

УДК 534

К. А. Кочергина, С. Ю. Гармонов, А. И. Мавлеев,
А. В. Кочергин

СИСТЕМА СОХРАНЕНИЯ ПОЛЕЗНОЙ ИНФОРМАЦИИ И ЗАЩИТЫ СЛУХА ЧЕЛОВЕКА НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Ключевые слова: защита слуха человека, активная и пассивная шумозащита, экологическая безопасность.

Приведены результаты исследований по разработке системы защиты слуха человека и сохранения полезной информации на производстве путем использования методов активной и пассивной шумозащиты. Разработаны инженерно–технические мероприятия, снижающие интенсивность шума путем звукопоглощения и звукоизоляции, а так же наложения волн в противофазе. Предложен модернизированный шлемофон ТШ-3 (ТШ-4) с шумозащитным наушником, позволяющий защищать орган слуха от шума и получать полную акустическую информацию о работе механизмов на производстве.

Key words: ear protection, active and passive noise protection, ecological safety.

Results of research on ear protection system development and useful information preservation in practice by methods of active and passive noise protection are presented. Engineer measures reducing noise intensity by absorption and sound-proofing as well as wave superimposition in antiphase have been worked out. We propose a modified helmet with earphones TSh-3 (TSh-4) with a noise protection earphone proofing hearing organs against noise and getting total acoustic information on mechanisms in practice.

В современном мире большое внимание уделяется безопасности человека во время его трудовой деятельности. Физиологически и психологически здоровое состояние человека является важным фактором его профессионального становления и дальнейшего роста. Одним из негативных антропогенных экологических факторов является производственный шум. Он рассматривается как одна из форм физического (волнового) загрязнения, адаптация к которой мало возможна [1,2,3]. С позиции физиологии и экологии человека шум – это звуковой раздражитель, который в целом характеризуется сочетанием различных по интенсивности и частоте компонентов. Шум служит фактором сенсорной, информативной перегрузки и является типичным стресс-фактором. Акустический дискомфорт отрицательно сказывается на самочувствии и работоспособности людей. Результаты экспериментальных работ позволяют оценить воздействие шума на слуховую деятельность, двигательный аппарат, центральную нервную, сердечно-сосудистую и другие системы организма человека [4,5]. По вине шума

промышленность ежегодно теряет 5% трудовых ресурсов. При увеличении производственного шума на 10 дБ на 10-15% снижается работоспособность и на 25% увеличиваются общие затраты на одного рабочего в год. Статистика показывает, что за последние двадцать лет средняя громкость шума на производстве и в быту выросла примерно в два раза. Внедрение в промышленность новых технологических процессов, оборудования приводят к тому, что человек на производстве постоянно подвергается воздействию шума все более высокой интенсивности. Так, на рабочих местах в добывающих отраслях доля рабочих мест с превышением предельно допустимых уровней (ПДУ) по шуму составляет 46%. Основная часть электрических машин (генераторы, электродвигатели, турбины), компрессорные установки, многие станки и ручные механизированные инструменты не отвечают гигиеническим нормативам. При их работе уровни звукового давления шума превышают ПДУ на 20 – 30 дБ. На энергетических предприятиях (ТЭС) наибольший шум создается оборудованием котельно-турбинных цехов, в топливно-транспортных цехах – до 95 – 97 дБА, в помещениях закрытых распределительных устройств – до 97 дБА.

У работников при десятилетней продолжительности воздействия шума риск потери слуха составляет 10% при уровне 90 дБА, 29% – при 100 дБА, 55% – при 110 дБА. Шум оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека, вызывает серьезные заболевания, приводит к потере трудоспособности [5,6,7,8]. Максимально травмирующий эффект на нервную систему оказывает высокочастотный шум, приводя при долгой экспозиции к тугоухости, прежде всего к потере слуха на частотах выше 4 кГц. При длительном воздействии шумов с большим уровнем громкости (более 100 фон) развивается функциональное расстройство центральной нервной системы: раздражительность, бессонница, быстрая утомляемость, рассеянность, могут наблюдаться нарушения регуляции сердечно-сосудистой системы. В литературе [4] отмечается, что вредное действие шума распространяется не только на людей с нормальным слухом, но и на глухонемых.

Установлено, что шум подавляет иммунологические свойства организма, что приводит к частым заболеваниям. При высокочастотном шуме с звуковым давлением 87 дБ наблюдается некомпенсированный распад макроэргических фосфорных соединений. Так, звук с частотами 125 Гц и 4000 Гц и уровнем звукового давления 80 дБ снижал содержание пировиноградной кислоты, а в головном мозге повышалось содержание органического фосфора. В экспериментах наблюдалось изменение состава крови под влиянием звука с уровнями звукового давления от 90 до 100 дБ. Интересно отметить, что происходит снижение лейкоцитов в крови у людей, подвергавшихся действию звука с уровнем звукового давления до 80 дБ даже во время сна. Вследствие нарушения нормального кровообращения в височной области создаются неблагоприятные условия для функционирования звукового анализатора, что приводит сначала к временным, а затем, в более поздние сроки, к необратимым нарушениям и, как следствие, – к снижению слуха. Степень и скорость развития изменений зависят от количества звуковой энергии, воспринимаемой анализатором, что соответствует измеряемой дозе шума.

Шум повышенной интенсивности снижает производительность труда, одновременно значительно ухудшая его качество. В литературе отмечается, что продолжительность жизни в результате шумового воздействия сокращается на 8 – 10 лет, а эффективность отдыха снижается почти вдвое [9]. Профессиональная тугоухость развивается обычно после длительного периода работы в условиях шума.

Сроки ее возникновения зависят от интенсивности шума, длительности его воздействия и индивидуальной чувствительности органа слуха человека к шуму.

Результаты проведенных обследований показали, что тугоухость в последние годы выходит на ведущее место в структуре профессиональных заболеваний и не имеет тенденции к снижению. По данным Всемирной Организации Здравоохранения профессиональная тугоухость занимает 1-е место среди профессиональных болезней и встречается у 10-15% рабочих, занятых в промышленности. Это заболевание начинает быстро развиваться при стаже работы около 3-х лет и у 14-17% работающих классифицируется как «значительное снижение слуха» [4,6].

Среди величин, характеризующих воздействие шума на организм человека, различают: а) уровень громкости шума; б) воспринимаемый уровень шума; в) опасность повреждения органа слуха в результате воздействия шума; г) степень слухового раздражения и помехи деятельности человека (например, речевому общению, работе, отдыху или сну), вызываемые шумом. Система профилактики неблагоприятного действия интенсивных акустических колебаний на состояние здоровья работников должна представлять собой комплекс организационно-технических, санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий [6,10]. Организационно-технические мероприятия включают в себя снижение уровней шума в источнике образования, борьбу с шумом по пути его распространения (с помощью средств коллективной и индивидуальной защиты), регламентацию рабочего времени и являются той основой, на которой строятся все последующие мероприятия. Необходимо, однако, отметить, что снизить уровни шума работающих механизмов практически невозможно. Поэтому использование средств коллективной и индивидуальной защиты наряду с регламентацией рабочего времени, является наиболее эффективным способом борьбы с шумом [11,12,13,14].

Основные направления шумозащиты включают:

- снижение шума в источнике;
- замену шумных источников и технологий на малошумные;
- снижение шума по пути распространения от источника до защищаемого от шума объекта.

Все многообразные средства защиты от шума можно разделить на две большие группы: пассивные и активные. К *пассивным* средствам относятся те, в которых не используется дополнительный источник энергии. В *активных* средствах задействован дополнительный источник энергии, а принцип такой защиты от шума называется активной шумозащитой. Активная шумозащита основана на хорошо известном явлении наложения звуковых волн с одинаковой частотой и амплитудой A в противофазе (рис. 1).

Это явление *интерференции* приводит к ослаблению амплитуды результирующей волны.

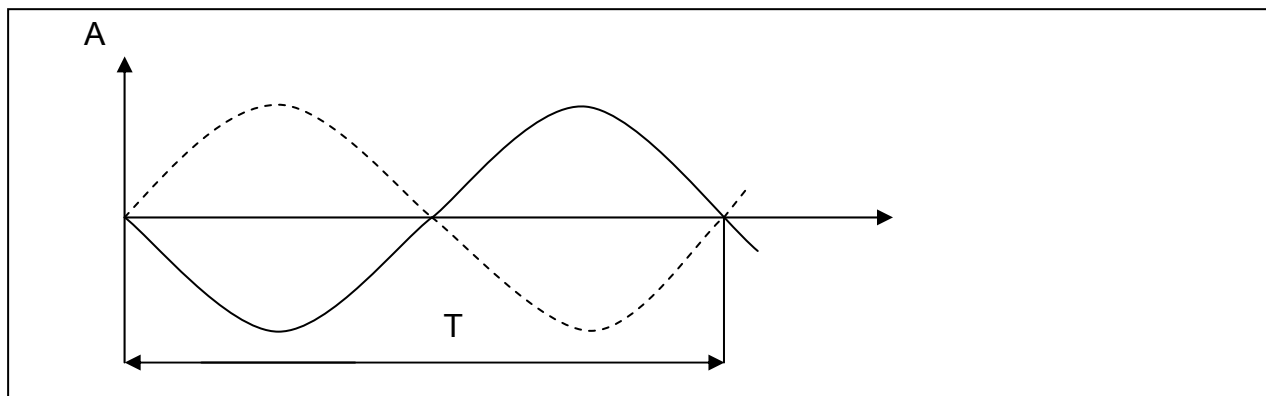


Рис. 1 - Схема наложения звуковых волн в противофазе

При наложении звуковых волн от первичного и вторичного источников в пространстве наблюдается зона снижения шума. В последние годы устройства активной шумозащиты начали выпускаться серийно и нашли широкое применение для снижения шума ряда транспортных средств (самолетов, автомобилей), систем вентиляции, различных агрегатов. Анализ данных показывает, что активная шумозащита особенно эффективна на низких и средних частотах (до 500 Гц), где уровень звукового давления на отдельных частотах снижается на 10 – 15 дБ. Высокая эффективность на низких частотах – большое преимущество активных методов шумозащиты, поскольку именно на этих частотах звукоизоляция, звукопоглощение и другие методы сравнительно малорезультативны. В то же время большой недостаток активной шумозащиты – малая эффективность на высоких частотах. Кроме того, она сложна в эксплуатации и достаточно дорога.

Нами была исследована одна из систем активного шумоглушения. Блочная схема активного шумоглушения представлена на рис. 2. Она включает в себя два динамических излучателя типа ТДС-4, находящихся напротив друг друга, источника сигналов ВЕГА, с помощью которого подавался сигнал на один излучатель, фазоинвертора, изменяющего фазу сигнала второго излучателя на 180° , контрольного микрофона шумомера, которым фиксировались уровни звуковых давлений в точке измерения. Для исследований были выбраны микрофоны одной серии, наиболее подходящие по своим характеристикам.

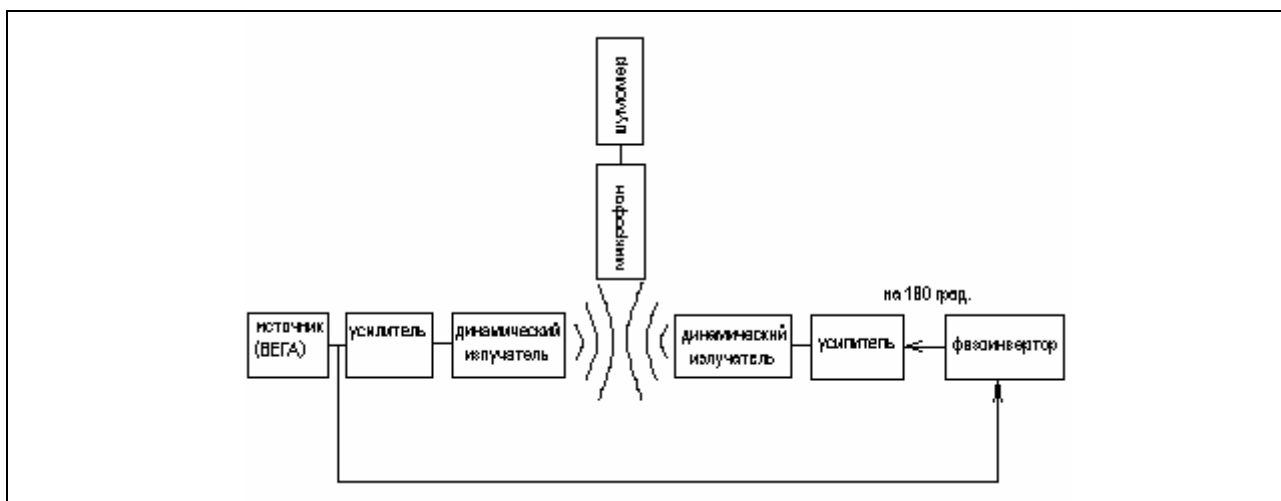


Рис. 2 - Блочная схема активного шумоглушения

Микрофоны использовались для определения амплитудных и фазовых характеристик динамических излучателей, среди которых излучатель в танковом шлемофоне (ТШ-3), ТДС-4, ТДС-13, ТДС-5, излучатели фирмы «Филипс». Калибровка микрофонов проводилась в открытом поле, в котором микрофоны находились в 20 см от акустической системы. Исследования с динамическими излучателями проводились на манекене головы «АЛИСА». Для обработки сигналов использовалась звуковая карта Genius Sound Maker 32 на компьютере с процессором Duron 1600. Из всех рассматриваемых микрофонов был выбран микрофон, амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) которого наиболее близка к АЧХ образцового шумомера 2203 фирмы Брюль и Кьер. Обработка сигналов производилась с помощью программы Sound Forge 6.0. Были проведены также исследования по определению амплитудных и фазовых характеристик всех динамических излучателей.

Значение фазы были получены с помощью осциллографа по времени опережения или отставания сигнала Δt и по формуле $\Phi = \Delta t \cdot f \cdot 360$, где Φ - фаза, Δt - время отставания или опережения сигнала, f - частота. Результаты определения фазовых и амплитудных характеристик всех излучателей позволили выбрать лучший излучатель ТДС-4, характеристики которого представлены на рис. 3, 4.

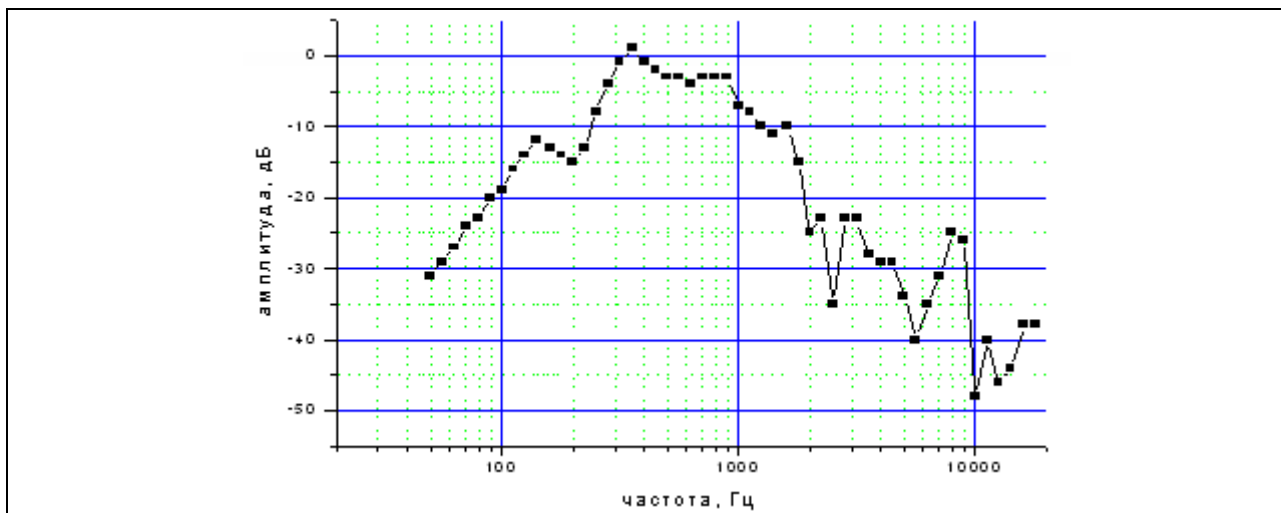


Рис. 3 - График изменения амплитуды сигнала для динамического излучателя ТДС-4 с бумажным диффузором

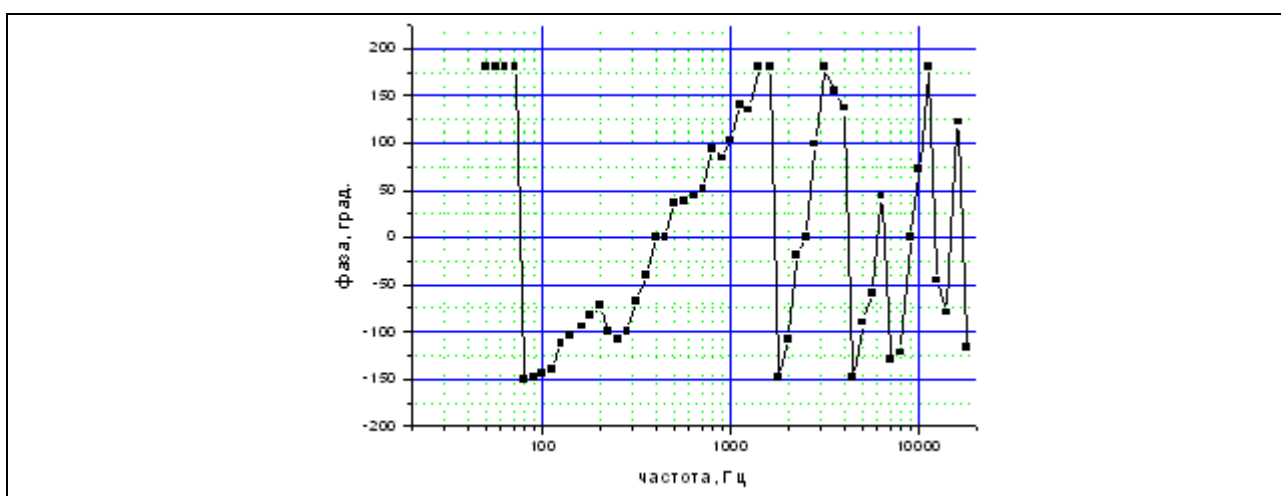


Рис. 4 - График изменения фазы сигнала для динамического излучателя ТДС-4 с бумажным диффузором

По полученным амплитудно-фазовым характеристикам излучателя ТДС-4 с бумажным диффузором был сделан вывод, что снизить интенсивность звука путем наложения фаз можно в области частот от 200 Гц до 900 Гц на 6 дБ, т.к. эта область не выходит за пределы 180 градусов. Экспериментальные исследования по снижению интенсивности звука в диапазоне частот 200 ÷ 900 Гц показали правильность этих выводов.

Шум, генерируемый узлами, агрегатами, двигателями, не только мешает, но и несет полезную информацию. Зачастую по шуму работающего устройства можно судить о его техническом состоянии и режиме его работы. Как известно, орган слуха человека, представленный анализаторами левого и правого уха, не способен принимать разную информацию, одновременно подаваемую на оба уха. В данном случае мозг способен анализировать лишь сигналы, подаваемые через один анализатор. Выбор важности информации определяется опытом человека, приоритетом информации и зависит от работы, которую он выполняет. Этим же определяется и характер переключения внимания с одной информации на другую.

Танковый шлемофон ТШ-3 (ТШ-4) используется для защиты органов слуха человека, работающего в условиях высоких акустических нагрузок в объектах специального назначения и для связи с членами экипажа или другими абонентами. Известно, что танковое переговорное устройство с отдельным включением телефонов, позволяет командиру танка, самоходной гаубицы, ракетной пусковой установки быстро переключаться с радиосвязи на внутреннюю телефонную связь и наоборот, не изменяя своего места в боевой машине. В практической работе при эксплуатации аппаратуры и приборов боевого отделения, в том числе аппаратуры связи (получения команд и распоряжений от командования, передача команд боевому расчету) командир – оператор и члены его расчета обязаны контролировать работу и техническое состояние устройств и аппаратуры в рабочем режиме. При выполнении своих обязанностей они используют шлемофоны ТШ-3 (ТШ-4), которые изолируя их от высоких уровней шумов (до 130 дБ), создаваемого техническими устройствами, не позволяют получать акустическую информацию о характере работы систем машины.

Нами была проведена необходимая доработка шлемофона ТШ-3 (ТШ-4), позволяющая получать полную акустическую информацию о работе устройств, о режимах эксплуатации и возможных отклонениях от нормы. На разработку получен патент на полезную модель [15]. Доработанный шлемофон, включает в себя шлемофон с гарнитурой высокой шумозащиты ГШВ-Т-13 с левым электромагнитным телефоном ТК67-УТ в акустической заглушке, с правым шумозащитным наушником и двумя электромагнитными ларингофонами ЛЭМ-3 (см. рис.5). В шлемофоне удалены правый телефон ТК-67-УТ и акустическая заглушка гарнитуры ГШВ-Т-13 и установлен шумозащитный наушник. Наушник закрепляется к шлемофону с помощью узла крепления, позволяющий при необходимости отводить наушник на 25 – 30 мм от ушной раковины. Это дает возможность получить полную акустическую информацию о работе внешних устройств, о режимах эксплуатации и возможных отклонениях. В исходном положении наушник прижат к ушной раковине, сверху закрывается клапаном из материала шлемофона. В этом положении наушник плотно облегает околоушную раковину, а шлемофон закрывает большую часть головы и защищает от шума, от ушибов, холода. Звукопоглощающим материалом шумозащитного наушника является пенополиуретан толщиной 10 мм. Уплотнительный протектор выполнен из мелкопористого полиуретана, обернутого в тонкую эластичную пленку.

Кроме названных функций в доработанном шлемофоне можно работать с аппаратурой радиосвязи и внутриобъектовыми переговорными устройствами через ларингофоны ЛЭМ-3 и левый телефон ТК-67-УТ. Произведенная доработка не ухудшает технических характеристик шлемофона при работе с аппаратурой связи, так как телефон левого наушника вполне обеспечивает прием сигналов, а электрическая цепь ларингофонов ЛЭМ-3 остается без изменений (см. рис. 6).

На рис. 5 представлен общий вид шумозащитного наушника, вмонтированного вместо правой гарнитуры шлемофона и находящегося в исходном положении. На рис. 5 обозначено: 1 – шлемофон, 2 – клапан, 3 – узел крепления, 4 – амортизирующая прокладка, 5 – шумозащитный наушник, 6 – шумопоглощающий материал, 7 – отверстие, а так же представлен шумозащитный наушник, отодвинутый на 25 – 30 мм от ушной раковины.

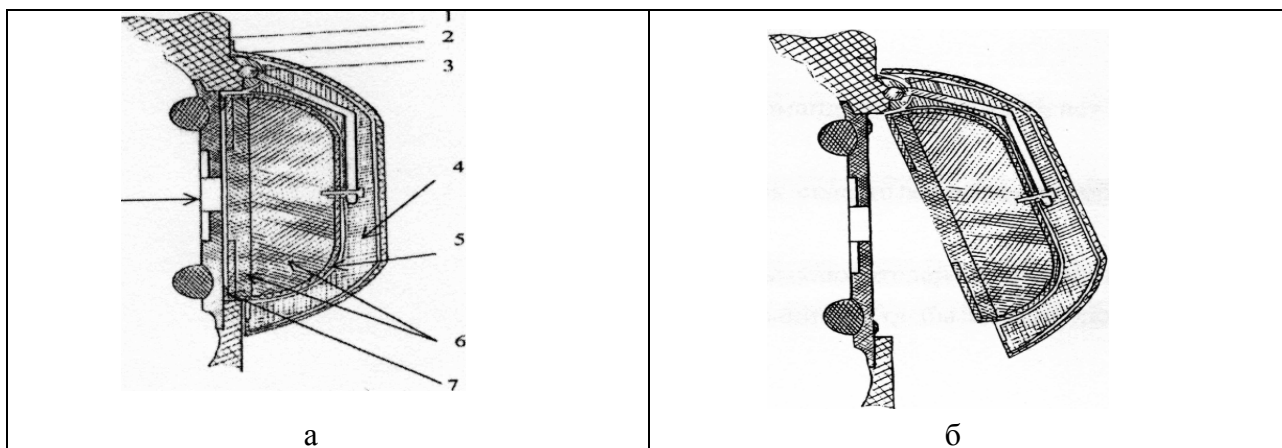


Рис. 5 - Общий вид шумозащитного наушника: а) - шумозащитный наушник в исходном положении; б) – шумозащитный наушник, отодвинутый на 25-30 мм от ушной раковины

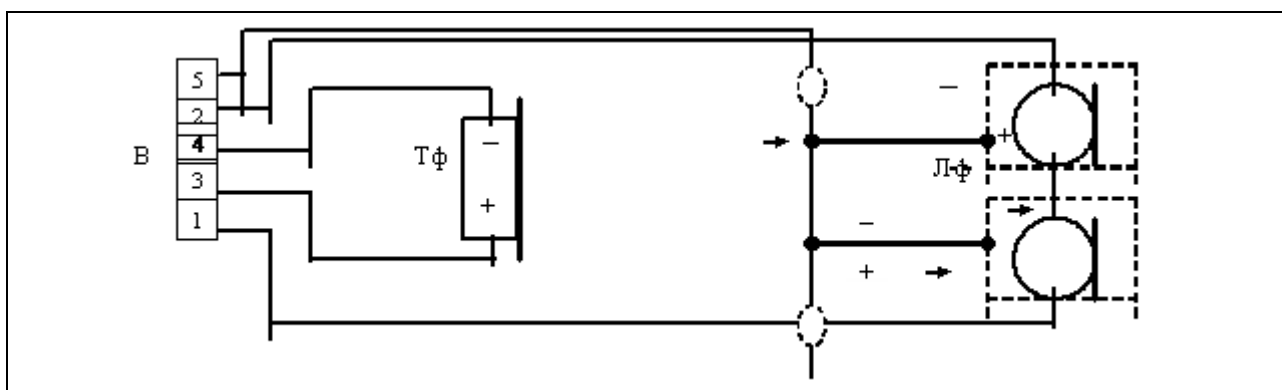


Рис. 6 - Схема электрическая соединений приборов доработанного шлемофона (Тф – телефоны ТК-67-УТ, Лф – ларингофоны ЛЭМ-3, В – вилка 5-ти контактная)

Модернизированную систему шлемофона можно применять успешно и на шумном производстве, однако свобода перемещения по территории цеха будет ограничена. Другим недостатком предлагаемой системы является относительная незащищённость от шума одного из слуховых анализаторов человека, даже в случае непостоянного, а периодического прослушивания полезной информации.

Для защиты слуха человека от вредного воздействия производственного шума, включая шумы, создаваемые испытательными стендами при проверке режимов работы авиационных двигателей, ракетных двигателей, двигателей наземного транспорта, механических, гидравлических, электрических и других систем, и одновременного сохранения непрерывного слухового контроля за техническим состоянием работающих

систем нами предложена новая достаточно универсальная слуховая система. Она позволяет избирательно в необходимом частотном диапазоне изменять интенсивность воздействия акустических пульсаций на слуховые анализаторы человека, защищая последние от повреждения. При этом информационная часть речевых сообщений между абонентами сохраняется без искажений. Необходимо заметить, что необходимые амплитудно-частотные и фазовые преобразования способны сохранить и ту полезную информацию о техническом состоянии работающей системы, которая из-за высокой интенсивности шума в определённом диапазоне частот может оказывать маскирующее действие на речевую информацию. Сохраняется и полезная информация о техническом состоянии объекта и речевая информация абонентов. Преимуществом системы является беспроводная акустическая связь между абонентами в условиях интенсивного шумового загрязнения. Общий вид системы показан на рис.7.

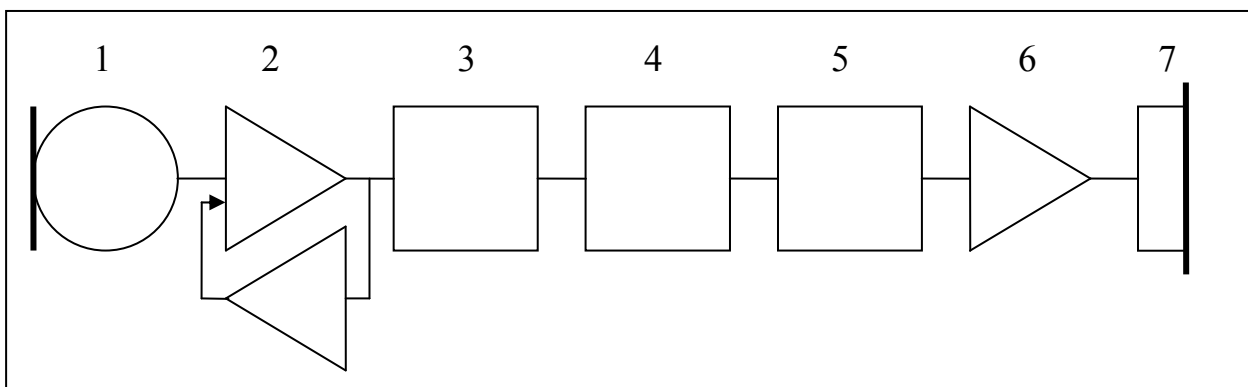


Рис. 7 - Блочная схема акустической системы: 1 - микрофон; 2 -предварительный усилитель; 3 - АЦП; 4 - спецпроцессор (ПЭВМ); 5 - ЦАП; 6 -выходной усилитель; 7 - микрофон

Устройство планируется закрепить на дужку головных наушников, а также вмонтировать в защитную каску. Настройка системы под соответствующую акустическую обстановку окружающей производственной среды проводится на месте с панели управления. Для цеховых условий это устройство наиболее приемлемо. Система защищена патентом РФ на изобретение [16].

Литература

1. *Алексеев, С.В.* Производственный шум / С.В. Алексеев [и др.]. - Л.: Медицина, 1991. - 136 с.
2. *Калайда, М.Л.* Мониторинг шума на производственных объектах как мероприятие по охране здоровья и окружающей среды / М.Л. Калайда, А.Л.Муганцев // Труды V Межд. симпозиума «Ресурсоэффективность и энергосбережение». - Казань: Изд-во КГУ, 2005. - С.617- 624.
3. *Freeman, C.W.* Industrial Gas Turbine Noise Control / C.W. Freeman // J. Inst. Fuel.- 1973.- Vol. 46, № 383. - P. 87-91.
4. Романов С.Н. Биологическое действие механических колебаний.- Л.: Наука, 1983.- 208 с.
5. *Кочергин, А.В.* Воздействие шума на организм человека / А.В. Кочергин [и др.]// Вестник Татарстанского отделения Российской экологической академии. – 2005. – №1. – С.73-84.
6. ГОСТ 12.1.003-83 Шум. Общие требования безопасности.- М.: Изд-во стандартов, 1983.- 19 с.
7. Тупов, В.Б. Охрана окружающей среды от шума в энергетике / В.Б. Тупов. - М.: МЭИ, 1999. - 191 с.

8. *Van Kempen, E.* The Association between Noise Exposure and Blood Pressure and Ishemic Heart Disease: A Meta-Analysis / E. Van Kempen, H.H. Kruise, H.C.Boshuisen // *Environmental Health Perspectives.* - 2002. - Vol.110. - №3. - P.307-317.
9. *Кочергин, А.В.* Воздействие физических антропогенных факторов на организм человека / А.В. Кочергин, С.Ю. Гармонов. – Казань: Отечество, 2005. – 115 с.
10. Борьба с шумом на производстве: Справочник / Под общей ред. Е.Я. Юдина.- М.: Машиностроение, 1985.- 400 с.
11. *Власов, Е.В.* Снижение шума сверхзвуковых турбулентных струй / Е.В. Власов, А.С.Гиневский, В.Г. Пимштейн // *Акустический журнал.* - 1964. -Т.10. - Вып.3. - С.271-275.
12. Клюкин, И.И. Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах / И.И. Клюкин. – Л.: Судостроение, 1971. – 416 с.
13. Строительные нормы и правила. Защита от шума.- М.: Стройиздат, 1978.-50 с.
14. Патент на полезную модель № 47979 от 28.04.05. Звукоизолирующий кожух / Калистратов В.А., Карпов Е.Н., Кондратьев А.Е., Кочергин А.В., Романов А.Г., Мавлеев А.И. // *Изобретения.* 2005. № 3.
15. Патент на полезную модель № 58215 РФ от 24.11.05. Шлемофон ТШ-3 (ТШ-4) с шумозащитным наушником / Романов А.Г., Кочергин А.В., Жарких А.К., Максимов В.В., Мавлеев А.И // *Изобретения.* 2005. № 4.
16. Патент № 2159099 РФ от 20.11.2000. Слуховой аппарат для тугоухих и глухих с остатками нейросенсорной чувствительности / Кочергин А.В., Накоряков П.В., Колигаев О.А. // *Изобретения.* 2000. № 6.

© **К. А. Кочергина** – асс. каф. промышленной и экологической безопасности КГТУ им. А.Н. Туполева; **С. Ю. Гармонов** – д-р хим. наук, проф. кафедры аналитической химии, сертификации и менеджмента качества КГТУ, serggar@mail.ru; **А. И. Мавлеев** - канд. техн. наук, препод. каф. конструкции, проектирования и эксплуатации артиллерийских орудий и боеприпасов КВВКУ; **А. В. Кочергин** - д-р техн. наук, проф. той же кафедры.