

Олександр Лисенко

**МЕТОДИ І ЗАСОБИ
АУДІОМЕТРІЇ ТА
АКУСТИЧНОЇ
ІМПЕДАНСОМЕТРІЇ**



УДК 616.28

ББК 56.8

Л63

*Рекомендовано до видання в якості монографії
Вченою радою Національного технічного університету України
“Київський політехнічний інститут”
Протокол № 11 від 1 листопада 2010р.*

Рецензенти: *А.А. Смердов*, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри
Полтавської державної аграрної академії,
лауреат Державної премії України
в галузі науки і техніки

А.І. Бих, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри
Харківського національного університету
радіоелектроніки

Редактор: Л.С. Старовойтова

Лисенко О.М.

Л63 Методи і засоби аудіометрії та акустичної імпедансометрії: Монографія. – К.:
Видавництво ТОВ “Принт-сервіс”, 2012. – 260 с.: іл.
ISBN 000-000-000-0

Розглянуто два найбільш поширені види засобів вимірювальної техніки медичного призначення, що застосовуються наразі при суб’єктивних та об’єктивних дослідженнях органу слуху людини з метою діагностування його стану – аудіометри та акустичні вушні імпедансметри. Викладено також сучасні аудіологічні методи дослідження, що реалізуються вищевказаними засобами. Проведено аналіз методів метрології, структур побудови і принципів дії аудіометричних та імпедансометричних засобів різного типу на прикладі створених зразків вітчизняного обладнання, досліджено синтезовані моделі окремих їх вузлів. Окремо розглянуто проблеми метрологічного забезпечення засобів аудіометрії і акустичної імпедансометрії та запропоновано шляхи їх вирішення.

Для фахівців, студентів та аспірантів технічного і медико-біологічного профілю.

УДК 616.28

ББК56.8

ISBN 978-617-7021-03-1

© О.М.Лисенко, 2012
© ТОВ “Принт-сервіс”, 2012

Передмова	7
Перелік умовних скорочень	12
Розділ 1. Огляд методів аудіометрії і акустичної імпедансометрії та технічних засобів їх реалізації	15
1.1. Слухова система людини та основні форми приглухуватості	15
1.2. Аналіз об'єкта дослідження, його діагностичні параметри та математична модель	19
1.3. Огляд методів аудіометрії	30
1.3.1. Тональна порогова аудіометрія	31
1.3.2. Надпорогова тональна аудіометрія	35
1.3.3. Мовна аудіометрія	36
1.3.4. Високочастотна (ВЧ) аудіометрія	37
1.4. Огляд методів акустичної імпедансометрії	41
1.4.1. Тимпанометрія	42
1.4.2. Акустична рефлексометрія	44
1.5. Класифікація і технічні показники аудіометрів та акустичних вушних імпедансметрів	48
1.5.1. Класифікація та функціональні можливості аудіометрів	49
1.5.2. Класифікація та функціональні можливості акустичних вушних імпедансметрів	52
1.5.3. Технічні параметри аудіометрів та аналізаторів середнього вуха	53
1.5.3.1. Аудіометри	54
1.5.3.2. Аналізатори середнього вуха	61
1.6. Огляд сучасних засобів аудіометрії та акустичної імпедансометрії ...	66
1.7. Аналіз стану і проблеми розвитку ринку аудіометричних та імпедансометричних засобів в Україні	78

Розділ 2. Методи, структури та принципи побудови аудіометрів	90
2.1. Різновид методу тональної порогової аудіометрії для проведення обстежень в автоматизованому режимі	91
2.2. Аналіз методу, структури побудови та рівняння відтворення автоматизованого скринінг-аудіометра групового користування АА4	93
2.3. Метод та принцип побудови автоматизованого діагностичного ВЧ аудіометра АВА1	106
2.4. Реалізація основних надпорогових і мовних процедур у ВЧ аудіометрі АВА1	114
2.5. Принципи побудови перспективних структур аудіометричних засобів	122
Розділ 3. Методи, структури та принципи побудови акустичних вушних імпедансметрів	134
3.1. Аналіз методів вимірювання акустичного іммітансу системи середнього вуха	134
3.2. Узагальнена структура акустичного вушного імпедансметра АУІІ як засобу вимірювань	139
3.3. Метод, принцип побудови каналу та рівняння вимірювання еквівалентного об'єму акустичного вушного імпедансметра АУІІ	141
3.3.1. Градувальна характеристика аналогових ланок каналу вимірювання еквівалентного об'єму аналізатора АУІІ	144
3.3.2. Математична модель градувальної характеристики та аналіз похибки вимірювання еквівалентного об'єму	150
3.4. Метод, принцип побудови та рівняння вимірювання і відтворення відносного тиску повітря пневмосистеми імпедансметра АУІІ	154

3.5. Метод та принцип побудови каналу відтворення іпсилатерального та контралатерального стимулюючого сигналів імпедансметра АУП1	161
3.6. Метод та принцип побудови трактів вимірювання і відтворення портативного тимпанометра ТИМП1	162
3.7. Принципи побудови перспективних схем імпедансометричних засобів.....	167
Розділ 4. Дослідження математичних моделей окремих вузлів імпедансометричних засобів	184
4.1. Морфологічний аналіз і синтез структури пневмосистеми акустичного вушного імпедансметра	184
4.1.1. Морфологічний аналіз структури пневмосистеми імпедансметра.....	184
4.1.2. Синтез раціональних структурно-компонувальних рішень пневмосистеми приладу	189
4.2. Моделювання кодокерованої пневмосистеми аналізатора середнього вуха	191
4.2.1. Структура та принцип дії кодокерованої пневмосистеми на основі електродвигуна постійного струму	193
4.2.2. Моделювання динамічних процесів в кодокерованій пневмосистемі на основі електродвигуна постійного струму	195
4.2.3. Структура та моделювання динамічних процесів в кодокерованій пневмосистемі на основі електромеханічного перетворювача електродинамічного типу	200
4.3. Синтез та моделювання окремих ланок імпедансометричного каналу.....	203
4.3.1. Визначення спектра зондуючого сигналу при наявності АРВМ	204
4.3.2. Синтез спектрального вимірювального перетворювача	207

4.3.3. Моделювання спектрального вимірювального перетворювача	211
4.3.4. Моделювання динамічних процесів детектора, інтегратора та ФНЧ	215
Розділ 5. Проблеми метрологічного забезпечення аудіометрів і акустичних вушних імпедансметрів та шляхи їх вирішення	221
5.1. Метрологічне забезпечення аудіометрів	222
5.1.1. Вимоги до метрологічного забезпечення аудіометрів	222
5.1.2. Стан метрологічного забезпечення і стандартизації в області конвенціональної аудіометрії.....	223
5.1.3. Проблеми метрологічного забезпечення і стандартизації в області ВЧ аудіометрії.....	230
5.1.4. Визначення еквівалентних порогових РЗТ телефону ТАВ-01 аудіометра АВА1 в діапазоні ВЧ	234
5.1.5. Розроблення методики визначення метрологічних характеристик каналу кісткового ВЧ звукопроведення аудіометра АВА1	237
5.2. Проблеми метрологічного забезпечення акустичних вушних імпедансметрів	247
5.2.1. Вимоги до метрологічного забезпечення акустичних вушних імпедансметрів	248
5.2.2. Стан метрологічного забезпечення і стандартизації в області імпедансометрії.....	249
5.2.3. Шляхи вирішення проблем метрологічного забезпечення акустичних вушних імпедансметрів в Україні	251
Післямова.....	256
Література.....	258
Додаток	271

П Е Р Е Д М О В А

Присвячується 50-й річниці факультету електроніки НТУУ “КПІ”

З кожним роком все більш актуальною як у медичному, так і в соціальному відношенні постає проблема приглухуватості та глухоти, оскільки, на превеликий жаль, згідно статистичних даних сьогодні відхилення слуху від норми спостерігаються у кожного дев'ятого жителя планети. І надалі ситуація лише погіршується.

По даним дослідження, проведеного спеціалістами американської Ліги порушень слуху (м. Нью-Йорк), в ході якого було обстежено 64000 чоловік, за останні 18 років в такій розвиненій державі як США число людей, що страждають різним ступенем приглухуватості, збільшилося з 15% до 60% у всіх вікових групах. Ця тенденція в першу чергу зв'язана з високим рівнем шуму, який став невід'ємною частиною сучасного життя. В Україні такі дослідження в останній час не проводилися, тому залишається лише довіритися статистичним даним інших країн.

Відхилення слуху від норми виникають не тільки в результаті тривалої дії шуму або дуже сильних звуків. Приглухуватість може виникнути і як ускладнення після вірусних захворювань, після застосування ототоксичних антибіотиків, внаслідок загального підвищення радіаційного фону, як спадкове захворювання, в результаті природного старіння, ускладненого серцево-судинними захворюваннями або в результаті травми. Втрата слуху ізолює фізично здорових молодих та працездатних людей від суспільства, стає причиною депресії, втрати роботи, руйнування їх сім'ї. Порушення слуху призводять до втрати можливостей спілкування, спричиняють формування почуття власної неповноцінності.

Для людей похилого віку втрата слуху - це така ж трагедія ізоляції, яка тісно переплітається ще й з проблемами загального стану здоров'я, стає причиною самотності.

Для дітей приглухуватість та глухота різко зменшує їх можливості сприймати власне мовлення і мову оточуючих людей, тому таким дітям важко навчитися говорити, вони відстають в розумовому розвитку та навчанні. Якщо таку дитину якнайраніше слухопротезувати, то вона виросте повноцінною, розвинутою, працездатною людиною, інакше суспільство може отримати інваліда, утримання якого потребує великих коштів, уваги та породжує цілу низку проблем.

У зв'язку з цим надзвичайно важливого значення набуває профілактика та раннє виявлення порушень слуху за допомогою сучасних діагностичних методів і правильна оцінка потенційних можливостей слухової системи людини, оскільки чим раніше діагностовано захворювання, тим раніше почнеться лікування і тим ефективнішим воно буде. Реалізація зазначених вище методів здійснюється за допомогою спеціального аудіологічного діагностичного обладнання, що складає окрему групу приладів серед засобів вимірювальної техніки медичного призначення. При цьому найбільш необхідними і поширеними серед них є аудіометри та акустичні вушні імпедансметри, що називаються іноді аналізаторами середнього вуха.

На жаль, до останнього часу питання щодо класифікації, технічних вимог, основних функціональних можливостей різних типів засобів аудіометрії та акустичної імпедансометрії, методів, структур побудови та принципу їх дії, особливостей реалізації окремих структурних складових аудіометричних та імпедансометричних трактів, аналізу рівнянь їх вимірювальних перетворень, вирішення наявних проблем їх метрологічного забезпечення практично не розглядалися на сторінках аудіологічних і метрологічних видань України та країн СНД, за виключенням окремих публікацій, в тому числі моїх [1-35] та першої монографії [11], виданій мною в 2002 році і присвяченій розгляду сучасних методів та засобів дослідження слуху людини.

Дана монографія має за мету систематизувати розрізнені відомості щодо предмету дослідження та заповнити наявну прогалину для даних видів засобів вимірювальної техніки медичного призначення на прикладі створеного та розроблюваного вітчизняного діагностичного обладнання (скринінгового та

високочастотного аудіометрів, акустичного вушного імпедансметра та портативного тимпанометра) із врахуванням нових нормативних документів Держстандарту, ІЕС та ISO.

В першому розділі роботи коротко розглянуто слухову систему людини і основні форми приглухуватості, проведено аналіз її діагностичних параметрів та математичної моделі, наведено огляд методів аудіометрії та акустичної імпедансометрії, які застосовуються в сучасній аудіологічній практиці, вказані достоїнства і недоліки розглянутих методів. Наведено класифікацію, мінімальні функціональні можливості і основні технічні вимоги до засобів аудіометрії та акустичної імпедансометрії згідно із вітчизняними і міжнародними стандартами в даній області. Проаналізовано сучасний стан та визначено проблеми розвитку ринку вказаних засобів в Україні, запропоновано шляхи їх вирішення.

В розд. 2 проведено дослідження методів, принципів побудови та вимірювальних перетворень в аудіометрах різного типу, методів і засобів реалізації надпорогових та мовних процедур. Розглянуто новий різновид методу тональної порогової аудіометрії для проведення обстежень слуху автоматизованими аудіометричними засобами, що дозволяє підвищити пропускну здатність обстежень. Проаналізовано шляхи підвищення точності відтворення рівнів прослуховування і розширення функцій діагностування порушень слухової функції, запропоновано для їх реалізації перспективні запатентовані мною структури аудіометричних засобів.

Розд. 3 присвячено детальному розгляду методів вимірювання та відтворення, дослідженню структур побудови та вимірювальних перетворень в акустичних вушних імпедансметрах. Проведено аналіз методів вимірювання акустичного іммітансу системи середнього вуха в імпедансометричних засобах, отримано та проаналізовано аналітичні вирази рівнянь вимірювання еквівалентного об'єму та відносного тиску повітря в аналізаторах середнього вуха стаціонарного і портативного типу. Розглянуто принципи побудови перспективних запатентованих мною структурних рішень побудови імпедансометричних засобів з розширеними функціональними можливостями.

В розд. 4 проведено дослідження математичних моделей основних складових аналізаторів середнього вуха – пневматичної системи та імпедансометричного каналу. На основі метода морфологічного аналізу синтезовано ряд конструктивних схем мікрокомпресорів пневмосистеми, перспективних для застосування в акустичних вушних імпедансметрах, розроблено SimuLink-моделі кодокерованої пневмосистеми на основі електродвигуна постійного струму та електромеханічного перетворювача електродинамічного типу. Проведено моделювання динамічних процесів, що протікають в кодокерованій пневмосистемі, для найбільш несприятливого сполучення значень її параметрів. Визначено спектр зонduючого сигналу аналізатора середнього вуха при появі АРВМ, синтезовано 4-х ланковий спектральний вимірювальний перетворювач імпедансометричного каналу та проведено моделювання динамічних процесів в каналі на основі розроблених SimuLink-моделей його окремих складових з метою визначення їх оптимальних параметрів по критеріям точності і швидкодії.

Оскільки аудіометри та акустичні вушні імпедансметри є засобами вимірювальної техніки медичного призначення, які в обов'язковому порядку підлягають повірці при їх виготовленні і експлуатації, особливо актуальним є розгляд питань їх метрологічного забезпечення та шляхів вирішення наявних проблем в цій області (розд. 5). При цьому основну увагу приділено ВЧ аудіометрам та аналізаторам середнього вуха, для яких детально розглядаються запропоновані та апробовані мною методики визначення метрологічних характеристик.

В додатку наведено перелік нормативних документів ІЕС та ІСО, що регулюють діяльність метрологічних служб в області аудіометрії та акустичної імпедансометрії.

На ранніх етапах досліджень важливе значення для мене мали цінні поради докт. техн. наук, проф. Орнатського П.П. (Київський політехнічний інститут), докт. мед. наук, проф. Сагаловича Б.М. (Російський державний медичний університет) та заслуженого діяча науки і техніки України, докт. мед. наук, проф. Базарова В.Г. (інститут оториноларінгології ім. О.С.Коломійченка АМН України), які, на жаль, пішли із життя. Світла пам'ять про них назавжди збережеться в серцях їх вдячних учнів, до яких відношу і себе, а також тих, хто довгий час працював разом з ними.

Вважаю за необхідне подякувати за підтримку в проведенні наукових досліджень та розробок у даному напрямку чл.-кор. НАН України Ільченка М.Ю. (НТУУ “КПІ”), а також за надання повірочного обладнання Іващенко А.П. (УкрСЕПРО).

Свій вклад в появу даної праці внесли також медичні співвиконавці виконаних розробок на чолі з докт. мед наук, проф. Шидловською Т.В. та чл.-кор. АМН України Заболотним Д.І. (інститут отоларінгології ім. О.С.Коломійченка АМН України). Висловлюю також глибоку вдячність канд. біол. наук Карамзіній Л.А. (інститут отоларінгології ім. О.С.Коломійченка АМН України) та рецензентам монографії заслуженому діячу науки і техніки України, докт. техн. наук, проф. Смердову А.А. і докт. техн. наук, проф. Биху А.І. за цінні поради, рекомендації та зауваження, які сприяли поліпшенню змісту книги.

Зауваження та побажання прошу надсилати на адресу: 03056, м. Київ-56, вул. Політехнічна, 16, НТУУ «КПІ», факультет електроніки, корп. №12, к. 202 або E-mail: o.lysenko@kpi.ua.

О.М. Лисенко