

# ДЕТЕКТОР ЗВУКОВИХ ОБРАЗІВ, ЩО ЕМІТУЮТЬСЯ СЛУХОВИМ ОРГАНОМ ЛЮДИНИ

*В.Г. Грибенко, інженер звукотехніки, м. Яготин Київської обл.  
abris 2001 @ hotmail. com.*

## **Анотація.**

Явище емісії звукових коливань периферійним слуховим органом людини залишається загадковим у нейрофізіологічному сенсі [1]. Дослідження Кемпа [2, 3] стимульованої та спонтанної отоакустичної емісії започаткували вивчення механізму цього явища.

Для кращого розуміння походження сигналів, генерованих слуховими центрами мозку людини в процесі мислення, та їх перетворення і трансляції, автор пропонує новий підхід у дослідженні механізму слуху людини на порозі чутності [4] та бачення слухового органу не тільки як пасивного приймача зовнішніх слухових коливань, але і активного органу емісії звукових образів, що відповідають думкам людини.

Пропонується ідея іноваційного проекту створення оптоелектронного отоендоскопа – приладу, за допомогою якого стане можливою селекція інформації з шуму коливань барабанної перетинки та ідентифікація її з мовними музичними та іншими звуковими образами, що відповідають певній розумовій діяльності.

## **Вступ.**

### **Нейрофізіологічна версія розпізнавальної функції слухових структур мозку людини**

В анатомії мозку тварин розрізняють декілька слухових нервових шляхів, що місцями перетинаються між собою [5].

Висхідні шляхи – це послідовна сукупність асоційованих нервових слухових утворень з тонотопічною організацією від органу Корті до височних ділянок кори.

Ці шляхи мають численні зв'язки з ретикулярною формацією мозку – сукупністю структур в центральних його відділах, які регулюють рівень збудження відповідних ділянок центральної нервової системи з корою великих півкуль включно.

Зворотні шляхи (на жаль маловивчені) починаються з відповідних ділянок кори і через нижчі відділи слухової системи з'єднуються з органом Корті [6].

Аналізуючи слухову систему мозку (ССМ) людини можна припустити наявність селективного зворотного зв'язку між органом Корті і відповідними відділами мозку.

Автор припускається думки, що на порозі чутності при розпізнаванні зовнішніх звукових образів ССМ виконує функцію багатоканального надрегенерація структурних фрагментів імпульсів, що відповідають внутрішнім усвідомленим слуховим образами (рис.1).

Ці фрагменти імпульсів після селекції та адресації в ССМ попадають в орган Корті, де перетворюються у відповідний спектр механічних коливань, які через внутрішній і середній відділи вуха передаються на поверхню барабанної перетинки (ПБП) у вигляді фрагментів внутрішніх, але вже звукових образів.

За відсутності зовнішніх звукових образів ПБП під дією вушного шуму постійно знаходиться у коливальному стані. Спектральні характеристики цього шуму контролюються ССМ [7].

ССМ, маніпулюючи довжиною фрагментів слухових імпульсів, їх інтенсивністю, формою, місцем та часом генерації через функцію органа Корті підлаштовують рух ПБП синхронно її коливанню, збудженому дією фрагмента зовнішнього звукового образу на порозі чутності, чим збільшують його амплітуду, полегшуючи розпізнавання.

При асинхронній модуляції руху ПБП фрагментами зовнішнього і внутрішнього звукових образів, інформація про невідповідність динаміки коливань ПБП динаміці фрагмента внутрішнього звукового, а значить і слухового образу, перетворюється і передається до ССМ органом Корті, чим викликається негайна корекція слухового фрагмента, що сприяє розпізнаванню та усвідомленню образу.

Насамкінець, можливо припустити, що в стані роздумів у “повній тиші” ( $N_{\text{звн.шуму}} \leq 0$  дБ) на ПБП з боку ССМ надходять лише звукові коливання, обумовлені думкою та іншою життєдіяльною та патологічною емісією (т.ч. ми “слухаємо” свої думки).

Вищенаведені припущення дещо полегшують розуміння феноменально високої локальної чутливості вуха в діапазоні частот 1 – 5 кГц, бо чутливість до синхронного збурення динамічних систем суттєво вища, ніж статичних.

### **Принцип роботи детектора власних коливань барабанної перетинки та вимоги до його конструкції**

Подумки поставимо себе перед необхідністю визначити у темному місці дотиком динаміку рухомого предмета і його вібрацію.

При випадковому короткочасному дотику результату напевне буде невизначеним. Задача спрощується, якщо рукою супроводжувати предмет, не порушуючи траєкторії і режиму його руху.

Подібну механічну аналогію можливо розпоясати на принцип розпізнавання структури звукових коливань мембрани за допомогою рухомого на відповідній відстані від ПБП детектора.

Необхідність гранично високої чутливості детектора до амплітуди вібрації ПБП (атомного масштабу) і водночас достатності його динамічного діапазону для компенсації значних амплітуд неінформативних звукових збуджень від процесів дихання, серцево-судинної діяльності, стоматофонові та шлункової активності, а також інших спонтанних звукових реакцій ПБП обумовлена слідуючими головними засадами до проекту детектора:

перетворювання фізичних параметрів у датчику повинно бути механо-оптичним задля уникнення значного біоелектронного шуму в зоні розташування перетворюючого елемента детектора;

торець мікросвітловода необхідно покрити напівпрозорим дзеркальним шаром металу, мікрооб'єм тіла барабанної перетинки безпосередньо в зоні торця та проміжок між ними при вібрації ПБП повинні створювати модулююче проміння світла середовища, тобто мікрооб'єм тіла ПБП в її центрі повинен бути елементом конструкції перетворювача в сенсі оптимальності його використання як модулюючого відбитого світла середовища.

Фізичний процес в оптичному мікроконтакті ґрунтується на природній модуляції енергії індукованого випромінювання коливаннями ПБП у квазірезонаторі, створеному напівпрозорим дзеркалом торця мікросвітловода та відбиваючим частину світлового променя об'ємом на ПБП.

Коректне апаратне втілення такого принципу зробить можливим створення мікрооптичного контакту з необхідним ступенем модуляції відбитого від ПБП світла.

Оптимальний режим роботи мікрооптичного контакту визначиться пороговим рівнем автоматичного утримання його параметрів, а також значенням інтенсивності опорного променя без ризику деструкції мікроконтактної зони на ПБП.

Слід зазначити, що запропонований до розгляду детектор повинен бути невід'ємною частиною мультипроцесорної системи оброблення та розпізнавання динамічних образів з граничною якістю специфікацій.

### **Ескіз пілот-конструкції детектора отоендоскопа**

Пара детекторів власних коливань ПБП складає вхідну частину отоендоскопа і має бути симетрично розміщена на звукопоглинаючому оголів'ї згідно попередньо одержаних топограм зовнішніх слухових каналів (ЗСК) голови пацієнта.

Наступний процес юстирування полягає у приведенні детекторів в положення (див. рис.2) відносно зовнішньої поверхні барабанної перетинки 1, при якому між ними виникає мікрооптичний контакт.

В ЗСК входить гнучкий звукопоглинаючий штуцер 2 з трьома капілярами 2.1 і пневмопорожнинами 2.2 на їх кінцях, утвореними вклеєним в штуцер 2 платиноїридєвим розрізним з антифрикційною обробкою внутрішньої його поверхні циліндром 2.3 та неприкладеними до нього ділянками матеріалу штуцера 2 в кінці кожного капіляра 2.1.

Таким чином, на кінці штуцера 2 утворюються пневмопорожнини, які окремо регулюються по висоті, що дає можливість фіксувати штуцер 2 у необхідному положенні згідно параметрів ЗСК.

Всередині штуцера 2 вздовж його осі знаходиться рухомий зонд, який складається з гнучкого електропровідного і звукопоглинаючого штока 3, з'єднаного з платиноїридєвим наконечником 4; п'єзоелемента 5, закріпленого електропровідним цементом в фасонному пазі наконечника 4; та оптоволоконного трійника 6 світловода.

Шток 3 і наконечник 4 мають співпадаючі канавки, в яких залягає трійник 6 світловода [8], а також ізольований провідник 5.1 для подачі напруги на п'єзоелемент 5.

Закріплена на п'єзоелементі 5 частина 6.1 трійника має конічну форму і радіальний градієнт показника заломлення, а потім переходить у короткий відрізок одномодового волоконного світловоду, торець якого покритий напівпрозорим дзеркальним шаром металу. Мікрооптичний контакт створюється між торцем частини 6.1 трійника і ПБП.

Частина 6.2 трійника підключена до світловипромінюючого діода 7, закріпленого в канавці штока 3, а інформаційна частина 6.3 трійника – до мікроканалного ФЕП – діода 8 (далі по тексту діода 8).

Шток 3 і світловипромінюючий діод 7 приклеєні до голчастого радіатора 9, який рухається трьома реверсивними лінійними п'єзоелектричними мікродвигунами 10.

Таким чином, зонд зміщується з робочої точки в неробочу і навпаки в штуцері 2 як в пеналі – запобіжнику від пошкодження частини 6.1 трійника.

Радіатор 9 виконаний як тепловідвід термоелектричного мінікріоблока 11, який охолоджує діод 8, вмонтований в колектор 11.3 холодних спайів.

На радіаторі 9 закріплена металічна плата 12 з двобічним монтажем екранованих мікропотужних НВІС – процесорів, обслуговуючих датчик.

Мікродвигуни 10 вклеєні в корпус-кондуктор 13 з трьома капілярами 13.1 сумісними з капілярами 2.1.

Діод 8 має в центральній своїй частині 8.1 металокерамічний спай 8.2 для її температурного обмеження.

Місце припайки керамічних анодної 8.3 та катодної 8.4 частин діода 8 до центральної його



Рис. 1. Структурно-функціональна схема системи виявлення звукових сигналів, що емітуються органом Корті

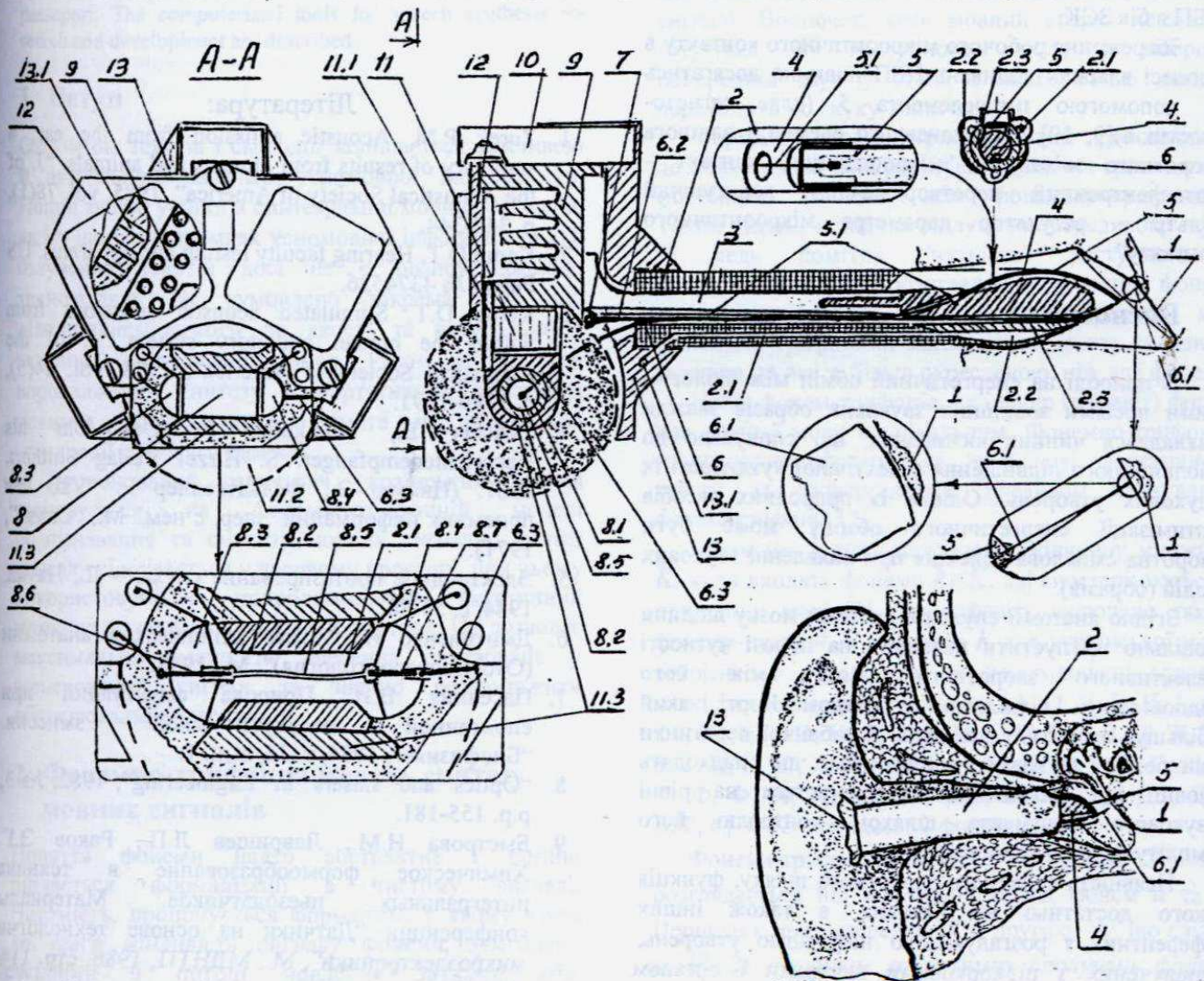
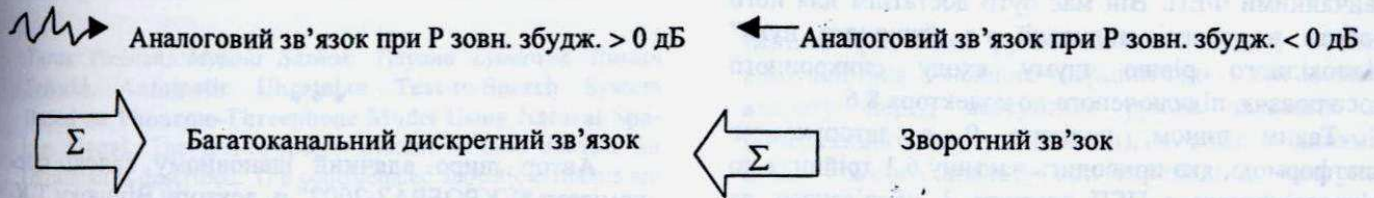


Рис. 2. Конструкція датчика отоендоскопа.

1 - барабанна перетинка; 2 - штуцер (2.1 - капіляр; 2.2 - пневмопорожнина; 2.3 - розрізний циліндр); 3 - шток; 4 - наконечник; 5 - п'єзоелемент (5.1 - провідник); 6 - трійник світловода (6.1 - приймальна частина; 6.2 - опорна частина; 6.3 - інформаційна частина); 7 - світловипромінюючий діод; 8 - діод (8.1 - центральна частина; 8.2 - металокерамічний спай; 8.3 - анодна частина; 8.4 - катодна частина; 8.5 - мікроканал; 8.6 - колектор електронів); 9 - радіатор; 10 - п'єзоелектричний двигун; 11 - мінікріоблок (11.1 - комутаційна панелька; 11.2 - зовнішній теплоізолятор).

частини 8.1 є відповідно анодом і катодом, які електрично з'єднані між собою покриттям мікроканала 8.5.

Колектор електронів 8.6 електроізолюваний від анода 8.3.

В катодну частину 8.4 впає світловод 8.7.

Коефіцієнт посилення фотоструму діода 8 не слід робити занадто високим в порівнянні із звичайними ФЕП. Він має бути достатнім для його роботи в режимі модуляції т.з. "жирного нуля" відповідного рівню шуму входу синхронного посилювача, підключеного до колектора 8.6.

Таким чином, радіатор 9 є авторухомою платформою, яка приводить частину 6.1 трійника до мікрооптичного з ПБП контакту і, обов'язково, за мить до максимального відхилення робочої зони ПБП в бік ЗСК.

Збереження робочого мікрооптичного контакту в процесі власних коливань ПБП повинно досягатись за допомогою п'єзоелемента 5 (клас сегнето-еластиків)[9, 10] як виконавчого елемента ланцюга зворотного зв'язку – "мікрооптичний контакт – фотоелектронний перетворювач – коригуючий фільтр – регулятор параметра мікрооптичного контакту".

## Висновки.

В природі на енергетичний обмін між біологічними носіями зовнішніх звукових образів завжди накладався чинник виживання, що спонукало до еволюційного підвищення селективної чутливості їх слухових утворень. Одним із природних засобів оптимізації енергетичного обміну може бути зворотна смислова селекція при виявленні звукових подій (образів).

Згідно анатомії слухової системи мозку людини доцільно припустити наявність на порозі чутності селективного зворотного зв'язку між його відповідними відділами і органом Корті, який збільшує амплітуду коливань барабанної перетинки синхронно звуковим коливанням, що надходять ззовні. Це збільшення забезпечується на рівні звукового фрагмента шляхом контролю його амплітуди та швидкості її зміни.

Наявність складного зворотного шляху, функція якого достатньо не вивчена, а також інших аферентних з розгалуженою інервацією утворень, сполучених з підкорковими центрами і органом Корті, вказує на зворотний напрямок імпульсації і, не виключено, що вона пов'язана також із свідомою вербальною діяльністю мозку. Відповідь на це питання можуть дати тільки точні експерименти.

Виявлення спонтанної отоакустичної емісії стало можливим завдяки впровадженню електретних мікрофонів, але принципова наявність значних шумів стримує їх використання в сенсі підвищення чутливості відповідного експериментального обладнання. Тому був запропонований більш

чутливий метод виявлення власних коливань зовнішньої поверхні барабанної перетинки, започаткований на способі модуляції нею інтенсивності світлового променя, тим більш, що сучасний рівень значної низки технологій дозволяє провести репрезентативне дослідження тонкого спектру власних коливань барабанної перетинки в діапазоні збуджень на порозі чутності.

\*\*\*

Автор щиро вдячний шановному голові оргкомітету "УКРОБРАЗ-2002" п. доктору Вінцюку Т.К. за пропозицію оприлюднити цю неоднозначну ідею.

## Література:

1. Zurek P.M. Acoustic emission from the ear: a summary of results from humans and animals. "J. of the Acoustical Society of America", 1985, vol. 78(1), p. 340-344.
2. Kemp D.T. Hearing faculty testing and apparatus. US Patent № 4374526.
3. Kemp D.T. Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system "J. of the Acoustical Society of America", 1978, vol. 64(5), p. 1386-1391.
4. Zwicker E., Feldtkeller R. Das Ohr als Nachrichtenempfänger. S. Hirzel Verlag Stuthart. 1967. (Цвикер Э., Фельдткеллер Р. "Ухо как приемник информации", пер. с нем.. М., "Связь", 1971).
5. Электродное протезирование слуха. – Л., Наука, 1984, с. 53-80.
6. Дмитриенко И. "Атлас клинической анатомии (Оториноларингология)", М., 1998.
7. Пасечник В.И. Природа флуктуаций при спонтанной отоакустической эмиссии. "Биофизика", 1984, т. 34, вып. 1.
8. "Optics and Lasers in Engineering", 1982, № 3, p.p. 155-181.
9. Быстрова Н.М., Лаврищев Л.П., Раков Э.Г. Химическое формообразование в технике интегральных пьезодатчиков. Материалы конференции "Датчики на основе технологии микроэлектроники", М., МДНТП, 1986, стр. 114-117.
10. J. van Randaraat, Setterlington R. E. Piezoelectric Ceramics. Eds. Eindhoven: N.V. Philips, 1974.