

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

**Кафедра акустики та акустoeлектроніки**

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Декан факультету електроніки

\_\_\_\_\_ Жуйков В.Я.

“21” \_\_\_\_\_ 06 \_\_\_\_\_ 2018 р.

\_\_\_\_\_ Жуйков В.Я.

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

***РОБОЧА ПРОГРАМА***

**КРЕДИТНОГО МОДУЛЯ**

**“ОСНОВИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ОБРОБКИ МУЗИКИ ТА МОВИ”**

**підготовки бакалаврів**

**спеціальності 171 “Електроніка”**

**що навчаються за програмами професійного спрямування**

**«Акустичні електронні системи та технології обробки акустичної  
інформації»**

**денної форми навчання**

Ухвалено методичною комісією

ФЕЛ

Протокол № 06/18 від 21.06.2018 р.

Голова методичної комісії

\_\_\_\_\_ Найда С. А.

«21» \_\_\_\_\_ 06 \_\_\_\_\_ 2018р.

Київ – 2018

Робоча програма кредитного модуля “Основи комп’ютерної обробки музики та мови” для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр із спеціальності “Електроніка”, що навчаються за програмами професійного спрямування «Акустичні електронні системи та технології обробки акустичної інформації», за денною формою навчання, складена відповідно до програми навчальної дисципліни “Основи комп’ютерної обробки музики та мови”.

Розробник робочої програми:

професор, д.т.н., професор Продеус Аркадій Миколайович  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім.’я, по батькові)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Робочу програму затверджено на засіданні кафедри акустики та акустоелектроніки

Протокол № 11 від 06.06.2018 р.

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Дідковський В. С.  
(ініціали, прізвище)

«\_06\_» \_\_\_\_06\_\_\_\_ 2018 р.

## 1. Опис кредитного модуля

Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Загальні показники	Характеристика кредитного модуля
Галузь знань "Електроніка та телекомунікації"	Назва дисципліни, до якої належить кредитний модуль <i>Основи комп'ютерної обробки музики та мови</i>	Форма навчання <i>денна</i>
Напрямок підготовки «Електроніка»	Кількість кредитів ECTS 4	Статус кредитного модуля <i>нормативний</i>
	Кількість розділів 3	<i>Цикл професійної та практичної підготовки</i>
	Індивідуальне завдання <i>розрахунково-графічна робота</i>	Рік підготовки 3
		Семестр 6
Освітньо-кваліфікаційний рівень <i>бакалавр</i>	Загальна кількість годин <i>120</i>	Лекції <i>54 год.</i>
	Тижневих годин: <i>аудиторних – 3</i> <i>СРС – 6</i>	Самостійна робота <i>66 год.,</i> у тому числі на виконання індивідуального завдання <i>22 год.</i>
		Вид та форма семестрового контролю <i>залік</i>

Кредитний модуль "Основи комп'ютерної обробки музики та мови" – складова частина дисциплін, які включені до циклу професійної та практичної підготовки нормативної частини програми для студентів напрямку 171 "Електроніка", що навчаються за програмами професійного спрямування «Акустичні електронні системи та технології обробки акустичної інформації».

Предметом навчальної дисципліни є широке коло методів обробки мовних сигналів. Таким чином охоплюється значна частина напрямів розробки систем обробки акустичних сигналів, що дозволяє органічно пов'язати дисципліну «Основи комп'ютерної обробки музики та мови» з дисциплінами: "Ймовірнісні основи обробки даних", "Теорія випадкових процесів", «Теорія процесів і систем», «Методи обробки акустичних сигналів», «Обробка зображень в медицині», «Акустичні інформаційні системи», «Комп'ютерні акустичні системи», «Проектування акустичних приладів та систем», «Захист акустичної інформації».

## 2. Мета та завдання кредитного модуля

2.1. Метою кредитного модуля є формування у студентів здатностей:

- організації проведення аналізу мовних сигналів;
- організації проведення аналізу музичних сигналів;
- системотехнічного підходу до побудови алгоритмів автоматизованого аналізу сигналів;
- володіння елементами синтезу мовних сигналів;
- володіння елементами синтезу музичних та інших сигналів;
- володіння елементами створення акустичних ефектів;
- володіння знаннями стандартної термінології.

2.2. Основні завдання кредитного модуля.

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни студенти після засвоєння кредитного модуля мають продемонструвати такі результати навчання:

### **знання:**

- методів спектрально-часового аналізу мовних та музичних сигналів;
- методів статистичного аналізу мовних та музичних сигналів;
- елементів методів оцінювання якості та розбірливості мовних сигналів;
- елементів методів оцінювання якості музичних сигналів;
- підходів до побудови алгоритмів автоматизованого аналізу сигналів;
- елементів синтезу мовних сигналів;
- елементів методів синтезу музичних та інших сигналів;
- використання середовища Matlab для моделювання систем оцінювання якості та розбірливості мови, аналізу та синтезу мовних, музичних та інших сигналів, створення акустичних ефектів.

### **уміння:**

- аналізувати мовні та музичні сигнали;
- планувати та організовувати оцінювання якості та розбірливості мовних сигналів;
- планувати та організовувати оцінювання якості музичних та інших сигналів;
- використовувати середовище Matlab для моделювання систем оцінювання якості та розбірливості мови, аналізу та синтезу мовних, музичних та інших сигналів, створення акустичних ефектів.

### **досвід:**

- спектрально-часового та статистичного аналізу мовних та музичних сигналів;
- оцінювання якості та розбірливості мовних сигналів;
- оцінювання якості музичних та інших сигналів;
- моделювання систем оцінювання якості та розбірливості мови, аналізу та синтезу мовних, музичних та інших сигналів, створення акустичних ефектів в середовищі Matlab.

### 3. Структура кредитного модуля

Найменування розділів, тем	Розподіл за семестрами та видами занять			
	Всього	Лекц.	Комп. практи.	СРС
<b>Розділ 1. Аналіз мовних, музичних та інших сигналів</b>				
<i>Тема 1.1.</i> Спектрально-часовий аналіз мовних сигналів	5	3	-	2
<i>Тема 1.2.</i> Спектрально-часовий аналіз музичних та інших сигналів	5	3	-	2
<i>Тема 1.3.</i> Статистичний аналіз мовних сигналів	5	3	-	2
<i>Тема 1.4.</i> Оцінювання якості мовленнєвих сигналів	5	3	-	2
<i>Тема 1.5.</i> Розрахунок та вимірювання розбірливості мовлення	5	3	-	2
<i>Тема 1.6.</i> Оцінювання якості музичних сигналів	5	3	-	2
<i>Тема 1.7.</i> Поняття про системи автоматичного розпізнавання мовлення	5	3	-	2
<i>Тема 1.8.</i> Поняття про системи автоматичного розпізнавання музики	5	3	-	2
<b>Разом за розділом 1</b>	<b>40</b>	<b>24</b>	<b>-</b>	<b>16</b>
<b>Розділ 2. Синтез мовних, музичних та інших сигналів</b>				
<i>Тема 2.1.</i> Методи синтезу мовних сигналів	5	3	-	2
<i>Тема 2.2.</i> Методи синтезу музичних сигналів	5	3	-	2
<i>Тема 2.3.</i> Методи синтезу інших сигналів	5	3	-	2
<b>Разом за розділом 2</b>	<b>15</b>	<b>9</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
<b>Розділ 3. Створення акустичних ефектів</b>				
<i>Тема 3.1.</i> Реверберація та ефект «акустичного дзеркала»	5	3	-	2
<i>Тема 3.2.</i> Навмисне спотворення мовних сигналів	5	3	-	2
<i>Тема 3.3.</i> Ефекти ділей, хорус, реверберація, ехо, фленжер, фейзер	5	3	-	2
<i>Тема 3.4.</i> Амплітудне, частотне, темброве та фазове вібрато	5	3	-	2
<i>Тема 3.5.</i> Смугові вокодери, принцип дії та окремі можливості	5	3	-	2
<i>Тема 3.6.</i> Фазові вокодери, принцип дії та окремі можливості	5	3	-	2
<b>Разом за розділом 3</b>	<b>30</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>12</b>
<i>Модульна контрольна робота</i>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<i>Рорзрахунково-графічна робота</i>	<b>22</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>22</b>
<i>Підготовка до заліку</i>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>8</b>
<i>Залік</i>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2</b>
<b>Всього в семестрі:</b>	<b>120</b>	<b>54</b>	<b>-</b>	<b>66</b>

### 4. Лекційні заняття

#### Розділ 1. Аналіз мовних, музичних та інших сигналів

##### *Тема 1.1.* Спектрально-часовий аналіз мовних сигналів.

*Лекція 1.* Поняття фонем. Різниця між фонемою та літерою алфавіту. Транскрибування мовних сигналів. Часові характеристики мовних сигналів: обвідна сигналу, частота перетину нульового значення. Обвідна мовного сигналу як різновид модуляції. Динамічний діапазон, відношення сигнал-шум. Спектральні характеристики мовних сигналів: спектрограма, довготривалий спектр, частота основного тону, обертони. Особливості спектрів голосних та приголосних звуків. Поняття форманти. Обвідна спектру фонем та її зв'язок із формантним складом фонем.

Л [1] с. 3-10

Завдання на СРС – прочитати конспект лекції, ознайомитися із додатковими відповідними літературними джерелами та доповнити конспект за результатами такого ознайомлення.

##### *Тема 1.2.* Спектрально-часовий аналіз музичних та інших сигналів.

*Лекція 2.* Часові характеристики музичних сигналів: обвідна окремого звуку ADSR, частота перетину нульового значення, амплітудне та частотне вібрато. Динамічний діапазон, відношення сигнал-шум. Особливості спектрів вокальних звуків. Поняття другої співочої форманти. Особливості спектрів звуків музичних інструментів та інших джерел звуку.

Л [2] с. 468-488

Завдання на СРС – прочитати конспект лекції та методичні рекомендації до виконання комп'ютерних практикумів №1 та №2.

**Тема 1.3.** Статистичний аналіз мовних сигналів.

**Лекція 3.** Статистика довжини окремих фонем. Мінімальна, середня та максимальна довжина фонем. Частота літер в текстах російської та української мов. Частота відкритих складів як міра співучості мови. Закон розподілу миттєвих значень мовних сигналів та його використання для обґрунтування нелінійного квантування. Закон розподілу обвідної мовного сигналу та його використання при оцінюванні розбірливості мови.

Л [3] с. 469-502

Завдання на СРС – прочитати конспект лекції та методичні рекомендації до виконання комп'ютерного практикуму №3.

**Тема 1.4.** Оцінювання якості мовленнєвих сигналів.

**Лекція 4.** Призначення оцінок якості мовних сигналів. Суб'єктивне та об'єктивне оцінювання якості мовленнєвих сигналів. Середній квадрат похибки та міри якості, які враховують особливості слухової системи людини. Об'єктивні міри якості мовленнєвих сигналів: SSNR, LSD, fwSNR, BSD та PESQ. Чутливість показника SSNR до частоти дискретизації та порядку нерекурсивного фільтра. Чутливість показника LSD до спектру мовленнєвого сигналу. Етапи обчислення показників fwSNR та BSD. Поняття про показник PESQ, способи його оцінювання. Сучасні показники якості мови.

Л [6] с. 502-514

Завдання на СРС – прочитати конспект лекції, ознайомитися із додатковими відповідними літературними джерелами та доповнити конспект за результатами такого ознайомлення.

**Тема 1.5.** Розрахунок та вимірювання розбірливості мовлення.

**Лекція 5.** Визначення поняття розбірливості мовлення. Суб'єктивні та об'єктивні (інструментальні) методи оцінювання розбірливості мовлення. Класифікація інструментальних методів оцінювання розбірливості мовлення. Формантний метод та варіанти його реалізації. Сучасна точка зору на можливість формантного методу. Модуляційний метод та фізичні засади, на яких він базується. Поняття еквівалентного відношення сигнал-шум при дії реверберації на акустичний сигнал. Емпіричні міри розбірливості мовлення.

Л [3] с. 502-514

Завдання на СРС – прочитати конспект лекції, ознайомитися із додатковими відповідними літературними джерелами та доповнити конспект за результатами такого ознайомлення.

**Тема 1.6.** Оцінювання якості музичних сигналів.

**Лекція 6.** Призначення оцінок якості музичних сигналів. Суб'єктивне та об'єктивне оцінювання якості музичних сигналів. Застосування об'єктивних міри якості мовленнєвих сигналів - SSNR, LSD, fwSNR, BSD та PESQ – до вимірювання якості музичних сигналів. Поняття про показник PEAQ та способи його оцінювання.

Л [6] с. 502-514

Завдання на СРС – прочитати конспект лекції, ознайомитися із додатковими відповідними літературними джерелами та доповнити конспект за результатами такого ознайомлення.

**Тема 1.7.** Поняття про системи автоматичного розпізнавання мовлення.

**Лекція 7.** Призначення систем автоматичного розпізнавання мовлення (АРМ). Класифікаційні ознаки, що використовують для розпізнавання фонем. Правило прийняття рішення в системах розпізнавання. Програмний інструментарій НТК та його можливості. Призначення режиму тренування. Нейромережевий підхід до побудови систем АРМ.

Л [6] с. 502-514

Завдання на СРС – прочитати конспект лекції, ознайомитися із додатковими відповідними літературними джерелами та доповнити конспект за результатами такого ознайомлення.

**Тема 1.8.** Поняття про системи автоматичного розпізнавання музики.

**Лекція 8.** Призначення систем автоматичного розпізнавання музики. Класифікація систем автоматичного розпізнавання музики. Приклади реалізації таких систем. Призначення режиму

тренування. Нейромережевий підхід до побудови систем автоматичного розпізнавання музики.

Л [6] с. 502-514

Завдання на СРС – прочитати конспект лекції, ознайомитися із додатковими відповідними літературними джерелами та доповнити конспект за результатами такого ознайомлення.

## **Розділ 2. Синтез мовних, музичних та інших сигналів**

**Тема 2.1.** Методи синтезу мовних сигналів.

**Лекція 9.** Класифікація методів синтезу мовних сигналів: синтез за правилами, компілятивний синтез. Синтез за правилами: базові алгоритми формування відгуку фільтра, що моделює резонансні властивості голосового тракту. Формантний синтез мови у вокодерах. Узагальнена схема компілятивного методу. Етапи обробки сигналу при реалізації компілятивного методу. Ритмогрупи, їх різновиди та реалізація. Технологія SpeechAPI. Технологія MS Agent. Застосування іншомовних мовних движків для синтезу української мови.

Л [1] с. 109-111, 828-843

Завдання на СРС – прочитати конспект лекції, виконати вправи з моделювання в Matlab різних методів синтезу фонем.

**Тема 2.2.** Методи синтезу музичних сигналів.

**Лекція 10.** Класифікація методів синтезу музичних сигналів: синтез за правилами, компілятивний синтез. Синтез за правилами: синтез звуків в органі Moog та цифрових піаніно CASIO. Компілятивний метод: синтез звуків в цифрових піаніно Yamaha та Roland. Програмний синтез за правилами: розробка плагінів VSTi за допомогою програми SynthMaker.

Л [5] с. 109-111, 828-843

Завдання на СРС – прочитати конспект лекції, виконати вправи з моделювання в Matlab різних методів синтезу звуку.

**Тема 2.3.** Методи синтезу інших сигналів.

**Лекція 11.** Синтез гавкату собаки для охоронних пристроїв та дверних дзвоників. Етап аналізу спектрально-часових властивостей зразків реальних звуків гавкату. Перша спроба синтезу звуку гавкату собаки. Аналіз результатів першої спроби та розробка рекомендацій до покращення отриманого алгоритму синтезу. Модернізація алгоритму синтезу.

Л [1] с. 109-111, 828-843

Завдання на СРС – прочитати конспект лекції, за наявними фрагментами програм спробувати відтворити синтезований гавкіт собаки в Matlab.

## **Розділ 3. Створення акустичних ефектів**

**Тема 3.1.** Реверберація та ефект «акустичного дзеркала».

**Лекція 12.** Спектрально-часові властивості імпульсної характеристики приміщення. Оптимальний час реверберації. Погіршення якості мовних та музичних сигналів при надмірно високому часі реверберації. Покращення звучання мовних та музичних сигналів за рахунок ефекту штучної реверберації. Використання ефекту «акустичне дзеркало» в програмних звукових редакторах.

Л [1] с. 137-185

Завдання на СРС – прочитати конспект лекції, ознайомитися із текстами комп'ютерних програм моделювання ефекту «акустичне дзеркало».

**Тема 3.2.** Навмисне спотворення мовних сигналів.

**Лекція 13.** Мета навмисного спотворення мовних сигналів. Про можливість відновлення спотворених мовних сигналів. Види спотворення: кліпування, зміна частоти основного тону, зміна формантного складу, зміна темпу мови. Інші види спотворення мовних сигналів.

Л [2] с. 1-118

Завдання на СРС – прочитати конспект лекції, ознайомитися із текстами комп'ютерних програм спотворення сигналів.

**Тема 3.3.** Ефекти ділей, хорус, реверберація, луна, фленжер, фейзер.

**Лекція 14.** Акустичні ефекти та їх призначення. Затримка сигналу у часі як основа створення низки акустичних ефектів. Створення ефекту хорус із застосуванням затримки у часі. Алгоритми

створення штучної реверберації. Алгоритми створення інших споріднених ефектів: луна, фленджер, гейзер.

Л [2] с. 1-118

Завдання на СРС – прочитати конспект лекції, ознайомитися із текстами комп'ютерних програм створення ефектів, основаних на затримці сигналів у часі.

**Тема 3.4.** Амплітудне, частотне, темброве та фазове вібрато.

**Лекція 15.** Визначення явища вібрато. Різновиди вібрато. Використання вібрато у вокалі та в музиці. Вимоги до професійного використання вібрато співаками та музикантами. Моделювання амплітудного та частотного вібрато в середовищі Matlab. Модулі реалізації ефекту вібратор в різних програмних звукових редакторах.

Л [2] с. 1-118

Завдання на СРС – прочитати конспект лекції, ознайомитися із текстами комп'ютерних програм моделювання ефекту вібрато.

**Тема 3.5.** Смогові вокодері, принцип дії та окремі можливості.

**Лекція 16.** Смоговий вокодер, гомоморфний вокодер, ліпредер. Моделювання вокодерів в системі Matlab. Вимірювання ознак «голосний-приголосний», «частота основного тону» та параметрів, що характеризують резонансні властивості мовленнєвого тракту.

Л [2] с. 1-118

Завдання на СРС – прочитати конспект лекції, ознайомитися із текстами комп'ютерних програм для моделювання смугових вокодерів.

**Тема 3.6.** Фазові вокодері, принцип дії та окремі можливості.

**Лекція 17.** Аналітичний опис алгоритмів фазового вокодеру. Структурна схема моделі фазового вокодеру. Акустичні ефекти із застосуванням фазового вокодеру: масштабування часу та частоти.

Л [2] с. 1-118

Завдання на СРС – прочитати конспект лекції, ознайомитися із текстами комп'ютерних програм для моделювання фазових вокодерів.

## 6. Лабораторні заняття (комп'ютерний практикум)

Комп'ютерні практикуми є складовою частиною самостійної роботи студентів, тобто виконуються в домашніх умовах.

Основні завдання циклу комп'ютерного практикуму полягають в придбанні студентами необхідних практичних навичок із аналізу та синтезу мовних, музичних та інших сигналів, створення певного набору акустичних ефектів.

Тематика комп'ютерних практикумів:

№ з/п	Назва лабораторної роботи (комп'ютерного практикуму)	Годин
1	Суб'єктивне оцінювання якості мовленнєвих сигналів із обмеженою смугою частот	3
2	Об'єктивне оцінювання якості мовленнєвих сигналів із обмеженою смугою частот	3
3	Суб'єктивне оцінювання якості мовленнєвих сигналів, спотворених за фазою	3
4	Синтез голосних звуків	3
5	Синтез приголосних звуків	2
6	Моделювання смугового напіввокодеру	2
	<b>Разом:</b>	<b>16</b>



## 7. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Вітчизняні методи суб'єктивного оцінювання розбірливості мови	4
2	Зарубіжні методи суб'єктивного оцінювання розбірливості мови	4
3	Ранні відбиття звуку в приміщенні та їх роль у підвищенні розбірливості мови	4
4	Вітчизняні методи суб'єктивного оцінювання якості музичних сигналів	4
5	Зарубіжні методи суб'єктивного оцінювання якості музичних сигналів	4
6	Різновиди смугових вокодерів	4
7	Моделювання фазових вокодерів	4
	<b>Разом:</b>	<b>28</b>

## 8. Індивідуальні завдання

В кредитному модулі заплановано виконання розрахунково-графічної роботи (РГР) на тему «Суб'єктивне оцінювання розбірливості мови автоматизованим артикуляційним методом». Мета роботи полягає в кращому засвоєнні теоретичних знань та здобуття практичних навичок з акустичної експертизи ліній зв'язку та приміщень шляхом оцінювання розбірливості мови. Тематика РГР додається до РНП (Додаток А).

## 9. Контрольні роботи

В кредитному модулі заплановано дві модульні контрольні роботи з розділів 1-2. Контрольні завдання додаються до РНП (Додатки Б та В).

## 10. Рейтингова система оцінювання результатів навчання

Перелік контрольних заходів та їхні вагові бали, критерії оцінювання результатів навчання та умови допуску до семестрової атестації надано у вигляді Додатку Г до РНП.

## 11. Методичні рекомендації

Методика вивчення дисципліни потребує використання сучасних апаратних і програмних засобів, що пов'язано із сучасним станом обробки акустичних сигналів, що виконується в значній мірі із застосування цифрової техніки. Що стосовно апаратної складової, то в першу чергу слід використовувати комп'ютери із сучасними версіями ОС Windows. Також слід приділити увагу наявності сучасних версій програм Matlab. Лабораторні роботи повинні виконуватися в класі, які обладнано такими комп'ютерами та програмами.

Найбільш поширеними програмними засобами, що будуть використовуватися в роботі, є Matlab та звуковий редактор Audacity. Тому слід звернути увагу на особливості обробки звукових даних (особливо етапи вводу-виводу сигналів в ПК) в останніх версіях Matlab, а також на потенційні можливості звукового редактора Audacity.

Ресурси Matlab у вигляді m-файлів досить широко представлено в Інтернеті, що значно полегшує їх використання та розробку на їх основі нових програм. Аналогічно, в Інтернеті досить легко знайти довідники користувача Audacity.

Для більш зручної роботи студентів робочі матеріали та методичні вказівки надаються в електронному вигляді, що робить можливим навчання ще й у дистанційній

формі (ресурс Moodle).

### Основна література

1. Б.Скляр. Цифровая связь. – М., Вильямс, 2003. – 1091 с.
2. Дидковский В.С., Дидковская М.В., Продеус А.Н. Акустическая связь из каналов речевой коммуникации. Монография. – К., «Имекс-ЛТД», 2008. – 420 с. Рабинер Л.Р., Шафер Р.В. Цифровая обработка речевых сигналов. – М., Радио и связь, 1981. – 494с.
3. Продеус А., Дидковский В., Дидковская М. Акустическая связь и коррекция коммуникационных каналов. LAP LAMBERT Academic Publishing, OmniScriptum GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Deutschland, 2017, ISBN: 978-3-330-04591-0 Сапожков М.А., Михайлов В.Г. Вокодерная связь. – М.: Радио и связь, 1983. – 247 с.
4. 5. Продеус А.Н. Цифровое кодирование речи: моделирование вокодеров в среде Matlab. – Электроника и связь, тематический выпуск «Проблемы электроники», ч.1, 2006, с. 56-64.
6. Продеус А.Н. Цифровая обработка речевых сигналов. Часть 4. Параметрическое кодирование речи (фазовые вокодеры) / Электронный ресурс: <http://aprodeus.narod.ru/teaching.htm>
7. Применение цифровой обработки сигналов / Под ред. Э. Оппенгейма // М.: Мир, 1980. – 551 с.

### Додаткова література

1. Гельгор А.Л., Гельгор Т.Е., Горлов А.И., Попов Е.А. Общая теория связи. Винеровская фильтрация. Учебное пособие. – С-Пб, Издательство политехнического университета, 2013. – 185 с.
2. Loizou P. Speech enhancement. Theory and Practice. / Second Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013. – 705 p.
3. Habets E.A.P. Single- and Multi-Microphone Speech Dereverberation using Spectral Enhancement. – PhD dissertation, Eindhoven, 2007. – 257 p.
4. Naylor P., Gaubitch N. Speech Dereverberation. – Springer, 2010. – 399 p.
5. А.Б. Сергиенко. Алгоритмы адаптивной фильтрации: особенности реализации в MATLAB. Exponenta Pro, №1 (1) / 2003. – с.18-28.
6. Haykin S. Adaptive Filter Theory. 5-th ed. Boston: Pearson, 2014. – 913p.
7. Zelinski A microphone array with adaptive post-filtering for noise reduction in reverberant rooms. Proc. Of Int. Conf. Acoust., Speech, and Signal Proces., vol.5, ICASSP-88, New York, IEEE, 11-14 Apr 1988, pp. 2578-2581.
8. K. U. Simmer and J. Bitzer, “Post-Filtering Techniques,” in Microphone Arrays, M. Brandstein and D. Ward, Eds., chapter 3, pp.39–60. Springer, Berlin, 2001.
9. Beerends J., Larsen E., Iyer N., Vugt J. Measurement of Speech Intelligibility Based on the PESQ approach. Proceedings of the Workshop Measurement of Speech and Audio Quality in Networks (MESAQIN), Prague, Czech Republic, June 2004.
10. Ma J., Hu Y. and Loizou P. Objective measures for predicting speech intelligibility in noisy conditions based on new band-importance functions. J. Acoust. Soc. Am., Vol. 125, No. 5, May 2009. – P.3387-3405.
11. C.M. Chernick, S. Leigh, K.L. Mills, and R. Toense. Testing the Ability of Speech Recognizers to Measure the Effectiveness of Encoding Algorithms for Digital Speech Transmission. In IEEE International Military Communications Conference (MILCOM), 1999.
12. W.M. Liu, K.A. Jellyman, J.S.D Mason, and N.W.D. Evans, “Assessment of Objective Measures for Speech Intelligibility Estimation,” ICASSP, 2006.
13. W. Jiang, H. Schulzrinne. Speech Recognition Performance as an Effective Perceived Quality Predictor. IEEE Int. Workshop on Quality of Service, pp. 269-275, 2002.
14. Дидковский В.С., Дидковская М.В., Продеус А.Н. Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации. Монография – «Имекс-ЛТД», Киев, 2008.

15. R. Martin, "Noise power spectral density estimation based on optimal smoothing and minimum statistics," IEEE Trans. Speech Audio Process., vol. 9, no. 5, pp. 504–512, 2001.

Додаток А

## **Розрахунково-графічна робота (РГР) на тему «Суб'єктивне оцінювання розбірливості мови автоматизованим артикуляційним методом»**

### **Актуальність та мета проекту**

На жаль, на сьогодні Україна не має власного держаного стандарту із суб'єктивного оцінювання розбірливості мовлення [1]. Замість такого наші інженери вимушені користуватися стандартами СРСР ГОСТ 16600-72 та ГОСТ 7153-85 [2], хоча в Росії замість застарілого ГОСТ 16600-72 вже давно використовують осучаснені стандарти 50840-95 та 51061-97, де передбачено можливість автоматизації суб'єктивної акустичної експертизи шляхом використання ПК та спеціального програмного забезпечення.

Тому головна мета даного проекту полягає в створенні та випробуванні пакету комп'ютерних програм, призначених для автоматизації суб'єктивного оцінювання розбірливості мови, спотвореної шумом та реверберацією. Рішення цього завдання є першим важливим кроком на шляху до створення вітчизняних стандартів в галузі акустичної експертизи каналів мовної комунікації.

Для якісного розв'язання поставлених завдань важливо забезпечити достовірність результатів оцінювання - а це можливо лише за умови участі в проекті досить великої кількості слухачів тестових сигналів. Тому до участі в проекті запрошуються всі студенти-магістри першого та другого років навчання.

### **Перспективи проекту:**

Даний проект дає змогу студентам краще засвоїти засади класичних та сучасних методів оцінювання розбірливості мовлення, спотвореного шумом та реверберацією. При виконанні даного проекту студенти не тільки навчаються теорії та практиці оцінювання розбірливості мовлення, але й мають змогу одержати важливі нові наукові результати, експериментально перевірявши прогнози оцінки маскувальної здатності синтетичних забарвлених шумів, а також дослідивши вплив ревербераційної завади на розбірливість мовлення.

Більш того, даний проект дозволяє зробити певний реальний внесок у розвиток системи вітчизняних державних стандартів, розробивши прототип нового Державного стандарту України, котрий був би не тільки аналогом стандартів 50840-95 та 51061-97, але й в чомусь перевершував їх. Такий стандарт потрібен фахівцям-зв'язківцям, архітекторам, будівельникам, спеціалістам із захисту інформації від витоку, оскільки дозволяє автоматизувати акустичну експертизу каналів передачі мовної інформації.

### **Технічне завдання:**

#### **1. Постановка завдання**

Оцінювання розбірливості мовлення виконується студентами шляхом прослуховування на навушники (!) трьох таблиць звукосполучень. Кожна таблиця містить 50 таких звукосполучень. Після запуску спеціальної комп'ютерної програми студенту пропонується прослухати кожне звукосполучення та ввести в комп'ютер за допомогою клавіатури почуте звукосполучення. Після прослуховування кожної таблиці автоматично підраховується процент правильно почутих звукосполучень.

Слід враховувати, що загальний час прослуховувань є досить великим й сягає приблизно 6-7 годин, оскільки прослуховування проводяться для різних умов спотворення мовних сигналів шумом та реверберацією. Проте лякатися не слід - дійсно, якщо в день витратити на виконання проекту 30 хвилин, роботу можна закінчити протягом 2-х тижнів.

## 2. Комп'ютерні програми для Matlab.

Головних програм всього дві:

1) table\_reading\_assist.m - дана програма дозволяє автоматизувати оцінювання розбірливості мови за результатами прослуховування 3-х наборів (таблиць) звукосполучень в різноманітних шумових та ревербераційних умовах;

2) rzlts\_processing.m - програма призначена для обробки результатів досліджень, що мають вигляд множини файлів, розміщених у спеціальних папках.

Допоміжні програми:

1) assistant.m - програма-функція, призначена для контролю за повнотою виконання поставленого завдання;

2) distortSystem.m - програма-функція, призначена для контрольованого спотворення мовних сигналів шумом та реверберацією.

Додатково можна використовувати спеціальні програми для підготовки еталонних таблиць звукосполучень та допомоги в обробці сигналів:

1) make\_wav\_table.m - для побудови звукових таблиць звукосполучень;

2) make\_rfr\_table.m - для побудови текстових таблиць звукосполучень;

3) redact\_table.m - для редагування текстових таблиць звукосполучень;

4) noise\_generation.m - для генерування забарвлених шумів;

5) vad\_LP.m - детектор голосової активності;

6) filter\_band\_7\_func.m - гребінка із 7 смугових октавних фільтрів для створення забарвлених шумів.

## 3. Вхідні та вихідні дані до комп'ютерних програм

**Вхідні дані:**

1) номери 3-х таблиць для прослуховування (одержуються від викладача);

2) шість еталонних таблиць із текстовими даними та 3 таблиці із звуковими даними (таблиці із текстовими даними іменуються як rfr\_table\_N\_1.mat, rfr\_table\_N\_2.mat, де N - номер таблиці, а таблиці із звуковими даними іменуються як wav\_table\_N.mat);

3) noises\_table.mat - файл-набір із 5-секундними відрізками білого, рожевого та коричневого шумів;

4) rirs\_table.mat - файл-набір із 7 зразками імпульсних характеристик приміщень із часом реверберації від 0.3 с до 2,7 с.

**Примітка:** комп'ютерні програми та вхідні дані до них за пп.2-4 містяться в архівному файлі (одержується в кураторів проекту): Project\_2017.zip

**Вихідні дані:**

Одержані результати обчислень (вихідні дані) містяться у спеціальній автоматично створеній папці Results\_Lastname (Lastname - прізвище студента), де містяться чотири папки з іменами Group1 (містить 3 файли результатів), Group2 (27 файлів), Group3 (21 файл), Group24 (27 файлів) та один файл mean\_results.mat із усередненими даними.

## 4. Одержання та обробка вихідних даних

Після закінчення прослуховування таблиць, одержані результати треба обробити програмою rzlts\_processing.m - в результаті кожен студент одержить набір графіків.

Ці графіки треба вставити у звіт, котрий треба роздрукувати та здати викладачу на перевірку для оцінювання роботи.

Разом із звітом викладачу та іншим кураторам проекту потрібно передати архівний файл із результатами дослідів (флешка або електронна пошта).

За результатами обробки одержаних даних мають бути побудованими графіки залежності усереднених (за слухачами) оцінок розбірливості мови, спотвореної шумом та

реверберацією.

## 5. Захист роботи

Проект має бути захищено кожним студентом.

Оцінки за звіт та за захист звіту є важливим внеском в результати семестрової атестації студентів.

### УВАГА!

Для одержання якісних результатів прослуховування сигналів слід виконувати тільки за допомогою навушників - це гарантує достовірність одержаних результатів.

Не бійтеся перериватися, якщо зморилися - програма `assistant.m` автоматично прослідкує, щоб всі досліди були виконані в повному обсязі!

## 6. Запитання та відповіді

Найчастішими запитаннями від виконавців проекту є наступні.

**Запитання 1.** Мені не вдалося обробити результати та одержати графіки за допомогою програми `rzlts_processing.m` в зв'язку із помилкою в роботі програми

### Відповідь:

Таке буває, коли в процесі прослуховування таблиць звукосполучень трапилася аварійна ситуація та програма `table_reading_assist.m` раптово перервала свою роботу (вимкнувся електрострум, ви натиснули на клавіатурі щось не те і т.п.). В цьому випадку відповідний файл результатів хоча і запишеться на диск, але виявиться неповним, а тому й непридатним для подальшої обробки.

Щоб вийти із цього положення та одержати вірний файл результатів, прийдеться заново прослухати відповідну таблицю звукосполучень. Зробити це можна за допомогою спеціально розробленої для цього випадку програми `table_reading_correction.m`

Але перш ніж запускати цю програму, зробіть наступне:

1) запустіть програму `rzlts_processing.m` та після того, як ця програма зупиниться та видасть повідомлення про неможливість нормального завершення обчислень, подивіться в полі `Workspace` на значення змінної `rzltsname` - там вказано шлях та ім'я файлу, який є неповним;

2) аналізуючи шлях та ім'я цього файлу, випишіть собі на папері:

- номер групи дослідів;
- номер таблиці;
- число після символу "t" (якщо цей символ є в назві файлу);
- число після символу "c" (якщо цей символ є в назві файлу);
- число після символу "s" (якщо цей символ є в назві файлу).

Тепер ви можете запустити програму `table_reading_correction.m`, яка спочатку запропонує вам ввести потрібні дані, а потім дасть змогу заново прослухати потрібну таблицю звукосполучень.

Закінчивши прослуховування, знову запустіть програму `rzlts_processing.m` - якщо вона відпрацює до кінця та видасть вам всі 3 графіки, вважайте, що всі ваші результати є вірними та готовими для архівування та передачі викладачу або кураторам проекту.

Якщо програма `rzlts_processing.m` відпрацює не повністю й знову видасть повідомлення про неможливість нормального завершення обчислень - повторіть дії за пп.1) й 2), та знову скорегуйте свої результати за допомогою програми `table_reading_correction.m` - й так дійте доти, доки не одержите нормальні результати (всі 3 графіки).

**Запитання 2.** Що має бути в звіті, окрім отриманих графіків?

## Відповідь:

1. Актуальність завдання, що розв'язується (кому і навіщо це потрібно?)
2. Опис організації досліджень. Для магістрів 1-го року - структурна схема обробки даних в кожному досліді (за аналізом програм `table_reading_assist.m` та `assistant.m`), а також структурні схеми алгоритмів програм `distorSystem.m` та `vad_LP.m`  
Для магістрів 2-го року - завдання за п.2 та додатково до нього: аналіз програм підготовки даних: `make_wav_table.m`, `make_rfr_table.m`, `redact_table.m`, `noise_generation.m`
3. Результати обробки (графіки) та їх коментарі, де треба вказати, чи узгоджуються одержані результати із тими, що наведені в літературі, а також спроба пояснити узгодження (або відсутність такого).
4. Висновки за результатами роботи: 1) що зроблено в роботі; 2) які неочікувані або очікувані результати одержано; 3) де і для чого можна застосувати результати проведеної роботи; 4) що надалі треба ще додатково зробити або покращити?
5. Якщо пропонуєте конкретні покращення (організація досліджень, комп'ютерні програми) - додайте їх із своїми коментарями.

## Література до РГР:

1. Дидковский В.С., Дидковская М.В., Продеус А.Н. Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации. Монография. – Киев, "Имекс-ЛТД", 2008. – 420 с.
2. Продеус А., Дидковский В., Дидковская М. Акустическая экспертиза и коррекция коммуникационных каналов. Монография. – LAP LAMBERT Academic Publishing, OmniScriptum GmbH & Co. KG, Saarbrucken, Deutschland, 2017, ISBN: 978-3-330-04591-0
3. ГОСТ 16600-72. Передача речи по трактам радиотелефонной связи. Требования к разборчивости речи и методы артикуляционных измерений. - М., Стандартиформ, 2007. - 77 с.
4. ГОСТ 50840-95. Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости. - М., Госстандарт России, 1996. - 234 с.
5. Костючок Ю.С., Мартинович Л.С., Моторнюк Д.Е., Нечитайло В.А., Храпачевский А.В., Продеус А.Н. Акустическая паспортизация учебных помещений. - ISSN 1811-4512. Electronics and Communications, 2016, Vol.21, No.2(91). – P.63-70.
6. К.С. Замша, Б.В. Лозинский, Ю.А. Митяй, Е.С. Степановская, А.Н. Продеус. Объективное и субъективное оценивание качества речевых сигналов с ограниченной полосой частот. - Electronics and Communications, Vol. 21, № 1(90), 2016. – P. 18-26
7. Михайлов В.Г. Диагностические артикуляционные таблицы. - Акустический журнал, 2002, том 48, №5. - С. 705-712.
8. Архипова О., Журавльов В., Кумейко В. Артикуляційні таблиці слів української мови. - Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні, вип 2(19) ., 2009. - С. 13-17.
9. Архипов А.Е, Архипова Е.А. Анализ и обработка данных артикуляционных испытаний. - Научно-практический журнал «Захист інформації» № 4, 2012. - С. 34-42.
10. ANG-2200. Acoustic Noise Generator. Owner's Guide. Research Electronics, Intl. 455 Security Place Algood, TN USA 38506-4941 1-931-537-6032 www.research-electronics.com - 40 p.
11. Макаров Ю. К., Хорев А. А. К оценке эффективности защиты акустической (речевой) информации. - Специальная техника № 5, М. - 2000.
12. Хорев А.А., Макаров Ю.И. Оценка эффективности систем виброакустической маскировки. - Вопросы защиты информации, № 1, М. - 2001. - С. 21-28.
13. Yang, W. and Bradley, J. (2009), "Effects of room acoustics on the intelligibility of

- speech in classrooms for young children,” J. Acoust. Soc. Am. 125 (2), P. 922–933.
14. А. Продеус, А. Вітик, О. Дворник, І. Котвицький, О. Чайка, М. Ярошенко, Суб’єктивне оцінювання розбірливості мови на тлі шуму та реверберації. - "Мікросистеми, електроніка та акустика", т. 23, № 2, 2018, с. 66-73, ISSN 2523-4447, DOI: 10.20535/2523-4455.2018.23.2.128820.
  15. А. Prodeus, К. Bukhta, Р. Morozko, О. Serhiienko, І. Kotvytskyi, І. Shherbenko "Automated System for Subjective Evaluation of the Ukrainian Speech Intelligibility," Proceedings of IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), April 24-26, 2018 Kyiv, Ukraine, pp. 533-538. ISBN: 978-1-5386-6382-0

## Додаток Б

### Питання до модульної контрольної роботи №1

МКР №1 виконано у формі комп’ютерного тесту, який виконується дистанційно, шляхом підключення до сервісу Moodle НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського». Тест складається із наступних питань:

- 1) В чому полягає використання шкали DMOS?
- 2) Для чого доцільно використовувати коефіцієнт кореляції між результатами об’єктивного та суб’єктивного оцінювання якості акустичного сигналу?
- 3) В чому полягає мета картування зв’язку між результатами об’єктивного та суб’єктивного оцінювання розбірливості мовлення?
- 4) В чому полягає мета картування зв’язку між результатами об’єктивного та суб’єктивного оцінювання якості акустичного сигналу?
- 5) Що собою являє об’єктивний метод оцінювання якості акустичного сигналу?
- 6) Як кількісно визначають розбірливість мовлення при суб’єктивному оцінюванні розбірливості?
- 7) Які тестові сигнали використовують при вимірюванні розбірливості мовлення формантним методом?
- 8) Які тестові сигнали використовують при вимірюванні розбірливості мовлення модуляційним методом?
- 9) Які тестові сигнали використовують при вимірюванні розбірливості мовлення формантно-модуляційним методом?
- 10) Яка числова характеристика є базовою при визначенні розбірливості мовлення формантним методом?
- 11) Вкажіть на правильну, згідно ГОСТ 50840-95, схему організації вимірювання розбірливості мовлення суб’єктивним методом

## Додаток В

### Питання до модульної контрольної роботи №2

МКР №2 виконано у формі комп’ютерного тесту, який виконується дистанційно, шляхом підключення до сервісу Moodle НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського». Тест складається із наступних питань:

- 1) З якою метою використовують інженерну версію теореми Котельникова замість класичної версії?
- 2) Як аналітично описується ефект «акустичне дзеркало»?
- 3) Методи синтезу мови?
- 4) Навіщо в кодері смугового вокодера використано гребенку смугових фільтрів?

- 5) Методи синтезу музичних звуків?
- 6) З яких міркувань вибирають смуги пропускання фільтрів в смуговому вокодері?
- 7) Що треба зробити, щоб запис чоловічої мови звучав як жіноча мова?
- 8) Чому дорівнює бітрейт сигналу із параметрами  $F_s = 11$  кГц, 1024 рівня квантування?
- 9) Скільки рівнів мав лінійний квантувач, якщо відомо, що сигнал записано із параметрами  $F_s = 11$  кГц, бітрейт 64 кБіт/с?
- 10) Чому запис мови та музики воліють виконувати в заглушених приміщеннях?
- 11) Чим відрізняється форманта від частоти основного тону?