

технологического назначения / В.И. Водотовка, Ф.М. Репа // Микроволновые технологии в народном хозяйстве: Внедрение Проблемы. Перспективы. (Промышленность, АПК, Медицина). – Выпуск 4. – Киев-Одесса: из-во МАИ, 2002. – С.142– 152.

2. Водотовка В.И. Структурная модель радиотехнической СВЧ системы для технологической обработки материалов, веществ и продуктов питания / В.И. Водотовка, Ф.М. Репа // Вестник КПИ. Серия Радиотехника. – 1998. – № 32. – С. 107– 111.

3. Андрушко Л.М. Электронные и квантовые приборы СВЧ / Л.М. Андрушко, Н.Д. Федоров. – М.: Радио и связь, – 1981. – 207 с.

4. Вамберский М.В. Передающие устройства СВЧ / М.В. Вамберский, Л.И. Казанцев, С.А. Шелухин / Под ред. Вамберского М.В. – М.: Высшая школа, – 1984. – 448 с.

5. Справочник по теории автоматического управления / Под. ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.

6. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем / Н.Н. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1978. – 510 с.

7. Сапунов Г.С. Ремонт микроволновых печей / Г.С. Сапунов. – М.: СОЛОН, 1998. – 268 с.

Надійшла 18.4.2011 р.

УДК 615.47: 534.6

М.В. БАЧИНСЬКИЙ, І.Ю. ДЕДІВ, В.Г. ДОЗОРСЬКИЙ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ВІДБОРУ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ЗАДАЧ МЕДИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ СИСТЕМ ДИХАННЯ ТА ГОЛОСОТВОРЕННЯ

Розглянуто питання обґрунтування структури системи відбору акустичних сигналів для задач медичної діагностики систем дихання та голосотворення. Враховуючи значну різноманітність типів мікрофонів, що є перетворювачами акустичних сигналів в електричні та параметрів АЦП звукових карток персональних комп'ютерів, з допомогою яких проводиться запис та наступне опрацювання сигналів, виявлено необхідність обґрунтування структури системи відбору та параметрів її складових елементів з метою забезпечення однорідності статистичного матеріалу, що ним є відібрані сигнали. На основі аналізу характеристик інформативних ознак акустичних сигналів проведено обґрунтування структури системи для їх відбору та уточнено параметри її складових елементів.

The question of ground of structure of the system for selection the acoustic signals is considered for the tasks of medical diagnostics of the breathing and vocal organs. Taking into account the considerable variety of types of microphones, which are the transformers of acoustic signals in electrical and parameters of ADC of sound cards of the personal computers, found out the necessity of ground of structure of the system for the selection and parameters of its component elements with the purpose of homogenisation of statistical material, that the selected signals are them. On the basis of analysis of descriptions of informing signs of acoustic signals the ground of structure of the system is conducted for their selection and the parameters of its component elements are specified.

Ключові слова: медична діагностика, акустичний сигнал, система відбору.

Вступ

На сьогодні спостерігається тенденція до зростання числа людей із захворюваннями органів систем дихання та голосотворення, які є анатомічно близькими і функціонально пов'язаними [1, 2]. Тому важливим завданням сучасної медицини є діагностика патологічних змін в органах цих систем на ранніх етапах їх виникнення та розвитку. В працях [3, 4] розглянуто питання діагностування за відповідними акустичними сигналами, які у випадку системи дихання є дихальними шумами а у випадку системи голосотворення – фрикативними звуками, що формуються на основі потоку видихуваного повітря, який є дихальним шумом.

Якість, інформативність сигналу, опрацювання якого проводиться з метою відшукування характеристик, що є індикаторами функціональних порушень в роботі органів систем дихання та голосотворення, залежить від системи відбору, тому важливою технічною задачею є обґрунтування структури такої системи та параметрів її складових елементів з метою забезпечення однорідності статистичного матеріалу, що ним є відібрані акустичні сигнали.

В медичній практиці для задачі діагностики систем дихання та голосотворення лікарі використовують зовнішній огляд, ендоскопічні методи обстеження, рентгеноскопичні методи, біопсії, проводять спірографії, бронхографії, фібробронхоскопії тощо [1, 2]. У випадку застосування комп'ютерного опрацювання сигналів з метою автоматизації процесу діагностування, необхідно попередньо проводити їх запис та оцифрування. Оскільки розглянуті в роботі сигнали мають акустичну природу, відбір їх проводиться з допомогою мікрофона, з наступним оцифруванням АЦП звукової картки. Враховуючи значну різноманітність типів мікрофонів, їх конструктивного виконання, широкий діапазон можливих значень частоти дискретизації та розрядності АЦП звукової картки тощо, актуальною технічною задачею є обґрунтування параметрів засобів відбору сигналів для можливості застосування результатів їх подальшого

опрацювання для задач медичної діагностики.

Формулювання задачі

Враховуючи вище сказане та на основі аналізу характеристик інформативних ознак сигналів, що є індикаторами функціонального стану органів систем дихання та голосотворення і були розглянуті в працях [3, 4], можна провести обґрунтування структури системи для відбору сигналів та уточнення параметрів її складових елементів.

Структура системи відбору акустичних сигналів

Система відбору повинна включати в себе вимірювальний перетворювач, що ним у випадку відбору акустичних сигналів є мікрофон, реєструючий пристрій, засоби опрацювання зареєстрованих сигналів та візуалізації результатів. Застосувавши комп'ютер для реєстрації та опрацювання сигналів структура системи відбору матиме вигляд, зображений на рис. 1.

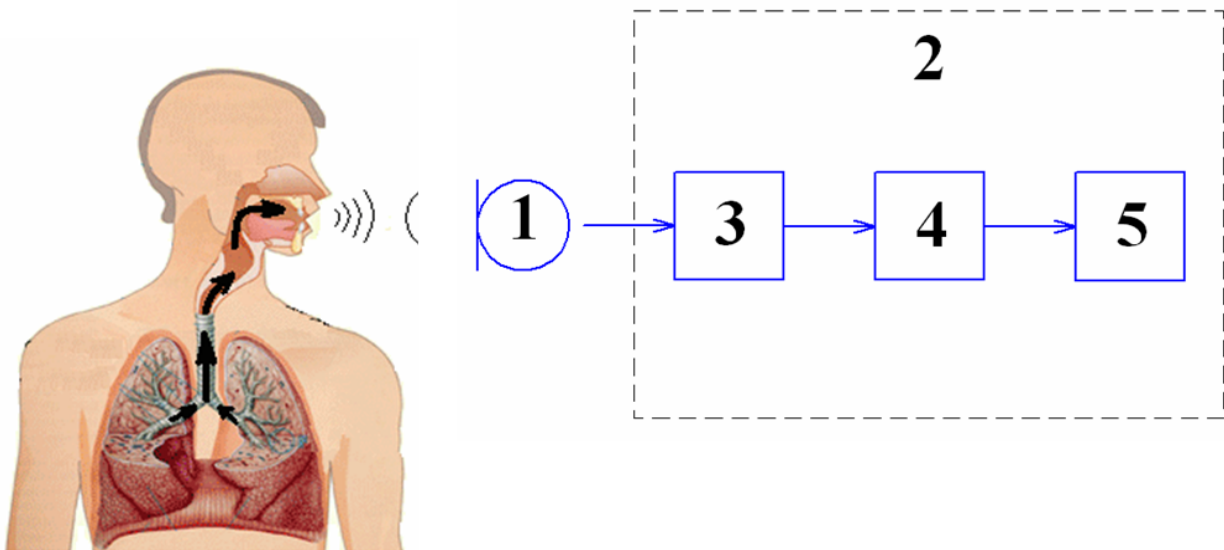


Рис. 1. Структура системи відбору акустичних сигналів: 1 – мікрофон; 2 – персональний комп'ютер; 3 – звукова картка; 4 – програмні засоби опрацювання сигналу; 5 – візуалізація результатів

Відповідно до рис. 1, акустичний сигнал від пацієнта перетворюється мікрофоном 1 в електричний та подається на вхід звукової картки 3 комп'ютера 2. Записаний сигнал опрацьовується програмними засобами 4, результати відображаються на екрані монітора.

Важливим є питання вибору мікрофона. Від його характеристик будуть в значній степені залежати результати подальшого опрацювання сигналів.

Обґрунтування вибору типу мікрофона

На рис. 2 наведено класифікацію типів мікрофонів відповідно до способу перетворення акустичних сигналів [5, 6].

До основних характеристик і параметрів мікрофонів, що визначають їх якість та область застосування, відносяться наступні [6]: характеристика просторової направленості, чутливість, динамічний діапазон, робочий частотний діапазон, частотна характеристика тощо.

Важливим показником при виборі мікрофону є характеристика його просторової направленості. За її виглядом мікрофони поділяють на три основні типи: ненаправлені, двосторонньо і односторонньо направлені. Для відбору акустичних сигналів для діагностики системи дихання та голосотворення необхідно використати ненаправлений або односторонньо направлений мікрофон. Таким чином вдасться зменшити негативний вплив зовнішніх акустичних завад (шумів).

Поряд з діаграмою направленості, іншою не менш важливою характеристикою мікрофону є його частотна характеристика. Принциповою вимогою до частотної характеристики є її рівномірність. Враховуючи найбільше розповсюдження мікрофонів електродинамічного та електростатичного типу на рис. 3 для прикладу представлені частотні характеристики електродинамічного мікрофона МД-78 та

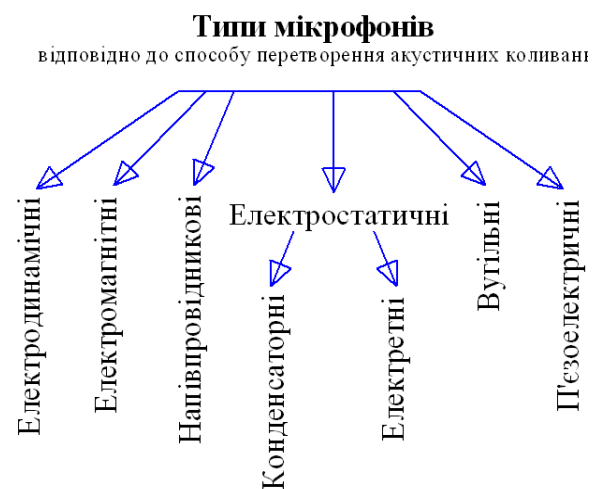


Рис. 2. Класифікація мікрофонів відповідно до способу перетворення акустичних сигналів

конденсаторного мікрофона МКЭ-2, взяті з їх паспортів. Вигляд їх є типовим для мікрофонів цих класів.

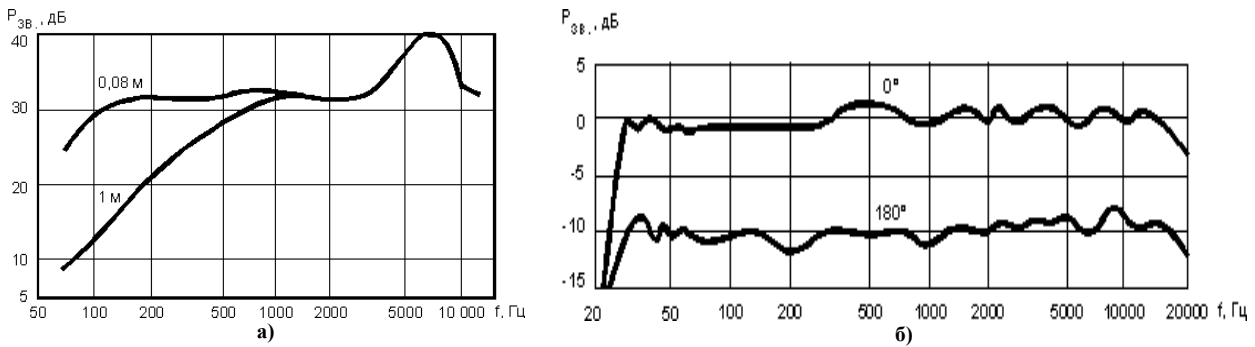


Рис. 3. Частотні характеристики мікрофонів МД-78 (а) та МКЭ-2 (б)

По осі абсцис відкладено значення частоти в герцах, а по осі ординат – чутливість мікрофону в логарифмічних одиницях. На рис. 3.3, б показана залежність чутливості мікрофону МКЭ-2 від частоти для фронтального (0°) і протилежного йому тильного (180°) напрямів. Порівнюючи рис. 3 а) та б), можна зробити висновок про те, що частотна характеристика конденсаторного мікрофону істотно рівномірніша за аналогічну характеристику мікрофону електродинамічного типу.

Оскільки мікрофон буде застосовуватись для запису фрикативних звуків та дихальних шумів, частотна характеристика мікрофона повинна охоплювати частотний діапазон сигналу та бути на ньому максимально лінійною.

Аналізуючи частотний діапазон ряду електродинамічних мікрофонів [6], встановлено, що він становить в середньому 60-12 кГц, тоді як у випадку фрикативних звуків важливим є діапазон низьких частот 40-200 Гц, де розміщуються перші форманти, що є максимумами в амплітудних спектрах, а у випадку фрикативних свистячих звуків – частоти до 8 кГц [7]. Крім того виявлено, що в області низьких частот мікрофони мають значний спад частотної характеристики, що призводить до зниження амплітуди першої форманти. Для прикладу, на рис. 4 наведено вигляд амплітудного спектру фрикативного звуку [л] чоловічого голосу.

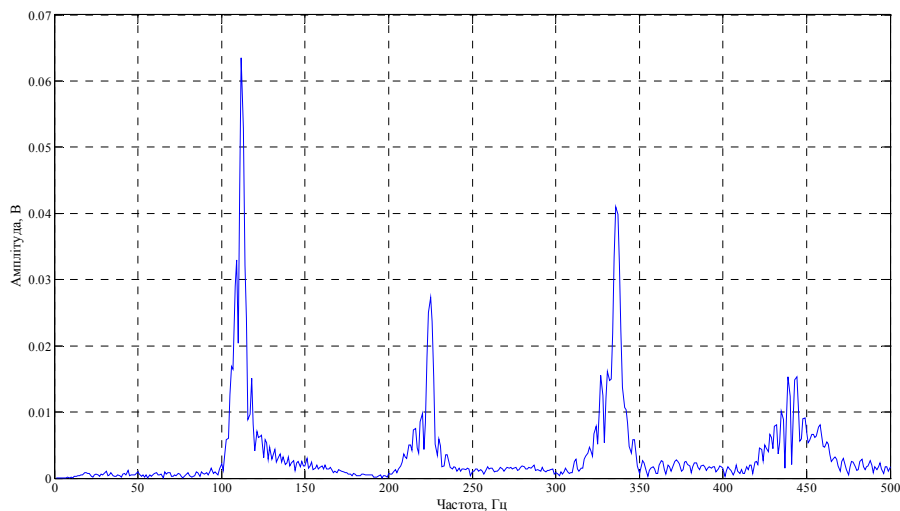


Рис. 4. Амплітудний спектр фрикативного звуку [л]

У випадку застосування для відбору фрикативних звуків [л] чоловічого голосу мікрофонів електродинамічного типу, амплітуда першої форманти була б значно меншою за зображену на рис. 4 через значну нерівномірність частотної характеристики мікрофона в цьому діапазоні частот і зрівнювалась би з амплітудою другої форманти. У випадку застосування мікрофонів електростатичного типу співвідношення між амплітудами формант здерглось би таким, як це зображено на рис. 4.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок про необхідність застосування для відбору сигналів мікрофонів електростатичного типу, ненаправлених або односторонньо направлених, частотна характеристика яких охоплює діапазон від 40 Гц до 8 кГц і є в ньому максимально рівномірною.

Сигнал з мікрофона подається на вхід звукової карти, де проходить попереднє опрацювання та оцифрування сигналу. Проведемо обґрунтування основних параметрів АЦП звукової картки.

Обґрунтування вибору параметрів АЦП звукової картки.

Основними параметрами АЦП звукових карток є розрядність та частота дискретизації вхідного сигналу.

Від розрядності залежить динамічний діапазон пристрою. Він виражається залежністю (1).

$$D = 20 \lg(N) \quad (1)$$

де N – число рівнів квантування, що залежить від розрядності пристрою.

Так, для восьмизрядного АЦП звукової карти $N=256$, $D=48$ дБ, для шістнадцятизрядного АЦП $N=65536$, $D=96$ дБ. АЦП з більшою розрядністю (18 та 20) використовуються в професійних звукових картках для комплексної обробки звуку, монтажу, конвертування тощо.

Від числа рівнів квантування, а відповідно і розрядності залежить похибка квантування (шум квантування). Для нормованого сигналу відносна величина максимальної похибки квантування рівна $1/N$. Цією ж величиною, представленою в логарифмічних одиницях (децибелах), оцінюється рівень шумів квантування АЦП звукової картки, що визначається за виразом (2).

$$D_{\text{шумів}} = 20 \lg(1/N) \quad (2)$$

Для трьохзрядного АЦП $N=8$, і $D_{\text{шумів}} = -18$ дБ; для восьмизрядного – $N=256$, $D_{\text{шумів}} = -48$ дБ; для шістнадцятизрядного – $N=65536$, $D_{\text{шумів}} = -96$ дБ; для вісімнадцятизрядного АЦП $N=262144$, $D_{\text{шумів}} = -108$ дБ; і для двадцятизрядного АЦП $N=1648576$, $D_{\text{шумів}} = -120$ дБ. Ці цифри наочно демонструють, що із зростанням розрядності АЦП шум квантування зменшується. Прийнятним вважається 16-розрядне представлення сигналу, що є на сьогодні стандартним для відтворення звуку, записаного в цифровій формі. З погляду зниження рівня шумів квантування подальше збільшення розрядності АЦП не є доцільним, оскільки рівень шумів, що виникають з інших причин (теплові шуми, а також імпульсні перешкоди, що генеруються елементами схем комп'ютера і розповсюджуються або по колах живлення, або у вигляді електромагнітних хвиль), все одно виявляється значно вищим, ніж -96 дБ.

Вибір частоти дискретизації сигналу проводиться на основі теореми про відліки та технічних характеристик мікрофона. Для прикладу, згаданий вище конденсаторний мікрофон МКЭ-2 згідно з паспортними даними працює в діапазоні частот до 16 кГц, його частотна характеристика є максимально рівномірною в діапазоні від 30 Гц до 12 кГц, тобто охоплює діапазон 40-8000 Гц. Відповідно, частота дискретизації повинна становити не менше 16 кГц.

Висновки

На основі розробленої структури системи відбору акустичних сигналів встановлено, що відбір необхідно проводити з допомогою мікрофонів електростатичного типу, ненаправлених або односторонньо направлених, частотна характеристика яких охоплює діапазон 40-8000 Гц і є в ньому максимально рівномірною, з наступним оцифруванням їх звуковою картою з частотою дискретизації, що визначається технічними характеристиками конкретно вибраного мікрофону, та розрядністю, рівною 16, що є оптимальним як з точки зору збереження інформативної структури сигналів так і з точки зору зменшення похибок, що можуть виникати під час відбору. Одержані результати можуть бути використані при побудові автоматизованих комп'ютерних діагностичних систем

Література

1. Бабияк В.И. Клиническая оториноларингология: руководство для врачей / В.И. Бабияк, Я.А. Накатис. – СПб.: Гиппократ, 2005. – 800 с.
2. Справочник по физиологии болезней уха, горла и носа / [авт. кол.: Цыганов А.И., Мартынюк Л.А., Колотилов Н.Н. и др.]. – К.: Здоров'я, 1981. – 208 с.
3. Дозорський В. Обґрунтування математичної моделі фрикативного звуку у вигляді періодично корельованого випадкового процесу / Я. Драган, Є. Яворська, В. Дозорський // Вісник тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2010. – Т15, № 10. – С. 159-164.
4. Дедів І. Обґрунтування математичної моделі дихальних шумів у вигляді періодично корельованого випадкового процесу / Я. Драган, І. Дедів // Науковий вісник Чернівецького університету. Вип. 426: Фізика. Електроніка. ЧНУ – Чернівці: Рута. – 2008. – Ч. II. – С. 93-97.
5. Козюренко Ю.И. Звукозапись с микрофона / Ю.И. Козюренко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1988. – 112 с.: ил. – (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1112).
6. Сидоров И.Н. Отечественные и зарубежные микрофоны и телефоны. Справочное пособие / И.Н. Сидоров. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 283 с.: ил. – (Массовая радиобиблиотека; Вып.1273).
7. Деркач М.Ф. Динамические спектры речевых сигналов / М.Ф. Деркач, Р.Я. Гумецкий, Б.М. Гура, М.Е. Чабан. – Л.: Вища школа. Изд-во при Львов. ун-те, 1983. – 168 с.

Надійшла 2.4.2011 р.