

УДК 628.517.2

DOI: 10.22213/2410-9304-2019-4-149-155

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЗОН С НИЗКИМ УРОВНЕМ ШУМА С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВ
С АКТИВНЫМ ШУМОПОДАВЛЕНИЕМ

А. П. Тюрин, доктор технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия
Б. И. Сибгатуллин, старший преподаватель, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Среди совокупности вредных производственных факторов на рабочих местах зачастую преобладает воздействие шумового фактора. Материалы, предлагаемые ниже, раскрывают сущность технического решения, относящегося к устройствам для обеспечения акустической безопасности на рабочем месте. Подавление шума обеспечивается за счет цифровых технологий. Технический результат выражается в повышении эффективности шумоподавления в верхней локальной зоне устройства, то есть на уровне головы пользователя. Устройство может быть использовано на стационарных рабочих местах, выполнение технологического процесса на которых не требует активных физических перемещений. При использовании изделия снижается нагрузка на систему слуха человека и обеспечивается ее защита. Представлены базовые выражения, позволяющие обеспечить шумовой контроль в зашумленном пространстве между громкоговорителями. Устройство защиты от шума содержит микрофоны, реагирующие на акустический сигнал, блок управления процессом активного шумоподавления, динамики и шумозащитный экран, размещенные на раме. Специальным образом сконструированный экран выполнен в виде прочного объемного выпуклого сегмента, к внешнему краю которого на гибких подвесах крепится тонкий обод с возможностью свободного перемещения вдоль него микрофонов. Несущая рама устройства выполнена в П-образном виде, в верхней части которой громкоговорители крепятся обращенными друг к другу диафрагмами.

Ключевые слова: активное шумоподавление, зона тишины, устройство.

Введение

Целью данной статьи является обоснование сущности технического решения, относящегося к устройствам для обеспечения акустической безопасности на рабочем месте за счет технологии активного шумоподавления.

В связи с развитием в последнее время технологий цифровой обработки сигналов и активного шумоподавления появляются решения, направленные на создание локальных зон тишины. Использование таких решений в перспективе может привести к росту аналогичных технологий в тех областях, в которых использование пассивных методов защиты не дает должного эффекта. В сравнении, разработка средств защиты, основанных на пассивных технологиях, сопряжена с необходимостью создания громоздких конструкций, занимающих дополнительное пространство на рабочем месте [1]. Необходимость использования подобных средств защиты существует на рабочих местах с вредными условиями труда, например, в условиях заготовительного техпроцесса [2]. Динамичное развитие, в частности, можно наблюдать в области разработки, например, индивидуальных средств защиты слуха – наушников. Однако можно признать, что при повышенной эффективности шумозащиты актуальным сохраняется вопрос стоимости таких изделий. Материалы, предлагаемые ниже, раскрывают сущность технического решения, относящегося к устройствам для обеспечения акустической безопасности на рабочем месте. Оно может быть использовано на стационарных рабочих местах, выполнение технологического процесса на которых не требует активных физических перемещений. При использовании устройства защиты снижается нагрузка на систему слуха человека и обеспечивается ее защита.

Обзор существующих решений

Одна из первых систем активного шумоподавления приводится в статье [3], опубликованной в 1953 г. Представленный электронный звукопоглотитель состоит из микрофона, усилителя и громкоговорителя, подключенных таким образом, что при падающем звуке волновое и звуковое давление на микрофоне уменьшается. Согласно данной статье звуковое давление в окрестности микрофона может быть уменьшено на 10–25 децибел в диапазоне частот трех октав в низкочастотной области. Электронный звукопоглотитель может использоваться для уменьшения шума в небольшом объеме. Можно сказать, что он является устройством для подавления шума точечного типа.

Одним из удачных решений в области разработки аналогичных систем можно отметить решение, описанное в статье [4], посвященное возможностям активного снижения шума с использованием активных технологий на рабочем месте. Эксперимент выявил условия, при которых может быть достигнуто снижение шума, и установил конечные значения снижения шума, зависящие от расположения всего комплекса активного шумоподавления, его технических характеристик и характера создаваемого шума.

Другое инновационное решение частично раскрыто в [5]. Устройство с оригинальным названием Muzo разработано компанией CelestialTribe. Данное устройство ослабляет воздействие посторонних шумов, обеспечивает лучшую разборчивость речи во время разговора, создавая «пузырь тишины». Достигается такой результат размещением устройства на плоской поверхности (например, стола), которая в совокупности с ним формирует звуковое поле с требуемыми спектральными характеристиками. В конечном счете, устройство генерирует звук, который

подавляет внешний шум, в том числе голоса посторонних собеседников. Однако не представлены достоверные технические характеристики устройства и результаты апробации, хотя первые поставки изделия были запланированы на апрель 2017 года. Аналогичным устройством следует признать «Sono», представленное в [6], однако и здесь эффективность его работы не вполне убедительна. Известно, что подавление шума в трехмерном пространстве представляет собой нетривиальную задачу. Локальные активные системы управления звуком обеспечивают полезное снижение шума в зоне тишины, которая занимает не более одной десятой длины акустической волны [7, 8]. В случае необходимости активного контроля в области сотен герц частоты ученые предлагают использование локальной активной системы управления звуком с использованием совокупности контрольных микрофонов и специального устройства, отслеживающего положение головы пользователя (оптического трекера). Эти приемы позволяют обеспечить надежное затухание в околоушной зоне, даже когда слушатель перемещает голову. Количественно это проявляется в широкополосном затухании на уровне 20 дБ для частот до 1 кГц. В упомянутых выше исследованиях локальное активное управление звуком скомбинировано с технологией разнесенных микрофонов и подголовника, что позволяет менять положение головы оператора.

В работе [9] представлено исследование ослабления широкополосных случайных акустических возмущений при использовании активной системы подголовников с обратной связью, как это было первоначально предложено Олсоном и Мэем. Необходимость усовершенствования конструкции обусловлена необходимостью управления случайными помехами по широкой полосе частот, возникающих в реактивных самолетах и автомобилях. Здесь контроллеры обратной связи предназначены для управления широкополосными случайными помехами в низкочастотном диапазоне на основе измеренных данных из лабораторной модели подголовника. Результаты исследования показали, что можно достичь хорошей эффективности шумоподавления только в том случае, если контроллер сконструирован специальным образом для минимизации давления на «виртуальном микрофоне», размещенном близко к ушам оператора. При этом движение его головы учитывается характеристиками системы подавления шума.

Одной из областей применения активного шумоподавления в последнее время является проектирование и изготовление комфортных офисных кресел. Известно, что повышенный уровень шума является обычным явлением в современной офисной среде и может поставить под угрозу внимание и эффективность работы или даже повлиять на здоровье. Поэтому одним из способов ограничить воздействие шума на человека является встраивание системы активного контроля шума в офисное кресло. Для достижения приемлемой величины шумоподавления необходимо учесть несколько факторов. Во-первых, шумоподав-

ление должно достигаться на ушах пользователя (то есть используется технология виртуального микрофона), а не на месте измерения шума (физическом микрофоне). Для оценки уровня звука в точке виртуального микрофона необходимо использовать специальный алгоритм, который должен учитывать возможные изменения в положении головы пользователя и источника шума. Электромеханические элементы системы полностью встраиваются в кресло. Авторы [10] предлагают использовать стереофоническую систему и соответствующие алгоритмы для достижения хорошего шумоподавления. Для определения положения головы пользователя используются ультразвуковые датчики. Достигнутые результаты подтверждают эффективность предложенной концепции.

Встречаются также исследования по возможному применению технологии активного шумоподавления на рабочих местах промышленных предприятий. На промышленных предприятиях высока вероятность потери слуха рабочих из-за более высоких уровней шумов, поэтому поиск новых методов и средств шумоподавления является актуальным. Особую опасность представляют низкочастотные шумы, подавление которых до допустимых значений не возможно использованием только пассивных методов защиты. Рекомендуются ушные вкладыши при своей низкой стоимости также не гарантируют защиту от шума. На отдельных рабочих местах работники используют слуховые аппараты по причине своего слабого слуха. Авторы из [11] отмечают, что такие устройства могут приводить к усилению шума, воздействующего на человека. Альтернативный метод предлагается в устройстве, оснащенный цифровой системой обработки сигналов для реализации активного шумоподавления с адаптивной обратной связью (AFANC) для снижения низкочастотного шума. Максимальное снижение уровня звука достигнуто на уровне 30 дБА в области широкополосных промышленных шумов, в том числе низкочастотной области и с одновременным использованием работниками слуховых аппаратов.

Одним из инновационных решений в сфере средств индивидуальной защиты слуха является техническое решение по патенту US № 6965681 «Arrangement in acoustic headsets» [12], содержащее узел микропрограммного управления, интегрированный в схему радиоприемного модуля. Это устройство, по мнению авторов, является хорошим прототипом оригинального решения. Правая чашка на внешней стороне имеет анализирующий микрофон, необходимые кнопки управления, а также антенну радиоприемного модуля; внутри расположена печатная плата с блоком микропрограммного управления. Такие наушники представляют собой комплексное техническое решение в области индивидуальных средств защиты от шума, в котором реализовано активное шумоподавление на основе цифровой обработки сигнала. В корпусе левой чашки предусмотрено место под батарейный отсек. Гибкая дужка с проложенным внутри нее электрическим кабелем

механически и электрически соединяет чашки между собой. Следует отметить, что незначительный дискомфорт при использовании любого типа наушников заключается в давящем усилии чашек наушников, который начинает активно обнаруживать себя при использовании наушников в течение достаточно длительного их ношения.

Устройство по патенту США «Personal active noise cancellation method and device having invariant impulse response» [13] содержит техническую сущность решения, также основанного на цифровых технологиях. Это устройство представляет собой конструкцию, выполненную в виде кресла с основными функциональными элементами – детектирующие микрофоны, анализирующие внешний шум; громкоговорители, закрепленные в спинке кресла на уровне головы сидящего на нем человека и излучающие обработанный от микрофонов сигнал с требуемыми спектральными характеристиками. Защитный козырек, предусмотренный в устройстве, выполняет функцию защиты громкоговорителей и одновременно является неотъемлемой частью верха спинки кресла. Защитный козырек имеет возможность вращаться вокруг продольной горизонтальной оси, обеспечивая дополнительные защитные функции. При использовании данного решения в кресле, включая кресло офисного типа, данное решение является оптимальным. Однако для использования его в рабочей зоне, в которой допускаются большие амплитудные движения головы пользователя, недостатком этого аналога является невозможность адаптивного во времени изменения позиций микрофонов, способствующих формированию оптимальных размеров шумозащищенных зон вокруг пользователя для повышения эффективности работы данного устройства.

Другое устройство, предлагаемое компанией Silentium (Израиль) [14], может быть использовано не только на рабочих местах машиностроительных предприятий, но, например, в метро или на железнодорожных вокзалах. Известно, что на таких объектах уровни шума весьма высоки, а необходимость в уединении встречается, например, в случае совершения звонков по мобильным устройствам. Инновационное техническое решение представляет собой совокупность собственно инновационного устройства и электронной системы управления шумом. Для съема акустических сигналов используется система внешних и внутренних микрофонов, расположенных, соответственно, на внешней и внутренней сторонах купола установки. При этом система управления шумом может быть сконфигурирована для обработки одного или нескольких акустических сигналов от первичных датчиков во взаимосвязи с сигналами, поступающими от датчиков, анализирующих остаточный шум. Одновременно цифровые алгоритмы управления электроакустическими сигналами способствуют генерации шума, уровень звука которого вписывается в пределы, установленные санитарно-гигиеническими нормами.

Характеристика предлагаемого устройства

Основное направление разработки локального устройства защиты от шума заключается в получении такого технического результата, который приводит к повышению эффективности шумоподавления в верхней локальной зоне устройства, то есть на уровне головы пользователя. Такой эффект возможен за счет обеспечения возможности оперативной смены расположения микрофонов вручную при стоячей работе и расположения громкоговорителей направленными друг ко другу диафрагмами. Для повышения эффективности устройства громкоговорители содержат профильный кольцевой экран вокруг диафрагм.

В совокупности, устройство защиты от шума содержит микрофоны, реагирующие на акустический сигнал, блок управления процессом активного шумоподавления, динамики и шумозащитный экран, размещенные на раме. Специальным образом сконструированный экран выполнен в виде прочного объемного выпуклого тонкостенного сегмента, к внешнему краю которого на гибких подвесах крепится тонкий обод с возможностью свободного перемещения вдоль него микрофонов. Несущая рама устройства выполнена в П-образном виде, в верхней части которой громкоговорители крепятся направленными друг к другу диафрагмами. Общая структура устройства отображена на рис. 1–4.

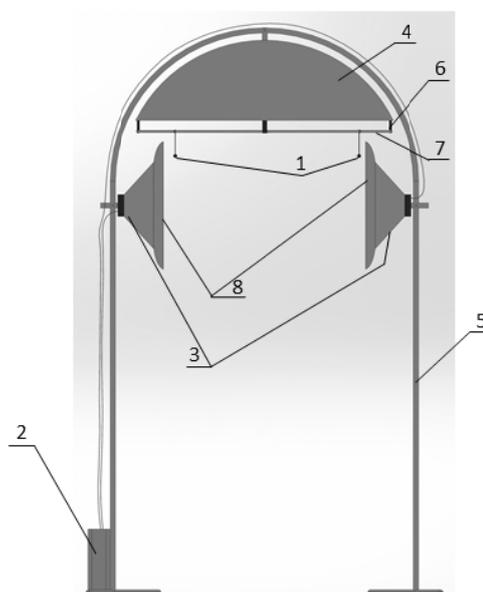


Рис. 1. Вид устройства спереди

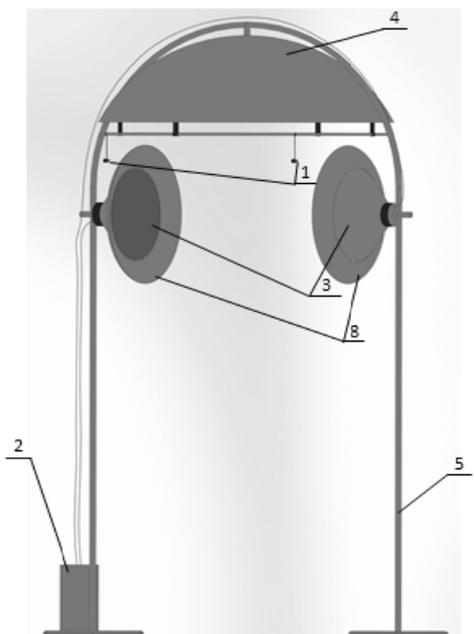


Рис. 2. Общий вид устройства в ракурсе ¾

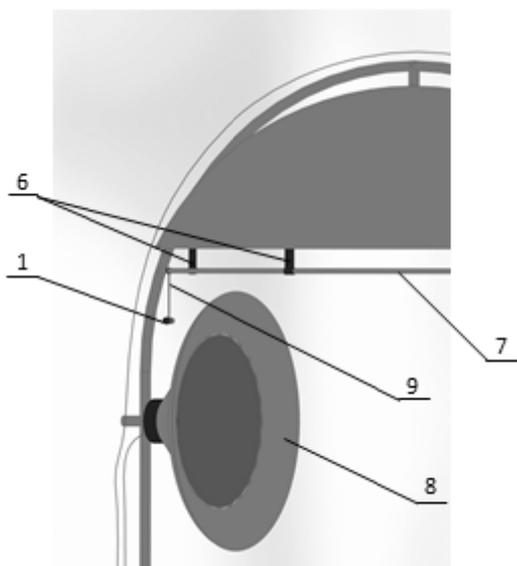


Рис. 3. Верхняя часть устройства



Рис. 4. Схема функционирования устройства

Устройство защиты от шума, в соответствии с рис. 1–4, содержит акустические микрофоны 1, блок обработки сигнала для обеспечения активного шумоподавления 2, динамики 3 и шумозащитный экран 4, расположенные на раме 5 (рис. 1, 2). Шумозащитный экран 4 выполнен в виде объемного тонкостенного выпуклого сегмента, к внешнему краю которого на гибких подвесах 6 крепится тонкий обруч 7 с возможностью свободного перемещения вдоль него анализирующих микрофонов 1 (рис. 1, 3). Рама 5

выполнена в П-образном виде, в верхней части которой громкоговорители 3, содержащие профильный кольцевой экран 8 вокруг диафрагм, крепятся обращенными друг к другу диафрагмами (рис. 1, 3).

Блок управления процессом активного шумоподавления 2 выполнен в виде микропроцессорной системы на основе микросхемы TMS320, которая представляет собой сигнальный процессор с тактовой частотой 40 МГц со встроенным 10-битным АЦП.

Детектирующие микрофоны 1 к ободу 7 крепятся с помощью гибкой связи 9 (рис. 3). Гибкие подвесы 6 изготавливаются из любого эластичного материала, например из кожи, гибкие связи 9 микрофонов 1 выполняются из нити, одновременно обеспечивая подавление способной возникнуть в устройстве акустической обратной связи. Выполненный в виде сферического сегмента шумозащитный экран 4 позволяет на его внутреннюю поверхность прикрепить шумозащитный материал, поверхность которого намного больше по сравнению с плоским вариантом изготовления шумозащитного экрана. Профильный кольцевой экран вокруг диафрагм громкоговорителей выполняется из прозрачного жесткого материала, например, плексигласа, и несет функцию дополнительной шумозащиты.

Принципы функционирования устройства

Активное шумоподавление обеспечивается при реализации одного из условий:

$$y(n) = \underline{w}^T(n)\underline{x}(n) = \sum_{i=0}^{N-1} w_i x(n-i), \tag{1}$$

где $y(n)$ – выходной сигнал за время n ; $\underline{w}^T = [w_0(n)w_1(n)...w_{N-1}(n)]^T$ – вектор коэффициентов $W(z)$ за время n и $\underline{x}(n) = [x(n)x(n+1)...x(n-N+1)]^T$ – исходный вектор сигнала за время n .

Вариантом их интерпретации принято предположение, заключающееся в реализации управления шумом по уравнениям следующего вида:

$$w_i(n+1) = w_i(n) - \mu \varepsilon(n)x'(n-i); \tag{2}$$

$$\underline{x}'(n) = [x'(n)x'(n-1)...x'(n-N+1)]^T; \tag{3}$$

$$\underline{e} = [e_0 e_1 ... e_{M-1}]^T. \tag{4}$$

Устройство защиты от шума для локального шумоподавления работает следующим образом. При росте человека-оператора, например, 180 см громкоговорители располагаются на высоте от уровня пола в 170 мм. Оператор располагается между громкоговорителями. Первоначально микрофоны 1 располагаются в произвольной позиции, например, так, как указано на рис. 1, 2. После включения источника шума, которое может быть представлено любым производственным оборудованием, например станочным устройством, включается блок управления процессом активного шумоподавления 2. Микрофоны 1 детектируют сигнал, который после обработки в блоке управления 2 поступает на громкоговорители

3 (рис. 4). Связь между микрофонами 1, громкоговорителями 3 и с блоком управления 2 осуществляется с помощью электрических проводов (на рисунках соединительные провода для микрофонов не показаны). Действие принципа активного управления акустическими полями приводит к тому, что шум в зоне излучения громкоговорителей 3 ослабевает. Оператор, использующий устройство, ориентируясь на слуховые ощущения или на показания контрольно-измерительного устройства – шумомера, вручную изменяет позицию детектирующих микрофонов 1 на ободке 7, добиваясь наибольшего акустического комфорта работы. Прозрачность материала, из которого изготовлен профильный кольцевой экран вокруг диафрагм громкоговорителей, позволяет сохранить поле обзора оператора по своей рабочей зоне.

Для повышения удобства использования устройства для операторов различного роста крепление громкоговорителей к раме может быть выполнено с помощью подвижного по стойке рамы узла крепления. При этом в узле крепления предусматривается жесткая фиксация его на стойке рамы. Технически поэтапная реализация устройства включает в себя:

- а) разработку лабораторного образца;
- б) разработку плана научного эксперимента для моделирования зон тишины, генерируемых созданным лабораторным образцом;
- в) сопоставительный анализ эффективности работы образца в контрольных точках трехмерной сетки при реализации различных алгоритмов обработки сигнала от детектирующих микрофонов;
- г) выбор наилучшей компоновки элементов лабораторного образца с учетом их технических и/или эргономических характеристик и программно-аппаратной работы;
- д) разработку технических условий действующего макета с учетом перспективы изготовления изделия в промышленных масштабах.

Планирование экспериментальной части

Экспериментальная работа для проектируемого устройства предполагает следующие этапы исследований:

1. Изготовление устройства в виде промышленного образца, выполнение пуско-наладочных работ.
2. Создание проекта трехмерной сетки с контрольными узлами для исследования спектров шума в программном обеспечении MATLAB®.
3. Планирование и реализация управляемого промышленного эксперимента, направленного на оценку эффективности шумоподавления с учетом работы различных адаптивных цифровых фильтров в управляющем блоке устройства и технических параметров его электромеханических элементов. Варьируемые факторы: адаптивные алгоритмы цифровой обработки сигнала шума (например, алгоритм наименьших средних квадратов с фильтрацией ошибки, алгоритм наименьших квадратов с уткой, управляющий алгоритм с модификацией ошибки), уровни звукового давления в контрольных узлах, характер источника шума – тональный, узкополосный. Общая картина зоны звукового давления в контрольных

узлах, которая, как предполагается, будет получена, представлена на рис. 5.

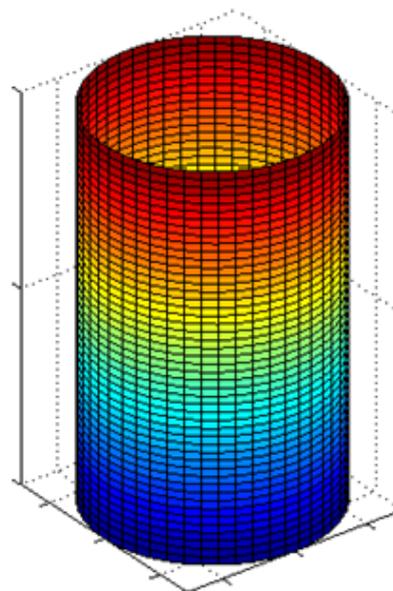


Рис. 5. Визуализация трехмерной области

4. Разработка методики оценки эффективности работы устройства в полужамкнутом пространстве (в верхней локальной зоне) с учетом амплитудно-частотных характеристик источников звука и адаптивных алгоритмов обработки цифрового сигнала, подаваемого на громкоговорители.

Заключение

Локализация зон с низким уровнем шума с помощью устройств с активным шумоподавлением является одним из ключевых направлений ученых, занимающихся созданием комфортной среды как на рабочих местах промышленных предприятий, так и в местах с массовым пребыванием людей. Аналогичные технологии используются также и в области разработки и совершенствования музыкальных наушников, а также слуховых аппаратов. Предлагаемое в статье устройство защиты от шума предназначено для обеспечения акустической безопасности на стационарных рабочих местах. При использовании устройства защиты снижается нагрузка на систему слуха человека и обеспечивается ее защита. Устройство защиты от шума содержит детектирующие микрофоны, блок управления процессом активного шумоподавления, выполненном в виде микропроцессорной системы, динамики и шумозащитный экран, расположенные на П-образной раме. Шумозащитный экран выполнен в виде объемного тонкого выпуклого сегмента, к внешнему краю которого на гибких подвесах крепится обруч с возможностью свободного перемещения вдоль него анализирующих микрофонов. Громкоговорители, содержащие профильный кольцевой экран вокруг диафрагм, крепятся направленными друг ко другу диафрагмами в верхней части рамы на уровне органов слуха стоящего человека.

Потребителями устройства защиты от шума для локального шумоподавления являются промышлен-

ные предприятия, чьи интересы направлены на улучшение условий труда рабочих по фактору шума. Известно, что среди совокупности вредных производственных факторов на рабочих местах воздействие шумового фактора зачастую преобладает. В перспективе, результаты, полученные в ходе реализации заявленного проекта, станут полезными для ученых-акустиков, разрабатывающих аналогичные устройства, позволяющие создавать зоны тишины в общественных местах – железнодорожных вокзалах, метро, торгово-развлекательных центрах. Таким образом, цель данного исследования, связанная с обоснованием сущности технического решения, относящегося к устройствам для обеспечения акустической безопасности на рабочем месте за счет технологии активного шумоподавления, достигнута.

Библиографические ссылки

1. Татаркина А. А. Оценка уровня шума на рабочем месте. Расчет средств защиты от шума, NOISE Theory and Practice, ISSN: 2412-8627, Том 1, Вып. 2, 2015, С. 62–71. URL: http://media.noisetp.com/filer_public/78/2a/782a4e06-9af2-4e4a-a25c-bb37b3bd2807/page_62-71_rus.pdf.
2. Попова Е. И. Нахождение оптимальных режимов пиления титановых и капролоновых заготовок // Вестник ИЖГТУ имени М. Т. Калашникова. 2018. Т. 23. № 3. С. 9–12.
3. Олсон Х. Ф., Мэй Е. Г. Электронный шумопоглотитель // Журнал акустического общества Америки. 1953. Вып. 25. С. 1130–1136.
4. Флимель М. Возможности активного управления шумом на рабочем месте // Akustika. 2017. Т. 28. Вып. 1. С. 27–31.
5. Muzo – новый подход. URL: <https://www.celestialtribe.com> (дата доступа: 15.12.2018).
6. Стефанич Рудольф, SONO. URL: <http://id2studio.at/content/noise/#image-12> (дата доступа: 15.12.2018).
7. Эллиот С. Дж., Жанг В., Чир Дж. Расширение активного шумоподавления в области высоких частот за счет отслеживания движения головы // Scientific Reports. 2018. Т. 8. Вып. 1. DOI:10.1038/s41598-018-23531-y.
8. Локальное активное шумоподавление в области тонального и широкополосного шума источников с использованием техники выносного микрофона и отслеживание положения головы / С.Эллиот, Дж. Чир, В. Лэм, С. Ши, В.-С. Ган // Материалы 24-го Международного конгресса по звуку и вибрации (ICSV24, Лондон, Соединенное королевство, 23–27 июля 2017 г.). 8 с.
9. Рафаэли Б., Эллиот С. Дж., Гарсиа-Бонито Дж. Широкополосные характеристики активного подголовника // Журнал Акустического общества Америки. 1999. Т. 106. Вып. 2. С. 787–793.
10. Трейер Д., Германн С., Сиегенталер М. Тишина – золото. Реализация шумоподавления в офисном кресле // Сборник материалов 25-го Международного конгресса и выставки по технологиям управления шумом «INTER-NOISE»: В направлении к более тихому будущему (21.08.2019, Гамбург, Германия). С. 6880–6891.
11. Широкополосное шумоподавление в слуховых аппаратах с использованием технологии с адаптивной обратной связью и активным шумоподавлением / Дж. Х. Лин, П. С. Ли, С. Т. Танг, П. Т. Лиу, С. Т. Янг // Медико-биологическая инженерия и вычислительная техника. 2005. Т. 43. Вып. 6. С. 739–745. DOI: 10.1007/BF02430951.
12. Алмквист К. Устройство акустических наушников: пат. US № 2002/0080987; дата публикации 27.06.2002. 6 с.
13. Карми К., Руп А. Метод активного шумоподавления и устройство для его осуществления: пат. US № 5987144; дата публикации 03.04.1996. 12 с.
14. Джозеф Барат, Даниел Черкасский, Ярон Каро. Аппаратура, система и метод управления шумом внутри ограниченного объема: пат. US 2016/0111078 A1; дата публикации 21.04.2016. 34 с.

References

1. Tatarkina A.A.: Assessment of the level of noise in the workplace. Calculation of protection from noise, NOISE Theory and Practice, ISSN: 2412-8627, Volume 1, Issue 2, 2015, pp. 62-71. http://media.noisetp.com/filer_public/78/2a/782a4e06-9af2-4e4a-a25c-bb37b3bd2807/page_62-71_rus.pdf
2. Popova A.L. [Optimal Modes Calculation of Sawing Titanium and Nylon Workpieces]. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*, 2018, vol. 23, no. 3, pp. 9-12 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2018-3-9-12.
3. Olson H.F., May E.G. Electronic sound absorber. *Journal of the acoustical society of America*. 1953. Iss. 25, pp. 1130-1136.
4. Flimel M. [Possibilities of active reduction of noise in the workplace]. *Akustika*. 2017. Vol. 28, Iss. 1, pp. 27-31.
5. Muzo – New Edition. Available at: <https://www.celestialtribe.com/> (accessed 15.12.2018)
6. Stefanich, Rudolf: SONO. Available at <http://id2studio.at/content/noise/#image-12> (accessed 15.12.2018)
7. Elliott S.J., Jung W., Cheer J. Head tracking extends local active control of broadband sound to higher frequencies, *Scientific Reports*, 2018. Vol. 8, Iss. 1, DOI:10.1038/s41598-018-23531-y.
8. Elliott, S., Cheer, J., Lam, B., Shi, C., Gan, W.-S. (2017): Local active sound control using the remote microphone technique and head-tracking for tonal and broadband noise sources, 24th International Congress on Sound and Vibration: ICSV24, London, United Kingdom. 23 - 27 Jul 2017. 8 p.
9. Rafaely B., Elliott S. J., and Garcia-Bonito J. Broadband performance of an active headrest, *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1999. Vol. 106, Iss. 2, pp. 787-793.
10. Treyer D., Germann S., Siegenthaler M. Silence is golden – Implementation of a noise cancelling office chair, *Proceedings of the INTER-NOISE 2016 – 45th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering: Towards a Quieter Future*, 21 August 2016, Hamburg GER-MANY, pp. 6880-6891.
11. Lin J. H., Li P. C., Tang S. T., Liu P. T., Young S. T. Industrial wideband noise reduction for hearing aids using a headset with adaptive-feedback active noise cancellation, *Medical and Biological Engineering and Computing*. 2005. Vol. 43, Iss. 6, pp. 739-745. DOI: 10.1007/BF02430951.
12. Christer, Almquist: Arrangement in Acoustic Headsets: Patent US 2002/0080987; Jun. 27, 2002, 6 p.
13. Christian Carne, Alain Roure: Personal Active Noise Cancellation Method and Device Having Invariant Impulse Response: Patent US 5,987,144; Apr. 3, 1996, 12 p.
14. Jossef Barath, Daniel Cherkassky, Yaron Karo: Apparatus, System and Method of Controlling Noise Within A Noise-Controlled Volume - Patent US 2016/0111078 A1; Apr. 21, 2016, 34 p.

* * *

Localization of Low Noise Areas with Active Noise Canceling Devices*A. P. Tyurin*, DSc in Engineering, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia*B. I. Sibgatullin*, Senior lecturer, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

Currently, the impact of the noise factor in stationary workplaces is prevailing in the total share of the influence of other harmful factors. The materials proposed below reveal the essence of the technical solution related to devices for ensuring acoustic safety at the workplace. Noise reduction is provided by digital technology. The technical result is expressed in increasing the noise reduction efficiency in the upper local area of the device, that is, at the level of the user's head. The device can be used in stationary workplaces, the execution of the technological process on which does not require active physical movements. When using the product, the load on the human hearing system is reduced and its protection is ensured. Basic expressions are presented that make it possible to provide noise control in a noisy space between loudspeakers. The noise protection device includes detecting microphones, an active noise reduction process control unit, loudspeakers and a noise shield located on the frame. A specially designed screen is made in the form of a spherical segment, to the outer edge of which, on flexible suspensions, a rim is mounted with the possibility of free movement of detecting microphones along it. The carrier frame of the device is made in a U-shaped form, in the upper part of which the speakers are mounted with diaphragms facing each other.

Keywords: active noise control, low noise area, device.

Получено: 01.11.19