // Influence of high-frequency noise (4000Hz) on heart rate variability indicators // Proceedings of the conference "Molodezh. Tekhnika. Kosmos.", Library of the Voennem magazine. Bulletin of BSTU, № 50, – 2018. pp. 151-153.

14. Website "3M. Science, Embodied in life", October 10, 2020, [electronic resource] – Available at URL: <https://3m-shop.ru/>, (date of the application 2020-10-10).

15. GOST R 12.4.255-2011 (EN 13819-1:2002) Occupational safety standards system. Personal hearing protective equipment. General technical requirements. Mechanical test methods.

16. Kharitonov V.I. // Experimental study of the effectiveness of anti-noise for the prevention of intense noise exposure // Russian medical and biological bulletin named after academician I.P. Pavlova, Vol. 26, № 4, – 2018. pp. 484-492.

17. Khramov A.V., Petrov S.K., Levin V.S., Levina, E.A. // Can prolonged wearing of headphones increase the risk of hyperacusis? // Noise theory and practice, Vol. 6, № 1 (I, 2020), pp. 60-65.

18. Pawlaczyk L., Dudarewicz A., Zaborowski K. // Noise Exposure and Hearing Status Among Call Center Operators // Noise and Health, Vol. 20 (96), – 2018. pp. 178-189.