

Т.В. Королева, Т.В. Вдовина, С.Е. Иоффе. Флуоресцентная диагностика в гинекологии. В работе рассмотрены технические аспекты клинической системы флуоресцентной диагностики онкологических заболеваний в гинекологии. Количественным критерием дифференцирования диспластических изменений шейки матки предложено соотношение интенсивностей флуоресценции нормальных та патологических участков биотканей ($k = I_0/I_i$) на длине волны 545 ± 3 нм. В период 2001-2003 гг. было исследовано около 100 пациентов.	T.V. Koroleva, T.V. Vdovina, S.E. Ioffe. Fluorescence diagnosis in gynecology. Authors have considered the technical aspects of clinical diagnostic system of the oncological diseases in gynecology. To differentiate the displastic changes a quantitative criteria was proposed. Factor $k = I_0/I_i$ is a ratio of fluorescence intensities on the wavelength 545 ± 3 nm for normal and pathological tissue sites. About 100 patients were examined in 2001-2003.
---	---

*Надійшла до редакції
12 травня 2003 року*

УДК 616.28

РЕАЛІЗАЦІЯ ОСНОВНИХ НАДПОРОГОВИХ ПРОЦЕДУР В СУЧАСНИХ АУДІОМЕТРИЧНИХ ЗАСОБАХ

*Лисенко О.М., Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна*

Стаття присвячена детальному розгляду методів та засобів реалізації основних надпорогових тестів (ІМПП, Лангенбека, Фаулера тощо) в аудіометрах клінічного та діагностичного типу, що застосовуються в сучасній аудіологічній практиці при дослідженнях слуху людини, на прикладі вітчизняної моделі аудіометра АВА1.

Вступ

Як відомо, найбільш поширеними технічними засобами, що застосовуються на сьогодні в аудіологічній практиці при дослідженнях слухової функції людини на основі суб'єктивних методів, є аудіометри різного типу [1 – 6]. Оскільки одержані ними результати обстежень у вигляді залежності порогів слухової чутності від частоти, що має назву *аудіограма*, не можуть у повному обсязі охарактеризувати стан слухової функції обстежуваного, деякі типи аудіометрів, зокрема, клінічні, поліклінічні та діагностичні, надають можливість додатково оцінювати стан слухового аналізатору людини за допомогою низки надпорогових тестів, наприклад, Лангенбека, індекса малих проростів інтенсивності (ІМПП), позмінного бінаурального випробування балансу гучності (Фаулера) тощо [1, 7 - 11].

В основу згаданих вище надпорогових процедур, що реалізують метод надпорогової тональної аудіометрії, покладено дослідження співвідношення між інтенсивністю звукового стимулу та гучністю його сприйняття людиною.

Справа в тому, що для людей з нормальним станом слухової функції при коливаннях інтенсивності звуку в фізіологічних межах співвідношення між нею та гучністю сприйняття залишаються незмінними, тобто рівень підвищення гучності відповідає рівню підвищення інтенсивності. Поряд з цим у окремих людей з приглухуватістю спостерігається своєрідне явище, коли незначне підвищення інтенсивності звуку викликає непропорційне підсилення відчуття гучності. Такі люди не чують або слабо чують до того часу, поки рівень звуку не стане досить великим, після чого навіть незначне підвищення інтенсивності сприймається ними як надто голосне, досягаючи навіть порогу дискомфорту. Це явище дістало назву феномена прискореного наростання гучності (ФПНГ) [1, 7 - 11]. Його наявність значно ускладнює вирішення проблеми підбору слухових апаратів, оскільки у таких обстежуваних занадто вузькі межі між порогоми слухового відчуття та дискомфорту. Саме з метою виявлення ФПНГ в аудіологічній практиці і застосовується низка надпорогових тестів, серед яких найбільшого поширення одержали тести Фаулера, ІМПІ, Лангенбека, визначення порогів слухового дискомфорту тощо.

Методичні аспекти проведення поширених тестів надпорогової тональної аудіометрії досить в повній мірі знайшли відображення в ряді періодичних аудіологічних видань та монографій [1, 7, 9, 11].

Значно гіршим виглядає висвітлення і, насамперед, на сторінках вітчизняних видань питань щодо побудови та принципу дії технічних засобів для їх реалізації, що утворює прогалину серед засобів вимірювальної техніки медичного призначення, до яких належать аудіометри. Це обумовлено, на думку автора, відсутністю до недавнього часу проведення вітчизняних розробок у цьому напрямку медичної техніки. І лише в останні роки слід відзначити появу ряду публікацій на згадану тему, де розглядаються функціонування окремих типів аудіометрів та проблеми розвитку їх ринку в Україні [6, 12 – 14].

Враховуючи відсутність в аудіометричних трактах розглянутих в працях [12, 13] скринінгового та діагностичного ВЧ аудіометрів можливості проведення надпорогових тестів і, як наслідок, аналізу процедур вимірювальних перетворень при їх реалізації, уявляється доцільним більш детально зупинитися на розгляді цього питання. Вивчення особливостей проведення надпорогових процедур дозволить також сформулювати вимоги до параметрів як структури аудіометричного тракту, так і окремих його ланок, задіяних при реалізації методу надпорогової тональної аудіометрії з метою забезпечення елементами структури необхідної точності та швидкодії.

1. Особливості реалізації надпорогових процедур

Реалізація в аудіометричних засобах більшості із надпорогових тестів, що застосовуються в аудіологічній практиці, потребує, насамперед, забезпечення одночасного надходження на обидва вуха обстежуваного тонального та/або шумового сигналів різної інтенсивності.

Наприклад, при виконанні тесту Фаулера з метою співставлення підвищення гучності у хворому та протилежному йому здоровому вухах обстежуваного необхідно в аудіометричному тракті почергово здійснювати по ступеневе на 10 дБ збільшення інтенсивності тонального стимулу, починаючи з рівня на 10 дБ вище від порогового. Для реалізації процедури Лангенбека, що базується на встановленні рівня інтенсивності тону, при якому він може бути чутним в широкосмуговому шумі, що його маскує, необхідно сформувати на досліджуване вухо обстежуваного композиційний сигнал (тон + шум) з можливістю по ступеневому на 5 дБ регулювання рівнів інтенсивності кожного зі стимулів [1, 7, 10].

Викладене вище обумовлює необхідність створення двоканальної структури аудіометричного тракту приладу для забезпечення роздільного вибору для кожного із каналів аудіометра одного з джерел вхідного сигналу (тон, широко-смуговий або вузькосмуговий шум) та роздільного керування їх інтенсивністю.

Окрім цього, на виході обох каналів аудіометра необхідно також передбачити можливість змішування їх вихідних сигналів (тон та шум) з послідуочим надходженням суміші на одне із вух обстежуваного, як це має місце при проведенні проби Лангенбека, що потребує застосування в аудіометричному тракті вихідних кодокерованих комутаторів аналогових сигналів. При цьому повинно здійснюватися роздільне регулювання інтенсивністю кожної із складових композиційного сигналу.

З метою визначення диференціального порогу сприйняття обстежуваним звукового стимулу з інтенсивністю 20 дБ над порогом чутності необхідно в тракті аудіометра передбачити можливість короточасного (тривалістю 0,2 с) формування приростів рівня прослуховування стимулу на ступінь з ряду 0,2 - 0,4 - 0,6 - 0,8 - 1 - 2 - 3 - 5 дБ, як це має місце 1 раз на 5 с багатократно (20 разів) на фоні постійного звучання вибраного тону при реалізації тесту ІМПІ. Таку чутливість регулювання рівня інтенсивності стимулу в кожному з каналів аудіометра можуть забезпечити лише високочутливі прецизійні кодокеровані масштабні перетворювачі, побудовані без використання занадто грубих для цього блоків вагових резисторів, що застосовуються в регуляторах інтенсивності розглянутих в працях [12, 13] аудіометрів АА4 та АВА1.

Виходячи із наведеного вище, на сьогодні аудіометричний тракт вітчизняної моделі діагностичного ВЧ аудіометра АВА1 було розробниками модифіковано, в тому числі для проведення надпорогових тональних процедур, засоби реалізації яких розглянуто нижче на прикладі саме його структури (рис. 1) як типової для сучасного аудіометра.

2. Технічні засоби реалізації надпорогових тестів

Модифікована структура аудіометра містить 5 основних функціональних елементів: блок джерел вхідного сигналу, два автономних ідентичних канали 1, 2 керування його тривалістю та інтенсивністю, що забезпечується для обох ка-

налів мікрокомп'ютерним числовим вимірювальним перетворювачем (ЧВП) та блок вихідних вимірювальних перетворювачів.

В свою чергу до складу блока джерел вхідного сигналу входять кодокерований генератор Γ_{fi} синусоїдального сигналу, генератор широкосмугового ("білого") шуму $\Gamma_{ш}$, кодокерований вузькосмуговий фільтр СФ, первинний вимірювальний перетворювач ВП1 звуковий тиск – змінна напруга та два масштабних перетворювачі МП1, МП2 змінної напруги.

Основне функціональне призначення блоку – формування сигналів різного спектрального складу для проведення тональної порогової, надпорогової та мовної аудіометрії. За допомогою кодокерованого генератору Γ_{fi} , реалізованого, зокрема, на основі цифрового інтегрального синтезатору частоти типу AD9832 фірми Analog Devices, забезпечується формування синусоїдального сигналу i – i частоти із аудіометричного ряду з постійною амплітудою.

Широкосмуговий шум $U_{ш}$, що застосовується як маскувальний, синтезується схемою генератора $\Gamma_{ш}$ псевдовипадкової послідовності. При цьому забезпечується рівномірність спектру широкосмугового шуму $U_{ш}$ в частотному діапазоні від декількох Гц до 20 кГц, в якому він може розглядатися як "білий".

Формування вузькосмугового шуму $U_{NB i}$ забезпечується шляхом його "вирізання" із широкосмугового $U_{ш}$ за допомогою кодокерованого смугового фільтра СФ зі змінною центральною i – ю частотою з аудіометричного ряду та $1/3$ – октавною смугою пропускання.

Вимірювальний перетворювач ВП1 акустичного сигналу в електричний (у вигляді мікрофону) та призначений для підсилення його вихідного сигналу масштабний перетворювач МП1 формують на входах мультиплексорів МПЛ обох каналів 1, 2 аудіометра мовний сигнал $U_{мк}$, тим самим забезпечуючи зв'язок оператора з пацієнтом до або під час проведення обстеження.

Масштабний перетворювач МП2 виконує функцію узгодження виходу зовнішнього джерела мовного сигналу (наприклад, магнітофону) із входом вищезгаданих мультиплексорів МПЛ каналів 1, 2 засобу.

Обидва масштабних МП1, МП2 та вимірювальний ВП1 перетворювачі задіяні лише при реалізації методу мовної аудіометрії, тому як основні при надпорогових процедурах застосовують три вхідних сигнали: тональний U_{fi} та шумові широкосмуговий $U_{ш}$ і вузькосмуговий $U_{NB i}$.

Таким чином, на входи мультиплексорів МПЛ обох каналів 1, 2 надходять сигнали різного спектрального складу, а вибір одного з них як поточного стимулюючого забезпечується кодом керування $N_{МПЛ}$ з виходу мікрокомп'ютерного ЧВП.

Слід зазначити, що на сьогодні досить часто при створенні блоку джерел вхідного сигналу в аудіометричних засобах застосовуються також цифрові сигнальні процесори (наприклад, сімейств ADSP2100 фірми Analog Devices та TMS320 фірми Texas Instruments).

Послідуючі ключі SW та кодовані масштабні перетворювачі КМП кожного з каналів формують тривалість та рівень інтенсивності стимула у відповідності з сигналами керування, що надходять також з виходу ЧВП. В результаті цього на входах демультимплексорів ДМПЛ обох каналів формуються два тестові стимулюючі сигнали $U_{M i}$, кожен з яких в залежності від режиму обстеження може бути направлений демультимплексором ДМПЛ у напрямку одного з чотирьох випромінювачів блоку вихідних вимірювальних перетворювачів: лівого або правого навушників аудіометричного телефону ТАВ-01, кісткового НЧ ВСД10381 або ВЧ вібраторів ВКПВЧ-01. При цьому вихідний тестовий сигнал демультимплексора ДМПЛ спочатку масштабується по амплітуді за допомогою одного із чотирьох масштабних перетворювачів МП4 - МП7 і лише потім поступає на відповідний вимірювальний перетворювач роду сигналу: ВП2, ВП3 змінна напруга $U_{\text{лів.}i}$, $U_{\text{пр.}i}$ - звуковий тиск $P_{M \text{ лів.}i}$, $P_{M \text{ пр.}i}$, ВП4 змінна напруга $U_{\text{НЧ} i}$ - змінна сила $F_{M \text{ НЧ} i}$ та ВП5 змінна напруга $U_{\text{ВЧ} i}$ - прискорення вібрацій $a_{M \text{ ВЧ} i}$.

Особливістю зв'язку виходу демультимплексорів ДМПЛ каналів 1, 2 аудіометричного засобу з блоком вихідних вимірювальних перетворювачів є те, що вихідні тестові сигнали $U_{M i}$ кожного з каналів 1, 2 можуть бути спрямовані також у напрямку лише одного випромінювача, тобто змішуватись між собою. Це дає можливість сформувати, наприклад, на один навушник аудіометричного телефону композиційний тестовий сигнал (наприклад, тон + широкосмуговий шум), що необхідно, як вже зазначалось вище, при проведенні окремих надпорогових процедур.

Зупинимось більш детально на функціонуванні основного структурного компонента каналів 1, 2, а саме кодованого масштабного перетворювача КМП, що забезпечує зміну рівня інтенсивності тестового сигналу зовсім за іншим принципом, ніж розглянутий раніше в працях [12, 13].

Даний КМП складається з кодованої з боку ЧВП одноканальної регульованої міри ОРМН напруги постійного струму у вигляді інтегрального прозрядного ЦАП та масштабного перетворювача МПЗ змінної напруги, коефіцієнт масштабування якого повністю визначається значенням керуючої напруги $U_{N \text{ РЕГ}}$ на виході міри ОРМН. Прикладом реалізації МПЗ може бути операційний підсилювач зі змінним в досить широкому (120 - 140 дБ) діапазоні коефіцієнтом підсилення вхідного сигналу в залежності від напруги керування.

Рівняння міри ОРМН:

$$U_{N\text{ PEG}} = N_{\text{PEG}} \cdot q_U; \quad N_{\text{PEG}} = \sum_{k=1}^n \alpha_k \cdot 2^{k-1} = \text{var}; \quad q_U = \text{const},$$

де q_U - ступінь квантування керуючої напруги постійного струму.

Тоді рівняння вимірювального перетворення МПЗ буде виглядати наступним чином:

$$U_{M\ i} = K(U_{N\text{ PEG}}) \cdot U_{SW\ i}$$

У випадку застосування як МПЗ керованого напругою операційного підсилювача, наприклад, типу SSM2018T фірми Analog Devices, для якого справедливим є співвідношення [15]

$$U_{\text{вих}} = e^{(-a \cdot U_{\text{рег}})} \cdot U_{\text{вх}},$$

можна записати:

$$U_{M\ i} = e^{(-a \cdot U_{N\text{ PEG}})} \cdot U_{SW\ i}$$

При $a = 4$, що визначається як номіналами елементів схемотехнічного рішення операційного підсилювача, так і температурою оточуючого середовища (в даному випадку кімнатною температурою), коефіцієнт перетворення МПЗ в дБ буде мати наступний вигляд:

$$K_{\text{дБ}} = 20 \lg e^{-4 \cdot U_{N\text{ PEG}}} = -34,74 \cdot U_{N\text{ PEG}},$$

звідки $K_{\text{дБ}} = 1$ дБ при $U_{N\text{ PEG}} = -28,78$ мВ.

Знак “мінус” означає, що збільшення коефіцієнту підсилення на 1 дБ досягається шляхом зменшення напруги керування на виході ОРМН на 28,78 мВ. Якщо розрядність n застосованого в ОРМН АЦП складає, наприклад, 12 двійкових розрядів, то при динамічному діапазоні його вихідної напруги, наприклад, 5 В ступінь її квантування q_U згідно виразу () дорівнює 1,22 мВ:

$$q_U = \frac{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}}{2^n - 1} \quad (1)$$

Це означає, що зміна коефіцієнта перетворення $K_{\text{дБ}}$ МПЗ на 1 дБ забезпечується шляхом зміни коду керування $U_{N\text{ PEG}}$ на $m = 28,78 \text{ мВ} / 1,22 \text{ мВ} \approx 23$ одиниці молодшого розряду.

Тим самим стає можливим встановлення необхідного для проведення окремих надпорогових процедур (ІМПІ, Люшера тощо) мінімального ступеню регулювання рівня інтенсивності тестового сигналу (тон, широкосмуговий або вузькосмуговий шум) від 0,2 дБ та вище, що досягається зміною кількох одиниць молодшого розряду коду керування N_{PEG} .

В свою чергу це призводить до такої ж зміни рівня прослуховування тестового сигналу на виході кожного з вихідних вимірювальних перетворювачів ВП2 - ВП5 із врахуванням сталості їх чутливості $S_{\text{лів.}i}$, $S_{\text{пр.}i}$, $S_{\text{ВП4 } i}$, $S_{\text{ВП5 } i}$ та коефіцієнтів масштабування $K_{\text{МП4}}$ - $K_{\text{МП7}}$ підсилювачів МП4 - МП7.

Висновки

Таким чином, проведені дослідження модифікованого варіанту побудови аудіометричного тракту моделі АВА1 як типового для сучасного аудіометра показали, що реалізація в ньому основних надпорогових процедур забезпечується:

- двоканальністю його структури, що дозволяє мікрокомп'ютерному ЧВП аудіометра формувати та змінювати рівень інтенсивності тестового сигналу окремо в кожному з каналів 1,2 аудіометричного тракту з високою роздільною здатністю;

- наявністю декількох джерел стимулюючих сигналів (як мінімум, тонального U_{fi} , шумових широкосмугового $U_{\text{ш}}$ та вузькосмугового $U_{NB i}$) та можливістю роздільного вибору для кожного з каналів 1, 2 одного з них як вхідного;

- можливістю змішування вихідних тестових сигналів каналів 1, 2 з метою формування на обстежуване вухо композиційного тестового сигналу (наприклад, тон + шум) при проведенні окремих надпорогових тестів (наприклад, Лангенбека);

- застосуванням в якості регулятора інтенсивності високочутливого прецизійного КМП на основі кодокерованої з боку мікрокомп'ютерного ЧВП одноканальної регульованої міри ОРМН напруги постійного струму у вигляді інтегрального n-розрядного ЦАП та масштабного перетворювача МПЗ змінної напруги, коефіцієнт масштабування якого повністю визначається значенням керуючої напруги $U_{N \text{ РЕГ}}$ на виході міри ОРМН; це дозволяє також суттєво

спростити проведення регулювань рівня інтенсивності тестового сигналу при первинній та, при необхідності, періодичній повірках аудіометричного засобу, що здійснюється шляхом встановлення оператором за допомогою клавіатури приладу згідно нормованим контрольним еквівалентним пороговим рівням відповідних їм кодових сигналів $N_{\text{РЕГ}0}$ та послідуячого запам'ятовування їх значень в ЧВП аудіометра.

Отримані результати дають можливість перейти до детального розгляду структур побудови та принципу дії інших сучасних засобів для дослідження слуху людини, зокрема, на основі об'єктивних методів, а саме: отоакустичної емісії та акустичної імпедансометрії, що стане предметом подальших досліджень у даному напрямку.

Література

1. Базаров В.Г., Лисовский В.А., Мороз Б.С., Токарева О.П. Основы аудиологии и слухопротезирования. – М.: Медицина, 1984. – 252 с.
2. Эфрусси М.М. Слуховые аппараты и аудиометры. – М.: Связь, 1975. – 95 с.

3. Лисовский В.А., Елисеев В.А. Слуховые приборы и аппараты. - М.: Радио и связь, 1991.- 192 с.
4. IEC 60645-1: 1992. Audiometers - Part 1: Pure tone audiometers.
5. ГОСТ 27072 - 86. Генераторы сигналов диагностические звуковые. Аудиометры. Общие технические требования и методы испытаний.
6. Лисенко О.М., Иващенко А.П. Сучасні засоби вимірювальної техніки для дослідження слуху: класифікація, функціональні можливості та тенденції розвитку // Український метрологічний журнал. – 2002.- № 3. - С. 52 – 57.
7. Лимар Б.Я., Базаров В.Г., Тышкевич З.С. Объем и методика исследований слуховой функции ваудиометрических кабинетах поликлиник и стационаров. Методические рекомендации. – К.: 1977. – 35 с.
8. Ундриц В.Ф., Темкин Я.С., Нейман Л.В. Руководство по клинической аудиологии. - М.: Медгиз, 1962. - 327 с.
9. Тугоухость /Н.А.Преображенский, Б.М.Сагалович и др. /Под ред. Н.А.Преображенского. – М.: Медицина, 1978. – 440 с.
10. Бытшановска Т. Клиническая аудиология: Пер. с польск. – Варшава. : Польское государственное медицинское издательство, 1965. – 240 с.
11. Katz J. Handbook of clinical audiology. Fours editional. – Baltimor (USA).: Williams&Wilkins, 1994. – 839 p.
12. Лысенко А.Н. Диагностический высокочастотный аудиометр АВА1 //Український метрологічний журнал. – 1999.- № 3. - С. 52 – 57.
13. Лисенко О.М. Аналіз методу, структури та рівняння відтворення скринінг-аудіометра групового користування АА4 // Вимірювальна техніка та метрологія.- 1999.- № 54.- С. 51 - 59.
14. Лисенко О.М. Аналіз стану та проблеми розвитку ринку аудіометрів і акустичних вушних імпедансметрів в Україні //Вісник Держ.унів. “Львівська політехніка”, сер. “Радіoeлектроніка та телекомунікації”. - 2000.- № 347.- С.460 - 464.
15. Analog Devices. 1998. Linear Products. Trimless Voltage Controlled Amplifiers SSM2018T / SSM2018T*.

А.Н.Лысенко. Реализация основных надпороговых процедур в современных аудиометрических средствах Статья посвящена подробному рассмотрению методов и средств реализации основных надпороговых тестов (ИМПИ, Лангенбека, Фаулера и др.) в аудиометрах клинического и диагностического типа, которые используются в современной аудиологической практике при исследованиях слуха человека, на примере отечественной модели аудиометра АВА1.	O.M.Lysenko. The realisation of the basic special procedures in modern audiometric means The article to detailed consideration of methods and means of implementation of the basic special tests (SISI, Langenbeck, Fowler etc.) in audiometers of a clinical and diagnostic type, which one will be used in modern audiological practice at researches of the hear of the person, on an example of domestic model of an audiometer AVA1 is dedicated
--	--

*Надійшла до редакції
21 травня 2003 року*