

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Заступник завідувача кафедри


(підпис)

— О.І.Дрозденко

(ініціали, прізвище)

«01» червня 2022 р.

**Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра**

зі спеціальності (спеціалізації) 171 Електроніка
(код та назва спеціальності)

на тему: Дослідження впливу складними аудіосигналами на слухову систему людини

Виконав: студентка 4 курсу, групи ДГ-81
(шифр групи)

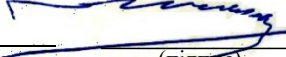
Паренюк Анастасія Володимирівна

(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Керівник завідувач.каф.АМЕС, д.т.н, проф. Найда С.А.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Консультант _____

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент доцент кафедри ЕПС, к.т.н., доцент К.С. Клен

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)


(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студентка _____


(підпис)

Київ – 2022 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроніки

Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 171 «Електроніка»

Освітньо-професійна програма – «Акустичні електронні системи та технології обробки акустичної інформації»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник завідувача кафедри


(підпис)

О.І.Дрозденко
(ініціали, прізвище)

«02» 05 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Паренюк Анастасії Володимирівні

1. Тема роботи «Дослідження впливу складними аудіосигналами на слухову систему людини», керівник роботи завідувач кафедри АМЕС, д.т.н., професор, Найда Сергій Анатолійович, затверджені наказом по університету від «06» червня 2022 р. №911-с
2. Термін подання студентом роботи 29.05.2022.
3. Вихідні дані до роботи – наукові статті та дослідження за темою роботи.
4. Зміст роботи - робота складається з чотирьох розділів «Огляд літературних джерел», «Залежність впливу звуку від його характеристик», «Спектрально-

часовий аналіз резонансів мовленнєвого та слухового трактів людини» та «Дослідження сукупного впливу стресового фактору та музичного сигналу на психофізичний стан людини ». В кінці кожного розділу було виконання підведення підсумків шляхом написання висновків.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) – презентація.

6. Дата видачі завдання 01.09.2021

Календарний план

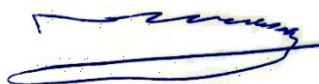
№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою роботи	30.09.2021	Виконано
2	Написання 1-го розділу	31.10.2021	Виконано
3	Написання 2-го розділу	31.11.2021	Виконано
4	Написання 3-го розділу	31.01.2021	Виконано
5	Написання 4-го розділу	27.03.2022	Виконано
6	Написання висновків та реферату	17.04.2022	Виконано
7	Оформлення роботи	29.05.2022	Виконано
8	Створення презентації	10.06.2022	Виконано
9	Підготовка до захисту та захист	21-22.06.2022	Виконано

Студент



Анастасія ПАРЕНЮК

Керівник



Сергій НАЙДА

УДК 534.3

РЕФЕРАТ

Паренюк, А. В. Дослідження впливу складними аудіосигналами на слухову систему людини : дипломна робота бакалавра : 171 Електроніка / Паренюк Анастасія Володимирівна. – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 75 с.

Для опрацювання даної теми було, перш за все, проведено огляд наявної літератури, під час якого перевага надавалась новітнім роботам. Всього було проаналізовано 60 джерел.

Впродовж роботи було визначено також першу і другу парціальну частоту середнього вуха та проведено спектральний аналіз сигналів викликаних ото акустичною емісією. Отримані результати варто приймати до уваги під час підбору музичних композицій для експериментів.

Подальша робота полягала у дослідженні сукупного впливу стресового фактору та музичного сигналу на психофізичний стан людини.

Під час роботи були використані електроенцефалографічний комп'ютерний комплекс BRAINTEST-16 (ТОВ НВП "DX-системи", Україна, м. Харків), професійний мікрофон Audio-TechnicaATR35s ємнісного типу, трьох частотний тимпанометр, програмний продукт BrainTest електроенцефалографічного комп'ютерного комплексу BRAINTEST-16, прикладні програми Microsoft Excel 2016 та Statistica, прикладні пакети Matlab та SoundForge. У якості музичного впливу була використана композиція Demon Wings гурту Bohren & der Club of Gore.

Ключові слова: аудіосигнали, музична терапія, отоакустична емісія, спектральний аналіз

UDC 534.3

Parenjuk, A. V. Study of the impact of complex audio signals on the human auditory system: bachelor's thesis : 171 Electronics / Pareniuk Anastasiia Volodymyrivna. – Kyiv, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2022. – 75 p.

To study this topic, first of all, a review of the available literature was conducted, during which preference was given to the latest works. A total of 60 sources were analyzed.

Throughout the work, the first and second partial frequencies of the middle ear were also determined and the spectral analysis of signals caused by acoustic emission was performed. The results obtained should be taken into account when selecting musical compositions for experiments.

During the work electroencephalographic computer complex BRAINTEST-16 (LLC SPE "DX-systems", Ukraine, Kharkiv), professional microphone Audio-TechnicaATR35s capacitive type, three-frequency tympanometer, BrainTest software electroencephalographic computer complex BRAINTEST -16, Microsoft Excel 2016 and Statistica applications, Matlab and SoundForge application packages were used. Bohren & der Club of Gore's Demon Wings was used as a musical influence.

Keywords: audiosignals, musical therapy, otoacoustic emission, spectrology

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1	9
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	
1.1 Вступ	9
1.2 Вплив різних акустичних сигналів.....	9
1.3 Врахування статевих та расових відмінностей учасників як важливий фактор проведення експериментів	18
1.4 Сучасні методики досліджень	19
1.5 Висновки	21
РОЗДІЛ 2	22
ЗАЛЕЖНІСТЬ ВПЛИВУ ЗВУКУ ВІД ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИК	
2.1 Вступ	22
2.2 Огляд досліджень	22
2.3 Ультразвук	28
2.4 Інфразвук	30
2.5 Методика досліджень.....	32
2.6 Висновки	33
РОЗДІЛ 3	34
СПЕКТРАЛЬНО-ЧАСОВИЙ АНАЛІЗ РЕЗОНАНСІВ МОВЛЕННЄВОГО ТА СЛУХОВОГО ТРАКТІВ ЛЮДИНИ	
3.1 Вступ	34
3.2 Дослідження сигналів BOAE.....	37
3.3 Дослідження спектральних характеристик звуків «а» і «у» за допомогою прикладного пакету SoundForge.....	41
3.4 Висновки	46
РОЗДІЛ 4	47
ДОСЛІДЖЕННЯ СУКУПНОГО ВПЛИВУ СТРЕСОВОГО ФАКТОРУ ТА МУЗИЧНОГО СИГНАЛУ НА ПСИХОФІЗИЧНИЙ СТАН ЛЮДИНИ 4.1	
Вступ	47
4.2 Постановка проблеми.....	50
4.3 Результати.....	57
4.4 Висновки	64
ВИСНОВКИ	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68

ВСТУП

Звук є постійною складовою життя. Кожного дня людина тим чи іншим чином піддається впливу різних аудіо сигналів, проте яким є результат цього впливу в багатьох випадках є невідомим. Під час огляду наявної літератури було зроблено висновок, що, не зважаючи на величезну кількість праць у даній області, увага дослідників багато в чому зосереджується на простих акустичних сигналах, які мають низьку значимість поза межами лабораторних умов. В той же самий час відбір складних аудіо сигналів є досить суб'єктивним і в більшій мірі спираються на загальні характеристики(наприклад, жанр), що призводить до варіативності результатів різних експериментів навіть при використанні одного і того самого стимулу. Крім того більшість експериментів не зважає на емоційний стан досліджуваного, зосереджуючись лише на відповідності фізичного стану попередньо поставленим вимогам.

Актуальність даної теми полягає саме в нагальній необхідності комплексного дослідження складних аудіо сигналів, як постійної складової реальних життєвих ситуацій, розробленні узагальненої методики проведення даного роду експериментів, яка б опиралась на об'єктивні характеристики звукового сигналу, а також брала до уваги не тільки фізичні складові здоров'я людини. До того ж варто завжди пам'ятати про обов'язок дослідника дбати про стан учасників досліджень. Саме тому робота була поділена на чотири розділи.

В першому розділі необхідно було провести загальний огляд наявних праць за темою роботи, щоб покласти основу для подальших досліджень.

В другому розділі фокус переміщується на залежність дії сигналу на людину від його власних характеристик.

Третій розділ має на меті виявлення взаємозв'язку першої і другої парціальних частот середнього вуха людини з формантними частотами голосних звуків «а» і «у», і спектральними максимумами сигналів викликані отоакустичної емісії вуха людини в нормі. Дані результати важливо брати до уваги при підборі музичних стимулів для досліджень.

Метою четвертого розділу є продемонструвати методику з застосуванням спектрального і часового аналізу як варіант вирішення проблеми суб'єктивності при відборі аудіо стимулів, а також показати важливість врахування наявності стресового фактора у наступних дослідженнях, як чинника, що суттєво впливає на результати, а це в свою чергу настановує на висновок, що емоційний стан, як і фізичний, повинний бути врахований при проведенні такого роду експериментів.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Вступ

Звук в широкому значенні – коливальний рух частин пружного середовища, який розповсюджується у вигляді хвиль в газоподібному, рідкому або твердому середовищі, у вузькому значенні – явище, яке суб'єктивно сприймається спеціальним органом чуття людини і тварин. Діапазон слуху людини становить від 16 Гц до 20 КГц, проте фізичне поняття про звук вміщує в себе як звуки в цьому діапазоні так і поза ним. Звук із частотою нижче 16 Гц називається інфразвуком, вище 20000 Гц – ультразвуком; найбільш високочастотні пружні хвилі у діапазоні від 10^9 до 10^{12} - 10^{13} Гц відносяться до гіперзвуку [1].

Звук - це невід'ємна частина повсякденного життя, тому дослідження його впливу на організм людини завжди є і залишатиметься актуальним питанням. Наприклад, Лаура Веларді провела соціальне дослідження сприйняття перехожими звуків міського фонтану. У її статті представлені результати соціальних досліджень, проведених на площах Риму і Брюсселя, щодо монументальних і споглядальних фонтанів, а також сучасних фонтанів і фонтанів за участі людей. Понад 70% респондентів назвали звуки фонтану найцікавішою особливістю місця, хоча в анкеті не було явного згадування акустики[2].

Слід зазначити, що дана тема є досить широкою і тому кожного року з'являється велика кількість праць, що направлені на її вивчення, що ще раз підтверджує її важливість.

1.2 Вплив різних акустичних сигналів

Область психологічної та фізіологічної акустики охоплює широке і міждисциплінарне коло тем. Вона пов'язане з питаннями про те, що відбувається зі звуком, коли він потрапляє в слухову систему, і про те, як

звук обробляється для полегшення спілкування і навігації. Теми включають біомеханіку середнього і внутрішнього вуха; неврологію слухового нерва, стовбура мозку і кори; і поведінкові дослідження слухового сприйняття і пізнання[3]. Саме з такої точки зору і розглядається тема роботи.

Мовні сигнали

Для того, щоб сприймати змістовну мову, слухова система повинна розпізнавати різні фонemi серед шумного і перемінного звукового сигналу. Для кращого розуміння механізмів обробки, що лежать в основі цієї здатності, за допомогою електроенцефалографії (ЕЕГ) вимірювали викликані коркові реакції на різні вимовлені приголосні. Використовуючи багатомірний аналіз патернів(моделей) (MVPA), бінарні(двійкові) класифікатори намагалися розрізнити активність ЕЕГ, викликану двома заданими приголосними в кожній часовій вибірці передстимулів, забезпечуючи динамічну оцінку їх коркових відмінностей. Щоб вивчити взаємозв'язок між репрезентаціями на слуховій периферії і корі головного мозку, MVPA також застосовувався для моделювання звукових реакцій слухового нерва (АН) на приголосні, а розбіжності, що змінюються в часі на основі АН і на основі ЕЕГ порівнювалися один з одним. Корові відмінності між приголосними були сумірні з їх артикуляційними особливостями, в більшій мірі їх манері артикуляції і, в меншій мірі, їх голосу. Більш того, коркові відмінності між приголосними в двох періодах активності, зосереджені на 130 і 400 мс після початку, збігаються з їх периферійними відмінностями в різні періоди початку і після початку, відповідно. Зв'язування мовних уявлень в артикуляційній, периферичній і корковій областях дозволяє краще зрозуміти найважливіші перетворення слухового шляху, що лежать в основі здатності сприймати мову[4].

Мозок наділяє людей здібностями орієнтуватися в акустичному середовищі в сильно погіршених умовах. Ця, здавалося б, тривіальна задача

для нормальних слухачів є надзвичайно складним завданням для людей з порушеннями слухових шляхів, і виявилось, що це дуже складно моделювати і алгоритмічно реалізувати на машинах. Обробка мови в слуховій корі є динамічною та адаптивною. Ці внутрішні властивості дозволяють слухачеві фільтрувати нерелевантні джерела звуку, що забезпечує міцний і надійний засіб зв'язку. Крім того, включення функціональних властивостей нейронних механізмів в моделі обробки мови сильно впливає на поточні моделі сприйняття мови і в той же час призводить до появи технологій автоматичної обробки мови[5].

Важливість комплексного дослідження впливу мовних сигналів на слухову систему підтверджує у своїй роботі Ендрю Батчер, який стверджує, що хоча фонологічні системи людських мов обмежені тим, що часто вважається універсальними властивостями людського слухового сприйняття, однак нетипова фонологія, яка трапляється у багатьох ораторів з порушенням слуху, вказує на те, що такі обмеження діють і на індивідуальному рівні. Фонологія дитини з хронічним середнім отитом, наприклад, може не мати відмінностей в голосі або іноді не мати фрикативних звуків. Отже, якщо велика група мовців у мовленнєвій спільноті працює з нетиповою слуховою системою протягом багатьох поколінь, то на фонологію мови (мов), якою розмовляє така спільнота, з часом також можуть впливати особливі властивості цієї загальної слухової системи. Понад половина австралійського аборигенного населення розвиває хронічний середній отит із випотом у дитинстві, а 50–70% дітей аборигенів мають значну втрату слуху на обох кінцях діапазону частот. Більшість австралійських мов мають нетипові для світу фонології, що не мають відмінностей в голосах, фрикативів або африкативів, але мають незвично велику кількість місць артикуляції. Акустично звукові системи австралійських мов, здається, дуже добре відповідають профілям слуху великої кількості їхніх носіїв[6].

Отже сприйняття звуків мови в подальшому має вплив на їх використання. Також слід відзначити різницю у сприйнятті носіїв різних мов. Як стверджують Філіп Дж. Монахан, Майорі Баскарасінгем та Алехандро Перес носії тональних мов набувають досвіду розрізнення та виявлення частотно-модульованих слухових сигналів, оскільки їхня рідна мова використовує такі акустичні властивості, щоб підкреслити лексичні відмінності. Однак, як цей досвід впливає на слухові нейрофізіологічні реакції на немовні стимули, залишається маловивченим. В своїй роботі вони протестували дорослих, які говорять тональною і нетональною мовою, в їх автоматичній обробці мозком немовних частотно-модульованих (FM) сигналів. Учасникам була представлена серія FM-тонів в парадигмі негативної невідповідності «багато до одного»(MMN), яка варіювалася залежно від того, чи була модуляція увігнутою або опуклою за своєю природою, і чи була різниця між частотами початку і зміщення тонального сигналу відносно великою або маленькою. Результати показали, що тональна група виробила більшу MMN, ніж нетональна група. Більш того, учасники, які використовують тональну мову, виробляли значно сильніші негативні відхилення в потенціалі, пов'язаному з подією, ніж учасники, які використовують нетональну мову, у відповідь на обидва девіантних типи протягом великого часового вікна після стимулу. Отже, досвід носіїв тональної мови в обробці частотних сигналів впливає на їх нейрофізіологічні реакції на нелінгвістичні стимули, які розрізняються за акустичними властивостями, аналогічним мовним стимулам[7].

Музичні сигнали

Сприйняття музики вимагає більшої спектральної роздільної здатності, ніж сприйняття мови. Однак висновки з цих метаданих є проблематичними з огляду на те, що вони узагальнюють результати кількох різних досліджень з використанням різноманітних методологій та парадигм. Зокрема, методології, як правило, включають різні виміри сприйняття, а саме

розпізнавання слів для мовлення та розпізнавання мелодії для музики. Дослідження ж Райана Андерсона, Аліксандрія Сундгеймера та Вільяма Шофнера має на меті розробити парадигму порівняння розпізнавання мови та музики на основі подібних перцептивних вимірів, а саме тембру. Стимули склалися з голосних та нот, що звучать на музичних інструментах, а також 32-, 8- та 4-канальних звукових версій. Слухачі розрізняли або інструменти від голосних, або голосні від інструментів, використовуючи завдання go/no-go. Парадигма дискримінації дала уявлення про те, як доступна спектральна інформація впливає на сприйняття між категоріями звуку стимулу. Час реакції та точність були виміряні та організовані як функція рівня погіршення сигналу, щоб врахувати потенційні відмінності в тому, як звичайні слухачі використовують спектральну інформацію, коли розрізняють голосні та музичні інструменти. Загалом, здатність слухачів відрізнити голосні від інструментів за погіршених умов була подібною до їхньої здатності відрізнити інструменти від голосних. Результати показують, що сприйняття голосних та музичних інструментів спирається на подібні механізми[8].

Проте акустика кімнати може змінити суб'єктивні враження від музики, в тому числі переваги. Однак мало досліджень охарактеризувало реакцію мозку на кімнатні умови. Функціональна магнітно-резонансна томографія (фМРТ) використовувалася для дослідження слухової реакції і реакції винагороди на стимули концертного залу у дослідженнях Мартіна С. Лоулесса та Мішель С. Вігант. Перед тестуванням за допомогою фМРТ 18 учасників оцінили свої переваги щодо соло-інструментального уривка і оркестрового мотиву, змодельованого в акустичних умовах восьми кімнат за межами МРТ-сканера, щоб визначити, що їм найбільше подобається і що не подобається. На МРТ були представлені найбільш бажані (час реверберації, $RT = 1,0-2,8$ с) і найбільш небажані ($RT = 7,2$ с) умови, а також безлунні і зашифровані версії музичних уривків. Було виявлено, що слухова кора

чутлива до тимчасової когерентності стимулів, оскільки вона проявляє більш сильну активацію для більш простих стимулів, тобто соло-інструментальних і безлунних умов, ніж для стимулів, що містять тимчасово незв'язні слухові об'єкти - оркестрові і ревербераційні умови[9].

Скотт А. Адлер, Кайл Дж. Комішен, Одрі М. Б. Вонг-Кі-Ви та Чарльз Чабб в свою чергу вивчали чутливість до основних і другорядних музичних режимів у немовлят. Різниця між мажорною і мінорною гаммами грає центральну роль в західній музиці. Однак недавнє дослідження з використанням випадкових послідовностей тонів («тонових скремблів») виявило драматичний бімодальний розподіл чутливості до цієї різниці: 30% слухачів майже ідеально класифікують мажорні і мінорні тонові скрембли; інші 70% роблять це майже випадково. Вони досліджували, чи демонструють немовлята таку ж закономірність. Випереджувальні рухи очей(рухи очей у напрямку очікуваного руху цілі) тридцяти 6-місячних немовлят відстежувалися під час випробувань, в яких діти чули звуковий сигнал, приналежність якого (мажор або мінор) вказувала на те місце (праворуч або ліворуч), де наступний зоровий стимул (мета) представляється. Для 33% немовлят ці випереджувальні руху очей передбачали розташування цілі з майже ідеальною точністю; для інших 67% випереджувальні руху очей не були пов'язані з цільовим місцем розташування. Як висновок, шестимісячні немовлята демонструють такий же розподіл чутливості, як і дорослі, до різниці між мажорним і мінорним тоном[10].

Джеймс Армітаж, Імре Ладельма та Туомас Ерола визначили метою свого дослідження - визначити, які акустичні компоненти гармонійного співзвуччя і дисонансу впливають на автоматичні реакції в простій пізнавальної задачі. У серії афективних експериментів по праймінгу вісім пар музичних інтервалів використовувалися для вимірювання впливу акустичної шорсткості і гармонійності на час відгуку в завданні класифікації слів, що проводиться онлайн. Пари інтервалів, які контрастували по шорсткості,

викликали більшу ступінь афективного праймінга, ніж пари, які не контрастували з точки зору їх шорсткості. Контрасти в гармонійності не викликали афективного праймінга. В подальшому експерименті використовувалися розладнання інтервали для створення більш високих рівнів контрастів шорсткостей. Однак розладнання не привело до подальшого збільшення величини праймінгового ефекту. Докладніший аналіз показує, що наявність праймінга в інтервалах є бінарним[11].

Дослідження впливу мовних сигналів та музичних сигналів є досить пов'язаними. У дослідженні Ліньцзюнь Чжан, Сончен Чжі, Ю Лі, Хуа Шу та Ян Чжан було використано музичний тест на слух для порівняння музичних здібностей носіїв японської та китайської мов. Хоча ці дві групи мали однакову загальну точність, вони показали суттєві відмінності у продуктивності субтестів. Зокрема, китайці, що володіють китайською мовою, перевершили японських колег у субтесті мелодій, але зворотне спостерігалось у субтесті ритму. Порівняння в групах показало, що носії китайської мови виступали краще на субтесті мелодій, ніж ритм-субтест, тоді як носії японської мови демонстрували протилежну тенденцію. Ці результати вказують на те, що висота звучання рідної мови та тривалість її дії можуть мати глибокий вплив на сприйняття мелодії та ритму музики відповідно, відображаючи передачу мови з музики[12].

Шумові сигнали

Перш ніж розглядати вплив шуму слід визначитися, що саме ми розуміємо під цим поняттям. Слова «звук» і «шум» взаємозамінні в акустиці, електроніці та фізиці, але в застосуванні до слухачів мають різні значення. Звук визначається як коливання, що проходять через повітря або інше середовище, які можна почути, коли вони досягають вух людини або тварини. Шум визначається як небажаний звук. На жаль, фраза «небажаний звук» має на увазі, що шум - це просто неприємність, ігноруючи те, що зараз

відомо про шкідливий вплив шуму на людей і тварин. Часто вважають, що ті, хто скаржиться на шум, невротичні, слабкі, егоцентричні або мають якісь інші психологічні або психіатричні проблеми, які для них посилюють вплив «нешкідливих» звуків, що не турбують інших. Останнє твердження невірне. Бажані звуки можуть викликати пошкодження слуху, а небажані звуки шкідливі. Ось чому Деніел Фінк пропонує нове визначення шуму: шум - це небажаний і / або шкідливий звук[13].

Вивчати вплив шуму на організм людини є надзвичайно важливим завданням, оскільки була підтверджена кореляція в дослідженні між чутливістю до шуму і поганим станом здоров'я. У це дослідження входили клієнти, які найняли інженера-акустика для вирішення проблеми шуму, або пацієнти, які записувалися на прийом до лікаря. Було опитано пацієнтів чоловічої і жіночої статі в різних спеціалізованих амбулаторних клініках. Показана кореляція між чутливістю до шуму і поганим здоров'ям була виявлена для широкого спектра хвороб. Попереднє дослідження підтвердило кореляцію поганого стану здоров'я і чутливості до шуму на більш низьких частотах, які зазвичай всього на 1-2 дБ (А) вище навколишнього. Були відзначені два додаткових висновки. Спочатку виявили підвищену чутливість до підвищених рівнів шуму, принаймні на 15 дБ (А) вище навколишнього, наприклад, будівельний шум, дитячий крик, сирени і т. д. Ця чутливість до шуму була виявлена у людей з різними захворюваннями, включаючи, крім іншого, пацієнтів з раком, фібриляцією передсердь, болем в спині або невилікуваним болем від травми плеча. Друге відкриття полягало в тому, що деяка або вся чутливість зникла після лікування або ремісії хвороби або болю[14].

Проте в таких дослідженнях слід бути надзвичайно обережними, адже короткочасна та високоінтенсивна акустична експозиція може призвести до тимчасової втрати слуху та дегенерації слухового нерва. У дослідженні Бін Ян, Едді Вонг, Вай Хонг Хо та Кондон Лау вивчається функція центральної

слухової системи після такого гострого впливу. Дорослих щурів піддавали впливу шуму з рівнем звукового тиску 100 дБ протягом 15 хв. Слухові реакції стовбура мозку (ABR) записувалися зі звуками клацань, щоб перевірити пороги чутності. Функціональна магнітно-резонансна томографія (фМРТ) виконувалася з тональною стимуляцією на 12 і 20 кГц для дослідження центральних слухових змін. Виміри проводилися до впливу (0D), через 7 днів після (7D) і 14 днів після (14D). ABR показують зрушення порога на ~ 6 дБ незабаром після впливу, але не мають значних відмінностей між порогоми 0D, 7D і 14D. Відгуки фМРТ спостерігаються в бічному лемніску (LL) і нижньому горбку (IC) середнього мозку. В IC відгук на 12 кГц на $3,1 \pm 0,3\%$ (0D), $1,9 \pm 0,3\%$ (7D) і $2,9 \pm 0,3\%$ (14D) вище базового сигналу магнітно-резонансної томографії. Відгуки на 20 кГц складають $2,0 \pm 0,2\%$ (0D), $1,4 \pm 0,2\%$ (7D) і $2,1 \pm 0,2\%$ (14D). Для обох тонів відгуки на 7D менші, ніж на 0D ($p < 0,01$) і 14D ($p < 0,05$). В LL спостерігаються аналогічні тенденції. Гостра дія призводить до функціональних змін слухового середнього мозку протягом декількох тижнів[15].

Наслідки впливу шуму на слухову систему не до кінця зрозумілі. У тварин вплив шуму викликає селективну синаптопатію - відокремлення слухових нервових волокон від чутливих клітин - переважно у волокнах, які реагують на високі рівні звуку. Синаптопатію можна виміряти фізіологічно у тварин, але прямий зв'язок між шумовим впливом та синаптопатією у людини ще не доведено. Вивчалися взаємозв'язки між впливом шуму, амплітудою слухової реакції стовбура мозку (ABR) і сприйняттям мови у дорослих різного віку та аудіометричних порогів, а також у підгрупі молодих людей із клінічно нормальним слухом. Моделі регресії, включаючи експозицію шуму, вік, слухові пороги та стать як коваріатори, порівнювалися, щоб знайти найбільш підходящу модель амплітуди хвилі ABR тонального сплеску I на двох частотах та продуктивності розпізнавання слів у трьох умовах прослуховування: фоновий шум, часове стиснення та

часове стиснення з реверберацією. Дані свідчать про можливість виявлення синаптопатії у молодих дорослих за допомогою фізіологічних заходів, але вікові та супутні порушення слуху можуть перешкоджати спробам оцінити синаптопатію, спричинену шумом[16].

1.3 Врахування статевих та расових відмінностей учасників як важливий фактор проведення експериментів

Під час проведення досліджень слід врахувати безліч факторів. Психоакустична література містить велику кількість звітів про невеликі відмінності в продуктивності(виконанні) в залежності від статі і фази менструального циклу випробовуваних. У спробі перевірити ці минулі звіти Деннісом Макфадденом, Едвардом Г. Пасаненом та Мінді М. Мелоні було проведено великомасштабне дослідження. Після великого дослідження продуктивність близько 75 слухачів була виміряна по семи загальним психоакустичним завданням. Для більшості завдань сигнал являв собою тон 3,0 кГц. Статеві та расові відмінності взаємодіяли для шести з семи вивчених задач. Ці взаємодії припускають, що расове походження необхідно враховувати при узагальненні слухових характеристик людини і при розгляді проблем з відтворюваністю результатів в різних дослідженнях. Менструальні відмінності були невеликими. Гормональні ефекти можуть бути відповідальні за існуючі відмінності незалежно від статі і циклу, а відмінності в меланоцитах всередині равлика можуть бути причиною расових відмінностей[17].

Схожі дослідження проводилися також Бенджаміном З. Шустер, Дідьє А. Депіре, Джессікою А. Монг та Ронною Герцано. Вони досліджували статеві відмінності у слуху. Втрата слуху є найбільш поширеною формою порушення чутливості у людей, з очікуваним зростанням захворюваності в результаті впливу шуму в розважальних цілях. Втрата слуху також є другою найбільш поширеною проблемою зі здоров'ям у ветеранів збройних сил. В даний час не існує схвалених терапевтичних засобів для лікування

нейросенсорної приглухуватості у людей. Хоча втрата слуху зачіпає як чоловіків, так і жінок, статевий диморфізм задокументований щодо периферійної та центральної слухової фізіології, а також схильності до вікової втрати слуху і втрати слуху, викликаной шумом. Фізіологічні відмінності між статями часто обумовлені гормонами, і все більша кількість літератури демонструє, що гормон естроген і пов'язані з ним сигнальні шляхи можуть частково модулювати вищезгадані відмінності в слухові. З механістичної точки зору розуміння основ гормональної модуляції слуху може привести до розробки терапевтичних засобів для лікування вікової і викликаной шумом втрати слуху[18].

1.4 Сучасні методики досліджень

Використання у дослідженнях електроенцефалограми або магнітно-резонансної томографії є досить широко застосованою практикою при дослідженні впливу акустичних сигналів, проте сучасний світ диктує дослідникам свої умови, до яких науці доводиться пристосовуватися.

Веб-експерименти дають можливість збирати великі набори даних від різних слухачів і можуть допомогти обійти обмеження на приватне(очне) тестування, накладені пандемією COVID-19. Браузерні психоакустичні завдання були реалізовані з використанням jsPsych, безкоштовної бібліотеки JavaScript з відкритим вихідним кодом. Динамічні послідовності психоакустичних завдань були об'єднані зі сторінками згоди, анкетами і сторінками підведення підсумків з використанням Django, безкоштовної бібліотеки Python з відкритим вихідним кодом для веб-додатків. Суб'єкти були набрані, попередньо перевірені на демографічні характеристики та анонімно урівноважені (винагороджені) за допомогою Prolific.co, веб-ринку людських ресурсів. Використання навушників було перевірено шляхом доповнення процедур у Woods et al. завданням бінаурального слуху. Керуючись мета-аналізом нормативних даних, перевірка на наявність (майже) нормального стану слуху (та дотримання інструкцій) проводилася

шляхом об'єднання балів у надпороговому завданні з фокусування слухової уваги на конкретному подразнику, ігноруючи великий діапазон інших слухових подразників(феномен коктейльної вечірки) з відповідями на опитування. Особи, які відповідають всім критеріям, були анонімно повторно запрошені для виконання основних психоакустичних завдань. Попередні результати показують, що тенденції продуктивності і «основні ефекти» можна поставити у відповідність лабораторним даним[19].

Сприйняття звуку людиною включає в себе здатність обробляти слухову інформацію з динамічних акустичних ситуацій, що є важливим компонентом спілкування і орієнтації в повсякденному житті. Стандартні ж психоакустичні експерименти не включають реальних життєвих ситуацій. Вони включають досить прості акустичні стимули з номінально високою відтворюваністю, але низькою значимістю для ситуацій в реальному житті. Розрив в дослідженнях слухового сприйняття між лабораторією та реальним життям тепер може бути ліквідований. Технологія віртуальної реальності - це дуже потужний інструмент, який з'єднує комп'ютерне моделювання в реальному часі з 3D-пристроями для слухових і візуальних вражень. Віртуальна акустика може включати в себе будь-який ситуаційний контекст і умови з джерелами і функціями поширення звуку в заданому середовищі. Внаслідок цього можна очікувати новаторських досліджень слухового сприйняття з більш високим ступенем реалізму і все ще високою відтворюваністю[20].

Завдяки сучасним технологіям наразі можна не тільки вивчати вплив звуку на слух в наявному стані, а також прогнозувати зміни, що можуть відбутися і врахувати їх у наступних дослідженнях. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), понад 1,1 мільярда людей в даний час ризикують втратити слух через надмірний вплив шуму. З них значна частина складається з дітей та молоді, які піддаються надмірному впливу звуку під час різних видів дозвілля (музиканти, концерти, фільми в театрі, танцювальні

клуби і т. Д). Для вирішення цієї проблеми було розроблено безліч підходів, від загальних інформаційних повідомлень до обмежувачів гучності на персональних музичних програвачах. Проте, схоже, що, як і в випадку з усією небезпечною поведінкою, найбільш багатообіцяючим є прямий підхід, при якому проводиться персоналізована оцінка ризику і людина обізнана про пов'язані з цим згубні наслідки. У статті Жеремі Вуа, Ромен Дюмулен, Джулії Левеск та Гілема Віаллет описаний підхід до консультування, при якому звуковий вплив пов'язаний з підвищеною втратою слухової чутливості. Пропонована метрика «Вік ваших вух (AUE)» розраховується з використанням мультирегресійної моделі ISO 1999 і передбачає для даного віку і даного звукового впливу прискорене старіння слуху людини[21].

1.5 Висновки

Дана тема є надзвичайно важливою та актуальною. Наявна велика кількість праць, які розглядають вплив різних акустичних сигналів, впроваджують нові методики, а також розробляють нові технології досліджень у контексті нових умов життя, що підтверджує тенденцію теми до розвитку. Охоплення багатьох сфер життя та діяльності людини робить тему надзвичайно перспективною і спонукає до її подальшого вивчення.

РОЗДІЛ 2

ЗАЛЕЖНІСТЬ ВПЛИВУ ЗВУКУ ВІД ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИК

2.1 Вступ

В попередньому розділі, було розглянуто вплив різних типів акустичних сигналів, залишаючи при цьому поза увагою їхні характеристики, задля отримання певного загального розуміння про наявний стан досліджень у даній сфері. Наразі є важливим зосередити увагу не тільки, який вплив має сигнал, а і на тому яким є сигнал і чи залежить його дія на людину від власних характеристик сигналу.

2.2 Огляд досліджень

Перш за все, варто переглянути наявні дані, а розпочати можна з праці Рауля Дженні, Матіаса С.Оксліна та Клари Е.Джеймсак «Вплив мажорної та мінорної моди на активність частотного діапазону ЕЕГ при обробці музики в залежності від досвіду». Автори стверджують, що обробка західної тональної музики може давати різні реакції мозку, залежно від режиму музичних композицій. Хоча суб'єктивні відчуття у відповідь на мажорний і мінорний лад добре описані, мозкові механізми, що лежать в основі, та їх розвиток у міру накопичення досвіду ретельно не досліджувалися. За допомогою електроенцефалографії високої щільності в цьому дослідженні вивчалася активність нейронів у частотній області у відповідь на поліфонічні музичні композиції у мажорному та мінорному режимах у немузикантів, аматорів та експертів. Під час активного прослуховування відбувалося зниження активності тета- та гамма-діапазонів зі збільшенням досвіду у правій задній області, що, можливо, відображало підвищення ефективності обробки. Крім того, мінорні та мажорні композиції чітко модулюють синхронізацію активності нейронів у високочастотних діапазонах (бета та гама) у лобових відділах з підвищеною активністю у відповідь на мінорні композиції у музикантів і, зокрема, у спеціалістів. Ці результати свідчать про те, що

високочастотна електроенцефалографічна (ЕЕГ) активність несе інформацію про музичний режим, демонструючи поступове підвищення ефективності обробки та чутливості з музичним досвідом[22].

Цікавою є праця О. О. Шпенкова, С. В. Тукаєва, І. Г. Зими та С. А. Крижановського «Зміни електричної активності головного мозку під час прослуховування рок-музики із видозміненою частотною структурою» 2014 року. У даній роботі були досліджені відмінності динаміки ЕЕГ під час прослуховування музики жанру рок(зі зниженим рівнем низьких частот та оригінал) та звуків. Всього було 20 учасників експерименту віком від 18 до 22 років, здорові, без музичної освіти. Участь у дослідженні відбувалась на добровільних засадах. Для оцінки змін спектральної потужності ЕЕГ внаслідок прослуховування аудіофрагментів було проведено порівняння проб кожного аудіо фрагменту із передуючими станами спокою. Під час прослуховування аудіонавантаження найбільш значні зміни в ЕЕГ спостерігались переважно в тета- та бета-діапазонах, що вказує на розвиток емоційних та когнітивних процесів. При прослуховуванні двох варіантів рок-композицій було виявлено різну латералізацію в $\beta 2$ -піддіапазоні: ліву темпорально-парієтально-окципітальну для нативної рок-композиції, й праву фронто-темпорально-парієтальну для перетвореної рок-композиції. Отримані в результаті проведенних досліджень дані свідчать про розвиток когнітивних процесів, пов'язаних із обробкою музичних компонент, так іа також на зміни рівня емоційного напруження в залежності від спектральної структури музичного фрагменту.

В результаті роботи було зроблено ряд висновків. По-перше, було виявлено, що динаміка ЕЕГ під час прослуховування учасниками фрагментів рок-музики із зниженим рівнем сигналу низьких частот і оригінального фрагменту, специфічна для різних фрагментів і має чіткий латералізований характер. По-друге, при прослуховуванні звуків та музики найбільш значні зміни в ЕЕГ спостерігались переважно в низькочастотних та

високочастотних піддіапазонах, що вказує на розвиток емоційних когнітивних процесів. Також, на відміну від активності задніх ділянок лівої півкулі при прослуховуванні оригінального фрагменту, при прослуховуванні фрагменту із зниженим рівнем низьких частот спостерігався чіткий зсув фокусу активності в $\beta 2$ -піддіапазоні у фронтальні, темпоральні та парієтальні ділянки правої півкулі. Така правопівкульна латералізація високочастотної активності може вказувати як на посилення процесів, пов'язаних з аналізом музичних компонент і порівнянням із попереднім оригінальним фрагментом, так і на розвиток процесів емоційного збудження[23].

Дана тема була продовжена в дослідженні 2018 року «Зміни активності головного мозку в гамма-діапазоні під час прослуховування рок-музики зі зниженим рівнем низьких частот». Метою даної роботи було дослідити вплив низькочастотної компоненти в рок-музиці на емоційне сприйняття музики. У дослідженні брали участь 30 волонтерів. Обстежувані прослуховували чотири аудіофрагменти: білий шум, спів птахів, інструментальна рок-композиція й рок-композиція зі зниженим рівнем сигналу низьких частот. Під час прослуховування аудіофрагментів відбувалась реєстрація ЕЕГ. Було виявлено, що при прослуховуванні звуків та музики найбільш значні зміни в ЕЕГ спостерігались переважно в низькочастотних і високочастотних діапазонах, пов'язаних із емоційними та когнітивними процесами. При прослуховуванні рок-композиції зі зниженим рівнем низьких частот спостерігалось посилення активності в $\beta 2$ -піддіапазоні у фронтальних ділянках правої півкулі, на відміну від активації переважно задніх ділянок лівої півкулі при прослуховуванні нативної роккомпозиції. Таке збільшення правофронтальної високочастотної активності може вказувати на посилення когнітивних процесів, які пов'язані з аналізом музичних компонент і зіставленням їх із попереднім музичним образом. Прослуховування ж оригінальної рок-композиції на відміну від прослуховування рок-композиції зі зниженим рівнем сигналу низьких частот викликає більшу кортикальну

активацію в γ -діапазоні, що вказує на більший рівень когнітивно-емоційної активації[24].

Схоже дослідження описується в статті Ляшко Д. О., Дамард А. В. «Експериментальне дослідження біоелектричної активності мозку студентів під час прослуховування музичної композиції». В даній роботі наведена методика експерименту та експериментальне дослідження спектральних характеристик біоелектричної активності мозку студентів під час прослуховування музичної композицій. А саме, аудіо-сигналів, які були відібрані за спектральними характеристиками за критерієм охоплення чутного діапазону частот. З використанням статистичного аналізу представлено результати обробки ЕЕГ даних експерименту. Завданням експерименту є перевірка впливу ряду музичних композицій на ритми головного мозку, зокрема альфа-, бета- і тета-ритми.

Згідно обробки ЕЕГ-даних вдалося оцінити статистично значущі зміни в БЕА мозку, пов'язані не тільки з впливом окремих характеристик композицій, що прослуховувались, а й виявити взаємний їх вплив на емоційний стан піддослідних. Незалежно від присутності музичного компонента в зразках, що прослуховувались піддослідними, їх взаємний вплив призводив до зниження спектральної потужності альфа-ритму та тета-ритму в симетричних потиличних відведеннях О1 та О2 та в скронево-тім'яно-потиличних відведеннях обох півкуль альфа, бета та тета-ритмів Т5 та Т6. Крім того, в альфа-діапазоні подібна реакція була відзначена в передніх областях, а саме в лобовій Fp1 та Fp2. Перехресну дію факторів спокою та аудіо-сигналу виявляли у відносному зростанні спектральної потужності альфа- та тета-ритму в правій гемісфері: значущі відмінності показані в центральному відведенні С4 татім'яній ділянці відведення Р4. Музичний компонент в композиції надавав статистично значимий вплив на вираженість альфа-, бета- та тета-ритму в передніх скроневих відведеннях. Так найбільш значиме зниження спектральної потужності

можна побачити в правій півкулі мозку. Судячи з отриманих результатів, тета-ритм проектував свою активність на постцентральної області кори, бета-ритм проектував активність на симетричних потиличних відведеннях та альфа-ритми в передніх областях[25].

Важливість дослідження впливу звукового сигналу в залежності від його спектру в повсякденному житті висвітлено у статті Саана Міллінтауста, Юссі Вірккала, Паула Сало, Йоханна Варжо, Лаура Рекола та Валттері Хонгісто «Вплив частотного спектру шуму дорожнього руху на сон: полісомнографічне дослідження». Автори стверджують, що спектр звуку впливає на шумову роздратування. Спектральні відмінності дорожньо-транспортного шуму (RTN), що передаються в приміщення, є звичними через спектральну різницю звукоізоляції фасадів.. Метою було порівняти вплив спектру RTN на сон. Двадцять один волонтер поспав три ночі в лабораторії сну в трьох звукових умовах: низькочастотний (LF) RTN, високочастотний (HF) RTN і тиша(контрольна). А-зважені еквівалентні рівні становили 37, 37 та 17 дБ $L_{Aeq,8\text{ год}}$ відповідно. Нічні часові профілі НЧ та ВЧ були рівними. Сон вимірювали за допомогою полісомнографії та опитувальників. ВЧ і НЧ не відрізнялися один від одного за впливом як на об'єктивну, так і на суб'єктивну якість сну. Тривалість глибокого сну була коротшою, задоволеність сном нижча, а суб'єктивна затримка сну вища у ВЧ і НЧ, ніж у контрольних умовах. На відміну від суб'єктивних оцінок, наданих відразу після сну, умова ВЧ була оцінена як найбільш тривожний стан для сну після всього експерименту (ретроспективна оцінка). Результати показують, що спектр звукоізоляції фасадної конструкції може відігравати певну роль щодо впливу RTN[26].

Важливим з точки зору розроблення нових методик є дослідження, що провели Адріан Аттард Тревізан та Льюїс Джонс в статті «Brain Music System: музична терапія мозку на основі звукових сигналів мозку в реальному часі». У статті обговорюється стандартизоване терапевтичне

лікування з використанням Brain Music System, системи, яка використовує ультразвуковий нейрозворотний зв'язок точно та економічно для перетворення мозкових хвиль у музичний звук за допомогою алгоритмів цифрової обробки сигналів. Стандартний курс ультразвукової нейрофідбек-терапії (наприклад, 15 сеансів), спеціально розроблений для окремих пацієнтів, які страждають від ряду неврологічних захворювань, таких як розлад аутичного спектру, є реалістичною можливістю через недорогий і портативний характер системи, і може бути використаний як всередині, так і за межами традиційних клінічних умов для суб'єктів, які страждають на широкий спектр психічних і неврологічних захворювань, включаючи розлад аутичного спектру. У пілотному дослідженні з тестування алгоритмів і вихідних даних системи Brain Music, розподіл альфа-, бета- і тета-хвиль у нормальних суб'єктів майже відповідає тому, що в опублікованих дослідженнях із використанням стандартного високоякісного обладнання. Ці результати дозволяють системі Brain Music узгодити свій протокол із застосуванням стандартів і краще асоціювати стандартні алгоритмічні завдання з кожним із трьох згаданих типів мозкових хвиль.

Brain Music System передає електроенцефалографічні дані у вигляді модульованого MIDI. Вона подібна до системи інтерфейсу мозок-комп'ютер (BCI), створеної та детально задокументованої професором Едуардо Міранда, але працює оптимально навіть на 2-канальній ЕЕГ, оскільки не залежить від збирального кінця для функцій обробки, але використовує обчислювальні методи, які можуть підтримуватися звичайними сучасними офісними комп'ютерами. Неврологічні дослідження показують, що тимчасова координація між різними і часто віддаленими нейронами відіграє життєво важливу роль у вищих когнітивних явищах. Кілька областей кори можуть стати коактивними під час когнітивних завдань, а також функціонально взаємозалежними. Було показано, що прослуховування музики допомагає впорядкувати коркові патерни таким чином, щоб вони не стиралися за

рахунок інших функцій розвитку патернів, і, зокрема, процесів правої півкулі, музика важлива для збудження та підготовки впорядкованого потоку коркових патернів, відповідальних за вищі функції мозку, і допомагає у поліпшенні та полегшенні операцій коркової симетрії серед вроджених патернів.

Аналізуючи компоненти виходу ЕЕГ; а саме альфа-, бета-, дельта- і тета-хвилі, може бути розроблена система для перетворення цих хвиль на музику за допомогою низки обчислювальних методів (модифікована LORETA у разі Brain Music System). Цей тип терапевтичної адаптації може бути успішно застосований до ряду клінічних станів, таких як епілепсія, синдром дефіциту уваги та гіперактивності та синдром замкненої людини, а також для оптимізації працездатності у здорових суб'єктів. З цього дослідження загальні моделі та рівні активності мозкових хвиль на виходах ЕЕГ можуть бути оптимально використані в музичному процесі Brain Music System. Розшарування різних елементів ЕЕГ може допомогти з'ясувати, яка група є найбільш важливою в музичному процесі Brain Music System. Можливість мати стандартний протокол для програми «Brain Music Therapy», розроблений відповідно до індивідуальних потреб пацієнта під час реабілітації від ряду неврологічних станів, була полегшена і тепер можлива без надмірних клінічних витрат. Люди, які страждають від паралічу та захворювань дегенеративної нервової системи і не можуть ефективно спілкуватися із зовнішнім світом без допомоги протезів, можуть отримати користь від цих висновків[27].

2.3 Ультразвук

Важливо розглядати вплив звуку за межами діапазону чутності людини, що і зробили Марк Д. Флетчер, Сіан Ллойд Джонс, Пол Р. Уайт, Крейг Н. Долдер, Тімоті Г. Лейтон і Бенджамін Лінетон у своїй статті «Вплив дуже високочастотного звуку та ультразвуку на людину. Частина I: Несприятливі симптоми після дії чутного звуку дуже високої частоти». Раніше

повідомлялося про різні несприятливі симптоми, що виникають внаслідок впливу дуже високочастотного звуку (VHFS) та ультразвуку (US). Це дослідження було спрямоване на те, щоб встановити, чи виникають ці симптоми в контрольованих лабораторних умовах і чи є вони специфічними для VHFS/US. Для цього учасники піддавалися впливу VHFS/US (на частотах від 13,5 до 20 КГц і рівнях звукового тиску від 82 до 92 дБ) і еталонному стимулу з частотою 1 КГц, обидва на 25 дБ вище порога чутності. VHFS/US та еталонні стимули пред'являлися 4 рази, щоразу впродовж 3 хвилин, протягом яких учасники виконували завдання на стійку увагу, оцінювали тяжкість своїх симптомів та вимірювали шкірно-гальванічну реакцію (ШГР) для оцінки рівня тривожності. До впливу учасники були віднесені або до симптоматичної або безсимптомної групи на підставі їх попередньої історії симптомів, які вони приписували VHFS/US. В обох групах загальна оцінка дискомфорту була вищою за умов VHFS/US. У симптоматичній групі труднощі з концентрацією уваги та дратівливість також були оцінені вище у VHFS/US, ніж у контрольних умовах. Жодної різниці між двома стимулюючими умовами не спостерігалось у виконанні завдання на увагу. У симптоматичній групі загальний дискомфорт здебільшого був із суб'єктивними оцінками проблеми концентрації уваги і з роздратуванням. Жодних суттєвих фізіологічних симптомів, таких як нудота, біль або шум у вухах, не було виявлено в жодній групі для жодної з умов стимулу. Слід підкреслити, що рівні звукового тиску та тривалість впливу в цьому дослідженні були обмежені застосуванням принципу обережності та обов'язком дослідника дбати про учасників. Ці результати не можна використовувати для прогнозування наслідків впливу вищих рівнів звукового тиску або тривалішого часу[28].

Дану тему автори продовжили в статті «Вплив дуже високочастотного звуку та ультразвуку на людину. Частина II: Подвійне сліпе рандомізоване провокаційне дослідження нечутного ультразвуку частотою 20 КГц». Деякі

люди повідомляють про такі симптоми, як нудота, запаморочення та головний біль, які вони пов'язують з ультразвуком (УЗ), що випромінюється пристроями в громадських місцях. Основна мета цього дослідження полягала в тому, щоб з'ясувати, чи може нечутний УЗ спровокувати несприятливі симптоми порівняно з фіктивним уявленням у подвійних сліпих умовах. Друга мета полягала в тому, щоб з'ясувати, чи очікування присутності УЗ може спровокувати несприятливі симптоми (реакція ноцебо). Стимулом УЗ був тон 20 кГц, безперервно поданий протягом 20 хвилин, встановлений як мінімум на 15 дБ нижче за поріг виявлення учасників, що давало типовий рівень звукового тиску (SPL) 84 дБ. Не було виявлено жодних доказів того, що УЗ спровокувало симптоми, але були докази невеликого ефекту ноцебо. Тематичне дослідження людини із високою, за її словами, чутливістю до УЗ дало аналогічні результати. Справжнє дослідження не відтворювало тяжких симптомів, про які раніше повідомляли деякі представники громадськості; це може бути пов'язане з SPL, тривалістю стимулу чи силою ноцебо-стимулу. Ці результати не можна використовувати для прогнозування наслідків впливу звуків з більш високим рівнем звукового тиску, більшою тривалістю або іншим частотним змістом[29].

2.4 Інфразвук

Ще один момент, який варто згадати окремо це вплив інфразвукових частот. Пану П. Майджала, Ілмарі Куркі, Ларі Вайнію, Сату Пакарінен, Кріста Куурамо, Крістіан Лукандер, Юссі Віркала, Кайса Тійппана, Емма А. Стіклер та Маркку Сайнію у своїй роботі про ефекти інфразвуку вітряних турбін, звертають увагу на те, що деякі люди суб'єктивно пов'язують різні симптоми з інфразвуком, а систематичних досліджень вкладу інфразвуку в сприйняття, роздратування і фізіологічні реакції, викликані звуком вітряної турбіни існує дуже мало. В ході їх експериментів піддавалися виявленню як нечутні, так і чутні характеристики шуму вітряних турбін, а також реакції вегетативної нервової системи: частота серцевих скорочень, варіабельність серцевого

ритму і реакція провідності шкіри. Учасники були розділені на дві групи в залежності від того, чи повідомили вони про симптоми, пов'язані з інфразвуком вітряних турбін, чи ні. Було виявлено, що присутність інфразвуку не вплинуло ні на роздратування, ні на виміряні реакції вегетативної нервової системи. Ніяких відмінностей між двома групами не спостерігалось.

Також було проведено велике дослідження, що включало як психоакустичні, так і психофізіологічні вимірювання вегетативної нервової системи, щоб з'ясувати, чи може інфразвук в шумі вітряних турбін шкідливо діяти на людей. Стимули для експериментів були обрані з тривалих вимірювань шуму вітряних турбін всередині і зовні будинків, з яких жителі переїхали через проблеми, пов'язані з інфразвуком, а також з вимірювань в реальній зоні вітряної електростанції. Виявлення інфразвуку було не вище випадкового рівня, і групи учасників з симптомами або без них не розрізнялися по своїй здатності виявляти його. Не було ніякої різниці в пов'язаних зі стресом реакціях вегетативної нервової системи щодо того, чи був інфразвук в звуковий вибірці або було зроблено заяву про наявність інфразвуку. Тому автори зробили висновок, що в умовах, які використовуються в даному дослідженні, інфразвук не сприяв виявленню, подразненню або фізіологічній реакції на звук вітряної турбіни[30].

Дана тематика є відображеною також в роботі К. Каспшака «Вплив інфразвукового шуму від вітряних турбін на патерни сигналів ЕЕГ у людей». Акустичний сигнал реєструвався на відстані 750 метрів від вітряної турбіни, після чого частотні складові вище 20 Гц були відфільтровані. Узагальнюючи проведену роботу автор визначив, що попередні дослідження, в яких вивчався вплив інфразвуку на людину, показали статистично значущі зміни у патернах сигналів ЕЕГ, такі як деякі варіації альфа-ритму та виникнення частотно-керованої реакції під час інфразвукового впливу, проте дослідження впливу інфразвукових шумів від вітрових електростанцій не

виявили достовірних змін амплітуди окремих ритмів ЕЕГ. Було виявлене деяке зменшення амплітуди альфа-хвилі під час інфразвукової дії, але цей результат не був статистично значущим[31].

В іншій своїй роботі К. Каспшак зосередився на впливі інфразвуку на альфа -ритм сигналу ЕЕГ. Метою експерименту було визначити вплив інфразвукових хвиль на зміни альфа-хвиль. Тести проводили на групі з 32 учасників. Експеримент показав, що інфразвуки частотою 7 Гц та рівнем акустичного тиску 120 дБ спричиняють статистично значимі зменшення потужності альфа -ритму. Середня амплітуда потужності альфа-ритму (в діапазоні частот 8-12 Гц) була отримана за три тимчасові інтервали: до, під час і після інфразвукового впливу. Статистично значимі відмінності виявлені між 2 етапом експерименту (під час інфразвукового впливу) і етапом 3 (після інфразвукового впливу). Експерименти також показують наявність альфа блокування, а якісний аналіз показує збільшення потужності альфа-ритму після впливу інфразвуку.

Альфа-блокада - це добре відомий ефект, викликаний десинхронізованою біоелектричною активністю мозку при сенсорній стимуляції. Це явище реєструється, навіть якщо застосовується стимул, що є акустичним стимулом, який не сприймається безпосередньо слуховою системою. Статистично значимих відмінностей між потужністю альфа-ритму до та після інфразвукового впливу не виявлено[32].

2.5 Методика досліджень

Цікавою є методика досліджень описана в статті Ляшко Д. О. та Найда С. А «Дослідження спектрів складних аудіо-сигналів та методика музичної терапії». Автори пропонують задіяти музичні фрагменти різного компонентно-структурного складу, при цьому звернути більшу увагу не на жанр твору, а на спектри частот для кожної з композицій, що будуть використовуватись в експерименті. Потім на основі спектрального аналізу

встановити характерні частоти з найбільшою амплітудою по відношенню до усього спектру частот для кожної з композицій для визначення до якої смуги частот належить твір. Далі методом електроенцефалографії досліджувати вплив обраних композицій на ритми головного мозку, в залежності від їх частотних характеристик[33]. Дана методика була використана для відбору музичних творів у подальших дослідженнях.

2.6 Висновки

Як вже було сказано раніше є досить велика кількість досліджень впливу складних сигналів на людину, проте задля конкретизації результатів і їх систематизації, а також на основі наявних можливостей і технологій потрібно зосередити увагу також на тому якими є характеристики сигналу. Перспективним напрямком є застосування спектрального і часового аналізу акустичних сигналів.

РОЗДІЛ 3

СПЕКТРАЛЬНО-ЧАСОВИЙ АНАЛІЗ РЕЗОНАНСІВ МОВЛЕННЄВОГО ТА СЛУХОВОГО ТРАКТІВ ЛЮДИНИ

3.1 Вступ

Акустична теорія резонансів голосних звуків (формант), головним стимулом для розвитку якої служило створення синтезаторів мови, має довгу історію і їй присвячені монографії [34]. Було, зокрема, встановлено, що частотні положення формант, залежні головним чином від передавальної функції мовленнєвого тракту, мають тісний статистичний взаємозв'язок, що характеризується коефіцієнтом взаємної кореляції. Резонанси ж слухового тракту спеціально не досліджувалися, внаслідок чого і кореляція між резонансними частотами слухового і мовного трактів не розглядалася. Про стан досліджень слухового тракту у людини можна судити хоч би по тому, що параметри його елементів приводяться без вказівки на те, до чоловічого або жіночого вуха вони відносяться. Створення математичної моделі та отримання формули для параметра норми середнього вуха людини дозволило провести дослідження резонансів слухового і мовленнєвого трактів.

Метою цього розділу є визначення першої і другої парціальних частот середнього вуха[35,36], їх взаємозв'язки з формантними частотами голосних звуків «а» і «у», і спектральними максимумами сигналів викликані отоакустичної емісії вуха людини в нормі. Отримані в подальшому дані є корисними, адже буква «а», і відповідно звук «а», є найпоширенішою буквою у світі і зустрічається в усіх алфавітах. Звуки «у» та «а» є голосними однієї сім'ї, саме тому доцільно вивчати їх одночасно.

Характерною фізичною особливістю голосних звуків є те, що вони відрізняються порівняно великою інтенсивністю і тривалістю звучання (0.1 - 0.3 с), дискретним спектром і формантною структурою, що огинає спектр. Спектри голосних звуків «а» і «у» досліджувалися за допомогою ПК із

зовнішньою звуковою платою та професійним мікрофоном Audio-TechnicaATR35s ємнісного типу, і прикладних програм.

Для виявлення взаємозв'язку формантних частот голосних звуків «а» і «у» чоловічого і жіночого голосу з резонансними частотами середнього вуха людини було зроблено експериментальне дослідження спектрів голосних звуків жіночого, дитячого, і чоловічого голосів при різних умовах, за допомогою ПК і прикладного пакету Sound Forge. Тривимірні спектри були отримані за допомогою пакету SpectraLab.

По отриманим графікам були визначені формантні частоти голосних звуків «а» і «у» для чоловічого і жіночого голосу. Результати аналізу графіків приведені в табл. 3.1 - 3.2.

Порівнявши отримані дані зі значеннями парціальних частот середнього вуха видно, що перша парціальна частота близька за значенням з першою формантною частотою звуку «а» як для чоловічого, так і для жіночого голосу, і з другою формантною частотою звуку «у» для чоловічого голосу.

Проте слід обумовити, що при розрахунку першої парціальної частоти немає вказівок про те, що приведені значення маси слухових кісточок і барабанної перетинки відносяться до чоловічого або жіночого вуха.

За даними отриманими вище, за допомогою трьохчастотного тимпанометра (226, 660, 1000 Гц), резонансна частота середнього вуха чоловіка дорівнює 700 Гц, а жінки – 1000 Гц.

З урахуванням цього можна уточнити, що перша парціальна частота близька за значенням з першою формантною частотою звуку «а» для чоловічого, і другою для жіночого.

Таблиця 3.1 - Формантні частоти звуків «а» і «у» для жіночого голосу

№ п/п	Частота основного тону, Гц	Формантні частоти, Гц		
		f_1	f_2	f_3
А				

1	260	776	1036	2585
2	271	819	1103	2760
3	268	808	1076	2695
4	255	754	1009	2735
5	269	754	1023	2775
у				
1	295	280	575	2816
2	292	269	561	2989
3	310	291	601	2965
4	308	280	588	2880
5	313	302	615	2729

Таблиця 3.2 - Формантні частоти звуків «а» і «у» для чоловічого голосу

№ п/п	Частота основного тону, Гц	Формантні частоти, Гц		
		f_1	f_2	f_3
А				
1	120	582	1056	2695
2	113	689	1130	2742
3	127	689	1030	2722
4	116	679	1023	2709
5	120	582	1063	2441
У				
1	122	366	708	2575
2	138	269	675	2448
3	141	280	668	2508
4	138	269	775	2548
5	135	259	775	2515

Усереднивши приведені вище дані отримаємо наступний результат (табл.3.3).

Таблиця 3.3 – Усереднені дані по формантним частотам

Голосні	Частота основного тону, Гц	Формантні частоти, Гц		
		f_1	f_2	f_3
Жіночий голос				
А	265	780	1050	2710
У	305	285	590	2875
Чоловічий голос				
А	120	645	1060	2660
У	135	290	720	2520

Частоти третьої форманти звуків «а» і «у» близькі до другої парціальної частоти середнього вуха людини.

Також слід зазначити, що частоти третьої форманти звуків «а» і «у» практично рівні, і залежності від статі піддослідного не виявлено.

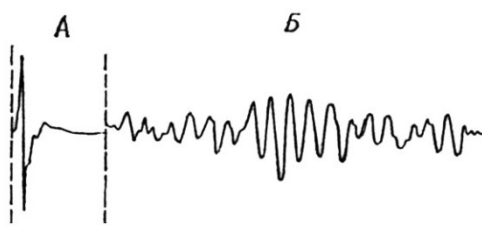
3.2 Дослідження сигналів ВОАЕ

Для виявлення взаємозв'язку парціальних частот середнього вуха людини з резонансними частотами сигналів ВОАЕ був проведений спектральний аналіз сигналів ВОАЕ за допомогою прикладного пакету MatLAB.

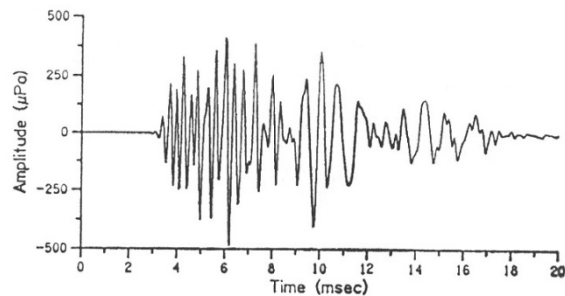
Досліджувалися сигнали ВОАЕ у відповідь на стимул у вигляді клацання і тональних посилок з різними частотами.

На рис.3.1 представлені приклади ВОАЕ у відповідь на широкосмугові клацання у піддослідних з нормальним слухом.

При розгляді спектрів приведених сигналів (рис.3.2,а,б) можна помітити, що частота максимуму спектру сигналу ВОАЕ співпадає з частотою максимуму спектру стимулу і відповідає значенню $2f_{1П}$. На спектрі представленому на рис.3.2,в частота другого максимуму відповідає другій парціальній частоті середнього вуха людини.

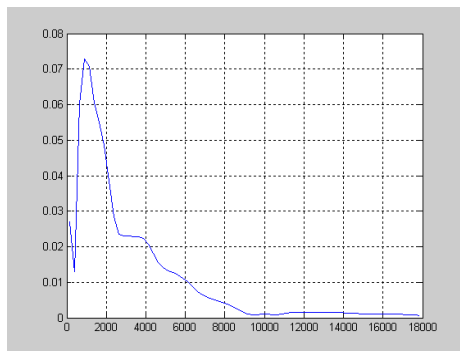


(a)

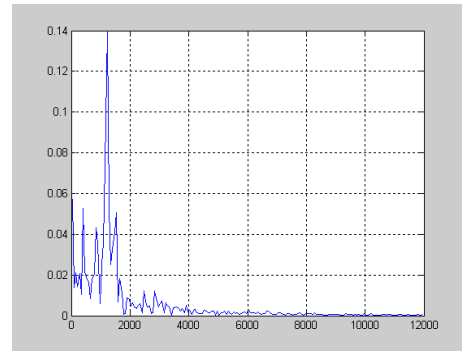


(б)

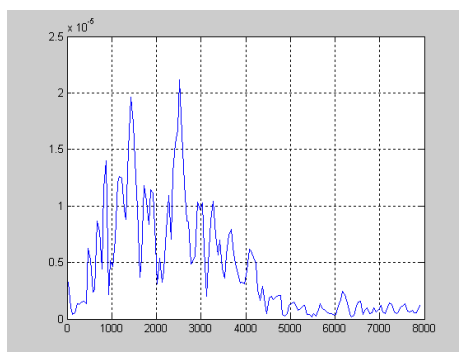
Рис.3.1 – (а) - ВОАЕ правого вуха піддослідного з нормальним слухом, вік 22 роки, у відповідь на широкосмугове клацання: А - форма клацання, Б - форма відповіді (відповідь збільшена в порівнянні із стимулом в 32 рази); (б) - форма сигналу у відповідь на клацання тривалістю 80 мкс і інтенсивністю 40 дБ, що обмежене частотами 400 - 5000 Гц



(a)



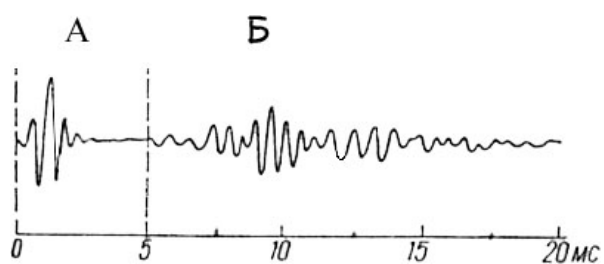
(б)



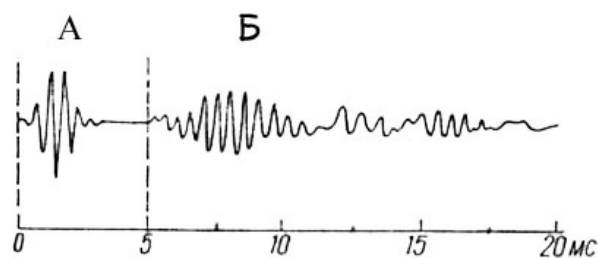
(в)

Рис.3.2- Спектри сигналів, які представлені на рис.3.1

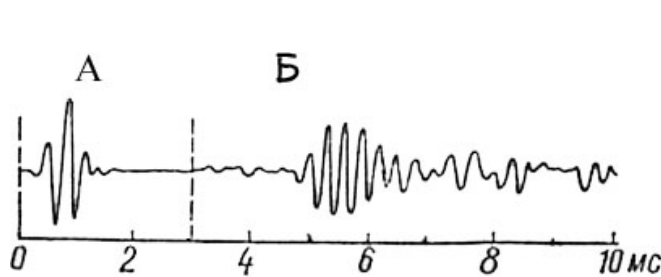
Також досліджувалися сигнали ВОАЕ у відповідь на тональні посилки рівнем 50 дБ (рис.3.3). На цих рисунках А позначені форми стимулів, Б - форми відповідей. Відповіді збільшені в порівнянні із стимулами в 32 рази.



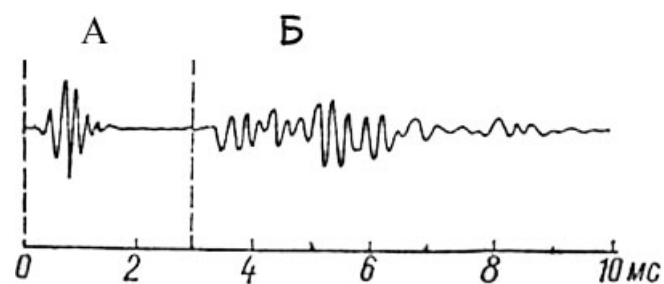
(а)



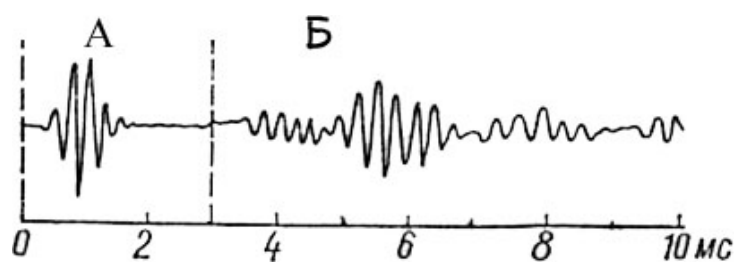
(б)



(в)



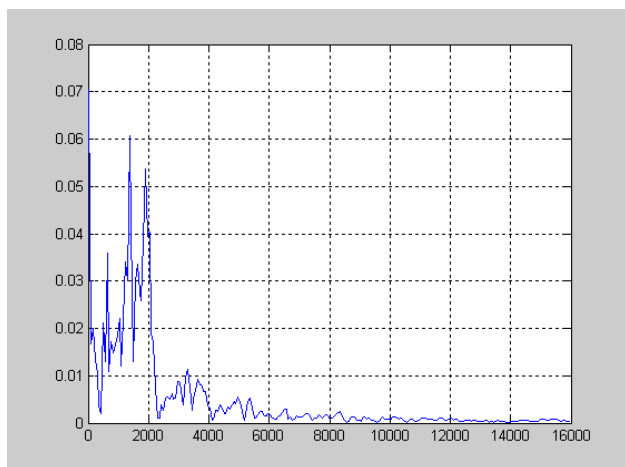
(г)



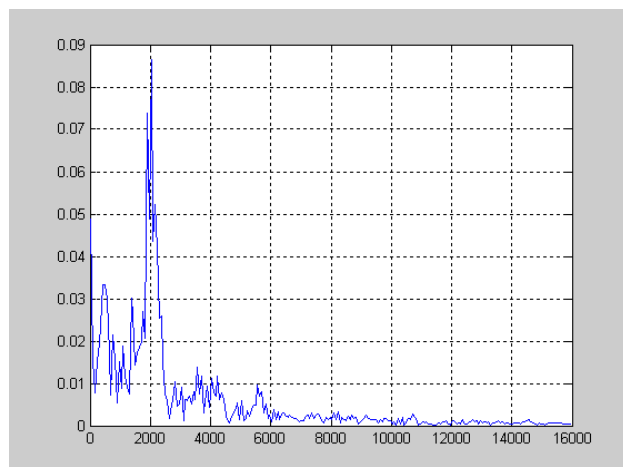
(д)

Рис.3.3 - Сигнали ВОАЕ у відповідь на тональні посилки рівнем 50 дБ з частотами заповнення: (а) - 1500 Гц; (б) - 2000 Гц; (в) - 3000 Гц; (г) - 4000 Гц; (д) - 6000 Гц

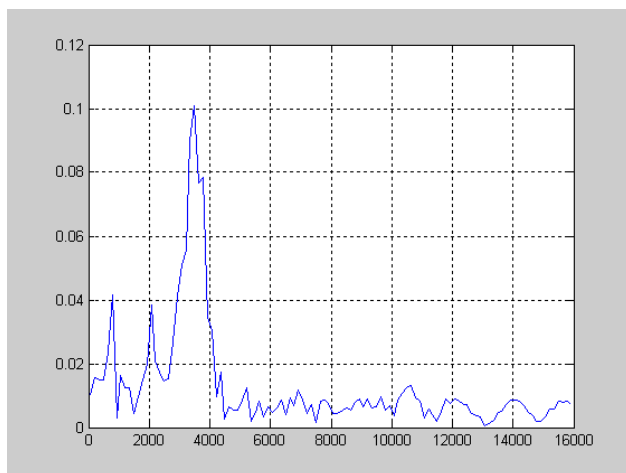
На рис.3.4 приведені спектри сигналів ВОАЕ у відповідь на тональні посилки з частотами заповнення відповідно до 1500, 2000, 3000, 4000 і 6000 Гц.



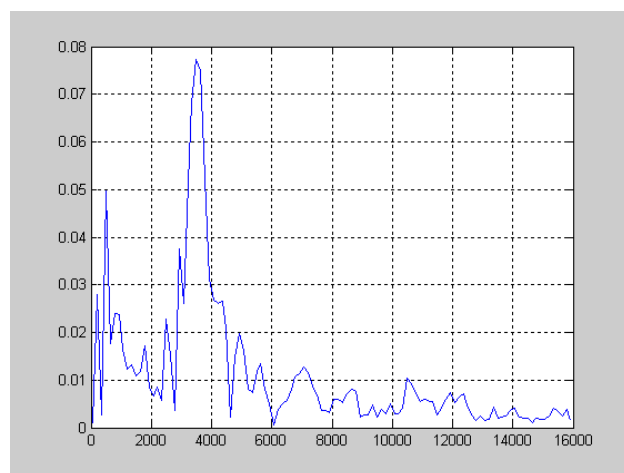
(а)



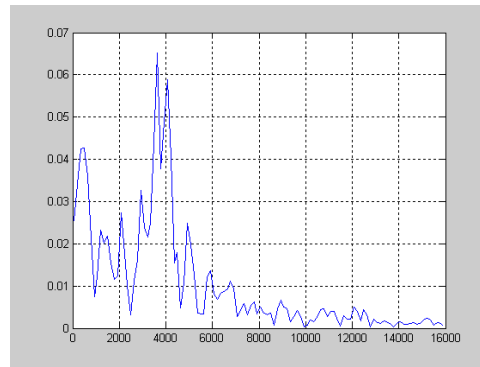
(б)



(в)



(г)



(д)

Рис.3.4 - Спектри сигналів BOAE у відповідь на тональні посилення з частотами, що відповідають рис.3.3

Проаналізувавши спектри на рис.3.4 можна зробити висновки, що доки частота заповнення стимулу не перевищує 2000 Гц, максимум спектру відгуку співпадає з частотою заповнення стимулу. Проте, при частотах заповнення стимулу, близьких до другої парціальної частоти середнього вуха людини, і вище, максимум спектру сигналу BOAE дорівнює другій парціальній частоті.

3.3 Дослідження спектральних характеристик звуків «а» і «у» за допомогою прикладного пакету SoundForge

Можливості прикладного пакету Sound Forge

Sound Forge є професійною програмою для редагування звуку, що включає великий набір процесів, ефектів і інструментів (пакетний перетворювач - спектральний аналіз - автоматичне виділення ділянки - редактор установок - статистика - простий синтез та ін.) для маніпулювання аудіоданими. Sound Forge працює приблизно з 20 форматами. На рис.3.5 показана основна панель, спектр сигналу і записаний сигнал.

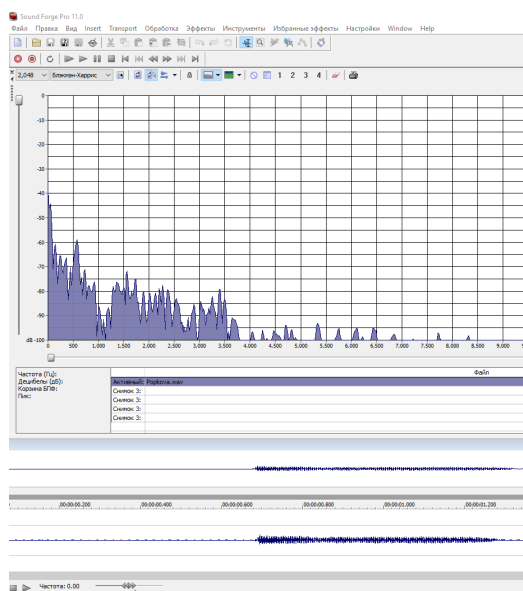


Рисунок 3.5 - Основна панель: спектр сигналу (зверху) і записаний сигнал (знизу)

Параметри виставляємо на: Sample Size - 16-bit, і Sample Rate - 44100Гц.

Для отримання спектральної характеристики записаного сигналу на лінійці інструментів натискаємо Tools/Spectrum Analysis і отриманий результат бачимо на рис.3.6 і рис.3.7 для звуку «а» тривалістю 0.5 секунди, на рис.3.8 і рис.3.9 для звуку «а» тривалістю 1 секунда; на рис.3.10 і рис.3.11 для звуку «у» тривалістю 0.5 секунди, на рис.3.12 і 3.13 для звуку «у» тривалістю 1 секунда.

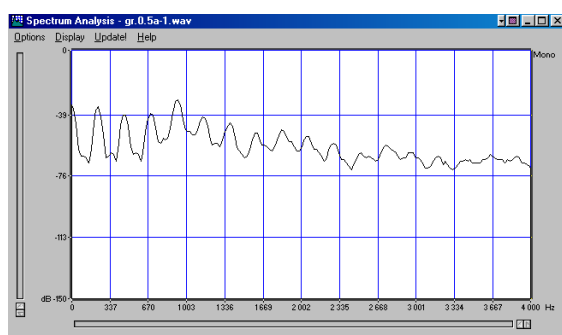


Рисунок 3.6 - Звук «а» тривалістю 0.5 с (матері)

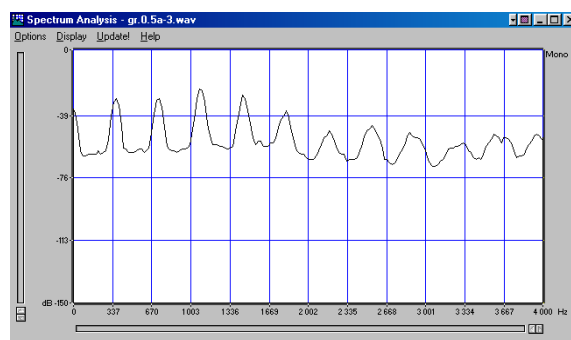


Рисунок 3.7 - Звук «а» тривалістю 0.5 с (дочки)

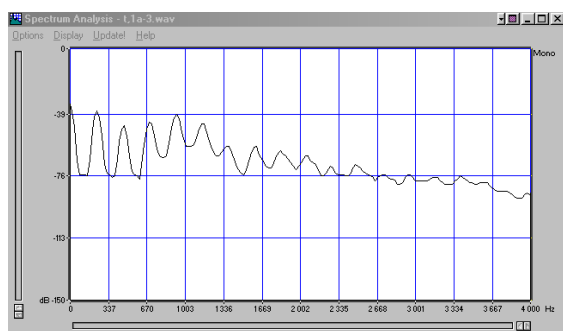


Рисунок 3.8 - Звук «а» тривалістю 1 с (матері)

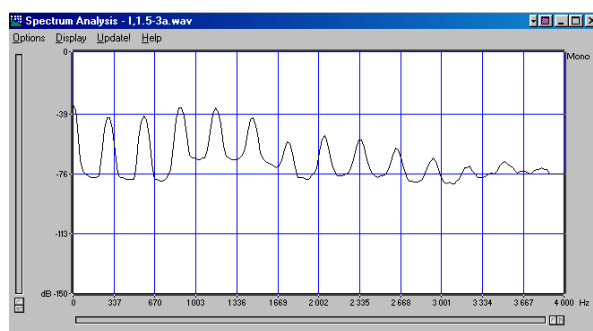


Рисунок 3.9 - Звук «а» тривалістю 1 с (дочки)

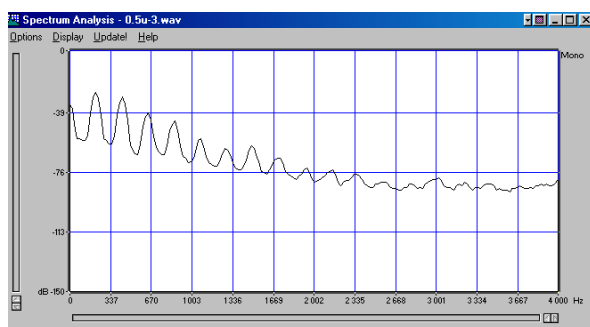


Рисунок 3.10 - Звук «у» тривалістю 0.5 с (матері)

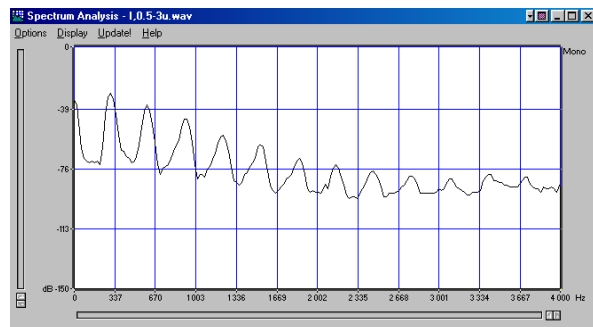


Рисунок 3.11 - Звук «у» тривалість 0.5 с (дочки)

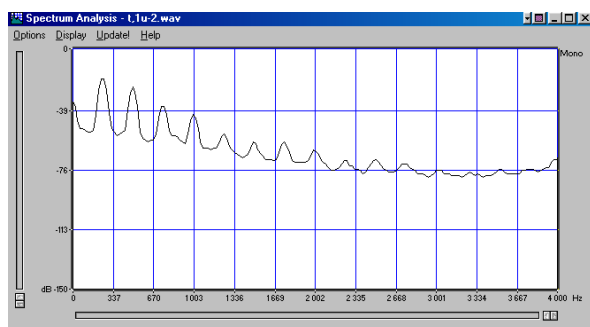


Рисунок 3.12 - Звук «у» тривалістю 1 с (матері)

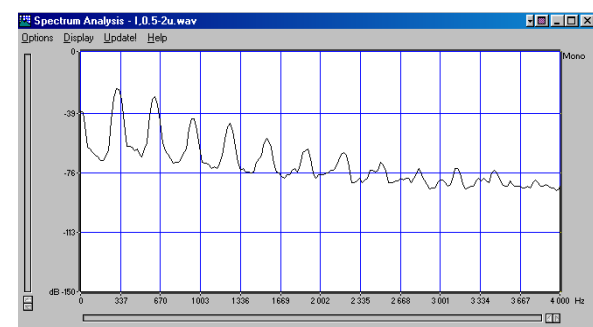


Рисунок 3.13 - Звук «у» тривалістю 1 с (дочки)

Результати, отримані за допомогою прикладного пакету Sound Forge

Звуки "а" і "у" записувалися з різною тривалістю -0.5с. та 1с., тихим, нормальним, гучним голосом, а також був зроблений запис голосом після фізичного навантаження (25 присідань і 20 стрибків). Отримані формантні частоти приведені в табл.3.4.

Таблиця 3.4 – Таблиця отриманих результатів

Для 0.5 сек.														
Ім'я	Звук	№ досліджу	з фізичним навантаженням			гучно			нормально			тихо		
			f_1	f_2	f_3	f_1	f_2	f_3	f_1	f_2	f_3	f_1	f_2	f_3
М А Т И	а	1	454	1107	2699	688	1142	2285	623	1061	2559	688	1074	2559
		2	450	1183	2693	670	1113	2256	623	1037	2448	688	1063	2571
		3	443	1090	2670	670	1131	2278	699	1078	2583	676	1062	2588
	у	1	227	676	2553	250	511	2285	215	623	2483	215	629	2408
		2	227	655	2518	262	513	2338	215	618	2478	215	629	2454
		3	239	664	2502	262	518	2251	215	635	2349	215	650	2443
Д О Ч К А	а	1				664	979	2626	594	1183	2402	734	1084	2571
		2				699	1061	2683	599	1183	2396	758	1026	2443
		3				699	1078	2636	583	1183	2482	752	1062	2479
	у	1				495	1014	2559	320	668	2420	329	635	2443
		2				507	1032	2618	297	623	2524	326	641	2433
		3				448	903	2640	303	625	2437	332	653	2489
Для 1 сек.														
Ім'я	Звук	№ досліджу	з фізичним навантаженням			гучно			нормально			тихо		
			f_1	f_2	f_3	f_1	f_2	f_3	f_1	f_2	f_3	f_1	f_2	f_3
М А Т И	а	1	688	1142	2285	699	1166	2565	693	1143	2539	641	1074	2559
		2	688	1160	2291	693	1160	2530	693	1154	2530	658	1072	2552
		3	670	1125	2233	682	1137	2513	699	1142	2478	664	1090	2588
	у	1	239	717	2419	262	542	2360	221	625	2472	221	641	2303
		2	221	682	2472	262	542	2400	215	629	2495	215	641	2425
		3	250	775	2419	262	542	2367	215	641	2495	215	653	2443
Д О Ч К А	а	1				716	1124	2495	595	1184	2361	833	1265	2518
		2				717	1084	2543	571	1160	2320	856	1228	2590
		3				752	1113	2500	583	1166	2338	852	1119	2570
	у	1				419	845	2577	279	585	2497	454	903	2634
		2				402	810	2454	297	612	2489	419	874	2588
		3				390	781	2455	291	612	2501	419	839	2699

Дослідження спектральних характеристик звуків «а» і «у» за допомогою прикладного пакету Matlab

Для отримання 3-х вимірних зображення спектрів «а» і «у» був застосований пакет "Matlab".

На рис. 3.14 – 3.21 представлені 3-х мірні графіки.

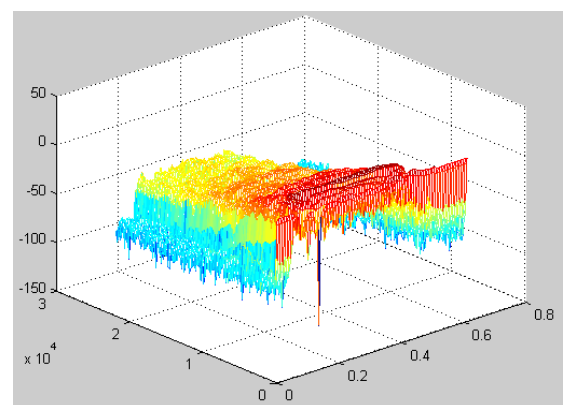
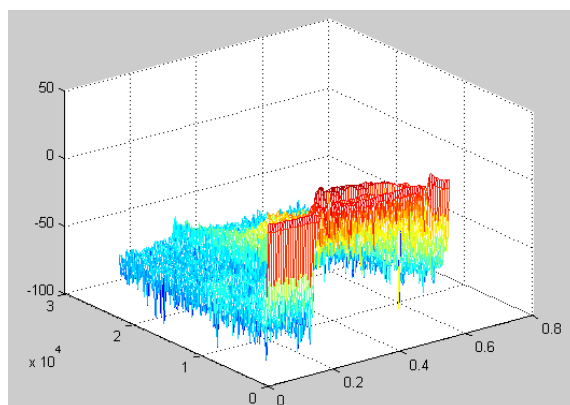


Рисунок 3.14 - Звук «а» тривалістю 0.5 с (матері)

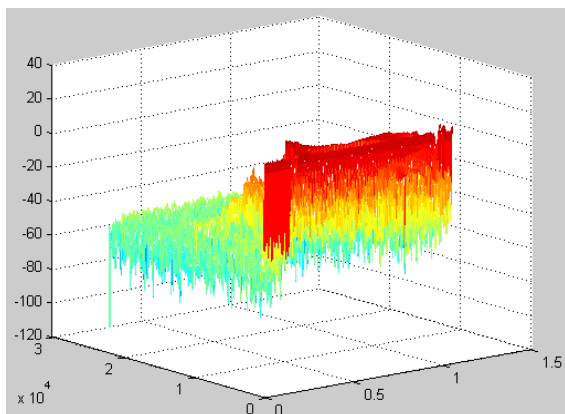


Рисунок 3.15 Звук «а» тривалістю 0.5 с (дочки)

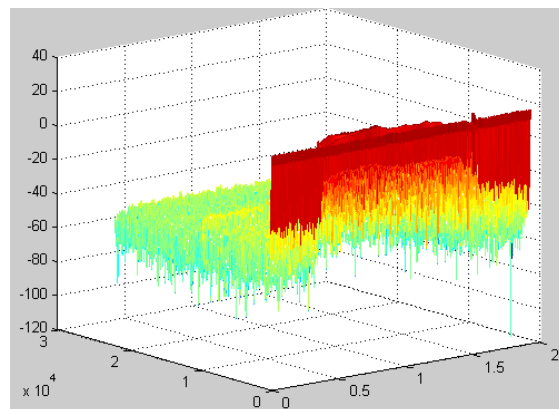


Рисунок 3.16 - Звук «а» тривалістю 1 с (матері)

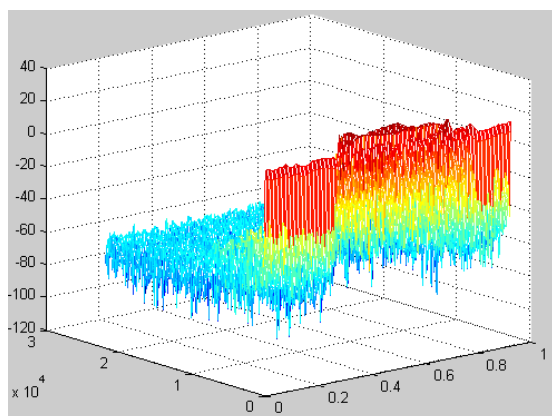


Рисунок 3.17 Звук «а» тривалістю 1 с (дочки)

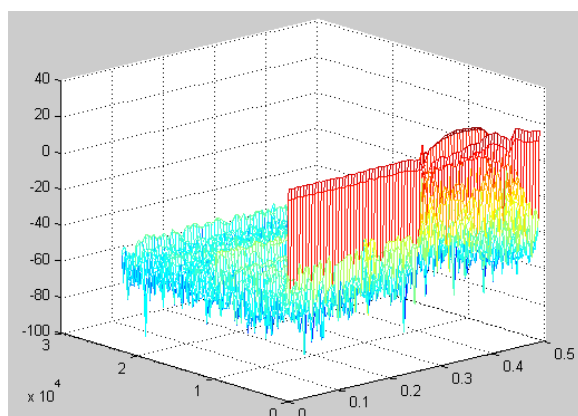


Рисунок 3.18 - Звук «у» тривалістю 0.5 с (матері)

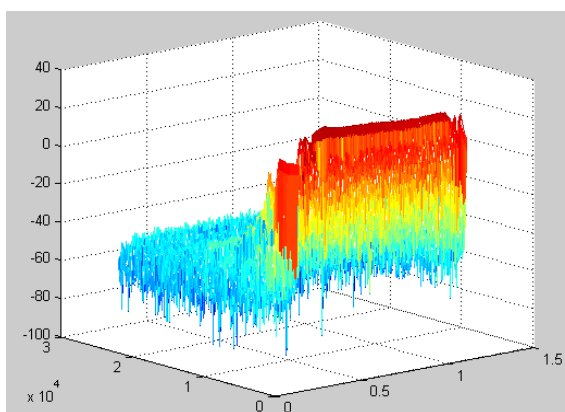


Рисунок 3.19 Звук «у» тривалістю 0.5 с (дочки)

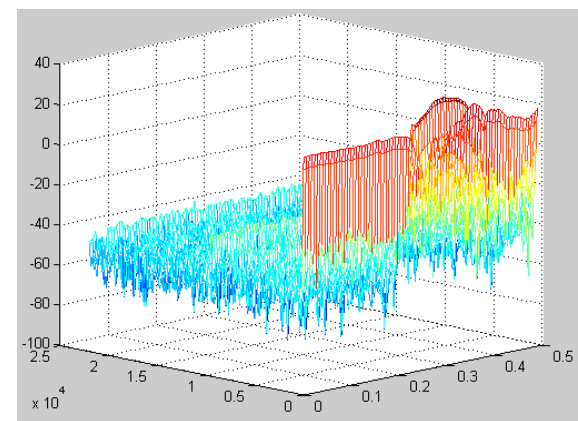


Рисунок 3.20 - Звук «а» тривалістю 1 с (матері)



Рисунок 3.21 - Звук «а» тривалістю 1 с (дочки)



3.4 Висновки

В даному розділі був проведений формантний аналіз голосних звуків «а» і «у» жіночого і дитячого голосів, за допомогою експериментального дослідження спектру голосних однієї сім'ї.

Було встановлено, що резонансна частота середнього вуха в нормі близька до частоти найбільш виступаючої форманти звуку «а» : другої ($\cong 1000$ Гц) у жінок і дітей; спадковою ознакою мови у жінок є друга форманта звуку «а» по лінії матері; частота третьої форманти звуків «а», «у» ($\cong 2600$ Гц) відповідає парціальній частоті коливальної системи барабанна порожнина - слухова труба, і не залежить від статі людини.

Також в розділі був проведений спектральний аналіз сигналів викликаних отоакустичною емісією, на основі якого встановлено, що слухова система людини відкликається на резонансних частотах середнього вуха, а не обумовлена лише внутрішнім вухом.

Дані висновки можуть бути використані при підборі музичних композицій для досліджень.

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ СУКУПНОГО ВПЛИВУ СТРЕСОВОГО ФАКТОРУ ТА МУЗИЧНОГО СИГНАЛУ НА ПСИХОФІЗИЧНИЙ СТАН ЛЮДИНИ

4.1 Вступ

На сьогоднішній день актуальним напрямком в психоакустиці є застосування акустичних впливів з метою корекції фізіологічного, функціонального або психологічного стану людини [37], [38]. Для досягнення поставленої мети, наприклад, регуляції частоти пульсу, підвищення продуктивності виконуваної людиною роботи, покращення настрою, скорочення імовірності нападів у хворих епілепсією, зменшення проявів синдрому дефіциту уваги чи гіперактивності, полегшення стану при депресії використовуються різноманітні аудіо стимули [39]–[40]. Це можуть бути музичні фрагменти певних стилів - класична, фольклорна, духовна, поп-музика, окремі музичні елементи - звуки, ритми, шумові сигнали - білий, рожевий, коричневий шум тощо. Слід зазначити, що відбір музично-акустичних сигналів для проведення музичної терапії в більшості випадків носить суб'єктивний характер, тому використання навіть однакових творів в деяких випадках призводить до протилежних результатів і висновків. Одним із варіантів вирішення даної проблеми може бути застосування спектрального і часового аналізу акустичних сигналів, що використовуються для аудіостимуляції, з одночасним пошуком зв'язку між їх об'єктивними характеристиками та закономірностями в зміні біоелектричної активності головного мозку до, під час та після акустичного впливу.

Для дослідження ефективності музичної терапії за допомогою сучасних електроенцефалографічних комплексів реєструють електроенцефалограму (ЕЕГ) і проводять її аналіз. Оскільки ЕЕГ відображає різницю електричних потенціалів постсинаптичних мембран нейронів, за зміною її частотних компонентів (ритмів) можна оцінити зміни в роботі головного мозку.

Основні ритми мозку - це альфа- (частота від 8 до 13 Гц, амплітуда 15-100 мкВ), бета- (частота від 13 до 40 Гц, амплітуда 3-10 мкВ), дельта- (частота від 0,3 до 4 Гц, амплітуда 20-30 мкВ), тета- (частота від 4 до 7 Гц, амплітуда до 40 мкВ), і гамма-ритм (частота від 35 до 500 Гц, амплітуда зазвичай до 10 мкВ) [41].

Альфа-ритм максимально виражений в задніх (потиличних) відведеннях при закритих очах. Альфа-хвилі пов'язані з умінням людини розслабитися, здатністю долати стрес, а також засвоювати нову інформацію. У нормі відзначається зниження альфа-ритму на ЕЕГ при розплющенні очей, занепокоєнні, при активній розумовій діяльності, а також під час сну.

Бета-ритм має максимальну вираженість в лобово-центральных відведеннях. Він посилюється в період сонливості, при засинанні та іноді при пробудженні. В період глибокого сну амплітуда і вираженість бета-ритму істотно знижується. Посилення активності бета-ритму відзначається при прийомі психоактивних препаратів. Регіональне зниження бета-ритму одночасно зі зниженням альфа-ритму може говорити про структурне ушкодження або дефект кори головного мозку.

Максимальна вираженість тета-ритму зустрічається у дітей 4-6 років. Він може реєструватися на ЕЕГ здорової притомної людини під час емоційної активації. Однак поруч з цим існує безліч патологічних станів або змінених станів свідомості (сон, медитація), що супроводжуються розвитком продовженої і короткочасної тета-активності, більшість з яких вимагає проведення нейровізуалізації.

Дельта-ритм реєструється під час глибокого сну, при гіпервентиляції або в стані наркозу. Домінування дельта-активності у підлітків і дорослих в стані неспання - ознака патології. Виявляється у пацієнтів з наявністю енцефалопатій, що супроводжуються змінами рівня свідомості (кома), а також є ознакою важкого структурного мозкового порушення (пухлина, інсульт, травма, абсцес). В поодиноких роботах зустрічається інформація,

що коливання в цьому діапазоні можуть бути ідентифіковані в сигналі ЕЕГ у стані спокою при деяких формах стресу.

В роботі [41], присвяченій дослідженню дельта-ритму при виконанні різних когнітивних процесів, автор зазначає, що функціональні дельта-коливання реєструються під час синхронізації мозкової діяльності з вегетативними функціями, в мотиваційних процесах, пов'язаних як з винагородою, так і з атавістичними захисними механізмами, у вищій емоційній діяльності, а також у когнітивних процесах, пов'язаних з увагою та виявленням мотиваційно помітних подразників у навколишньому середовищі. Під час виконання розумових завдань роль дельта-хвиль пов'язана з пригніченням чуттєвих стимулів, які перешкоджають внутрішній концентрації. Також відомо, що збільшення потужності дельта-коливань при виконанні розумових завдань відіграє роль бар'єру для всіх перешкод, які можуть вплинути на виконання завдання [41].

Як у людей, так і у гризунів, фронтальні δ - та θ - ритми пов'язані з когнітивним контролем та організацією цілеспрямованої діяльності. Часом зміни δ -ритму пов'язані з різними захворюваннями мозку. Міжпівкульна та лобно-тім'яна δ -синхронізація зменшується у пацієнтів із легкою хворобою Альцгеймера та судинною деменцією. [42]

Загалом існує кілька різних конкуруючих і в певній мірі перехрестних ідей про значення та механізми місцевого ритму дельти в стані бадьорості. Виникнення локальної дельти в певній частині мозку може бути пов'язане з неуважністю, непритомністю, або навіть сном у цій частині мозку. Докази, що підтверджують цю гіпотезу, походять із досліджень дельфінів, тюленів та птахів, які показують присутній у всій півкулі ритмічний дельта ритм та її (півкулі) перебування у стані повільного сну, тоді як інші відділи мозку знаходяться в активованому стані. У цьому стані тварини свідомі, активні і зазвичай займаються руховими завданнями. Інша ідея, яка базується на спостереженні за пацієнтами з епілепсією, полягає в тому, що під час нападів

та безпосередньо після них деякі кортикальні ланцюги можуть виявляти повільно-хвильову активність та дельта-ритм. У ці моменти пацієнти не знають про своє оточення і не реагують на подразники. Таким чином, згідно з цією гіпотезою, локальний дельта-ритм виникає, коли люди частково або повністю несвідомі. Експерименти на гризунах дозволяють припустити, що напади можуть ефективно зупинити висхідну активуючу систему, зокрема холінергічні нейрони і що це може пояснити як непритомність, так і уповільнення кори. На відміну від цих свідчень, є дані, що локальні кортикальні ланцюги, навіть локальні колони, можуть демонструвати диференційований дельта-ритм на основі попередньої активності в області мозку, тобто на основі попереднього навантаження та поточного метаболізму у відповідній частині мозку. Згідно з цією гіпотезою, стовпці, які були активними і задіяні в тому чи іншому завданні, можуть входити в ритми, схожі на сон, тоді як сусідні стовпці все ще активні. Ця гіпотеза також має експериментальну доказову базу, отриману у гризунів [43].

4.2 Постановка проблеми

В попередніх дослідженнях, вивчалась біоелектрична активність головного мозку студентів при прослуховуванні низькочастотного аудіостимулу. При цьому спостерігалася позитивна динаміка альфа- і бета-ритмів, що говорить про те, що застосування такого роду сигналів допомагає уникати перезбуджень максимально активних ділянок мозку і таким чином запобігати формуванню патологічних вогнищ, а також сприяє відновленню роботи мозку в фізіологічних умовах на етапах функціональних перевантажень.

Однак, незважаючи на присутність позитивного ефекту від прослуховування низькочастотного музичного твору, в ЕЕГ всіх учасників експерименту, які на момент дослідження були практично здорові, не мали в анамнезі черепно-мозкових травм, виражених проблем слуху, а також

захворювань центральної нервової системи, фіксувалися дельта-хвилі, наявність яких в стані неспання зазвичай вважається ознакою патології.

Якщо дослідити часові періоди, в які проводилися вимірювання, а це періоди до та під час залікової сесії, то можна пов'язати наявність в ЕЕГ дельта-ритмів з дією певних стресових факторів на учасників експерименту. Як відомо, стрес - це стан людини, що виникає у відповідь на екстремальні впливи, реакція організму на дію негативних факторів. Стресові фактори - це впливи на організм, які викликають реакцію напруги. До останніх відносять фізіологічні і психологічні фактори, зокрема, фізичні, інформаційні, емоційні навантаження.

За останнє десятиріччя в загальній картині стресу зросла значущість проблем, пов'язаних з навчальною діяльністю [44]. Значні навчальні навантаження, які пов'язані з великою кількістю завдань з різних видів дисциплін, серйозні емоційні переживання, необхідність обробки великого обсягу інформації викликають значне нервово напруження у студентів [45], [46]. На сьогодні окремою категорією виділяють таке поняття як екзаменаційний стрес[47].

В літературі описані різноманітні підходи в дослідженні прихованих та явних форм стресу. Це можуть бути суб'єктивні методи, що ґрунтуються на використанні опитувальників і тестів на визначення рівня тривожності та депресії за різними шкалами[48], [49], й об'єктивні, що включають дослідження шкірно-гальванічної реакції, ЕЕГ та фотоплетизмограм [50]. Поширені дослідження по вивченню впливу музичних творів на рівень стресу [51], [52], [53]. Зокрема, в [51] досліджується вплив музичних творів різних жанрів, що звучать англійською мовою і мовою урду, яке показало, що треки англійською мовою призводили до зниження рівня стресу краще. Такі висновки були зроблені на підставі результатів застосування алгоритмів послідовної мінімальної оптимізації, методу стохастичного градієнту та логістичної регресії. Серед жанрів значних відмінностей по впливу на стрес

зафіксовано не було. Також в цій роботі було показано, що прояви стресу у жінок мають точніший відклик на музичний вплив, ніж у чоловіків. В статті [52] систематизовано дослідження, що проводилися протягом останніх десятиліть і були присвячені спробам зменшення рівня стресу із застосуванням різних аудіостимулів. Зміна рівня стресу оцінювалась по зміні альфа- і тета-хвиль. В [53] за оцінкою альфа-ритму вивчали вплив музики на короткотривалий стрес, який створювали учасникам дослідження безпосередньо під час проведення експерименту. Праці [49] і [54] присвячені спробі класифікувати стрес на підставі аналізу ЕЕГ. В них показано, що в якості можливого біомаркери довготривалого стресу можна розглядати асиметрію альфа- і бета-ритмів. В статті стрес [46] оцінювався по відношенню тета-ритму до альфа-ритму.

Проведений аналіз показав, що існує багато робіт по вивченню впливу музики окремо на стрес або на зміну параметрів альфа-, бета- або тета-хвиль. Однак відсутні роботи по дослідженню сукупного впливу аудіостимулу та розтягнутого в часі стресу на електричну активність головного мозку, зокрема на дельта-ритм.

Задача і мета дослідження

Метою роботи є аналіз відношення вкладу дельта-хвиль головного мозку у його сумарну активність у відсотковому обсязі під час прослуховування низькочастотних акустичних сигналів до та під час дії стресогенного фактору, тобто під впливом суперпозиції стимулів.

Для досягнення мети були сформульовані наступні задачі:

- 1) Проаналізувати зміни рівня дельта-ритму до та після прослуховування низькочастотного музичного фрагменту.
- 2) Проаналізувати зміну рівня дельта-ритму до та під час непрямого впливу розтягнутих у часі стресових факторів.

В ході експериментів вивчався опосередкований вплив розтягнутого у часі (протягом декількох тижнів) навчального стресу, що призводить до збільшення психоемоційної напруженості. Перша серія досліджень проводилася на початку навчального семестру, друга - під час підвищеного навчального навантаження – в період після другого календарного контролю перед початком сесії. В той самий час музичний вплив був прямим – безпосередньо під час експериментів.

У рамках даного дослідження чисельне значення рівня напруженості визначалося відсотком вкладу δ -ритму у загальну потужність енцефалограми – тобто чим вище відсоток, тим вище рівень стресу.

Дослідження проводилися на кафедрі акустичних та мультимедійних електронних систем Національного технічного університету України "КПІ ім. Ігоря Сікорського". В них приймали участь 5 осіб, з яких 2 – чоловіки і 3 – жінки у віці 18-22 років. Всього було проведено 14 експериментів – по 7 в чоловічій та жіночій групах. Кількість проведених сеансів на особу: 4 сеанси – 2 особи (1 чол., 1 жін.); 1 сеанс – 3 особи (2 чол., 1 жін.).

Перед початком експерименту всі вони надавали інформовану згоду на участь у проведенні досліджень та проходили тестування на визначення рівня вираженості тривоги та депресії за шкалою HADS.

Отримані результати було розділено на дві рівні групи (по 7 експериментів) – до початку непрямого впливу розтягнутих у часі стресових факторів (3 експерименти у жінок, 4 експерименти у чоловіків) та після (4 експерименти у жінок, 3 експерименти у чоловіків).

Реєстрація електроенцефалограми (ЕЕГ) відбувалася в 16 монополярних відведеннях з накладанням електродів на однаковій відстані один від одного над основними відділами головного мозку – лобними, центральними, тім'яними, потиличними, скроневими по міжнародній системі "10-20" (Рис. 4.1).

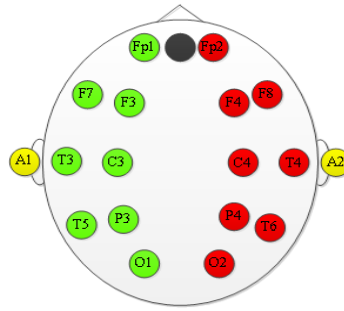


Рис.4.1 Схема розміщення електродів

Електроди закріплювалися на голові респондента м'яким гумовим шоломом. Потенціали активних електродів вимірювались по відношенню до нульових референтних електродів, розміщених на мочках вух. Для дослідження використовували електроенцефалографічний комп'ютерний комплекс BRAINTEST-16 (ТОВ НВП "DX-системи", Україна, м. Харків).

Дослідження проводилося в звукоізольованій камері при комфортних температурних умовах в положенні сидячи. На першому етапі реєстрували фонову ЕЕГ в спокійно-розслабленому стані з закритими очима у відсутності акустичних подразнень.

Початкові дані записів реєстрували в смузі пропускання 0,16-100 Гц, а потім оцінювали за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) в діапазоні від 0,5 до 30 Гц (Рис. 4.2).

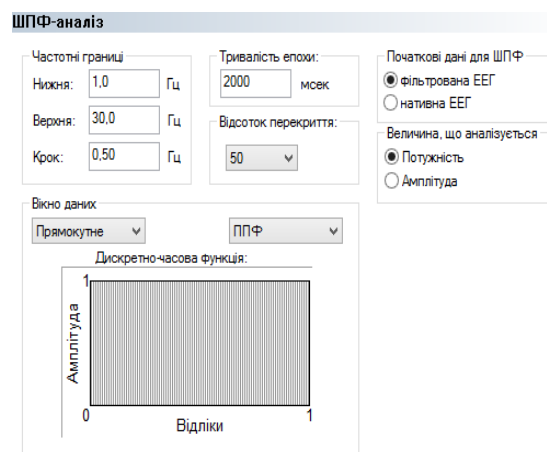


Рис.4.2 Налаштування програми обробки результатів для проведення швидкого перетворення Фур'є

Для математичної обробки ЕЕГ застосовували методи цифрової фільтрації та спектрального аналізу на безартефактних ділянках ЕЕГ (артефакти були видалені із досліджуваних записів на етапі первинної обробки результатів класичним методом[55]), записаної протягом наступних часових періодів: однієї хвилини перед початком музичного впливу, протягом хвилини прослуховування музики, та після закінчення акустичного фрагменту тишу тривалістю одну хвилину.

Статистичний аналіз отриманих даних проводився з використанням програмного продукту BrainTest електроенцефалографічного комп'ютерного комплексу BRAINTEST-16 та прикладних програм Microsoft Excel 2016 та Statistica.

Представлені у роботі дані є результатом спектрального аналізу відфільтрованого запису нативної електроенцефалограми, що перед фінальною обробкою були подані у відсотковому вкладі кожного з біоритмів у загальну потужність зареєстрованої ЕЕГ на підставі використання обчислювальних можливостей програми BrainTest.

У якості музичного впливу була використана композиція Demon Wings гурту Bohren & der Club of Gore, спектральні характеристики якої були розглянуті у роботі [56] та наведені на Рис.4.3 – головні піки сигналу якої знаходяться на 35 та 46 герцах.

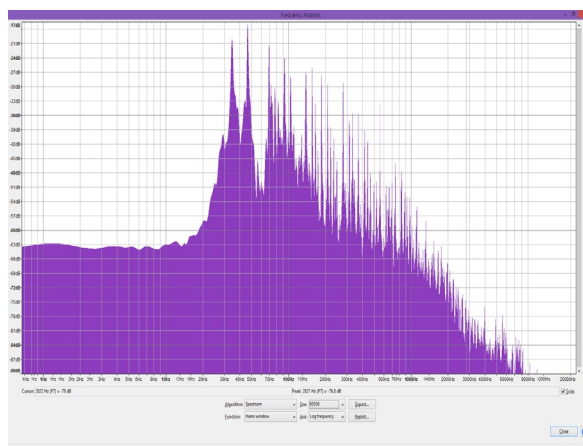


Рис.4.3 Спектрограма фрагменту композиції On Demon Wings гурту Bohren & der Club of Gore

Для аналізу використовували дані ЕЕГ, усереднені по певним групам відведень та показники для кожного відведення (Табл.4.1), що пізніше були усереднені по півкулям. Групи відведень були утворені таким чином, щоб відображувати стан певних ділянок головного мозку (лобних або скроневих часток) для різних півкуль.

Табл.4.1 Дані ЕЕГ, усереднені по групам відведень

Півкуля	Відведення
Ліва	Fp1, F3, F7
Права	Fp2, F4, F8
Ліва	T3, T5
Права	T4, T6
Ліва	C3
Права	C4
Ліва	P3
Права	P4
Ліва	O1
Права	O2
Ліва	Fp1, F3, F7, T3, T5, C3, P3, O1
Права	Fp2, F4, F8, T4, T6, C4, P4, O2

4.3 Результати

Результати, отримані у періоди до та під час дії стресового фактору, представлені у Табл.4.2, де наведені середнє значення відсоткового внеску δ -ритму у повну потужність по двох півкулях, отримані значення параметрів Z та p , що визначають присутність статистично значимої різниці між рівнями вкладу δ -ритму у відсотковому відношенні до сумарної потужності за різними критеріями (на першій та третій хвилині експерименту та до та під час впливу стресового фактору) для тестових груп (групи містять по 7 вимірів). При цьому у роботі параметр α (граничне значення рівня значимості) прийнято рівним 0,05, а параметр p визначає наявність або відсутність різниці між досліджуваними вибірками – якщо його значення нижче 0,05, то нульова гіпотеза відхиляється, тобто наявні розбіжності є статистично значимими. Можливість застосування вибірок такого об'єму показана у [57]. За допомогою непараметричного тесту Уїлкоксона [58] було визначено наявність чи відсутність статистично значимої різниці між підгрупами [59]:

$$Z = \frac{U - m_w}{\sigma_w} \quad (4.1)$$

У формулі (4.1) складові m_w та σ_w мають наступний вигляд:

$$m_w = \frac{n(n+1)}{4} \quad (4.2)$$

$$\sigma_w = \sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}} \quad (4.3)$$

У приведених формулах (4.1)-(4.3): n - розмір вибірки, U - менший індекс.

З 14 експериментів було сформовано 8 груп результатів, які згодом були сформовані в інші, порівняльні групи. Самі результати тесту складаються з відносних рівнів у відсотковому діапазоні δ -ритмів біоелектричної

активності мозку людини протягом тривалості тесту відносно загального рівня біоелектричної активності мозку.

Основним розподілом між тестовими групами було розміщення їх за часом щодо впливу фактору стресу – перша група (7 експериментів усього), які проходили до початку впливу стресу, позначаються як “д”, ті (7 експериментів усього), що реєструвались під час впливу позначаються як “п”.

Табл. 4.2 Результати експерименту до та під час дії стресового фактору

Тестова група	Номер порівняльної групи	Тест Уїлкоксона		
		Середнє значення відсоткового внеску δ -ритму у повну потужність	Z	p
д 1 лів	1	15,37	2,37	0,018
п 1 лів		22,48		
д 1 прав	2	14,43	2,37	0,018
п 1 прав		23,67		
д 3 лів	3	12,39	2,37	0,018
п 3 лів		22,79		
д 3 прав	4	12,21	2,37	0,018
п 3 прав		23,011		
д 1 лів	5	15,37	2,37	0,018
д 3 лів		12,39		
д 1 прав	6	14,43	2,2	0,028
д 3 прав		12,21		
п 1 лів	7	22,48	1,01	0,31
п 3 лів		22,79		
п 1 прав	8	23,67	1,18	0,24

п 3 прав		23,01		
----------	--	-------	--	--

Інший критерій розділу складався з хронометражу результатів у самому експерименті - було виділено дві розділові точки - результати першої хвилини (до музичного впливу) позначені цифрою “1”, результати третьої хвилини (після музичної експозиції) позначені цифрою “3”.

Словами «лів» та «прав» позначені результати відповідно для лівої та правої півкуль.

Відповідно до Табл.4.2, за відсотковим вкладом δ -ритму у загальну потужність енцефалограми, порівняльні групи описують наступні співвідношення у семи вимірах тестових груп:

- 1) Перша порівнює тестову групу, що реєструвалась до впливу стресу протягом першої хвилини записаних даних з лівої півкулі з тестовою групою, що була виміряна під час впливу стресу під час першої хвилини запису даних з лівої півкулі.
- 2) Друга порівнює тестову групу, що реєструвалась до впливу стресу протягом першої хвилини записаних даних з правої півкулі з тестовою групою, що була виміряна під час впливу стресу під час першої хвилини запису даних з правої півкулі.
- 3) Третя порівнює тестову групу, що реєструвалась до впливу стресу протягом третьої хвилини записаних даних з лівої півкулі з тестовою групою, що була виміряна під час впливу стресу під час третьої хвилини запису даних з лівої півкулі.
- 4) Четверта порівнює тестову групу, що реєструвалась до впливу стресу протягом третьої хвилини записаних даних з правої півкулі з тестовою групою, що була виміряна під час впливу стресу під час третьої хвилини запису даних з правої півкулі.

- 5) П'ята порівнює тестову групу, що реєструвалась до впливу стресу протягом першої хвилини записаних даних з лівої півкулі з тестовою групою, що була виміряна до впливу стресу під час третьої хвилини запису даних з лівої півкулі.
- 6) Шоста порівнює тестову групу, що реєструвалась до впливу стресу протягом першої хвилини записаних даних з правої півкулі з тестовою групою, що була виміряна до впливу стресу під час третьої хвилини запису даних з правої півкулі.
- 7) Сьома порівнює тестову групу, що реєструвалась під час впливу стресу протягом першої хвилини записаних даних з лівої півкулі з тестовою групою, що була виміряна під час впливу стресу під час третьої хвилини запису даних з лівої півкулі.
- 8) Восьма порівнює тестову групу, що реєструвалась під час впливу стресу протягом першої хвилини записаних даних з правої півкулі з тестовою групою, що була виміряна під час впливу стресу під час третьої хвилини запису даних з правої півкулі.

Для усіх порівняльних груп під час розрахунку наявності статистично значимої різниці було враховано той факт, що усі тестові групи є залежними, оскільки відображують результати експериментів одних і тих самих людей. Відмінністю є або часовий проміжок у власне матеріалах експерименту, або час проведення самого експерименту.

З отриманих результатів видно, що середні значення тестових груп під час впливу стресових факторів значно збільшилися відносно значень отриманих до даного впливу. Окрім того, якщо до впливу стресових факторів спостерігалось зменшення значень на третій хвилині експерименту відносно першої, то після вказаного впливу значення практично не варіювалися. Для двох останніх порівняних груп немає статистично значимої різниці.

Для наочності порівняння даних отриманих до та під час стресового фактору результати представленні у вигляді графіків (Рис.4.4-Рис.4.11).

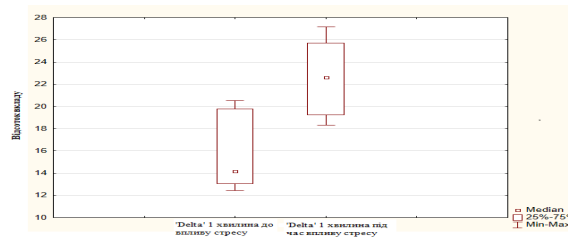


Рис.4.4 Результати, отримані до та під час впливу стресу на 1 хвилині експерименту (ліва півкуля) – перша група

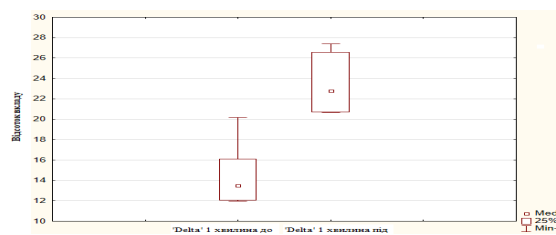


Рис.4.5 Результати, отримані до та під час впливу стресу на 1 хвилині експерименту (права півкуля)

При аналізі Рис.4.4 (порівняльна група 1, що має різницю між середніми значеннями для груп 7,11 відсоткових пунктів) та Рис.4.5 (порівняльна група 2, що має різницю між середніми значеннями для груп 9,24 відсоткових пунктів) можна зробити висновок, що хоча результати учасників експерименту різняться між собою, спостерігається тенденція зростання рівня дельта-ритмів під час впливу стресових факторів, яка яскраво виражена для двох півкуль. Статистично значима різниця між тестовими групами присутня у обох порівняльних групах. Цей результат був отриманий до початку впливу музичного сигналу.

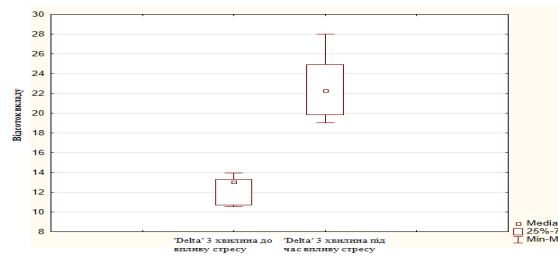


Рис.4.6 Результати, отримані до та під час дії стресового фактору на 3 хвилині експерименту (ліва півкуля)

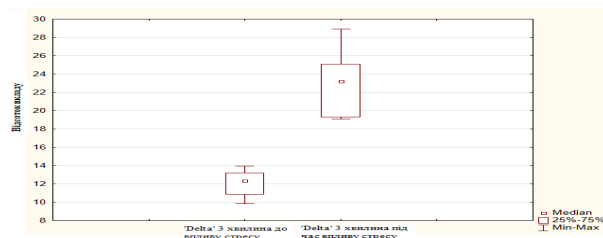


Рис.4.7 Результати отримані до та під час дії стресового фактору на 3 хвилині експерименту (права півкуля)

Результати, зображені у вигляді графіків на Рис.4.6 (порівняльна група 3, що має різницю між середніми значеннями для груп 10,4 відсоткових пунктів) і Рис.4.7 (порівняльна група 4, що має різницю між середніми значеннями для груп 10,79 відсоткових пунктів) вказують на те, що напруженість під час дії стресового фактору значно зростає і це спостерігається для всіх отриманих експериментальних результатів і показують, що зростання рівня стресу відбувалось і після музичного впливу. Статистично значима різниця також була наявна для обох груп.

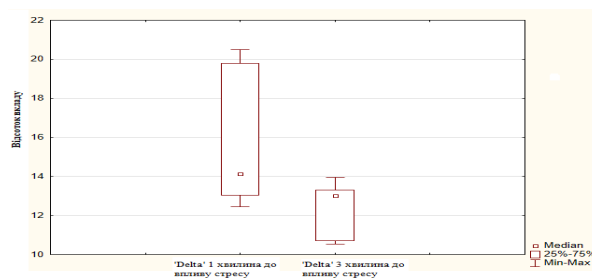


Рис.4.8 Результати, отримані до дії стресового фактору на 1 та 3 хвилині експерименту (ліва півкуля)

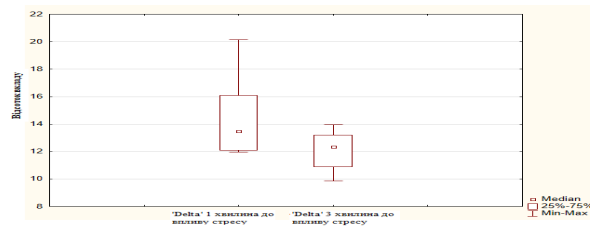


Рис.4.9 Результати отримані до дії стресового фактору на 1 та 3 хвилині експерименту (права півкуля)

Аналіз експериментальних даних, представлених на Рис.4.8 (порівняльна група 5, що має різницю між середніми значеннями для груп 2,97 відсоткових пунктів) та Рис.4.9 (порівняльна група 6, що має різницю між середніми значеннями для груп 2,22 відсоткових пунктів) дозволяє зробити висновок, що на третій хвилині експерименту проведеного до впливу стресових факторів рівень напруження знижується, що є результатом впливу низькочастотного акустичного сигналу, тобто спостерігається бажаний терапевтичний ефект. Статистично значима різниця спостерігається для двох порівняльних груп.

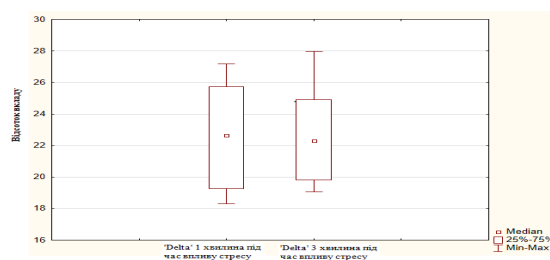


Рис.4.10 Результати отримані під час дії стресового фактору на 1 та 3 хвилині експерименту (ліва півкуля)

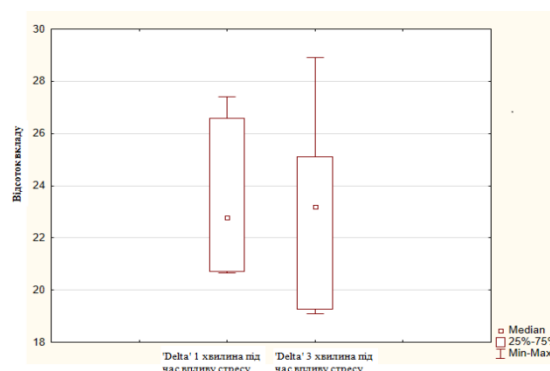


Рис.4.11 Результати, отримані під час дії стресового фактору на 1 та 3 хвилині експерименту (права півкуля)

При аналізі результатів, наведених на Рис.4.10 (порівняльна група 7, що має різницю між середніми значеннями для груп 0,32 відсоткових пункти) та Рис.4.11 (порівняльна група 8, що має різницю між середніми значеннями для груп 0,66 відсоткових пунктів) стає зрозумілим, що під час впливу стресових факторів рівень стресу практично не змінився протягом експерименту і учасники перебували в стані постійного напруження, що нівелювало результати акустичного впливу.

4.4 Висновки

При відсутності дії на учасників експерименту додаткових стресових факторів, в якості яких розглядалися значні навчальні навантаження під час здачі сесії, прослуховування низькочастотного музичного фрагменту викликає зниження рівня дельта-ритму в лівій і правій півкулях, порівняно з його значеннями на фоновій ЕЕГ, отриманій до початку акустичного впливу на рівні 2,97 відсотків для лівої півкулі, 2,22 відсотків для правої, статистичний аналіз показав наявність статистично значимої різниці між вихідними та результуючими даними.

Під час непрямого впливу розтягнутих у часі стресових факторів рівень дельта-ритму значно зростає як до, так і після прослуховування низькочастотного музичного фрагменту для обох півкуль, що говорить про зростання рівня напруженості, при чому збільшення становить 7-11 відсотків, статистичний аналіз показав наявність статистично значимої різниці між тестовими групами.

Оскільки збільшення відсоткового вкладу дельта-ритму в загальну картину біоелектричній активності головного мозку є аномальним для організму людини, що перебуває у бадьорому стані, наявність додаткових стресових факторів впливає на результати експериментів по дослідженню

впливу музичного сигналу на психоемоційний стан людини, незалежно від характеру впливу та спектральних характеристик музичного сигналу, що виявилось у змінах дельта ритму у межах одного відсотку (було відмічене як збільшення, так і зменшення рівня відсоткового вкладу досліджуваного ритму).

Таким чином, зважаючи на характер впливу розтягнутого стресового впливу, зокрема стресу під час значних навчальних навантажень під час сесії, на характер енцефалограми та враховуючи його природу (виникає внаслідок довготривалої напруженої розумової роботи, котра спрямована на отримання чіткого результату і заважає звичайному ритму життя) в майбутньому слід виключити вплив даного фактору на досліджувану особу, оскільки він нівелює корисний вплив акустичного музичного сигналу. [60]

ВИСНОВКИ

В процесі роботи, перш за все, був проведений огляд наявної літератури по даній тематиці. Було встановлено, що тема є перспективною і актуальною, адже кожного року з'являються нові дослідження, регулярно проводяться експерименти в даній галузі, а також створюються різноманітні методики та розробляються новітні технології.

Задля конкретизації результатів досліджень, а також їх подальшої систематизації необхідно зосередити увагу на тому якими є характеристики сигналу, вплив якого досліджується. Перспективним напрямком є застосування спектрального і часового аналізу акустичних сигналів.

В третьому розділі було встановлено, що резонансна частота середнього вуха в нормі близька до частоти найбільш виступаючої форманти звуку «а» : другої ($\cong 1000$ Гц) у жінок і дітей; спадковою ознакою мови у жінок є друга форманта звуку «а» по лінії матері; частота третьої форманти звуків «а», «у» ($\cong 2600$ Гц) відповідає парціальній частоті коливальної системи барабанна порожнина - слухова труба, і не залежить від статі людини. Також було виявлено, що слухова система людини відкликається на резонансних частотах середнього вуха, а не обумовлена лише внутрішнім вухом.

В четвертому розділі було встановлено, що при відсутності дії на учасників експерименту додаткових стресових факторів, в якості яких розглядалися значні навчальні навантаження під час здачі сесії, прослуховування низькочастотного музичного фрагменту викликає зниження рівня дельта-ритму в лівій і правій півкулях, порівняно з його значеннями на фоновій ЕЕГ, проте під час непрямого впливу розтягнутих у часі стресових факторів рівень дельта-ритму значно зростає як до, так і після прослуховування низькочастотного музичного фрагменту для обох півкуль, що говорить про зростання рівня напруженості. В наслідок цього можна зробити висновок, що наявність додаткових стресових факторів впливає на результати експериментів по дослідженню впливу музичного сигналу на

психоемоційний стан людини, незалежно від характеру впливу та спектральних характеристик музичного сигналу.

В майбутньому слід виключити вплив стресового фактору на досліджувану особу, оскільки він нівелює корисний вплив акустичного музичного сигналу. Також важливо брати до уваги дані отримані в третьому розділі при підборі аудіо сигналів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ю.О. Копистинський, В.М. Баланюк і О.І. Лавренюк, “ВПЛИВ ЗВУКОВИХ УДАРНИХ ХВИЛЬ НА ДИСПЕРСНІ СИСТЕМИ”, Пожежна безпека, т. 17, с. 180-183, 2019.
2. L. Velardi and J.-P. Hermand, “Social investigation on passersby perception of urban fountain sounds”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 143, no. 3, pp. 1806–1806, 2018, doi: 10.1121/1.5035915.
3. A. J. Oxenham, “Psychological and Physiological Acoustics: From sound to sensation,” *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 146, no. 4, pp. 2871–2871, 2019, doi: 10.1121/1.5136966.
4. N. Sankaran, J. Swaminathan, C. Micheyl, S. Kalluri, and S. Carlile, “Tracking the dynamic representation of consonants from auditory periphery to cortex,” *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 144, no. 4, pp. 2462–2472, 2018, doi: 10.1121/1.5065492.
5. N. Mesgarani, “Robust speech processing in human auditory cortex”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 143, no. 3, pp. 1744–1744, 2018, doi: 10.1121/1.5035693.
6. A. Butcher, “The special nature of Australian phonologies: Why auditory constraints on the sound systems of human languages are not universal”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 144, no. 3, pp. 1939–1939, 2018, doi: 10.1121/1.5068481.
7. P. J. Monahan, M. Baskarasingham, and A. Pérez, “The perception of frequency modulated sounds in tone and non-tone language speakers: An electroencephalography study”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 146, no. 4, pp. 2954–2954, 2019, doi: 10.1121/1.5137258.
8. R. Anderson, A. Sundheimer, and W. Shofner, “Ability of normal hearing listeners to recognize vowels and musical instruments under spectrally-degraded conditions”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 145, no. 3, pp. 1720–1720, 2019, doi: 10.1121/1.5101315.

9. M. S. Lawless and M. C. Vigeant, “Sensitivity of the human auditory cortex and reward network to reverberant musical stimuli”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 147, no. 4, pp. 2121–2134, 2020, doi: 10.1121/10.0000984.
10. S. A. Adler, K. J. Comishen, A. M. B. Wong-Kee-You, and C. Chubb, “Sensitivity to major versus minor musical modes is bimodally distributed in young infants”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 147, no. 6, pp. 3758–3764, 2020, doi: 10.1121/10.0001349.
11. J. Armitage, I. Lahdelma, and T. Eerola, “Automatic responses to musical intervals: Contrasts in acoustic roughness predict affective priming in Western listeners”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 150, no. 1, pp. 551–560, 2021, doi: 10.1121/10.0005623.
12. L. Zhang, S. Xie, Y. Li, H. Shu, and Y. Zhang, “Perception of musical melody and rhythm as influenced by native language experience”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 147, no. 5, pp. EL385–EL390, 2020, doi: 10.1121/10.0001179.
13. D. Fink, “A new definition of noise: noise is unwanted and/or harmful sound. Noise is the new ‘secondhand smoke’”, 178th Meeting of the Acoustical Society of America, 2019, doi: 10.1121/2.0001186.
14. B. Schnitta and C. H. Sigmon, “Frequency tones and elevated decibel level of tones that are indicators of ill health or a state of health with associated pain”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 141, no. 5, pp. 3500–3500, 2017, doi: 10.1121/1.4987323.
15. B. Yang, E. Wong, W. H. Ho, C. Lau, Y. S. Chan, and E. X. Wu, “Reduction of sound-evoked midbrain responses observed by functional magnetic resonance imaging following acute acoustic noise exposure”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 143, no. 4, pp. 2184–2194, 2018, doi: 10.1121/1.5030920.
16. A. M. Kameroner, J. G. Kopun, S. E. Fultz, C. Allen, S. T. Neely, and D. M. Rasetshwane, “Examining physiological and perceptual consequences of noise

exposure”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 146, no. 5, pp. 3947–3959, 2019, doi: 10.1121/1.5132291.

17. D. McFadden, E. G. Pasanen, M. M. Maloney, E. M. Leshikar, and M. H. Pho, “Differences in common psychoacoustical tasks by sex, menstrual cycle, and race”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 143, no. 4, pp. 2338–2354, 2018, doi: 10.1121/1.5030998.

18. B. Z. Shuster, D. A. Depireux, J. A. Mong, and R. Hertzano, “Sex differences in hearing: Probing the role of estrogen signaling”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 145, no. 6, pp. 3656–3663, 2019, doi: 10.1121/1.5111870.

19. B. A. Mok, V. Viswanathan, A. Borjigin, R. Singh, and H. Bharadwaj, “Anonymous multipart web-based psychoacoustics: Infrastructure, hearing screening, and comparison with lab-based studies,” *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 148, no. 4, pp. 2713–2714, 2020, doi: 10.1121/1.5147521.

20. M. Vorlaender, “Virtual acoustic environments for perception research”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 148, no. 4, pp. 2641–2641, 2020, doi: 10.1121/1.5147341.

21. J. Voix, R. Dumoulin, J. Levesque, and G. Viallet, “Inciting our children to turn their music down: The AYE proposal and implementation”, *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 2018, doi: 10.1121/2.0000999.

22. R. Jenni, M. S. Oechslin, and C. E. James, “Impact of major and minor mode on EEG frequency range activities of music processing as a function of expertise”, *Neuroscience Letters*, vol. 647, pp. 159–164, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.neulet.2017.03.022.

23. О. О. Шпенков, С. В. Тукаєв, І. Г. Зима, and С. А. Крижановський, “Зміни електричної активності головного мозку під час прослуховування рок-музики із видозміненою частотною структурою”, *Вісник Черкаського університету. Серія : Біологічні науки*, no. 2, pp. 121–128, 2014, [Online]. Available: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VchuB_2014_2_21

24. О. Шпенков, С. Тукаєв, and І. Зима, “Зміни активності головного мозку в гамма-діапазоні під час прослуховування рок-музики зі зниженим рівнем низьких частот”, Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Біологія, no. 1, pp. 27–32, 2018, [Online]. Available: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKNU_biol_2018_1_6
25. D. O. Liashko і A. V. Damarad, “Експериментальне дослідження біоелектричної активності мозку студентів під час прослуховування музичної композиції”, Електрон. та Акуст. Інж., вип. 3, вип. 1, с. 59–62, 2020, doi: [10.20535/2617-0965.2020.3.1.198434](https://doi.org/10.20535/2617-0965.2020.3.1.198434)
26. S. Myllyntausta, J. Virkkala, P. Salo, J. Varjo, L. Rekola, and V. Hongisto, “Effect of the frequency spectrum of road traffic noise on sleep: A polysomnographic study”, The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 147, no. 4, pp. 2139–2149, 2020, doi: 10.1121/10.0000985.
27. Trevisan, L. Jones, and London, “Brain Music System :Brain Music Therapy Based on Real-Time Sonified Brain Signals”, [Online]. Available: <https://csa.farmerjoesgardens.com/wp-content/uploads/2018/09/BMS-based-on-real-time-sonified-brain-signals1.pdf>
28. M. D. Fletcher, S. Lloyd Jones, P. R. White, C. N. Dolder, T. G. Leighton, and B. Lineton, “Effects of very high-frequency sound and ultrasound on humans. Part I: Adverse symptoms after exposure to audible very-high frequency sound”, The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 144, no. 4, pp. 2511–2520, 2018, doi: 10.1121/1.5063819.
29. M. D. Fletcher, S. Lloyd Jones, P. R. White, C. N. Dolder, T. G. Leighton and B. Lineton, “Effects of very high-frequency sound and ultrasound on humans. Part II: A double-blind randomized provocation study of inaudible 20-kHz ultrasound”, The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 144, no. 4, pp. 2521–2531, 2018, doi: 10.1121/1.5063818.
30. P. P. Maijala et al., “Annoyance, perception, and physiological effects of wind turbine infrasound”, The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 149, no. 4, pp. 2238–2248, 2021, doi: 10.1121/10.0003509.

31. C. Kasprzak, "The Influence of Infrasound Noise from Wind Turbines on EEG Signal Patterns in Humans", *Acta Physica Polonica A*, vol. 125, no. 4A, p. A-20-A-23, 2014, doi: 10.12693/aphyspola.125.a-20.
32. C. Kasprzak, "The Influence of Infrasound Noise from Wind Turbines on EEG Signal Patterns in Humans", *Acta Physica Polonica A*, vol. 125, no. 4A, p. A-20-A-23, 2014, doi: 10.12693/aphyspola.125.a-20.
33. D. O. Liashko i S. A. Naida, "Дослідження спектрів складних аудіо-сигналів та методика музичної терапії", *Електрон. та Акуст. Інж.*, вип. 2, вип. 2, с. 58–62, 2019, doi: [10.20535/2617-0965.2019.2.2.163388](https://doi.org/10.20535/2617-0965.2019.2.2.163388)
34. J. L. Flanagan, *Speech Analysis Synthesis and Perception*. Berlin, Heidelberg Springer Berlin Heidelberg, 1972.
35. С. А. Найда, "Формула середнього вуха людини в нормі. відбиття звуку від барабанної перетинки", *Акустичний вісник*, Том 5, N 3. С. 46 – 51, 2002.
36. С. А. Найда, "Об акустических резонансах речевого и слухового трактов и их корреляции", *Электроника и связь*, № 16, С.56-58, 2002.
37. Н. О. Савельєва-Кулик, "Музична терапія в інтегративній медицині: навч. посіб. для лікарів-слухачів закладів (факультетів) післядипломної освіти", Київ: Інтерсервіс, 2014.
38. D. Kučikienė and R. Praninskienė, "The impact of music on the bioelectrical oscillations of the brain", *Acta medica Litu.*, vol. 25, no. 2, pp. 101–106, 2018, doi: 10.6001/actamedica.v25i2.3763.
39. M. G. Gallego and J. G. García, "Music therapy and Alzheimer's disease: Cognitive, psychological, and behavioural effects", *Neurología*, vol. 32, no. 5, pp. 300–308, 2017, doi: 10.1016/j.nrl.2015.12.003.
40. C. Gold, M. Voracek, and T. Wigram, "Effects of music therapy for children and adolescents with psychopathology: a meta-analysis", *J. Child Psychol. Psychiatry*, vol. 45, no. 6, pp. 1054–1063, 2004.

41. А. О. Чернінський, С. А. Крижановський, І. Г. Зима, “Електрофізіологія головного мозку людини: методичні рекомендації до практики”, Київ: В. С. Мартинюк, 2011.
42. T. Harmony, “The functional significance of delta oscillations in cognitive processing”, *Front. Integr. Neurosci.*, vol. 7, p. 83, 2013, doi: 10.3389/fnint.2013.00083.
43. S. Jaime et al., “Delta Rhythm Orchestrates the Neural Activity Underlying the Resting State BOLD Signal via Phase-amplitude Coupling”, *Cereb. Cortex*, vol. 29, no. 1, pp. 119–133, 2019, doi: 10.1093/cercor/bhx310.
44. R. N. S. Sachdev, N. Gaspard, J. L. Gerrard, L. J. Hirsch, D. D. Spencer, and H. P. Zaveri, “Delta rhythm in wakefulness: evidence from intracranial recordings in human beings”, *J. Neurophysiol.*, vol. 114, no. 2, pp. 1248–1254, 2015, doi: 10.1152/jn.00249.2015.
45. Г. М. Дубчак, “Особливості проявів стресових станів сучасних студентів закладів вищої та професійної освіти”, *Психологія особистості*, вип. 10, № 1, С. 74–80, 2019, doi:10.15330/ps.10.1.74-80.
46. T. Kim, Y. Seo, J. Lee, S. Chae, and J. An, “Brain to Music: Musical Representation from Stress-Induced EEG”, in *2021 9th International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI)*, 2021, pp. 1–6, doi: 10.1109/BCI51272.2021.9385354
47. В. М. Богуш “Особливості прояву екзаменаційного стресу у студентів ДВНЗ”, *Молодий вчений*, т.9, № 1, С. 1–4, 2017, [Online]. Available: <http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2017/9.1/1.pdf>.
48. C. M. Bann et al., “Psychometric properties of stress and anxiety measures among nulliparous women”, *J. Psychosom. Obstet. & Gynecol.*, vol. 38, no. 1, pp. 53–62, 2017, doi: 10.1080/0167482X.2016.1252910
49. S. M. U. Saeed, S. M. Anwar, H. Khalid, M. Majid, and A. U. Bagci, “EEG based Classification of Long-term Stress Using Psychological Labeling”, *Sensors (Basel)*, vol. 20, no. 7, Mar. 2020, doi: 10.3390/s20071886.

50. A. Arsalan, M. Majid, S. M. Anwar, and U. Bagci, "Classification of Perceived Human Stress using Physiological Signals", in 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2019, pp. 1247–1250, doi: 10.1109/EMBC.2019.8856377.
51. A. Asif, M. Majid, and S. M. Anwar, "Human stress classification using EEG signals in response to music tracks", *Comput. Biol. Med.*, vol. 107, pp. 182–196, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.combiomed.2019.02.015.
52. S. Chaudhuri, "THE EFFECTS OF MUSIC ON STRESS", *Int. J. Adv. Res. INENGINEERING Technol.*, vol. 9, no. 2, pp. 524–538, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.21474%2Fijar01%2F12478>.
53. S. Paszkiel, P. Dobrakowski, and A. Lysiak, "The Impact of Different Sounds on Stress Level in the Context of EEG, Cardiac Measures and Subjective Stress Level: A Pilot Study", *Brain Sci.*, vol. 10, p. 1bo+, May 2020.
54. M. Dadashi, B. Birashk, F. Taremian, A. A. Asgarnejad, and S. Momtazi, "Effects of Increase in Amplitude of Occipital Alpha & Theta Brain Waves on Global Functioning Level of Patients with GAD", *Basic Clin. Neurosci.*, vol. 6, no. 1, pp. 14–20, Jan. 2015.
55. I. B. Редька "Сучасні підходи до вивчення і видалення артефактів з ЕЕГ-сигналів. Оліад", *Клінічна інформатика і Телемедицина*, вип. 14, № 15, с. 13–34, 2019. URL: http://kit-journal.com.ua/en/viewer_en.html?doc/2019_15/KIT_15_P.pdf
56. D. Liashko, "METHODS OF MUSIC THERAPY AND EXPERIMENTAL STUDY OF BIOELECTRICAL ACTIVITY OF STUDENTS' BRAINS WHILE LISTENING TO THE MUSICAL COMPOSITION OF THE AUDIBLE FREQUENCY SPECTRUM", *ScienceRise*, vol. 71, no. 6, pp. 74–80, 2020, doi: <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2020.001561>.
57. D. Pareniuk, "Method of evaluation of the minimal sample size for acoustical signal therapy monitored via electroencephalographic activity of human brain", *ScienceRise*, no. 2, pp. 75–82, 2021, doi: 10.21303/2313-8416.2021.001736.

58. F. Wilcoxon, "Individual comparisons by ranking methods", *Biometrics*, no. 1, pp. 80–83, 1945.
59. M. J. de Smith, *Statistical Analysis Handbook*, 3rd ed. London: Winchelsea press, 2018.
60. А. В. Паренюк, Д. В. Паренюк, К. С. Дрозденко, і С. А. Найда, "Дослідження сукупного впливу стресового фактору та музичного сигналу на психофізичний стан людини", *Мікросист., Електрон. та Акуст.*, вип. 26, вип. 1, с. 228179–1, 2021, doi: 10.20535/2523-4455.me.228179