

## АНОТАЦІЯ

Шиндін С.С. Метод оцінювання розбірливості мови в телекомунікаційних системах. – Рукопис. Кваліфікаційна робота магістра, Тернопільський національний технічний університети імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2019.

Кваліфікаційну роботу магістра присвячено розробленню методу оцінювання розбірливості мови в телекомунікаційних системах. Запропоновано об'єктивний метод оцінювання, що полягає в генеруванні тестового голосового сигналу та шумів із заданими законами розподілу, формуванні суміші таких сигналів із заданими співвідношеннями сигнал/шум, та оцінюванні параметрів каналу передачі даних.

Ключові слова: розбірливість мови, голосовий сигнал, канал передачі даних.

## ANNOTATION

Shindin S.S. A method for evaluating speech intelligibility in telecommunication systems. - Manuscript. Qualifying Work, Ivan Puluj Ternopil National Technical University, Ternopil, 2019.

The master's qualification work is devoted to the development of a method for assessing the intelligibility of language in telecommunication systems. An objective method of estimation is proposed, which consists in generating test voice signal and noise with predetermined distribution laws, forming a mixture of such signals with predetermined signal / noise ratios, and estimating data channel parameters.

Keywords: speech intelligibility, voice signal, data channel.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ .....	8
ВСТУП .....	9
РОЗДІЛ 1. ЗАДАЧА ОЦІНЮВАННЯ РОЗБІРЛИВОСТІ МОВИ .....	12
1.1 Застосування голосових сигналів для обміну інформацією .....	12
1.2 Комп'ютерна телефонія, як окремий випадок цифрових комунікаційних систем .....	13
1.3 Структура каналів цифрового зв'язку .....	15
1.4 Акустичні характеристики мови .....	17
1.5 Розбірливість мови і методи її вимірювання .....	19
1.6 Висновки до розділу 1 .....	23
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ РОЗБІРЛИВОСТІ МОВИ .....	24
2.1 Загальні відомості про методи оцінювання розбірливості мови .....	24
2.2 Об'єктивні методи оцінювання розбірливості мови .....	27
2.3. Особливості покращення розбірливості мови .....	37
2.4 Висновки до розділу 2 .....	38
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗБІРЛИВОСТІ МОВИ .....	39
3.1 Планування проведення дослідження .....	39
3.2 Висновки до розділу 3 .....	49
РОЗДІЛ 4. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕДУРИ ОЦІНЮВАННЯ РОЗБІРЛИВОСТІ МОВИ .....	50
4.1 Система оцінювання розбірливості мови .....	50
4.2 Моделювання групи смугових фільтрів в середовищі Matlab .....	51
4.3 Імпорт голосових сигналів в Matlab .....	53
4.4 Формування окремих типів кольорових шумів .....	54
4.5 Генерування адитивної суміші голосового сигналу з шумом .....	54
4.6 Оцінювання розбірливості в залежності від співвідношення голосовий сигнал-шум .....	55
4.7 Висновки до розділу 4 .....	55

РОЗДІЛ 5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	7 57
5.1 Особливості роботи в середовищі MATLAB.....	57
5.2 Моделювання сигналів засобами середовища MATLAB.....	60
5.3 Висновки до розділу 5.....	63
РОЗДІЛ 6. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТ.....	64
6.1 Науково-технічна актуальність науково-дослідної роботи.....	64
6.2 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи.....	65
6.3 Науково-технічна ефективність науково-дослідної роботи.....	71
6.4 Висновки до розділу 6.....	75
РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	76
7.1 Охорона праці.....	76
7.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	86
РОЗДІЛ 8. ЕКОЛОГІЯ.....	96
8.1 Актуальність охорони навколишнього середовища.....	96
8.2 Електромагнітне забруднення довкілля, його вплив на людину.....	97
8.3 Захист від впливу електромагнітних полів.....	101
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	104
Бібліографія.....	106
ДОДАТКИ	

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика;

ГС – голосовий сигнал;

ІХ – імпульсна характеристика;

ЛЗ – лінії затримки;

КТ – Комп'ютерна телефонія;

ФЧХ – фазо-частотна характеристика;

DSP – digital signal processors;

СТІ – Computer Telephony Integration;

RF – radio frequency;

LNA – low-noise amplifier.

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Під комунікацією сьогодні розуміють процес обміну (прийому/передачі) інформації між декількома особами, а як спосіб спілкування – комунікація може реалізуватись із застосуванням вербальних та невербальних методів. На початках розробки технічних засобів обміну даними питання комунікації носили практичний характер, однак з появою поняття масової комунікації стало необхідним провести означення суб'єктів комунікаційного процесу, параметрів каналів обміну даними тощо. При цьому застосовуються різні методи моделювання з метою відтворення основних елементів і функціональних характеристик комунікаційних процесів.

В області лінгвістики відомою є лінійна модель, запропонована Клодом Шеноном, яка включає в себе такі основні елементи процесу комунікації, як джерело інформації, передавач, канал передачі, приймач і кінцеву мету, які розміщені в лінійній послідовності. Доповнена модель Шенона включає джерело інформації, кодер (кодуєчий пристрій), повідомлення, канал передачі даних, декодер (декодуєчий пристрій) та приймач. Ця модель застосовується сьогодні найбільш широко а її елементи реалізуються у вигляді проміжних ланок передачі даними в системах радіозв'язку, телефонії, телекомунікаційних технологій тощо. В зазначених випадках джерелом та кінцевим споживачем інформації зачасту є людина а повідомленням є голосові сигнали. І якщо якість та ефективність роботи кодерів, передавачів, декодерів та приймачів таких сигналів постійно зростає, то актуальним є підвищення якості каналів передачі даних, що в кінцевому випадку визначатиме якість та ефективність роботи усєї комунікаційної системи.

У випадку каналів передачі голосових (мовних) сигналів, якісним показником телефонної, радіотелефонної, телекомунікаційної техніки тощо є якість передачі голосових сигналів при використанні такої техніки окремими абонентами. При цьому, якість таких сигналів може бути оцінена якісними та кількісними показниками, які в сукупності визначають розбірливість мови.

Враховуючи той факт, що сам процес, який підлягає передачі, та фактори, що можуть на нього впливати, є настільки різноманітними, що необхідним є розроблення та наступне застосування статистичних методів оцінювання розбірливості мови, які давали б стійкі ознаки самого процесу передачі голосових сигналів.

В роботі розробляється метод попереднього оцінювання оцінювання розбірливості мови для телекомунікаційних систем.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є розроблення методу попереднього оцінювання розбірливості мови для телекомунікаційних систем. Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести огляд літературних джерел та обґрунтувати актуальність роботи;
- проаналізувати відомі методи оцінювання розбірливості мови, виявити їх недоліки;
- запропонувати метод статистичного оцінювання розбірливості мови в телекомунікаційних системах;
- провести експериментальне оцінювання розбірливості мови для окремих випадків реалізації комунікаційної системи.

*Об'єкт дослідження:* процес оцінювання розбірливості мови в телекомунікаційних системах.

*Предмет дослідження:* методи оцінювання розбірливості мови.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Запропоновано метод оцінювання розбірливості мови в телекомунікаційних каналах передачі із застосуванням тестових голосових сигналів та маскуючого шуму з різними характеристиками (білого, коричневого, рожевого тощо) та спосіб оцінювання кількісних статистичних показників каналу передачі даних, що ґрунтується на оцінюванні параметрів прийнятого тестового голосового сигналу та такого сигналу в суміші із різними типами та параметрами маскуючого шуму.

**Практичне значення отриманих результатів.** Розроблений метод може бути використаний для задач тестування телекомунікаційних каналів передачі мовних сигналів.

*Апробація результатів.* За матеріалами кваліфікаційної роботи магістра опубліковано тези доповідей на VII науково-технічній конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі, системи та технології»

.....



## РОЗДІЛ 1

## ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ РОЗБІРЛИВОСТІ МОВИ

## 1.1 Застосування голосових сигналів для обміну інформацією

Мова є засобом передачі інформацією між людьми (рис. 1.1). При цьому можуть застосовуватись допоміжні засоби, які забезпечують передачу мовної інформації на значні відстані, зокрема, це поширені сьогодні системи телефонного зв'язку, в тому числі IP-телефонія.



Рис. 1.1. Мовні сигнали, як засіб обміну інформацією

Основною проблемою цифрових систем передачі даних є їх швидкодія. При передачі голосових сигналів, які в сукупності і відповідно до типів переданих даних належать до класу мовних, необхідно забезпечити такий режим передачі, при якому такий сигнал на виході приймаючої системи не повинен запізнюватись на певну граничну величину, що визначається ступенем затримки проходження цих сигналів по каналах зв'язку. Зазвичай величина затримки не повинна бути більшою за декілька десятків мілісекунд. Це визначає підвищені вимоги до швидкодії каналів відбору, попереднього опрацювання, оцифрування та кодування голосових сигналів.

Результатом необхідності забезпечення таких високих вимог є розроблення високоефективних методів кодування голосових сигналів із використанням методів дельта-модуляції та деяких інших типів модуляції.

Важливим є розроблення ефективних кодерів – засобів для кодування голосових сигналів. Основною задачею кодерів є компресія голосових сигналів з метою зменшення кількості переданих даних при задовільній чи добрій якості декодованого сигналу. Компресію голосових сигналів можна проводити шляхом врахування окремих параметрів голосових сигналів та особливостей слуху людини. За таким принципом працюють так звані вокодери – технічні або програмні засоби стиснення голосих сигналів, які ґрунтуються на певних моделях як систем голосотворення (мовного апарату) так і слуху людини.

Відомою є так звана механічна модель мовного апарату, що включає в себе джерело сигналу – звуку, та систему складних резонаторів. Однак така модель використовувалась при створенні аналогових систем компресії голосових сигналів. Іншою відомою моделлю процесу голосотворення є так звана електрична модель. Яка включає в себе джерело гармонічного (тонального) сигналу, що відповідає основному тону реального мовного сигналу, групи шумових сигналів та наборів резонансних фільтрів.

Вокодери сьогодні реалізуються на основі використання спеціалізованих сигнальних процесорів та передбачають проведення параметричного і спектрального аналізу невеликих сегментів (фреймів) мовного сигналу. Ці фрейми для підвищення точності виділення корисних ознак, зазвичай перекриваються та піддаються параметричному спектральному аналізу. В результаті параметричного спектрального аналізу обчислюється ряд параметрів, які визначають спектри голосового сигналу на протязі сегмента. З допомогою вокодерних систем голосовий сигнал може бути стиснений до 10 і більше разів.

## 1.2 Комп'ютерна телефонія, як окремий випадок цифрових комунікаційних систем

Під комп'ютерною телефонією (КТ) розуміють одночасне застосування як телефонії так і інформаційних технологій.

Перелік деяких функцій комп'ютерної телефонії, пов'язаних з обробкою і передачею мовних сигналів, представлений в табл.1.1

Деякі функції комп'ютерної телефонії, що пов'язані з обробкою і передачею мовних сигналів

<b>Функція</b>	<b>Опис</b>	<b>Приклад використання</b>
Озвучування інформації, що зберігається в текстовому файлі	Синтезатор мови зачитує абоненту текст, що зберігається в текстовому файлі (наприклад, повідомлення електронної пошти)	Озвучування повідомлення електронної пошти; озвучування даних телефонних номерів, імен, адрес, що зберігаються в базі
Запис і зберігання інформації, отриманої від абонентів	Система записує голосову інформацію і зберігає її у файлі до запитання	Системи масового опитування (наприклад, соціологічний, економічний або інший моніторинг)
Розпізнавання усної команди	Система розпізнає мову, незалежно від особливостей диктора (стать, вік). Зазвичай це обмежений набір слів - цифри від 0 до 9, слова «так» і «ні» і т.п.	Голосовий набір телефонного номера
Розпізнавання усної команди конкретного користувача	Система може бути навчена на «свого» користувача (розпізнавання мови з ідентифікацією диктора)	Управління домашнім роботом по телефону
Ідентифікація особистості абонента	Ідентифікація абонента шляхом порівняння його голосу з попередньо записаним зразком	Служба телебанкінгу - той, хто телефонує називає номер свого рахунку, система розпізнає голос і приймає рішення про доступ до рахунку
Ідентифікація ключових слів	Система розпізнає певні слова незалежно від того, вимовлені вони окремо або в контексті	Система зв'язку пропонує абоненту вибрати тип виклику. Абонент може сказати «кредит» або «я б хотів подзвонити в кредит»
Розпізнавання людського голосу	Система визначає, коли на дзвінок відповідає людина, а коли - автовідповідач або подібний пристрій	Телемаркетинговий додаток починає відтворення записаних заздалегідь повідомлень тільки якщо на дзвінок відповіла людина

Усі відомі додатки комп'ютерної телефонії можна умовно розділити на дві великі групи, а саме інтелектуальну комутацію викликів та голосову взаємодію віддалених користувачів з різними інформаційними ресурсами.

Системи IP-телефонії забезпечують передачу голосових сигналів в реальному масштабі часу через комп'ютерні мережі.

### 1.3 Структура каналів цифрового зв'язку

Типова структура каналу цифрового зв'язку (рис.1.2) відображає способи перетворення, опрацювання і поширення голосових сигналів. Верхні блоки відображають етапи перетворення та кодування голосових сигналів, а нижні - перетворення сигналу на шляху від приймача до одержувача інформації.

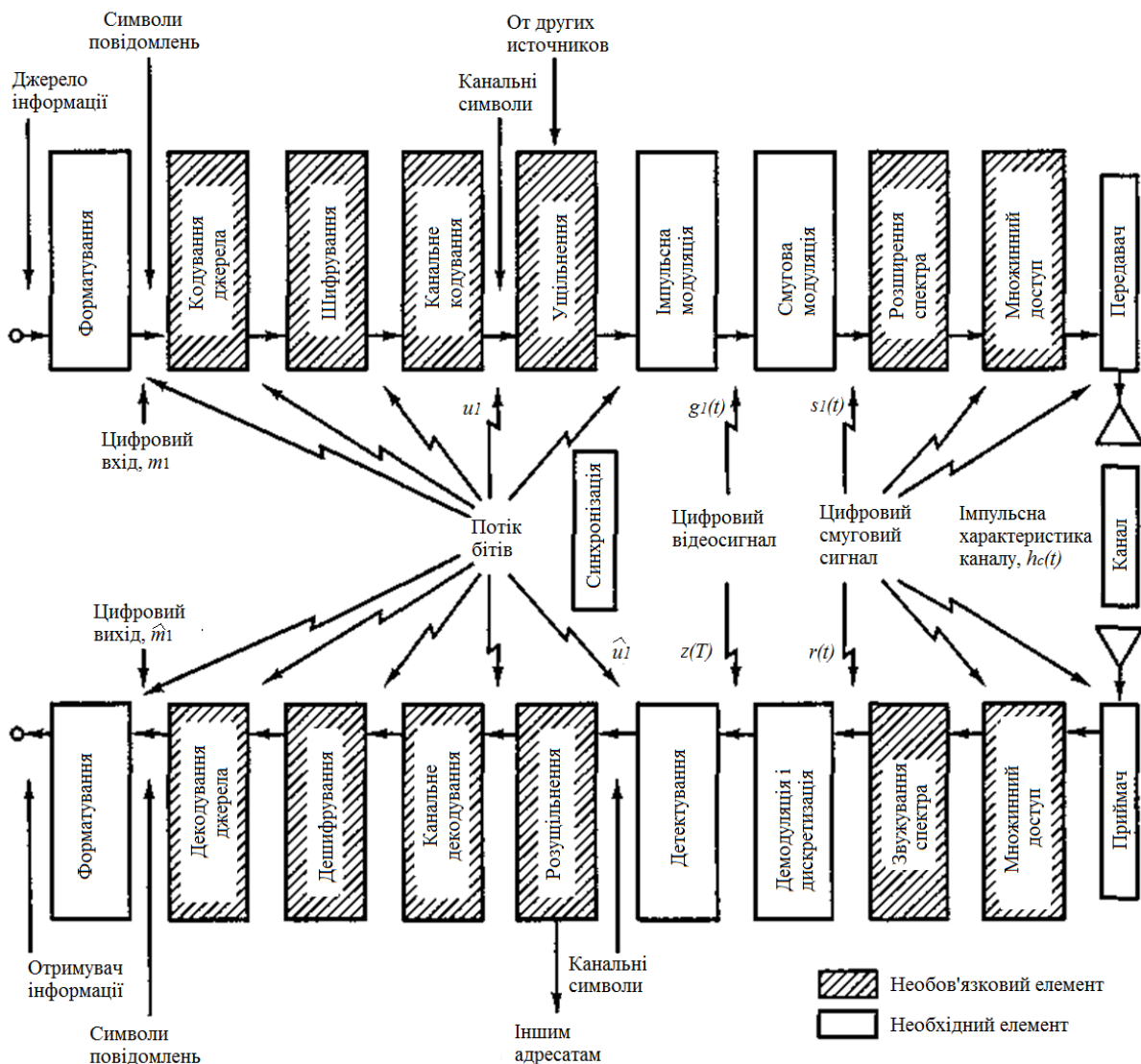


Рис.1.2. Типова структура каналу цифрового зв'язку

При цьому під модемом розуміють процес модуляції демодуляції голосових сигналів, а функціонально такий пристрій включає вузли підвищення частоти (різні методи модуляції, що передбачають перенесення спектра голосових сигналів на більш високі частоти), підсилювача потужності та каналу передачі даних, а для реалізації прийому сигналів – прецизійного підсилювача та вузлів зворотного перенесення спектра голосових сигналів – демодуляції.

Основними функціональними блоками опрацювання голосових сигналів є вузли модуляції, демодуляції та організації принципів синхронізації передавача із приймачем.

На першому етапі також виконується форматування, що полягає у перетворенні аналогової вхідної інформації в цифрову послідовність елементарних символів – бітів.

Під модуляцією розуміють процес перетворення певних символів повідомлення в сумісні із каналами передачі даних сигнали. Одним із таких видів модуляції є імпульсно-кодова, або в загальному випадку імпульсна модуляція.

Для систем передачі даних по відкритому радіоканалу чи в діапазоні радіочастот важливим етапом є етап смугової модуляції, яка застосовується у випадках, передача сигналів з імпульсною формою спотворюється самим каналом передачі даних. В таких випадках оптимальною є передача смугового сигналу  $s(t)$ . Під "смуговим" розуміють той факт, що передаваний сигнал  $g(t)$  зсувається несучою складовою сигналу на частоту, яка набагато більше частоти спектральних складових  $g(t)$ . Далі сигнал  $s(t)$  проходить через канал, основною характеристикою якого є імпульсна характеристика  $h_c(t)$ .

$$r(t) = s_i(t) * h_c(t) + n(t) \quad i=1, \dots, M, \quad (1.1)$$

де знак "\*" є операцією згортки, а  $n(t)$  - випадковий процес.

При опрацюванні отриманого сигналу в приймальному пристрої вхідні вузли приймача та демодулятора проводять пониження рівня частоти кожного вузькосмугового сигналу  $r(t)$ . Демодулятор відновлює сигнал  $r(t)$  у вигляді

оптимальної обвідної передаваного сигналу. При цьому проводиться фільтрування високочастотних складових та формування вихідних імпульсів корисного сигналу. Також ймовірно необхідним буде вирівнювання, особливо коли імпульсна характеристика каналу  $h_c(t)$  буде значно спотворювати сигнала. Під демодуляцією також мається на увазі відновлення сигналу (смугового імпульсу), а під детектуванням прийняття рішення щодо цифрового значення цього сигналу.

#### 1.4 Акустичні характеристики мови

Мовний сигнал є складним частотно і амплітудно модульованим шумовим процесом, який характеризується наступними параметрами: звуковим тиском, частотним діапазоном, рівнем мовних сигналів, динамічним діапазоном.

Під звуковим тиском розуміють такий тиск, який виникає в голосотвірному тракці при проходженні звукових хвиль. Поширюючись по складовим голосового тракту звукова акустична хвиля може ущільнюватись та розріджуватись, створюючи інші перепади тиску. Такий тиск є основною кількісною характеристикою звукового сигналу. Рівень звукового тиску являє собою величину виміряного за відносною шкалою значення звукового тиску, відносно деякого базового тиску:

$$N = 20 \lg \frac{p}{p_0}, \text{ дБ}$$

Під динамічним діапазоном розуміють відношення максимального значення миттєвої потужності сигналу  $P_{max}$  до мінімального значення миттєвої потужності  $P_{min}$ , або в логарифмічних одиницях вимірювання:

$$D = 10 \lg \left( \frac{P_{max}}{P_{min}} \right) \text{ дБ}$$

Під енергетичним спектром голосового сигналу розуміють смугу частот, в

якій зосереджені основні енергетичні складові сигналу (рис. 1.3). З рис. 1.3 видно, що голосові сигнали є широкосмуговими за частотним складом процесами в діапазоні частот 0,05...10 кГц. Однак відомо, що якість голосових сигналів є достатньою для сприйняття і розуміння в смузі частот спектра 0,3...3,4 кГц. Цей діапазон частот використовується як верхня і нижня межі ефективного спектра голосових сигналів.

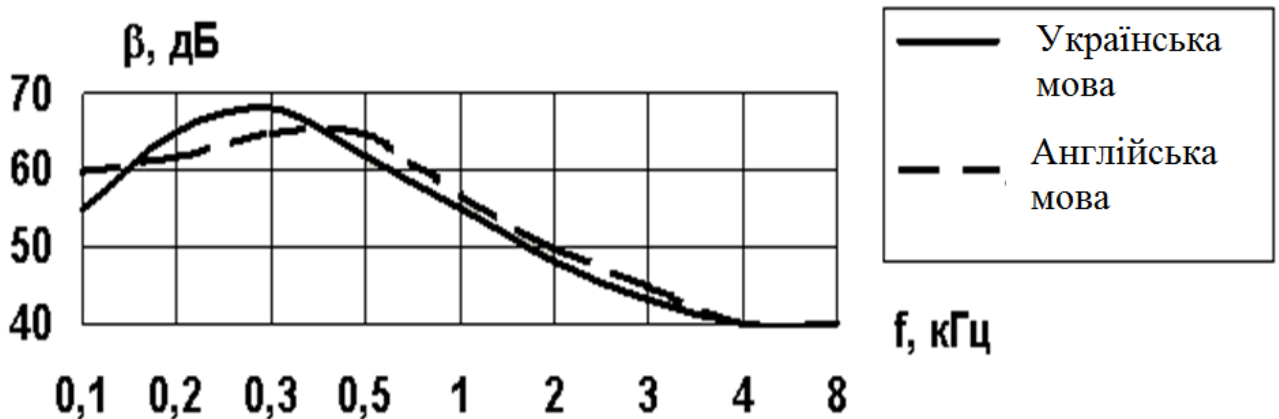


Рис. 1.3. Спектр голосвих сигналів

Найбільш важливим для задач ефективного кодування, декодування, розпізнавання голосових сигналів є такі параметри спектру цих сигналів, як форманти (рис. 1.4). Під формантами розуміють частоти розміщення максимумів в амплітудних спектрах голосових сигналів, а самі форманти характеризуються частотою розміщення, амплітудою та шириною.

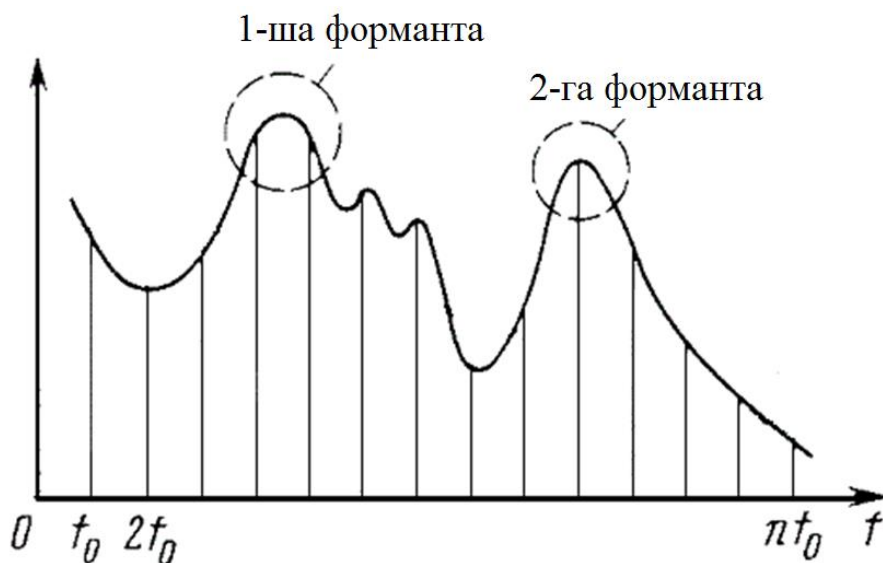


Рис. 1.4. Зображення формант голосового сигналу в його спектрі

Розглянувши параметри голосових сигналів проаналізуємо питання оцінювання розбірливості мови на основі аналізу цих параметрів.

### 1.5 Розбірливість мови і методи її вимірювання

Під розбірливістю голосових сигналів розуміють співвідношення кількості правильно прийнятих елементів цих сигналів до загальної кількості переданих елементів. Оскільки передачі підлягають окремі звуки, склади, фрази тощо виділяють однойменні методи оцінювання розбірливості мови.

Існує ряд способів оцінювання кожного із зазначених типів розбірливості. Одним із таких методів є метод, який полягає в використанні спеціальної тренованої групи слухачів, які проводять прослуховування пройдених по каналу голосових сигналів. Поряд із розбірливістю важливим є параметр зрозумілості мови. Однак він в вирішальній мірі залежить від розбірливості. У табл. 1.2 наведена залежність зрозумілості і розбірливості мови.

Таблиця 1.2

Залежність зрозумілості і розбірливості мови

Зрозумілість	Розбірливість, %			
	Складова (S)	Формантна (A)	Словесна (W)	Фразова (J)
Гранично допустима	25-40	15-22	75-87	91,5-96,5
Задовільна	40-50	22-31	87-93	96,5-98
Хороша	50-80	31-50	93-98	98-99
Відмінна	80 і вище	50 і вище	98 і вище	99 і вище

Зрозумілість мови є фонетичною характеристикою розбірливості і визначається в процесі переговорів нетренованих слухачів.

Сама по собі зрозумілість мови може бути відмінною, хорошою, задовільною та гранично допустимою. В першому випадку вважається, що зміст закладеного в мовний сигнал повідомлення однозначно та правильно визначений слухачем. В другому випадку необхідним є перепитування окремих слів з



почутої фрази. Т третью випадку необхідними є часті перепитування. І в останньому випадку перепитуванню підлягають одні і ті ж фрагменти мовного сигналу

Проаналізуємо загальні принципи оцінювання розбірливості мови.

Метод артикуляції ґрунтується на оцінюванні ступені забезпечення розбірливості переданого голосового сигналу.

Для вимірювання артикуляційної розбірливості залучаються спеціально підібрані за ознаками доброї дикції групи людей - дикторів. Суть випробувань ґрунтується на виголошенні дикторами серій таблиць артикуляційних елементів мови, передачі цих сигналів по каналам зв'язку, озвучуванні цих сигналів на приймаючій стороні та оцінюванні середнього відсотка правильно прийнятих елементів. При цьому, можливим є оцінювання наступних типів розбірливості, а саме:

- розбірливість звуків - D;
- розбірливість складів - S;
- розбірливість слів - W;
- розбірливість фраз - J.

По закінченню циклу прийому-передачі звіряються прийняті і передані таблиці і обчислюється відсоток правильно прийнятих елементів.

Вважають, що якщо кількість вимірювань та кількість учасників вимірювання є достатньо великою, то результати такого вимірювання будуть стійкими та об'єктивними. Отримані при цьому значення розбірливості є оцінками якості каналів передачі даних.

Відомо, також, що існують функціональні залежності між різними типами розбірливості мови. Тому не потрібно проводити вимірювання усіх типів розбірливості мови. Можна провести вимірювання якоїсь однієї розбірливості та оцінити значення інших а відомими функціональними залежностями чи їх графічними представленнями. Графічні представлення функціональних залежностей між різними типами розбірливості мови наведено на рис. 1.5-1.9.

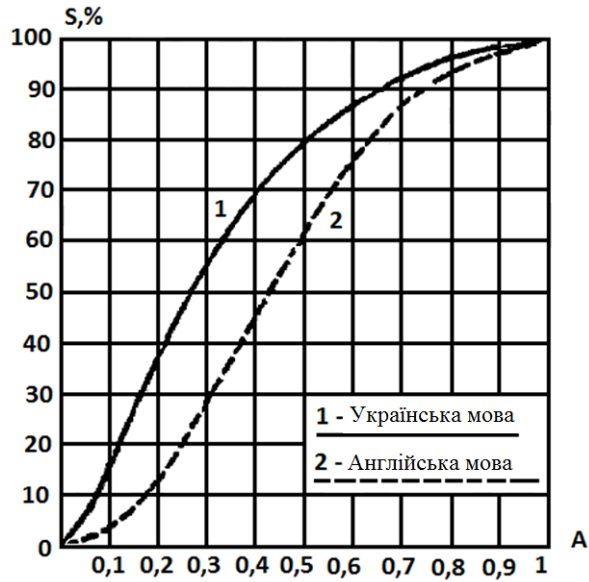


Рис. 1.5. Залежність складової розбірливості від формантної

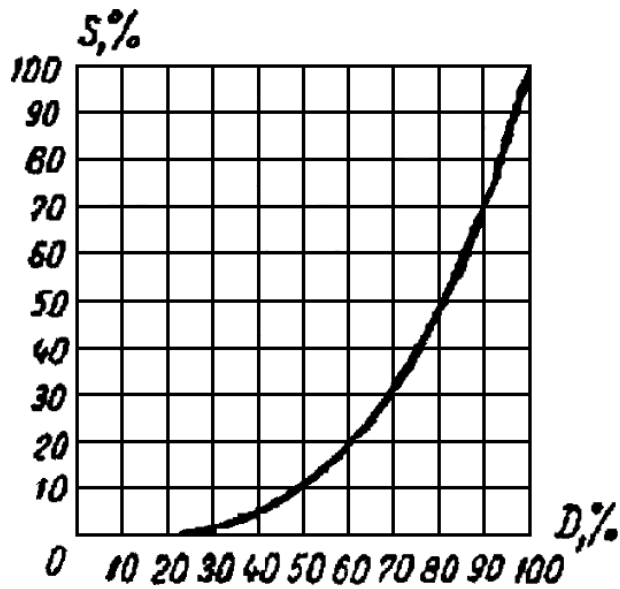


Рис. 1.6. Залежність складової розбірливості від звукової

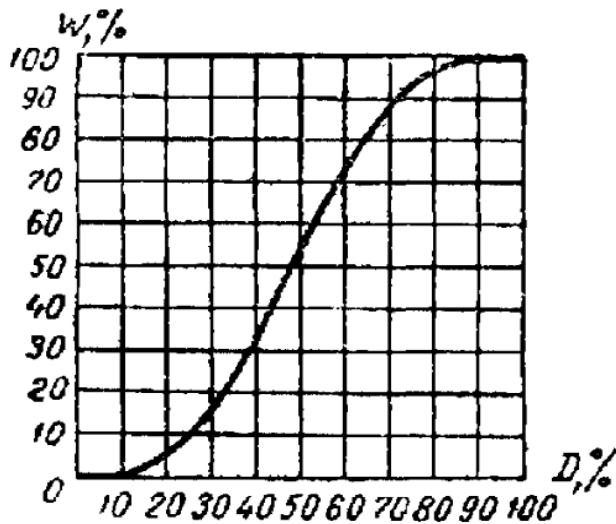


Рис. 1.7. Залежність словесної розбірливості від звукової

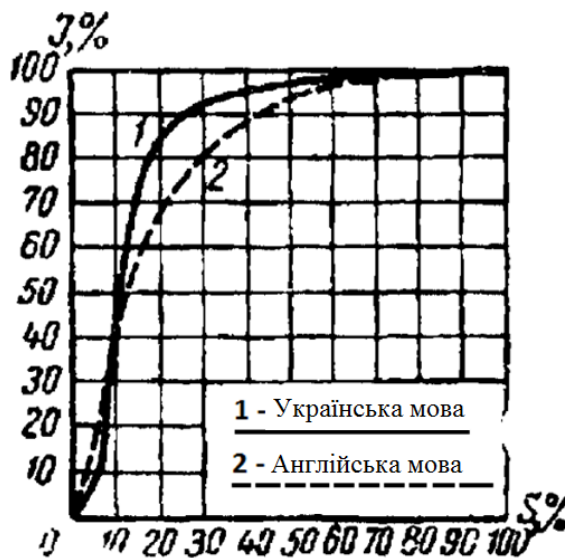


Рис. 1.8. Залежність фразової розбірливості від складової

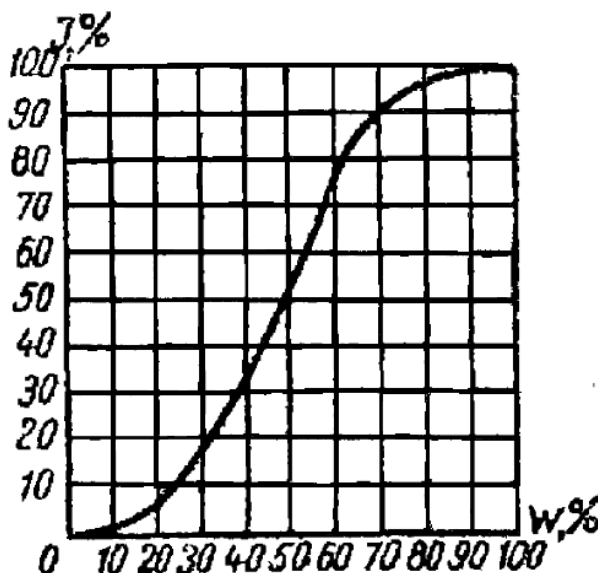


Рис. 1.9. Залежність фразової розбірливості від словесної

Так, відповідно до наведених вище рисунків, граничне значення формантної розбірливості, при якому можливе розуміння сенсу мовного повідомлення, становить 15 відсотків. При цьому словесна розбірливість становить наближено 25 відсотків.

Важливим при цьому є завдання автоматизації такого процесу.

## 1.6 Висновки до розділу 1

Проаналізовано канали передачі даних в телекомунікаційних системах, зокрема цифрової форми передачі голосових сигналів в обласці комп'ютерної чи IP-телефонії. Проаналізовано параметри голосових сигналів, від яких залежить якість отримуваних сигналів.

При цьому встановлено, що спектральна характеристика каналу передачі даних може значно спотворювати спектральний склад передаваних голосових сигналів, тим самим погіршувати якість зв'язку.

Одним із методів якісного оцінювання параметрів каналів передачі мовних сигналів є оцінки розбірливості мови при порівнянні окремих параметрів переданих та прийнятих по цьому каналу мовних повідомлень.

Встановлено, що існують функціональні залежності між різними типами розбірливості мови. Тому не потрібно проводити вимірювання усіх типів розбірливості мови. Можна провести вимірювання якоїсь однієї розбірливості та оцінити значення інших а відомими функціональними залежностями чи їх графічними представленнями. Важливим при цьому є завдання автоматизації такого процесу.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ РОЗБІРЛИВОСТІ МОВИ

#### 2.1 Загальні відомості про методи оцінювання розбірливості мови

В даний час існує багато методів оцінювання розбірливості мови, що застосовуються для оцінювання акустичних властивостей приміщень, каналів передачі даних, а також захищеності мовної інформації.

Методи вимірювання розбірливості мови поділяються на суб'єктивні та об'єктивні. До першої групи належать суб'єктивний метод, об'єктивізований та тональний. До другої групи належать формантні методи, модуляційні та емпіричні методи.

Такі методи, як метод Покровського, Бикова, Сапожкова розглядати не будемо, оскільки наведені вище методи забезпечують кращий результат.

При оцінюванні розбірливості мови в суб'єктивному методі бере участь пара диктор-аудитор. Їх роботу зручно розглядати на прикладі тестування радіостанції. Відповідно до методу на передавальній стороні каналу передачі даних спеціально тренувана особа – диктор, читає наперед підготовлений текст, а на приймаючій стороні аудитор прослуховує цей текст та виставляє оцінку якості передачі даних по тракту за п'ятибальною (або будь-якою іншою) шкалою. Важко не помітити очевидний недолік такого підходу, а саме неминучий вплив на результат особливостей мови і слуху тестуючих людей.

Найбільш поширеним об'єктивізованим методом є метод артикуляції. Він полягає в тому, що перед початком вимірювань в випробуваному каналі створюються нормальні акустичні умови (рівні шумів). Беруть участь кілька аудиторів, а диктор замість звичайного тексту читає спеціально складені таблиці складів (артикуляційні таблиці). Аудитори записують почуте і по закінченню сеансу передачі звіряють свої таблиці з таблицею диктора. Відношення

правильно почутих складів до їх загальної кількості і є оцінка розбірливості мови, яка виражається у відсотках або в частках одиниці.

Що стосується аудиторів, є думка, що це повинні бути спеціально натреновані бригади, проте ГОСТ Р 50840-95 вимагає зовсім протилежного.

Перевагами такого методу є: універсальність самого методу щодо типу каналу передачі даних, та простота.

До недоліків методу слід віднести громіздкість самої процедури вимірювань, необхідність створення артикуляційних таблиць, залежність результатів від ступеня натренованості операторів, неможливість автоматизації процесу та впливи людського фактора.

Розглянемо ще один об'єктивізований суб'єктивний метод - тональний, згідно з яким диктор замінюється генератором чистих тонів. Такий спрощений еквівалент голосу включатиме звичайний гучномовець без дифузора, який генерує сигнали із спектром, подібним до спектру реальних формант. Завдання аудиторів - це просто визначити, почуто сигнал на даній частоті чи ні.

*Таблиця 2.1*

Частоти проведення тонального методу

Частоти, на яких проводяться вимірювання									
250	500	650	800	990	1125	1300	1500	1700	1875
2050	2225	2425	2725	3100	3500	3850	4550	6150	8600

Рівень відчуття формант вимірюється шляхом плавного введення загасання до зникнення чутності звуку, потім загасання слід зменшувати до моменту появи звуку. Два значення загасання усереднюються - це і є результат вимірювання.

Формантна розбірливість мови визначається по таблиці 2.2.

Загальна формантна розбірливість визначається як сума складових:

$$A_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n A_i$$

Таблиця 2.2

## Формантна розбірливість мови

дБ	%	дБ	%	дБ	%	дБ	%	дБ	%	дБ	%
1	0.04	10	0.65	19	1.92	28	3.22	37	4.28	46	4.75
2	0.09	11	0.76	20	2.07	29	3.37	38	4.37	47	4.78
3	0.14	12	0.89	21	2.2	30	3.51	39	4.46	48	4.8
4	0.19	13	1.03	22	2.36	31	3.64	40	4.52	49	4.82
5	0.24	14	1.18	23	2.5	32	3.75	41	4.57	50	4.85
6	0.3	15	1.32	24	2.65	33	3.87	42	4.62	51	4.88
7	0.37	16	1.47	25	2.79	34	3.97	43	4.66	52	4.95
8	0.46	17	1.62	26	2.93	35	4.08	44	4.69		
9	0.55	18	1.77	27	3.08	36	4.18	45	4.72		
дБ — рівень відчуття тону; % — формантна розбірливість мови											

Для закінчення вимірювання розбірливості мови досить визначити складову розбірливість (табл. 2.3)

Таблиця 2.3

## Складова розбірливості мови

A	S	A	S	A	S	A	S	A	S
5	5	25	46.2	45	75	65	90	85	98
10	15	30	55	50	80	70	92.5	90	99
15	26	35	62.5	55	81	75	95.2	95	99.5
20	36	40	69	60	87.2	80	96.2	100	100

A — формантна розбірливість мови; S — словесна розбірливість мови

Перевагами методу є наступні:

- не потрібна група дикторів;
- значно скорочується час вимірювань;
- не потрібні артикуляційні таблиці.

Недоліками методу є наступні:

- підвищені вимоги до технічної освіченості вимірюючого персоналу;
- неможливість автоматизації процесу;
- людський фактор

Проведемо аналіз типів та можливостей об'єктивних методів оцінювання розбірливості мови. Вони дають можливість автоматизації самого процесу оцінювання та виключення впливу на результати людського фактора.

## 2.2 Об'єктивні методи оцінювання розбірливості мови

Найбільш поширені об'єктивні методи наведені на рис.2.1.



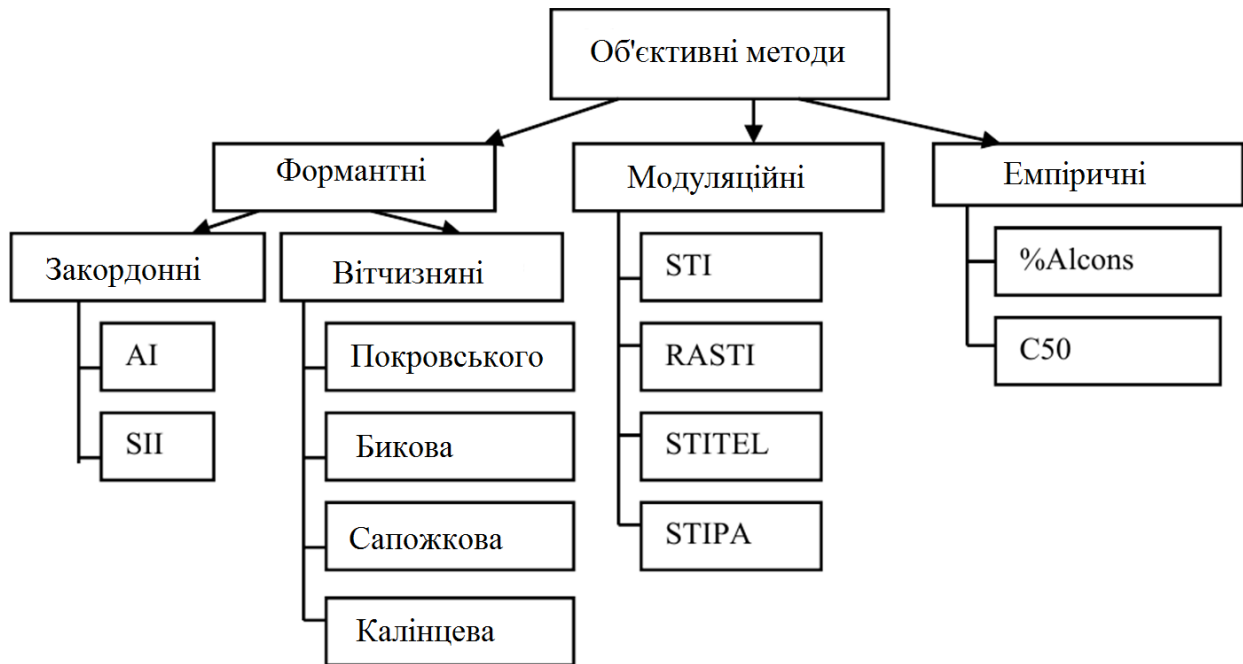


Рис. 2.1. Об'єктивні методи оцінювання розбірливості мови

Розглянемо найпростіший об'єктивний метод.

Суть цього методу полягає в тому, що на приймальній стороні випробуваного каналу передачі даних генерується шум відповідно до умов роботи. На наступному етапі проводиться вимірювання рівня шуму на виході штучного приймача акустичних сигналів в смузі частот людського слуху. На наступному етапі замість шуму через канал передачі даних передають акустичний сигнал з характеристиками, подібними до реального голосового сигналу із спектральною характеристикою, що враховує реальні форманти. Регулюючи рівень подавлення намагаються довести рівень акустичного сигналу до рівня шуму, який передавався цим каналом на першому етапі тестування. Це і буде результатом вимірювання.

Щоб визначити формантну і складову розбірливості, користуються тими ж способами, що і в тональному методі.

Перевагами методу є:

- точність і швидкість;
- не потрібні диктори та аудитори;
- можливість повної автоматизації процедури вимірювань.

Недоліками методу є:

- підвищені вимоги до технічної освіченості вимірювального персоналу.

В об'єктивному методі відсутній людський фактор, який визначається станом людини – чи то диктора чи аудитора, особливостями його слуху тощо.

Розглянутий об'єктивний метод є точнішим і швидшим за тональний, для його проведення не потрібні диктори та аудитор.

Враховуючи переваги об'єктивного методу його використано за основу розроблення власного методу оцінювання розбірливості мови. Однак необхідно проаналізувати фізіологічні основи реалізації обміну інформацією з допомогою голосу при безпосередньому спілкуванні, щоб виділити ті особливості процесу голосотворення та слуху, які повинні використовуватись і при автоматизованому оцінюванні розбірливості мови.

### 2.2.1 Формантний підхід

Форманти - це такі області в спектрі звуку мови, де концентрація енергії максимальна. Вперше формантний підхід був запропонований ще в 1929 році Д. Коллардом. Він міцно тримав свої позиції до 70-х, поки не був запропонований модуляційний підхід, що дозволяє врахувати не тільки шумову, але і ревербераційну перешкоду, відлуння і нелінійні спотворення.

Метод Покровського. Відповідно до цього методу всю аналізовану область частот розбивають на декілька суміжних смуг, в межах кожної з яких щільність ймовірностей формант, спектри мови та шуму наближено вважаються постійними. Артикуляційна розбірливість є сумою розбірливості формант кожної смуги:

$$A = \sum_{k=1}^K A_k = \sum_{k=1}^K p_k \cdot P(E'_k)$$

$$p_k = F_1(f_{sk}) - F_1(f_{nk})$$

де:  $K$  — кількість суміжних смуг;  $p_k$  — ймовірність перебування формант в  $k$ -ій смузі частот;  $F_I(f)$  — функція розподілу ймовірностей формант;  $f_{ok}$  — центральна частота смуги;  $f_{nk}$  — нижня гранична частота смуги;  $f_{ek}$  — верхня гранична частота смуги;  $P(E'_k)$  — коефіцієнт сприйняття мови, інакше ймовірність відсутності маскуванню мови шумом.

Коефіцієнт сприйняття мови залежить від різниці рівнів формантного спектра і спектра перешкоди. При досить високих рівнях шуму – це відношення сигнал/шум в кожній зі смуг частот (рис. 2.2).

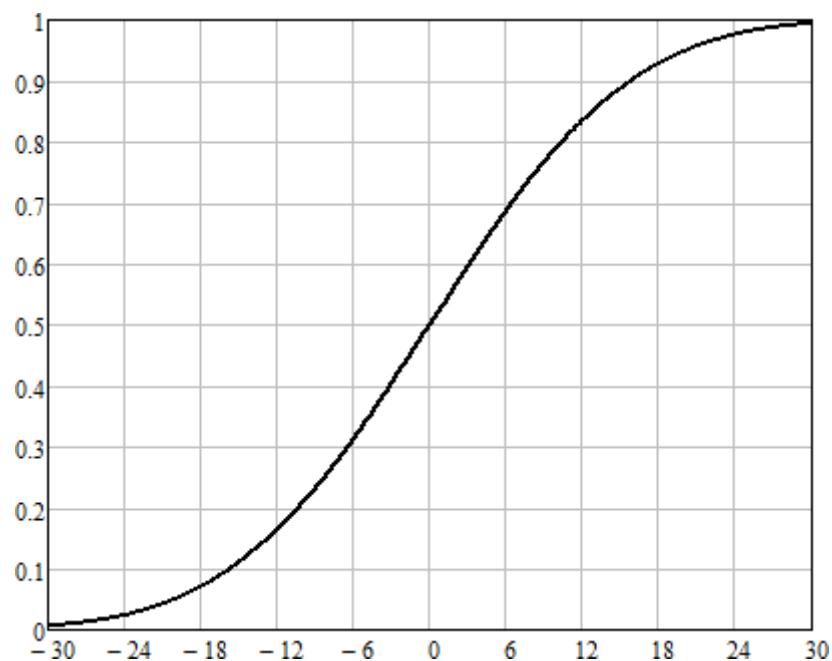


Рис. 2.2. Крива коефіцієнта сприйняття мови

Крива коефіцієнта сприйняття мови для кожної смуги частот різна, проте в методі Н. Б. Покровського ним же і було запропоновано не звертати на це уваги і використовувати якусь одну криву для спрощення розрахунків.

Сучасний метод був запропонований в [8] та фактично повторює метод Покровського з тією лише відмінністю, що аналіз сигналу проводиться в п'яти октавних смугах частот. Також передбачається автоматизація обчислень, що потребує апроксимації вимірюваних величин аналітичними співвідношеннями.

Таблиця 2.4

## П'ять октавних смуг частот

$f_0, \text{Гц}$	250	500	1000	2000	4000
$\Delta f, \text{Гц}$	180...355	355...710	710...1400	1400...2800	2800...5600
$\Delta f$ — смуга частот; $f_0$ — середня частота смуги					

Як і раніше, артикуляційна розбірливість визначається за виразом:

$$A = \sum_{k=1}^K p_k \cdot P(E'_k)$$

Аналітичне співвідношення:

$$p_k = F_1(f_{ск}) - F_1(f_{нк})$$

$$F(f) = \begin{cases} 2.57 \cdot 10^{-8} \cdot f^{2.4}, & 100 < f \leq 400 \text{ Гц} \\ 1 - 1.074 \cdot \exp(-10^{-4} \cdot f^{1.18}), & 400 < f \leq 10000 \text{ Гц} \end{cases}$$

$$P(E'_k) = \begin{cases} \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp[-4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |E'_k|)^2]}{1 + 10^{0.1|E'_k|}}, & E'_k \leq 0 \\ 1 - \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp[-4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |E'_k|)^2]}{1 + 10^{0.1|E'_k|}}, & E'_k > 0 \end{cases}$$

$$E'_k = E_k - \Delta B(f_{0k})$$

$E'_k$  — ефективний рівень відчуття формант в полосі частот;  $E_k$  — рівень відчуження голосового сигналу в частотному діапазоні, при відносно великому

рівні шуму, що рівний відношенню сигнал/шум SNR;  $\Delta B(f)$  — різниця між усередненим спектром мови і спектром формант;

$$SNR = 10 \lg \frac{D_{sk}}{D_{nk}}$$

$D_{sk}, D_{nk}$  — дисперсії сигналу и шуму відповідно;

$$\Delta B(f) = \begin{cases} \frac{200}{f^{0.43}} - 0.37, & f \leq 1000 \text{ Гц} \\ 1.37 + \frac{1000}{f^{0.69}}, & f > 1000 \text{ Гц} \end{cases}$$

Словесну розбірливість обчислюють з допомогою формантної:

$$W = \begin{cases} 1.54 \cdot A^{0.25} \cdot [1 - \exp(-11 \cdot A)], & A < 0.15 \\ 1 - \exp\left(\frac{11 \cdot A}{1 + 0.7 \cdot A}\right), & A \geq 0.15 \end{cases}$$

В. Л. Каргашиним була висловлена думка, що дана версія повинна бути вдосконалена, а саме:

- потрібно додати ще одну смугу аналізу з центральною частотою 8 кГц;
- повинна бути реалізована можливість розрахунку в третьоктавних смугах;
- бажано апроксимувати коефіцієнт сприйняття більш простою функцією.

Метод АІ. Використання індексу артикуляції було запропоновано Г. Флетчером в 1940 році. Існує дві версії даного методу:

- для двадцяти равноартикуляційних смуг;
- для шести октавних або п'ятнадцяти трьохоктавних смуг

Розглянемо цей метод для двадцяти рівноартикуляційних смуг. Чіткість голосу визначають за тією ж формулою:

$$A = \sum_{k=1}^K p_k \cdot P(E'_k)$$

Однак, так як обчислення проводяться в двадцяти смугах, формула вище набуває вигляду:

$$AI = \frac{1}{20} \sum_{k=1}^{20} P(\Delta L_i)$$

$\Delta L_i$  — різниця між піковим рівнем голосового сигналу та ефективним рівнем маскуючого шуму:

$$P_{AI}(\Delta L) = \begin{cases} 0, & \Delta L \leq 0 \text{ дБ} \\ \frac{\Delta L}{30}, & 0 < \Delta L \leq 30 \text{ дБ} \\ 1, & \Delta L > 30 \text{ дБ} \end{cases}$$

Таким чином

$$AI = \frac{1}{600} \sum_{k=1}^{20} \Delta L_i$$

Може виникнути питання, чи маємо ми право апроксимувати коефіцієнт сприйняття такою лінійною залежністю? Маємо, оскільки результат, отриманий з використанням кривих по Покровському, буде таким же усередненим, як і результат, отриманий з апроксимацією лінійною залежністю.

$$\Delta L = B_{p.глас} - B_{ш} = B_p + \Pi_p - B_{ш} = E + \Pi_p$$

де:  $B_{p.глас}$  — піковий рівень мови;  $B_{ш}$  — ефективний рівень шуму;  $\Pi_p$  — пік фактор — відношення пікового значення рівня до середньоквадратичного;  $E$  — ефективний рівень відчуття мовного сигналу.

Перерахунок індексу артикуляції в словесну і фразову розбірливості здійснюють за графіком (рис. 2.3).

У методі враховуються:

- вплив ревербераційної перешкоди;
- вплив АЧХ тракту передачі;
- нестационарний характер маскуючого шуму, якщо відомий його робочий цикл або час включення / вимикання;

- вплив кліпування;

Метод непридатний:

- якщо на мовний сигнал впливає кілька різних типів перешкод;
- в разі змішаного прийому сигналу від диктора і гучномовця

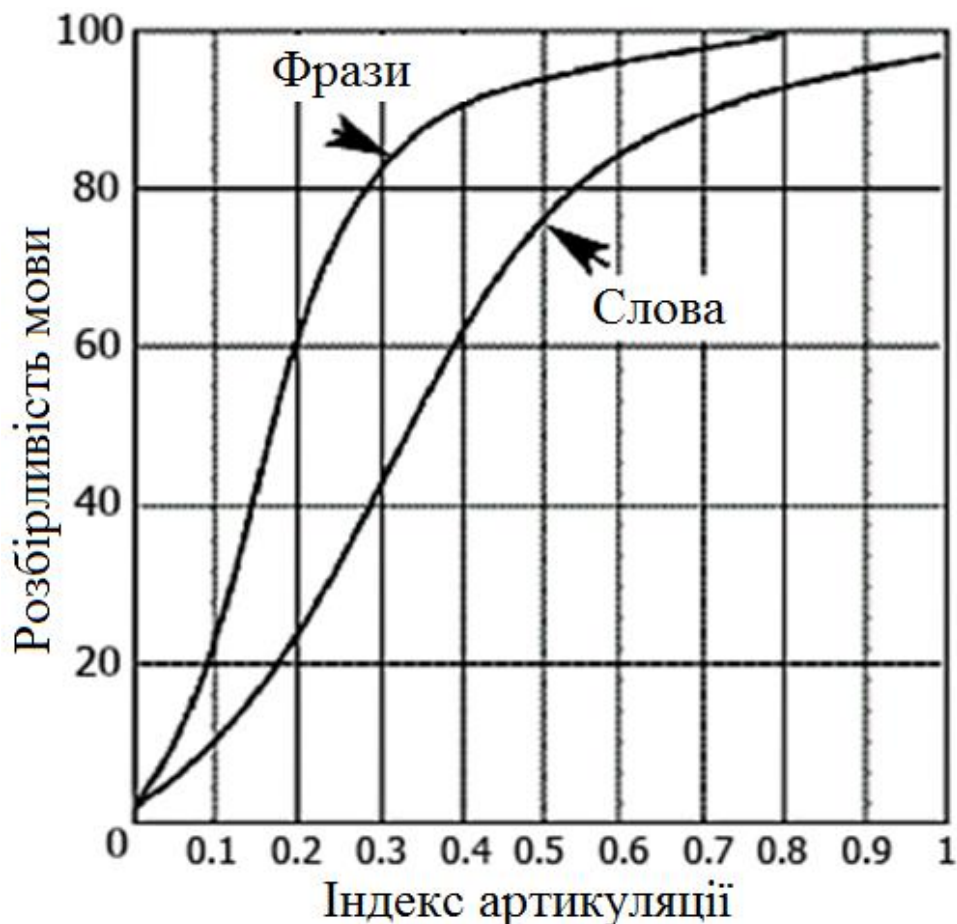


Рис. 2.3. Залежність індексу артикуляції від розбірливості мови

### 2.2.2 Модуляційний підхід

Народженням модуляційного методу можна вважати 1970 роки. Т. Ходгаст і Г. Стінекенр розробили систему, яка використовувала тестовий сигнал у

вигляді шуму, модульованого по амплітуді сигналом фіксованої частоти з обвідною прямокутної форми. Спектр несучого шуму був подібний до спектру довготривалої мови. В результаті при оцінці розбірливості вдавалося врахувати вплив шуму, кліпування і реверберації. Надалі, спеціально розроблений пристрій давав можливість виміряти індекс передачі мови STI (speech transmission index).

Метод STI. В цьому методі оцінюється степінь впливу самого каналу передачі даних на якість отриманого та виході сигналу і відповідно на його розбірливість. Такий показник цього методу як MTF (modulation transfer function) показує, якість амплітудно модульованого сигналу після проходження по каналу передачі даних. Обчислюється цей показник за виразом:

$$m(F) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi \cdot F \cdot T}{13,8}\right)^2}} \cdot \frac{1}{1 + 10^{-0,1 \cdot S/N}}$$

де  $F$  – частота модуляції;  $T$  – час реверберації в каналі;  $S/N$  – відношення сигнал/шум в дБ;

Перший співмножник враховує вплив реверберації, другий - вплив шуму. Можна також обчислювати MTF за формулою Шредера:

$$m_{k,j}(F) = \frac{\int_0^{\infty} h_{ek}^2(t) e^{i2\pi Ft} dt}{\int_0^{\infty} h_{ek}^2(t) dt}$$

$$h_{e,k} = h_e(t) \otimes h_k(t)$$

$h_e(t)$  – імпульсна характеристика системи;  $h_k(t)$  – імпульсна характеристика октавного фільтра;

Алгоритм оцінки STI за спрощеною методикою в невеликому приміщенні включає наступні етапи:



1. проводиться оцінювання близько 100 значень MTF для 14 значень частот модуляції в кожній з семи октавних смуг. Підрахунок з різними частотами модуляції обумовлюється унікальністю мовного апарату кожної людини.

2. Кожне значення MTF перераховуємо в ефективне відношення сигнал / шум (SNR):

$$(S/N)_{ef\ k,i} = 10 \cdot \log \left( \frac{m_k(F_i)}{1 - m_k(F_i)} \right)$$

$$\begin{cases} (S/N)_{dB\ ef\ k,i} < -15\ dB \Rightarrow (S/N)_{dB\ ef\ k,i} = -15\ dB \\ (S/N)_{dB\ ef\ k,i} > 15\ dB \Rightarrow (S/N)_{dB\ ef\ k,i} = 15\ dB \end{cases}$$

3. Проводиться усереднення оцінки SNR для кожної октавної смуги:

$$(S/N)_{ef\ k} = \frac{1}{14} \sum_{i=1}^{14} (S/N)_{ef\ k,i}$$

4. Обчислюється зважене середнє значення:

$$\overline{(S/N)_{ef}} = \frac{1}{7} \sum_{k=1}^7 (S/N)_{ef\ k} \cdot w_k$$

5. Обчислюється показник STI, використовуючи співвідношення:

$$STI = \frac{\overline{(S/N)_{ef}} + 15}{30}$$

Метод RASTI & STITEL. RASTI (rapid STI) являє собою той же метод STI з тією відмінністю, що оцінюється вплив каналу на амплітудну модуляцію смуг частот лише двох октав.

STITEL (STI для телекомунікаційних систем) - спрощена версія STI, в якій застосовується тільки одна частота модуляції в кожній з семи октавних смуг. Несучий шум для кожної октавної смуги має ширину спектра вівоктави (щоб уникнути впливу на суміжні смуги) і випромінюється одночасно в кожній смузі частот. Внаслідок спрощень даний метод не враховує вплив реверберації і нелінійних спотворень.

### 2.3. Особливості покращення розбірливості мови

В задачах автоматизованого розпізнавання мови, голосовий сигнал  $z(t)$  на виході системи можна подати наступним чином:

$$z(t) = s(t) \otimes h(t) + v(t),$$

де  $s(t)$  - результуючий голосовий сигнал;  $h(t)$  - імпульсна вагова функція лінії зв'язку;  $v(t)$  - завада;  $\otimes$  - оператор згортки.

Тому, розбірливість голосових сигналів може бути підвищена шляхом належного опрацювання та доповнення сигналу  $z(t)$ , в результаті чого отримаємо сигнал  $\hat{s}(t)$ , який є подібний до результуючого сигналу  $s(t)$ .

Постановка задачі такої обробки голосових сигналів зображена на рис.2.4.

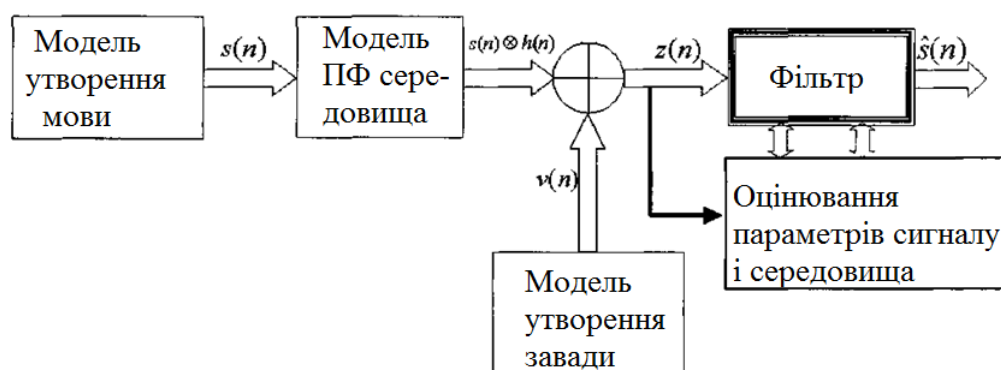


Рис. 2.4. Постановка задачі корегуючої обробки голосових сигналів

Є дві групи методів описаної обробки голосових сигналів:

1) методи, що ґрунтуються на принципах фільтрації;

2) методи, що ґрунтуються на моделюванні процесу формування такого роду сигналів.

На рис. 2.4 наведена так звана авторегресивна (АР) модель голосотворення.

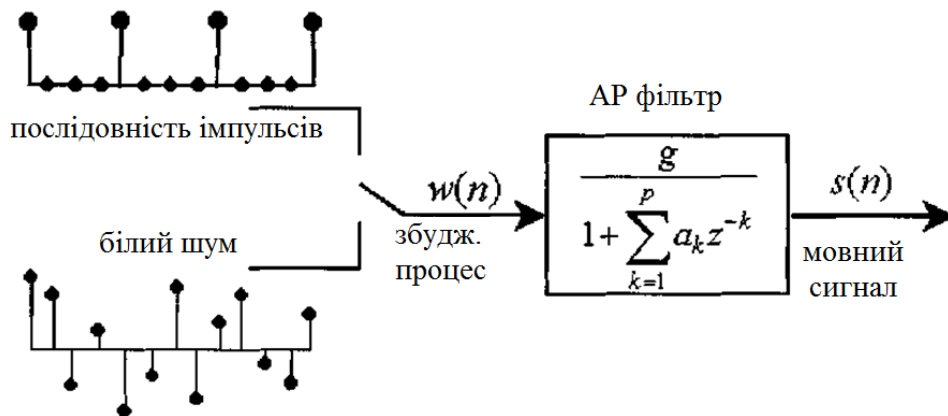


Рис.2.5. Авторегресивна модель голосотворення

Авторегресивна модель описує процеси, які виникають в процесі формування голосових сигналів, однак існують спотворюючі фактори каналу передачі даних, які значно змінюють в негативному сенсі сам результуючий, прийнятий голосовий сигнал. Такі фактори мають враховуватися до уваги при розробленні методів обробки голосових сигналів.

## 2.4 Висновки до розділу 2

В розділі проаналізовано відомі методи оцінювання розбірливості мови. Встановлено, що їх можна розділити на об'єктивні та суб'єктивні. При цьому основна різниця між ними полягає в тому, що набагато простіші з точки процедури проведення суб'єктивні методи відзначаються значним впливом людського фактора, зниженням якості результатів оцінювання та практично повною неможливістю автоматизації самої процедури оцінювання.

Об'єктивні ж методи попри вищу складність практично не містять впливів людського фактору на результат вимірювань та придатні для автоматизації.

## РОЗДІЛ 3

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗБІРЛИВОСТІ МОВИ

## 3.1 Планування проведення дослідження

Одна з можливих узагальнених схем експериментальних досліджень подібного роду наведена на рис.3.1.

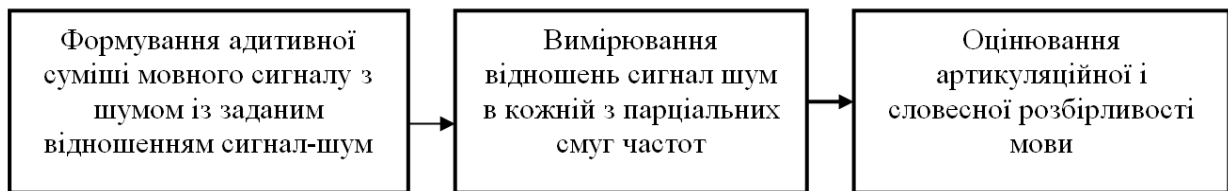


Рис.3.1. Етапи експериментальних досліджень

## 3.1.1 Спосіб генерування суміші голосового сигналу та шуму.

Схема генерування суміші голосового сигналу та шуму наведена на рис.3.4, при чому коефіцієнт  $k = 10^{0.05(SNR_0 - SNR)}$  здійснює коригування рівня мовного сигналу так, щоб забезпечити необхідне відношення сигнал-шум  $SNR_0$ .

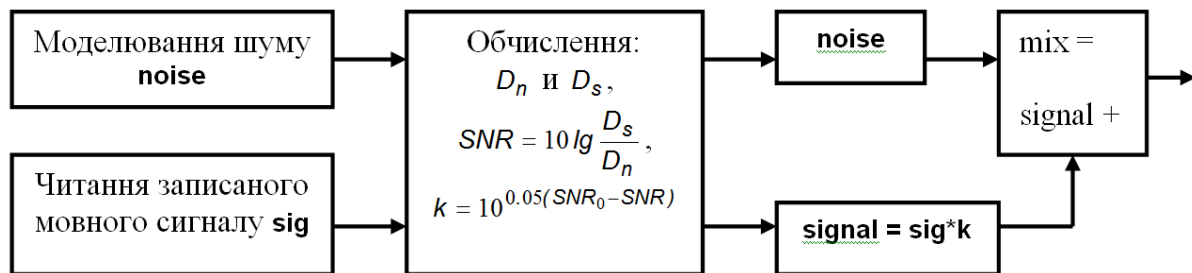


Рис.3.2. Схема генерування суміші голосового сигналу та шуму

Таке моделювання проведемо в середовищі Matlab із застосуванням модуля Simulink (рис.3.3). Тривалість генерованого шуму повинна збігатися з тривалістю голосового сигналу.

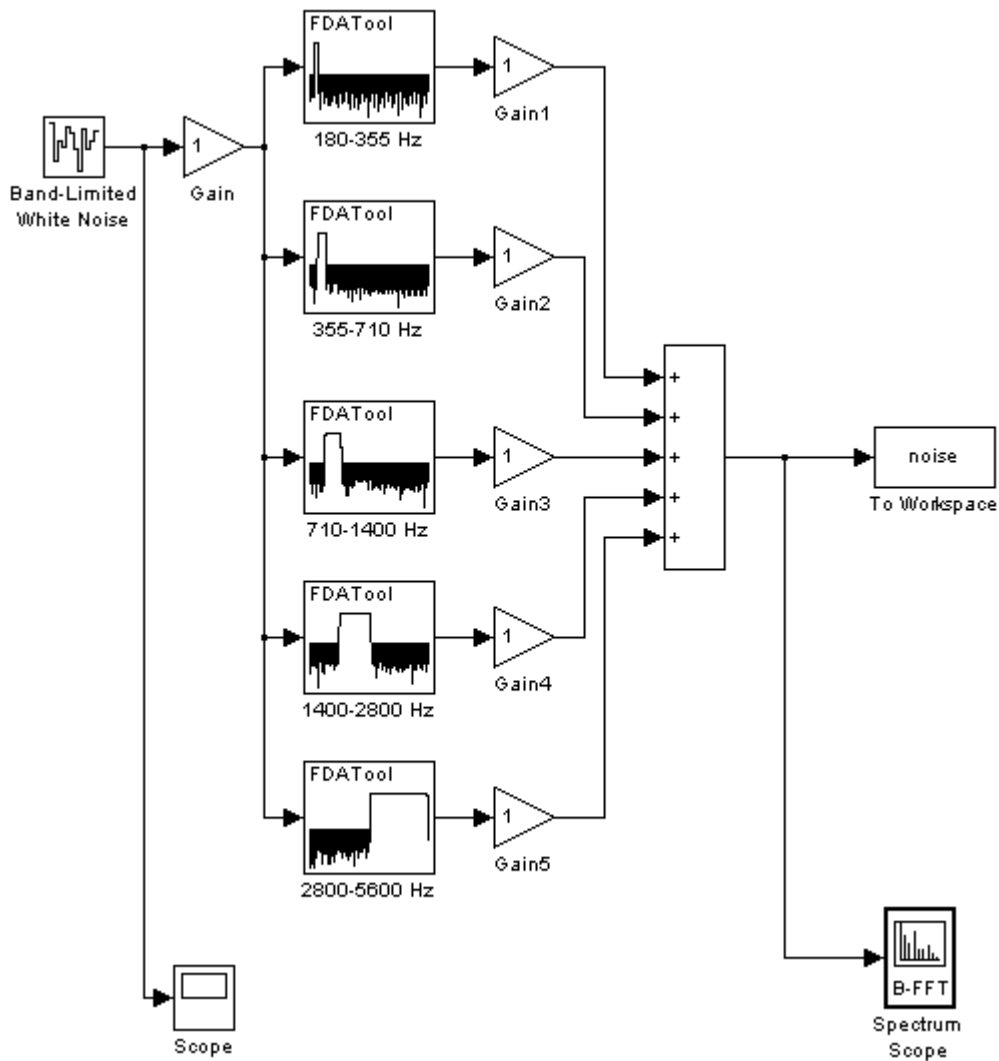


Рис.3.3. Схема генерування забарвленого (зокрема – білого) шуму

В Додатку А наведено текст програми генерування адитивної суміші голосового сигналу з шумом.

Наведена вище схема і алгоритм генерування суміші сигналу та шуму може застосовуватись і для отримання сумішей з іншими типами шумів. Проведемо таке моделювання суміші голосового сигналу із шумами іншого забарвлення.

Нехай в модельованій суміші застосовується білий шум. Кольоровий шум можна отримати при пропусканні білого шуму через фільтри із заданою загальною частотною характеристикою, яка визначає параметри певного шуму за кольором:

$$y = \sum_k a_k y_k, \quad (3.1)$$

З метою економії часу вимірювань, запропоновано обмежитися 5 октавними смуговими фільтрами, середні (середньогометричні) і граничні частоти яких наведені в табл.3.1.

Таблиця 3.1

Середні і граничні частоти 5-ти октавних смугових фільтрів

$k$	1	2	3	4	5
Середня частота	250	500	1000	2000	4000
Діапазон частот, Гц	180...355	355...710	710...1400	1400...2800	2800...5600

На рис.3.6-3.10 наведені графіки спектрів синтезованого, відповідно до виразу (3.1), шуму, сигналу і суміші для відношення сигнал-шум -18.7 дБ, -14.7 дБ, -10.7 дБ і 0.7 дБ.

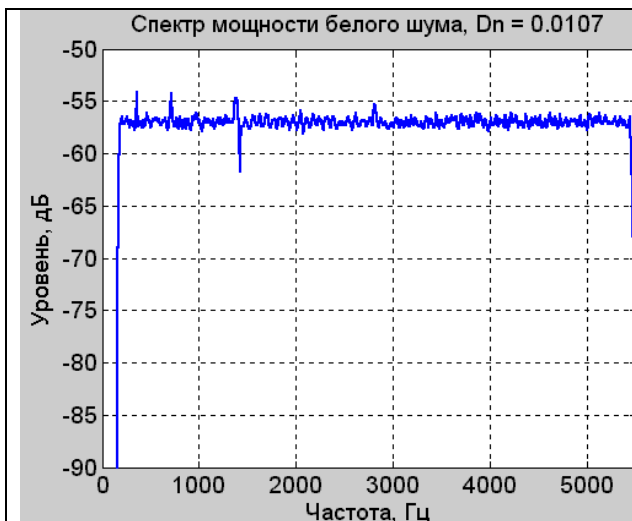


Рис.3.6. Спектр білого шуму, отриманий з допомогою схеми рис.3.5

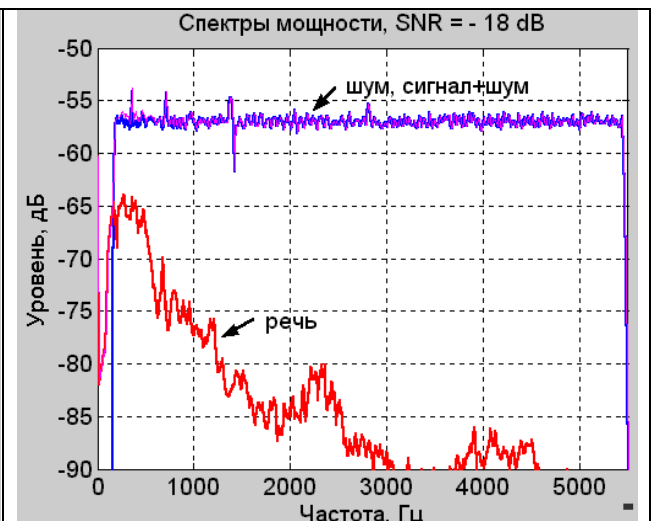


Рис.3.7. Спектри шуму, мови і суміші для SNR = - 18,7 дБ

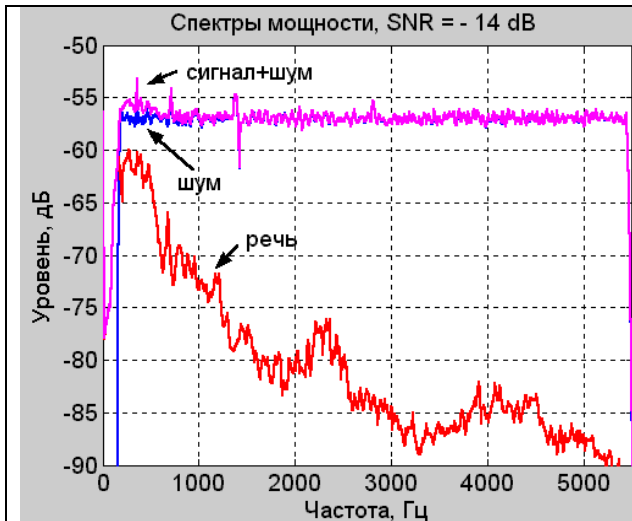


Рис.3.8. Спектры шума, мови і суміші для SNR = - 14,7 дБ

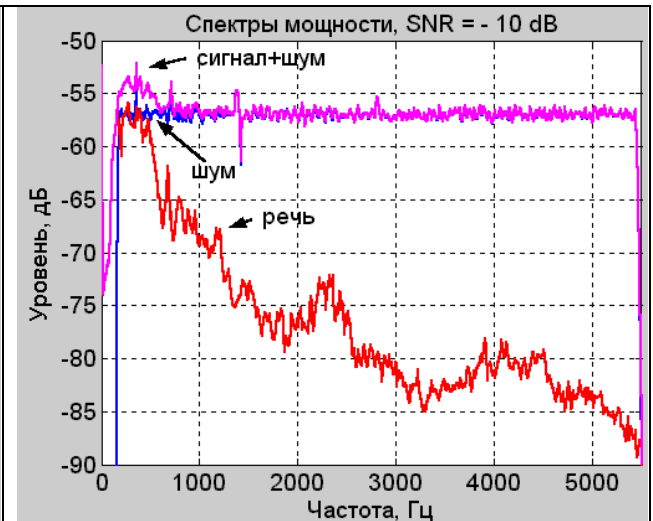


Рис.3.9. Спектры шума, мови і суміші для SNR = - 10,7 дБ

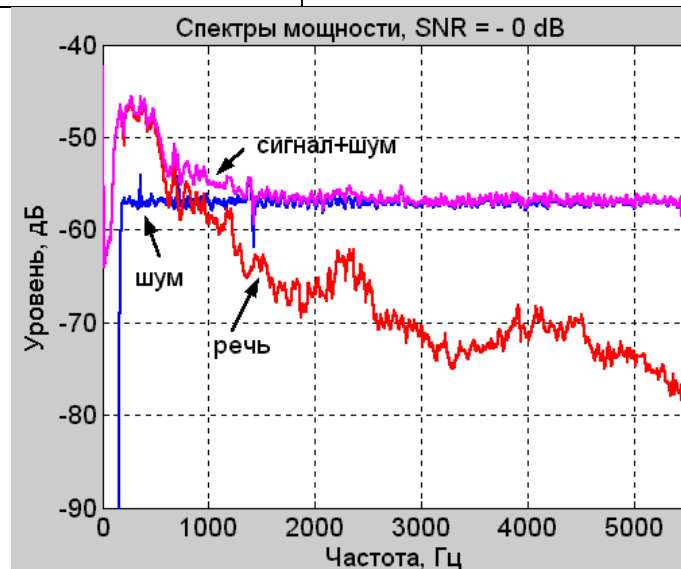


Рис.3.10. Спектры шума, мови і суміші для SNR = - 0,7 дБ

Рожевий шум. Для отримання рожевого шуму заданої дисперсії  $D_{n1}$  зручно застосувати наступний прийом. Виставимо коефіцієнти підсилення в кожному з каналів:  $a_1 = 2$ ,  $a_2 = \sqrt{2}$ ,  $a_3 = 1$ ,  $a_4 = 1/\sqrt{2}$ ,  $a_5 = 4$ , а загальний коефіцієнт підсилення залишимо рівним одиниці:  $K_{ob} = 1$ . Далі виміряємо дисперсію отриманого шуму - припустимо, вона виявилася рівною  $D_{n2}$ . Загальний коефіцієнт підсилення тоді визначається співвідношенням:

$$K_{ob} = \sqrt{D_{n1}/D_{n2}} \quad (3.2)$$

і може бути обчислений з допомогою команди:

$$K_{ob} = \sqrt{Dn1/Dn2}$$

Графік спектрів потужності рожевого шуму, голосового сигналу і суміші показані на рис.3.11-3.15.

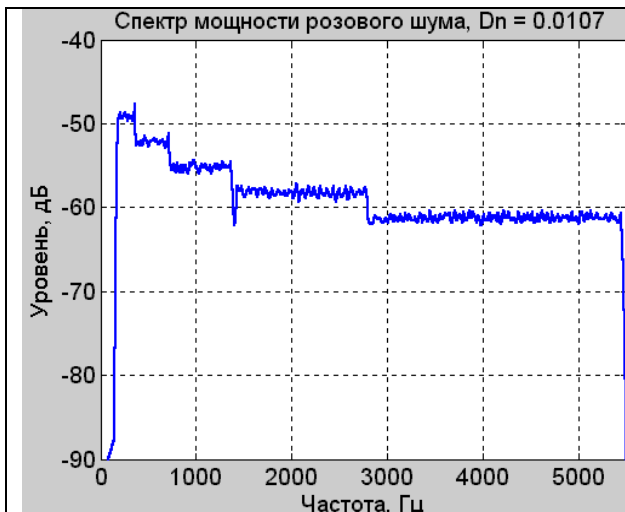


Рис.3.11. Спектр рожевого шуму, отриманий з допомогою схеми рис.3.5

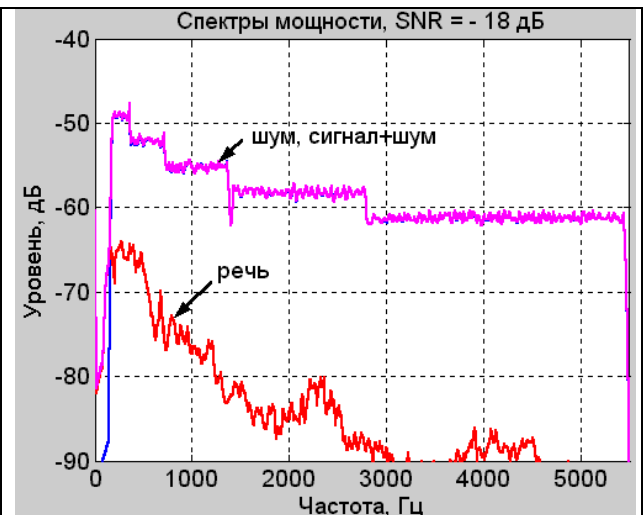


Рис.3.12. Спектри рожевого шуму, мови і суміші для SNR = - 18,7 дБ

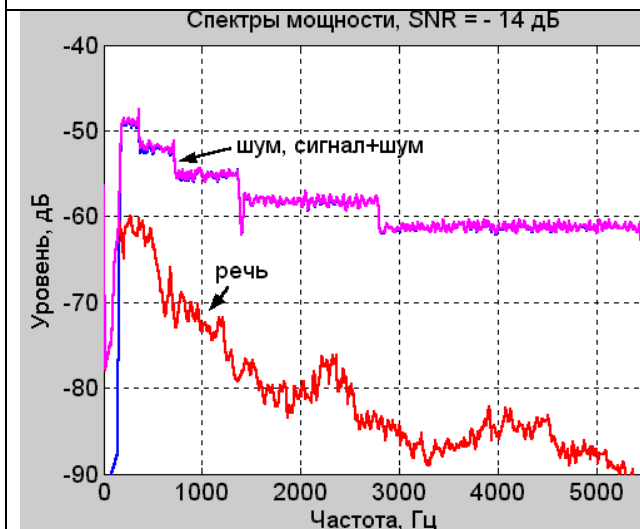


Рис.3.13. Спектри рожевого шуму, мови і суміші для SNR = - 14,7 дБ

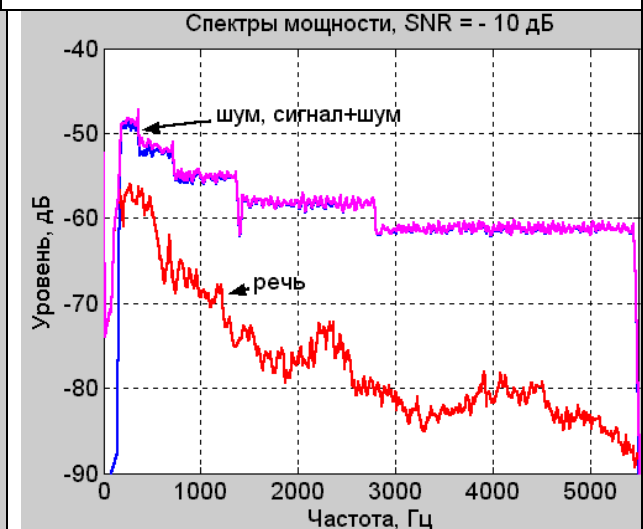


Рис.3.14. Спектри рожевого шуму, мови і суміші для SNR = - 10,7 дБ





Рис.3.15. Спектры розевого шуму, мови і суміші для  $SNR = - 0,7$  дБ

Коричневий шум. Графіки спектра потужності коричневого шуму. мовного сигналу і суміші показані на рис.3.16-3.20.

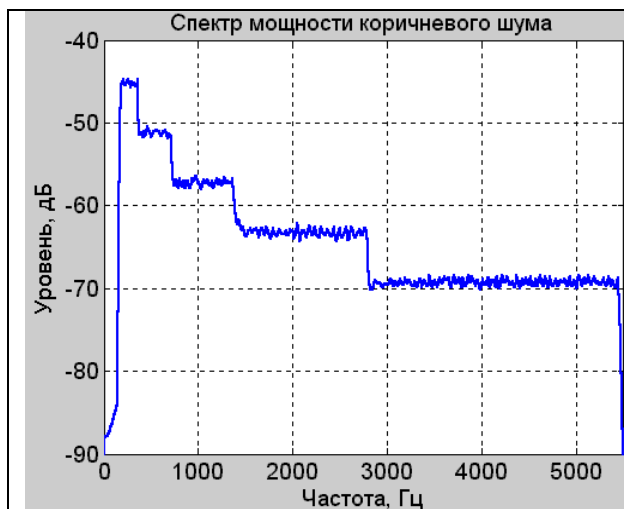


Рис.3.16. Спектр потужності коричневого шуму

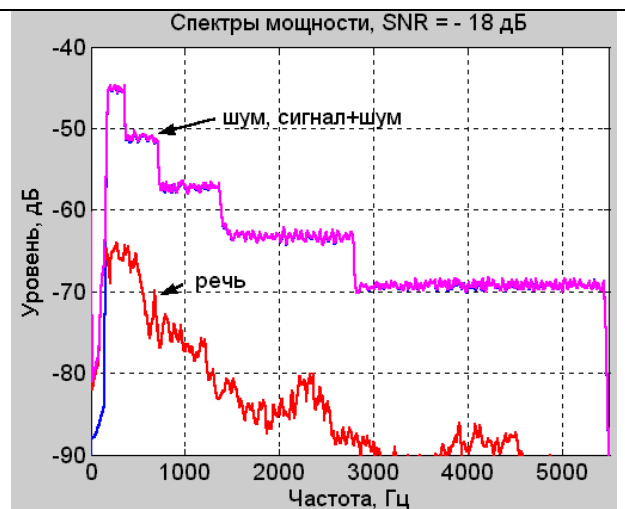


Рис.3.17. Спектри коричневого шуму, мови і суміші для  $SNR = - 18,7$  дБ

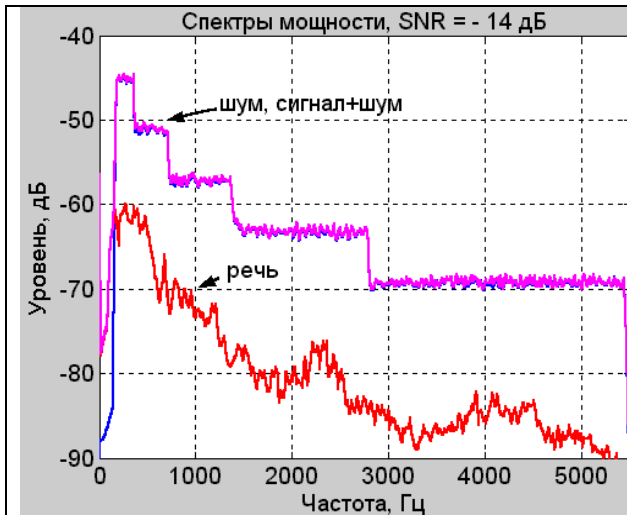


Рис.3.18. Спектры коричневого шума, мови і суміші для  $SNR = -14,7$  дБ

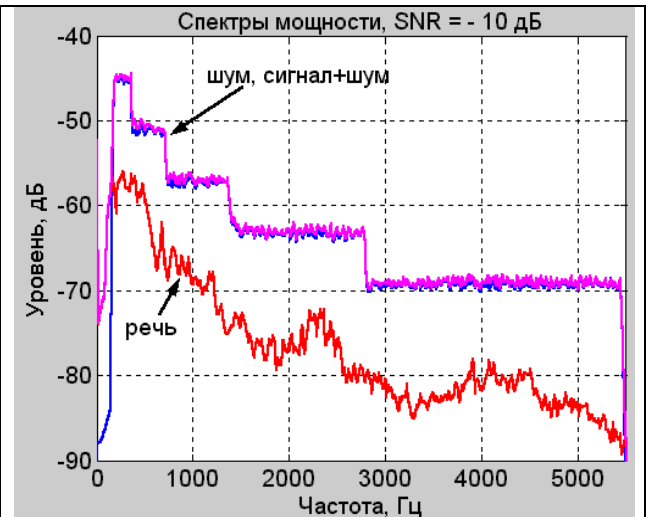


Рис.3.19. Спектры коричневого шума, мови і суміші для  $SNR = -10,7$  дБ

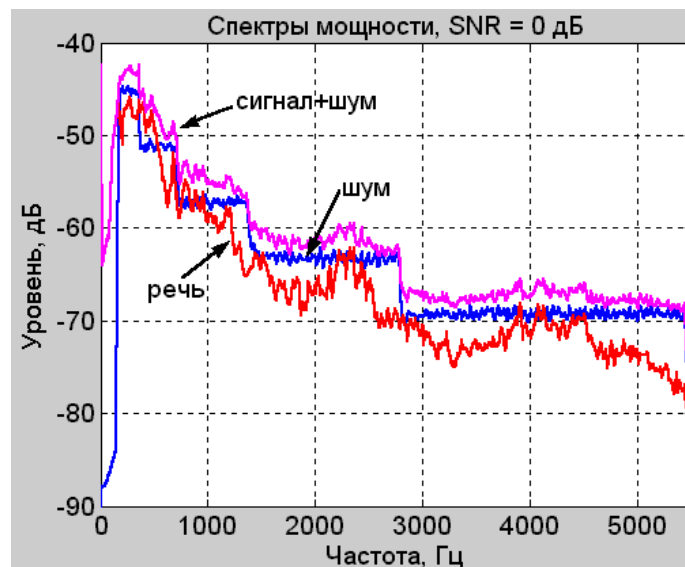


Рис.3.20. Спектры коричневого шума, мови і суміші для  $SNR = -0,7$  дБ

3.1.2 Моделювання оцінювання значення відношення сигнал-шум в окремих каналах передачі даних

Блок схема системи для вимірювань парціальних відношень сигнал-шум в кожному з каналів наведена на рис.3.21-3.23.

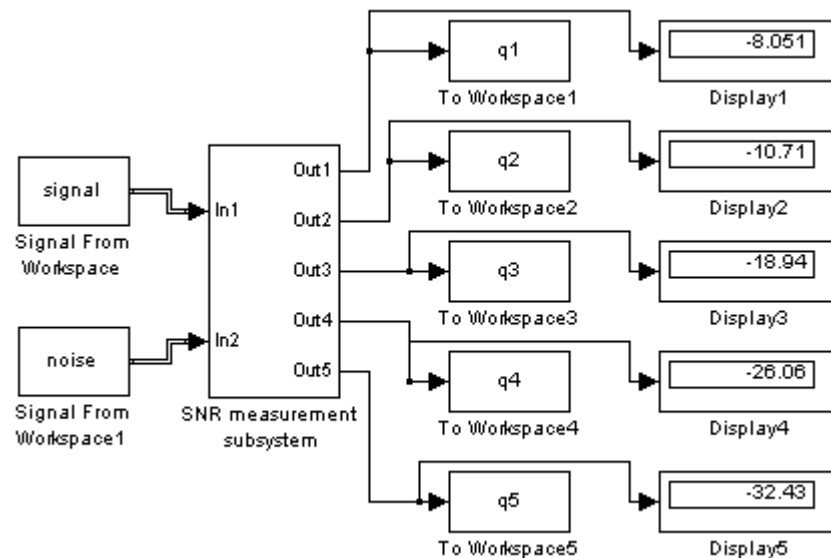


Рис.3.21. Система для вимірювань парціальних відношень сигнал-шум

Вхідними сигналами системи є досліджувані мовний сигнал і шум. На виході системи отримуємо п'ять (за кількістю каналів) оцінок парціальних відношень сигнал-шум:

$$q_k = 10 \lg \frac{D_{sk}}{D_{nk}}, \quad k = 1, \dots, 5. \quad (3.3)$$

Зі співвідношення (3.3) випливає, що вимірювання є досить прості і зводяться до роздільної багатоканальної фільтрації мовного сигналу і шуму, з подальшим вимірюванням дисперсій відгуків кожного з фільтрів.

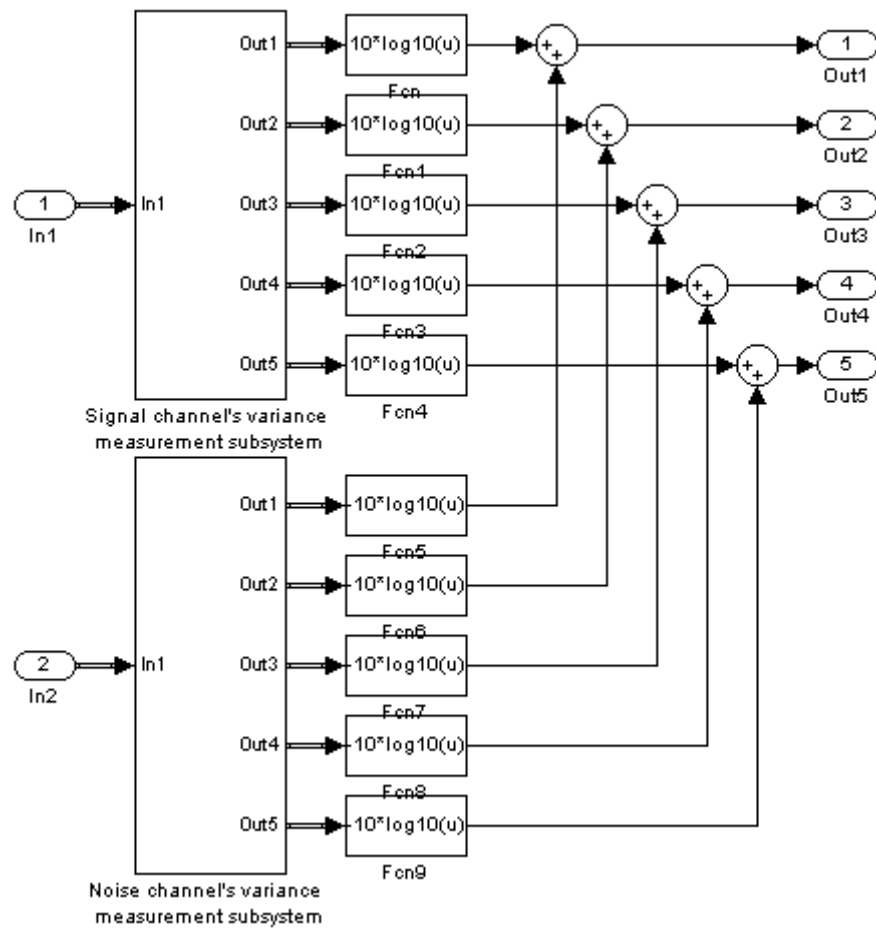


Рис. 3.22. Підсистема обчислення парціальних відношень сигнал-шум

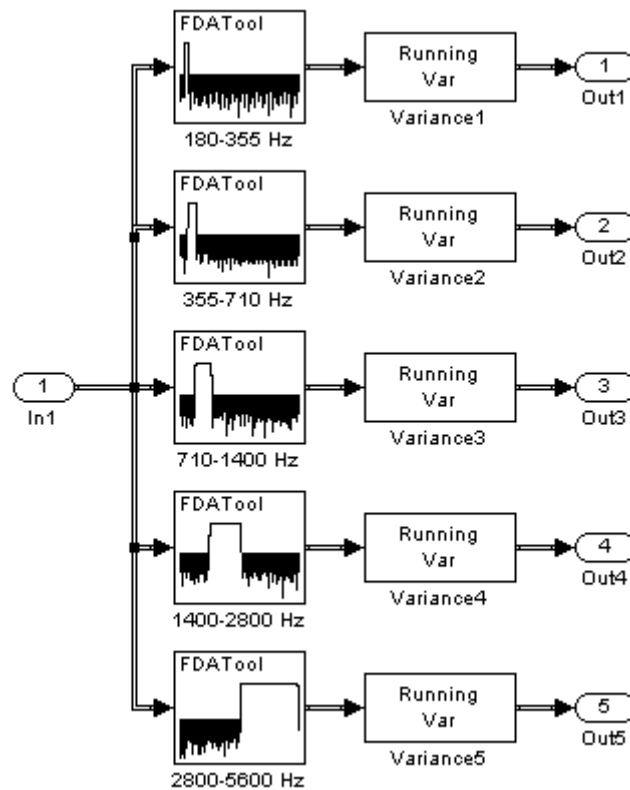


Рис. 3.23. Підсистема вимірювання парціальних дисперсій

### 3.2.3. Визначення артикуляційної розбірливості мови та розбірливості слів

При досить високих рівнях шуму ефективний рівень відчуття окремого голосового сигналу в кожному з частотних каналів дорівнює відношенню сигнал-шум в цьому каналі:

$$E_k = q_k = 10 \lg \frac{D_{sk}}{D_{nk}}. \quad (3.4)$$

Ефективний рівень відчуття формант  $E'_k$  обчислюють, зменшуючи (3.4) на різницю спектральних рівнів мови і формант:

$$E'_k = E_k - \Delta B(f_{0k}), \quad (3.5)$$

де  $f_{0k}$  - центральні частоти каналів;

$$\Delta B(f) = \begin{cases} 200/f^{0.43} - 0.37, & f \leq 1000 \text{Гц}, \\ 1.37 + 1000/f^{0.69}, & f > 1000 \text{Гц} \end{cases} \quad (3.6)$$

Артикуляційну (формантну) розбірливість обчислюють як суму розбірливостей формант в кожній з смуг:

$$A = \sum_{k=1}^5 p_k \cdot P(E'_k), \quad (3.7)$$

де  $P(E'_k)$  - коефіцієнт сприйняття мови:

$$P(E'_k) = \begin{cases} \frac{0.78 + 5.46 \exp[-4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |E'_k|)^2]}{1 + 10^{0.1|E'_k|}}, & E'_k \leq 0, \\ 1 - \frac{0.78 + 5.46 \exp[-4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |E'_k|)^2]}{1 + 10^{0.1|E'_k|}}, & E'_k > 0 \end{cases}, \quad (3.8)$$

$p_k$  - ймовірність перебування формант в  $k$ -тому частотному діапазоні, що обмежений частотами  $f_{nk}$  і  $f_{ek}$ :

$$p_k = F(f_{ek}) - F(f_{nk}), \quad (3.9)$$

$$F(f) = \begin{cases} 2.57 \cdot 10^{-8} \cdot f^{2.4}, & 100 < f \leq 400 \text{Гц}, \\ 1 - 1.074 \cdot \exp(-10^{-4} \cdot f^{1.18}), & 400 < f \leq 10000 \text{Гц} \end{cases}. \quad (3.10)$$

Словесна розбірливість  $W$  може бути обчислена по формантній розбірливості:

$$W = \begin{cases} 1.54 \cdot A^{0.25} [1 - \exp(-11 \cdot A)], & A < 0.15; \\ 1 - \exp\left(\frac{11 \cdot A}{1 + 0.7 \cdot A}\right), & A \geq 0.15 \end{cases} \quad (3.11)$$

Враховуючи складність наведених вище співвідношень, обчислення простіше реалізувати у вигляді m-файла, що наведений в Додатку Б.

### 3.2 Висновки до розділу 3

В розділі розглянуто способи відбору голосових сигналів та особливості їх поширення каналами передачі даних.

Запропоновано алгоритми генерування тестових сумішей голосового сигналу, який попередньо реєструється, та шумів із різним забарвленням, зокрема білого, коричневого, рожевого тощо, та із заданими співвідношеннями сигнал/шум.

Проведено моделювання сумішей голосового сигналу із попередньо згенерованими шумами, що може бути використано для тестування якості каналів передачі даних за результатами оцінювання артикуляційної та словесної розбірливості отриманих на виході системи сумішей.

РОЗДІЛ 4  
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕДУРИ ОЦІНЮВАННЯ РОЗБІРЛИВОСТІ  
МОВИ

#### 4.1 Система оцінювання розбірливості мови

Сукупність етапів оцінювання розбірливості голосу наведена на рис.4.1.



Рис.4.1 Етапи оцінювання розбірливості голосу

Етапами при цьому є:

- 1) генерація маскувального шуму  $n(t)$ ;
- 2) генерація суміші голосового сигналу  $s(t)$  і шуму  $n(t)$  із визначеним співвідношенням сигнал-шум  $SNR = 10 \lg \frac{D_s}{D_n}$ ;
- 3) багатоканальне фільтрування мовного сигналу та шуму, з наступним оцінюванням часткових відношень сигнал-шум  $q_i, i = 1, \dots, L$  на смугах частот визначених октав;
- 4) вимірюється розбірливість мови .

При цьому, в Matlab можливим є розроблення моделей групи фільтрів із заданими смугами пропускання рис.4.2.

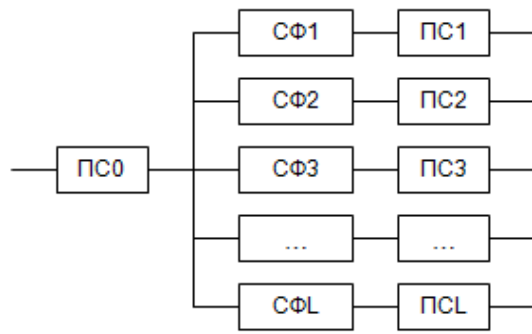
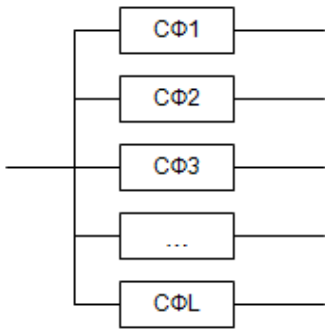


Рис.4.2. Група смугових фільтрів    Рис.4.3. Метод створення кольорового шуму

#### 4.2 Моделювання групи смугових фільтрів в середовищі Matlab

Отримані внаслідок моделювання частотні характеристики групи із 5 октавних фільтрів наведено на рис.4.4,а та рис.4.5,а – рис. 4.9,а. Подібні результати для групи смугових фільтрів із затримкою (рис.4.4, б) наведені на рис.4.5, б – рис. 4.9, б.

Таблиця 4.2.

$f_0$ , Гц	250	500	1000	2000	4000
$\Delta f$ , Гц	180...355	355...710	710...1400	1400...2800	2800...5600
$f_{s1}$ , Гц	160	340	680	1375	2760
$f_{p1}$ , Гц	180	360	710	1420	2810
$f_{p2}$ , Гц	355	700	1410	2775	5450
$f_{s2}$ , Гц	365	720	1440	2850	5500
$D_p$ , дБ	1	1	1	1	1
$D_s$ , дБ	-60	-60	-60	-60	-60



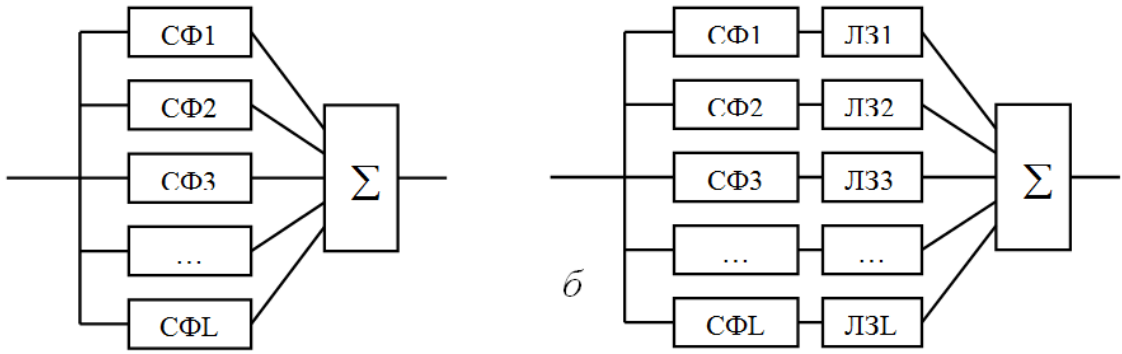


Рис.4.4. Способи відновлення голосових сигналів: а – з допомогою групи смугових фільтрів; б – з допомогою групи смугових фільтрів із затримками

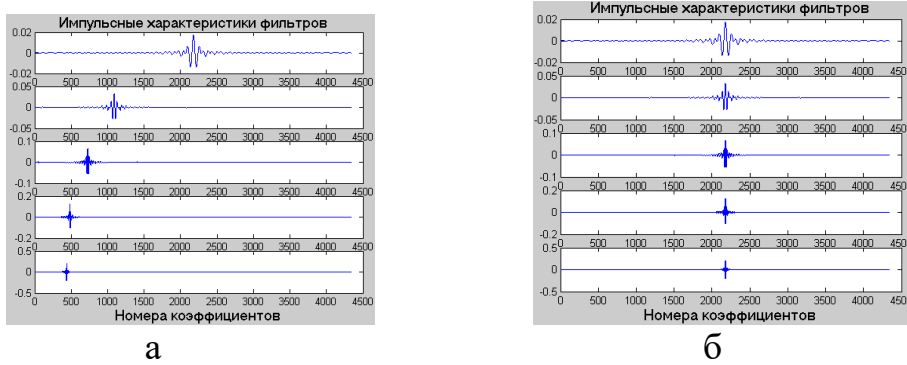


Рис.4.5. Часткові імпульсні характеристики групи смугових фільтрів рис.4.4, а і рис.4.4, б

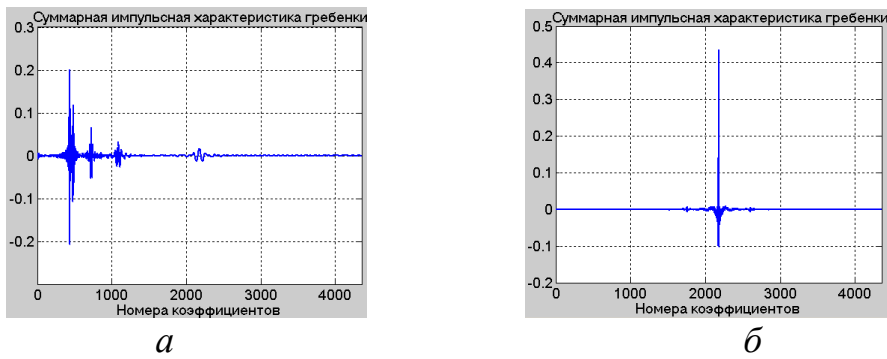


Рис.4.6. Імпульсні характеристики групи смугових фільтрів рис.4.4, а і рис. 4.4, б

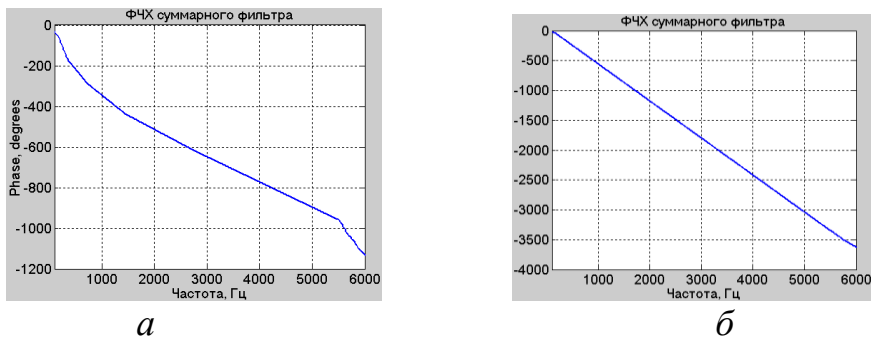


Рис.4.7. ФЧХ гребінок рис.4.4, а і рис. 4.4, б

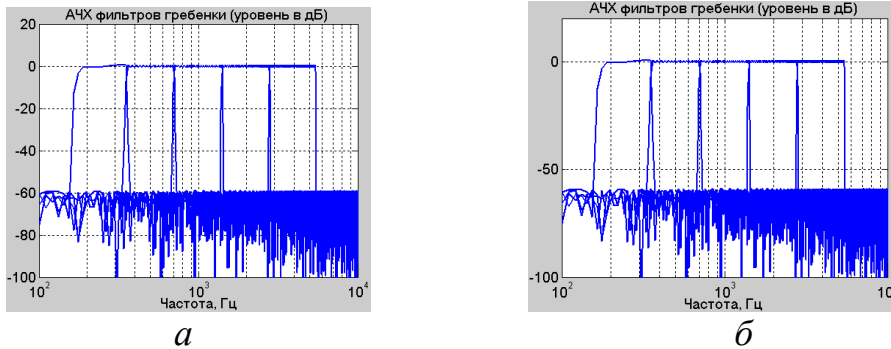


Рис.4.8. АЧХ гребінок рис. 4.4, а і рис. 4.4, б

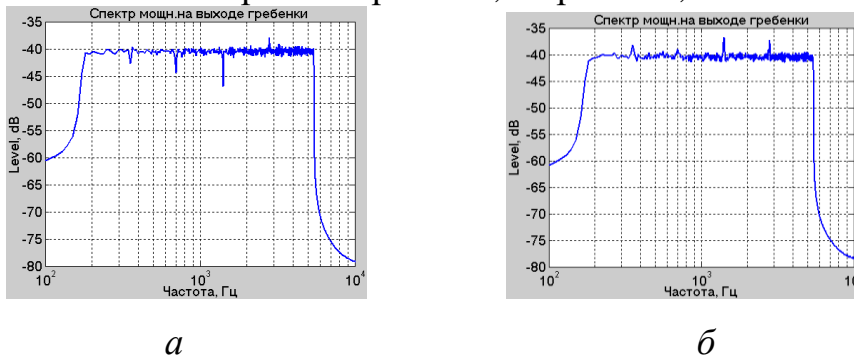


Рис.4.9. Спектр відгуку гребінок рис.4.4, а й рис.4.4, б на дію білого шум

### 4.3 Імпорт голосових сигналів в Matlab

Імпорт голосових сигналів проводиться за наступною командою:

```
s = wavrecord (n, Fs, 1, 'double');
```

Побудова графіка сигналу:

```
t = 0: 1 / Fs: (length (s) -1) / Fs;
```

```
figure; plot (t, s);
```

```
title ('Сигнал');
```

Графічне відображення розподілу потужності в спектрі голосового сигналу:

```
[Gs, f] = pwelch (s, hamming (nfft-1), 512, nfft, Fs);
```

```
plot (f, 10 * log10 (Gs)); title ('Довготривалий спектр сигналу');
```

```
grid on;
```

#### 4.4 Формування окремих типів кольорових шумів

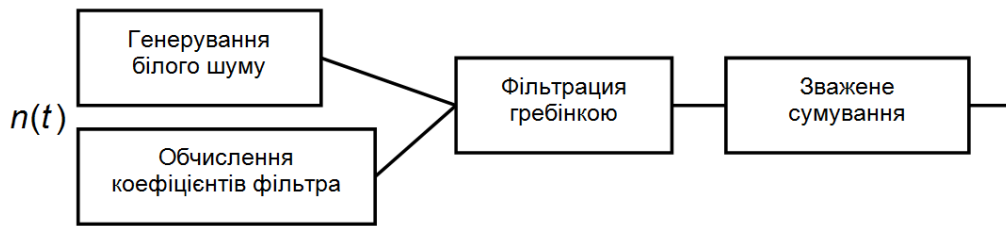


Рис.4.10. Послідовність дій для генерування східчастого кольорового шуму

На рис.4.11 наведені графіки коричневого шуму та розподіли спектральної потужності його.

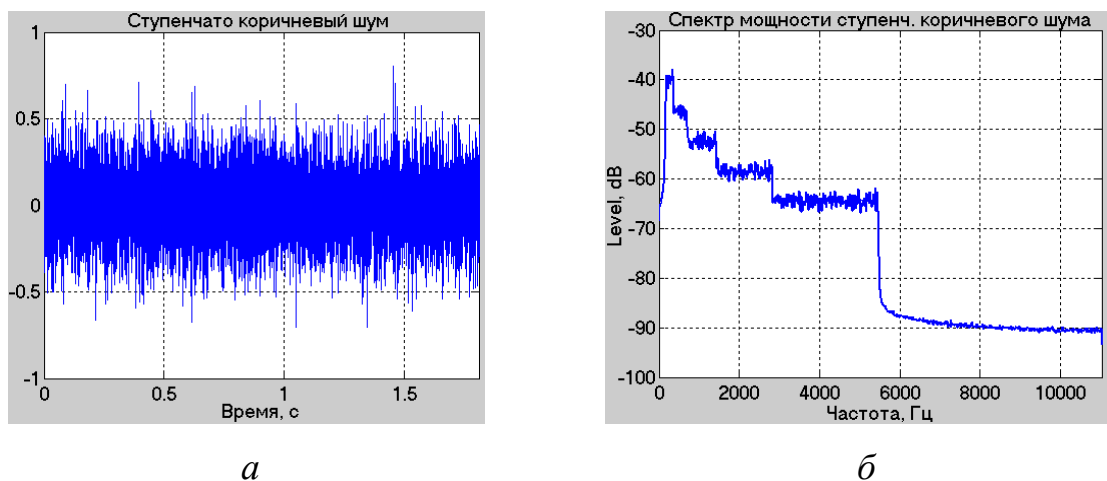


Рис.4.11. Графіки коричневого шуму (а) та розподіли спектральної потужності його (б)

#### 4.5 Генерування адитивної суміші голосового сигналу з шумом

Генерування суміші у вигляді суми сигналу і шуму із наперед визначеним співвідношенням сигнал-шум  $SNR_0$  проводиться шляхом перемноження попередньо згенерованого шуму на коригувальний коефіцієнт  $k = 10^{0,05(SNR-SNR_0)}$ , де  $SNR$  - відношення сигнал-шум для попередньо згенерованого шуму.

#### 4.6 Оцінювання розбірливості в залежності від співвідношення голосовий сигнал-шум

Змінюючи співвідношення сигнал-шум  $SNR = 10 \lg \frac{D_s}{D_n}$ , для реальних мовних сигналів отримано графічні відображення пов'язаності величини розбірливості слів  $W = W(SNR)$  від співвідношення сигнал-шум (рис.4.12) для різних видів перешкод.

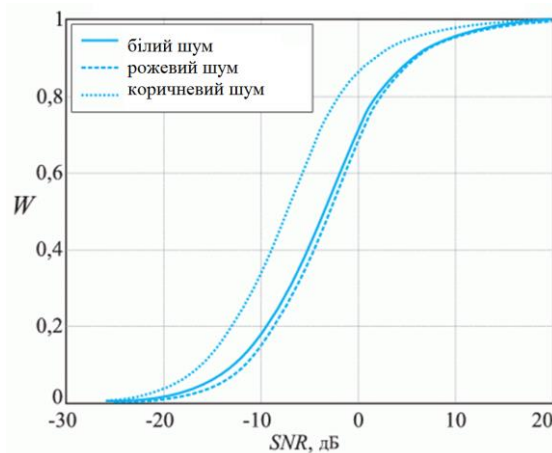


Рис. 4.12. графічні відображення пов'язаності величини розбірливості слів від співвідношення сигнал-шум

В цілому відмінності в лінійній частині графіків для маскуючих шумів є незначними, що узгоджується з розкидом оцінок значень коефіцієнта сприйняття формант, а запропонований метод є придатний для оцінювання розбірливості мови.

#### 4.7 Висновки до розділу 4

Запропоновано структурну схему процедури об'єктивного вимірювання розбірливості мови, що передбачає запис тестових голосових сигналів, генерування маскуючого шуму, формування суміші голосового сигналу і шуму із визначеним співвідношенням сигнал-шум, проведення багатоканальної фільтрації голосового сигналу та шуму та оцінюванням відношень сигнал-шум

на частотних смугах визначених октав і вимірювання словесної розбірливості мови. Для функціонування такої системи проведено моделювання в середовищі Matlab гребінки смугових фільтрів, шуму із різним кольором, адитивної суміші голосового сигналу з шумом. Також проведено оцінювання залежності словесної розбірливості від співвідношення голосовий сигнал-шум.

## РОЗДІЛ 5

### СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 5.1 Особливості роботи в середовищі MATLAB

Система Matlab створена фірмою Mathwork Inc. (США, р. Нейтік, штат Масачусетс). Хоча вперше ця система почала використовуватися в кінці 70-х років, розквіт її застосування почалося в кінці 80-х, особливо після появи на ринку версії 4.0. Останні версії Matlab - це надзвичайно розвинені системи, які містять величезну сукупність процедур і функцій, необхідних інженерові і науковцеві для здійснення складних чисельних розрахунків, моделювання поведінки технічних і фізичних систем, оформлення результатів цих розрахунків в наочному вигляді.

Система Matlab (скорочення від Matrix Laboratory - матрична лабораторія) є інтерактивною комп'ютерною системою для виконання інженерних і наукових розрахунків, орієнтовану на роботу з масивами даних. Система припускає можливість звернення до програм, які написані на мовах FORTRAN, C і C++.

Привабливою особливістю системи є те, що вона містить вбудовану матричну і комплексну арифметику. Система підтримує виконання операцій з векторами, матрицями і масивами даних, реалізує сингулярний і спектральний розклади, підтримує роботу з поліномами алгебри, вирішення нелінійних рівнянь і задач оптимізації, інтеграція функцій в квадратурі, чисельна інтеграція диференціальних і різницевих рівнянь, побудова різноманітних видів графіків, тривимірних поверхонь і ліній рівня. В ній реалізовано зручне операційне середовище, яке дозволяє формулювати проблеми і отримувати рішення в звичайній математичній формі, не вдаючись до рутинного програмування.

Основний об'єкт системи Matlab - прямокутний числовий масив (матриця), який допускає комплексні елементи. Використання матриць не вимагає явної вказівки їх розмірів.

Система Matlab виконує операції з векторами і матрицями навіть в режимі безпосередніх обчислень без якого-небудь програмування. Нею можна користуватися як найпотужнішим калькулятором, в якому разом із звичайними арифметичними і алгебраїчними діями можуть використовуватися такі складні операції, як повернення матриці, обчислення її власних значень і векторів, вирішення систем лінійних рівнянь алгебри і багато іншого. Проте, характерна основна особливість системи - легкість її модифікації і адаптації до конкретних задач користувача. Користувач може ввести в систему будь-яку нову команду, оператор або функцію і користуватися потім ними так само просто, як і вбудованими операторами і функціями.

В базовий набір слів системи входять: спецзнаки; знаки арифметичних і логічних операцій; арифметичні, тригонометричні і деякі спеціальні математичні функції; функції швидкого перетворення Фурье і фільтрації; векторні і матричні функції; засоби для роботи з комплексними числами; оператори побудови графіків в декартовій і полярній системах координат, тривимірних поверхонь і тому подібне. Matlab надає користувачеві великий набір готових засобів (більше половини з них - зовнішні розширення у вигляді m-файлів).

Система Matlab має власну мову програмування, яка нагадує BASIC. Запис програм в системі є традиційним і тому звичайним для більшості користувачів персональних комп'ютерів. Додатково система дає можливість редагувати програми за допомогою будь-якого звичного для користувача текстового редактора.

Matlab має широкі можливості для роботи з сигналами, для розрахунку і проектування аналогових і цифрових фільтрів, для побудови їх частотних, імпульсних і перехідних характеристик. В наявності і засоби для спектрального аналізу та синтезу, зокрема, для реалізації прямого і зворотного перетворення Фурье. Завдяки цьому система досить зручна для проектування електронних пристроїв.

З системою Matlab поставляються понад сто m-файлів, які містять демонстраційні приклади і визначення нових операторів і функцій.

Робота в середовищі Matlab може здійснюватися в двох режимах:

- в режимі калькулятора, коли обчислення здійснюються відразу після набору чергового оператора або команди Matlab; при цьому значення результатів обчислення можуть привласнюватися деяким змінним, або результати виходять безпосередньо, без привласнення (як в звичайних калькуляторах);

- шляхом виклику імені програми, написаної на мові Matlab, заздалегідь складеної і записаної на диску, яка містить всі необхідні команди, що забезпечують введення даних, організацію обчислень і виведення результатів на екран (програмний режим).

У обох режимах користувачеві доступні практично всі обчислювальні можливості системи, зокрема по виведенню інформації в графічній формі. Програмний режим дозволяє зберігати розроблені обчислювальні алгоритми і, таким чином, повторювати обчислення при інших вхідних даних.

Matlab має риси різних відомих мов програмування високого рівня. З мовою BASIC її ріднить те, що вона є інтерпретатором (тобто компілює і виконує програму пооператорно, не утворюючи окремого виконуваного файлу), незначною кількістю операторів і відсутністю необхідності в заголовку типів і розмірів змінних, тобто все те, що робить мову програмування дуже зручною в користуванні.

Від мови Pascal система Matlab запозичила об'єктноорієнтовану спрямованість, тобто така побудова мови, яка забезпечує утворення нових типів обчислювальних об'єктів за бажанням користувача на основі типів об'єктів, що вже існують в мові. Ці нові типи об'єктів (у Matlab вони називаються *класами*) можуть мати власні процедури їх перетворення (вони утворюють *методи* цього класу). Досить зручне те, що нові процедури можуть бути викликані за допомогою звичайних знаків арифметичних операцій і деяких спеціальних знаків, які застосовуються в математиці.

Принципи збереження значень змінних в Matlab понад усе наближаються до тих, які властиві мові FORTRAN, а саме: всі змінні є *локальними*, тобто діють лише у межах тієї програмної одиниці (процедури, функції або головної програми), де їм привласнені деякі конкретні значення. При переході до виконання іншої програмної одиниці, значення змінних попередньої програмної



одиниці або зовсім втрачаються (у випадку, якщо виконана програмна одиниця є процедурою або функцією), або стають недосяжними (якщо виконана програма - керуюча). На відміну від мов BASIC і Pascal, в мові Matlab *немає глобальних змінних*, дія яких розповсюджувалася б на всі програмні одиниці. Але і тут в Matlab є особливість, яка відрізняє її від інших мов. На відміну від інтерпретатора BASIC інтерпретатор Matlab дозволяє в одному і тому ж сеансі роботи виконувати декілька самостійних програм, причому всі змінні, що використовуються в цих програмах, є загальними для цих програм і утворюють загальний *робочий простір* (Work Space). Це дозволяє раціональніше організувати складні (громіздкі) обчислення за принципом, який нагадує *оверлейні* структури.

## 5.2 Моделювання сигналів засобами середовища MATLAB

Розглянемо команди, з допомогою яких можна генерувати сигнали в окремих вузлах електронного ПРП.

Формування коливань, що складаються з кінцевого числа гармонійних складових (тобто так званих *полігармонічних коливань*), можна здійснити за допомогою звичайних процедур  $\sin(x)$  і  $\cos(x)$ .

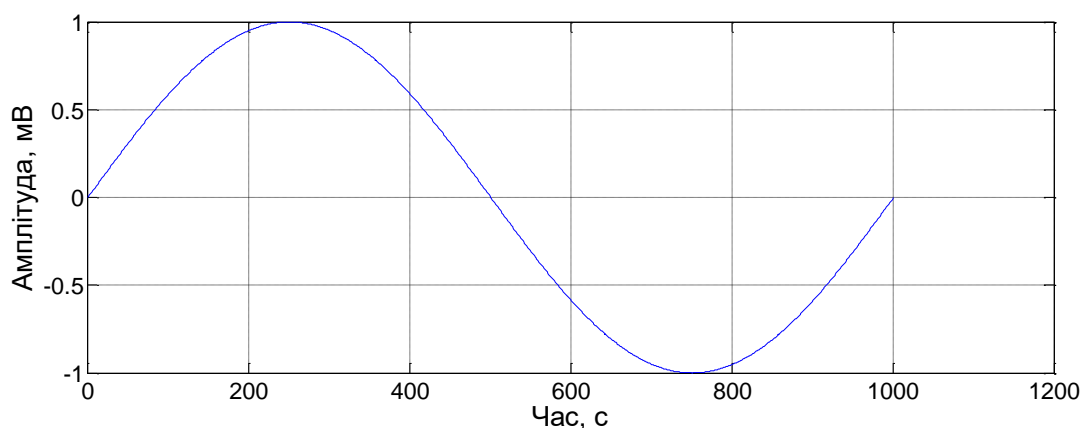


Рис. 5.1. Формування гармонічного коливання

Процес, що є послідовністю прямокутних імпульсів з періодом  $2\pi$  для заданої у векторі  $t$  послідовності відліків часу, "генерується" за допомогою процедури *square*. Звернення до неї відбувається формою:

$$y = \text{square}(t, \text{duty})$$

де аргумент *duty* визначає тривалість позитивної напівхвилі у відсотках від періоду хвилі.

Аналогічно, генерування пилкоподібних і трикутних коливань можна здійснювати процедурою *sawtooth*. Якщо звернутися до неї так:

$$y = \text{sawtooth}(t, \text{width})$$

то у векторі *y* формуються значення сигналу, що є пилкоподібними хвилями з періодом  $2\pi$  в моменти часу, які задаються вектором *t*. При цьому параметр *width* визначає частину періоду, в якій сигнал збільшується.

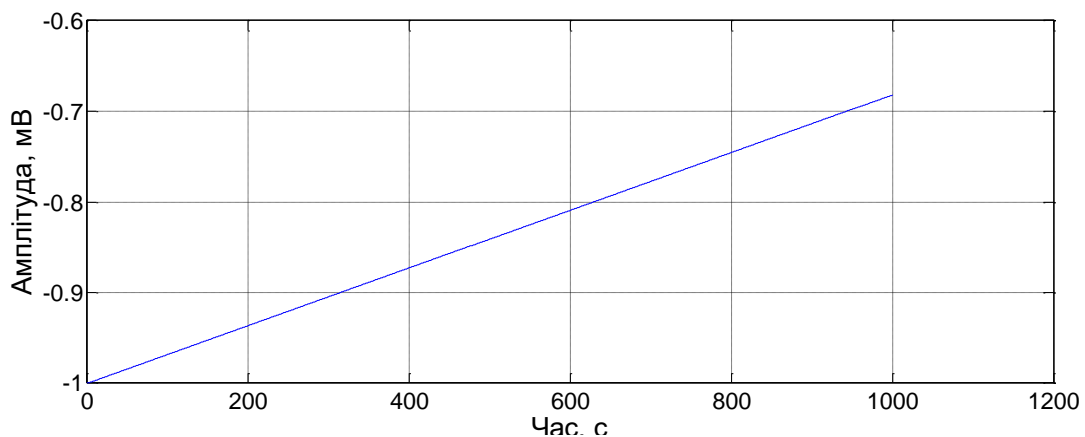


Рис. 5.2. Формування пилкоподібного коливання

Процедура *pulstran* дозволяє формувати коливання, що є послідовністю або прямокутних, або трикутних, або гаусових імпульсів. Звернення до неї має вигляд:

$$y = \text{pulstran}(t, d, \text{'func'}, p1, p2 \dots)$$

де *d* визначає вектор значень моментів часу, де мають бути центри відповідних імпульсів; параметр *func* визначає форму імпульсів і може мати одне з наступних значень: *rectpuls* (для прямокутного імпульсу), *tripuls* (для трикутного імпульсу) і *gauspuls* (для гауссового імпульсу); параметри *p1*, *p2* ... визначають необхідні параметри імпульсу відповідно до форми звернення до процедури, що визначає цей імпульс.

Змодельюємо сигнал мережі живлення та його зміну на виході випрямляча та ємнісного фільтра. Сигнал  $U(t)_{ex} = U_0 \cdot \sin(\omega t)$  - гармонічний сигнал мережі живлення (рис. 5.3)

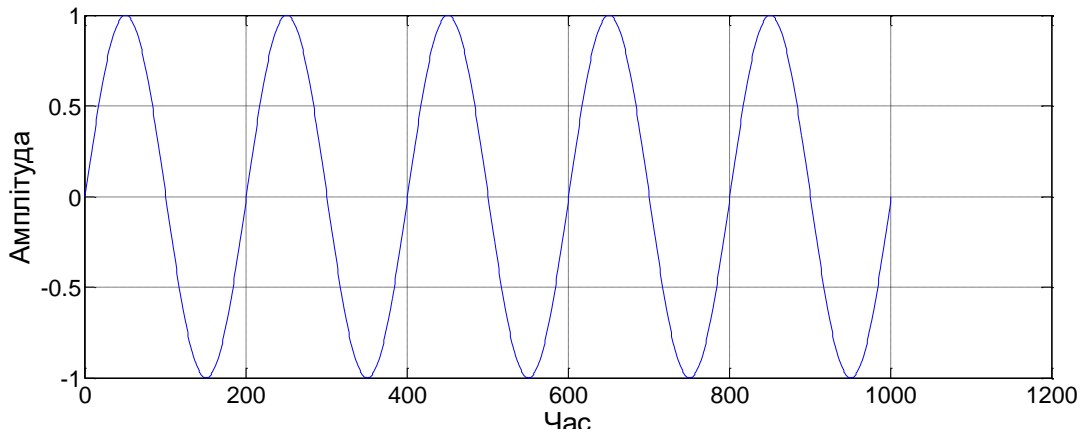


Рис. 5.3. Сигнал  $U(t)_{ex} = U_0 \cdot \sin(\omega t)$

Перетворення  $|U(t)_{ex}|$  описує процес випрямлення вхідної напруги мережі живлення, виконується функцією *abs* в середовищі Matlab (рис. 5.4).

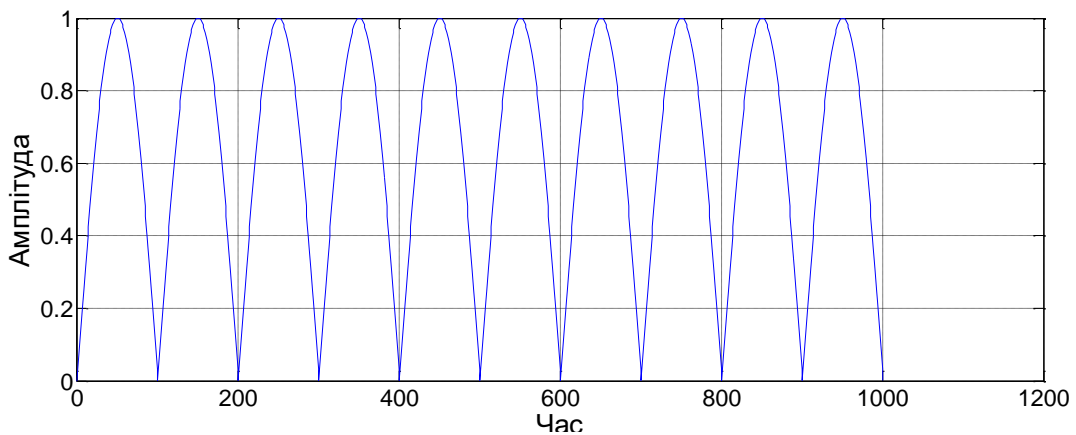


Рис. 5.4. Сигнал  $|U(t)_{ex}|$  на виході випрямляча

Перетворення  $\int_0^T |U(t)_{ex}| dt$  описує фільтрацію випрямленої напруги (рис.5.5)

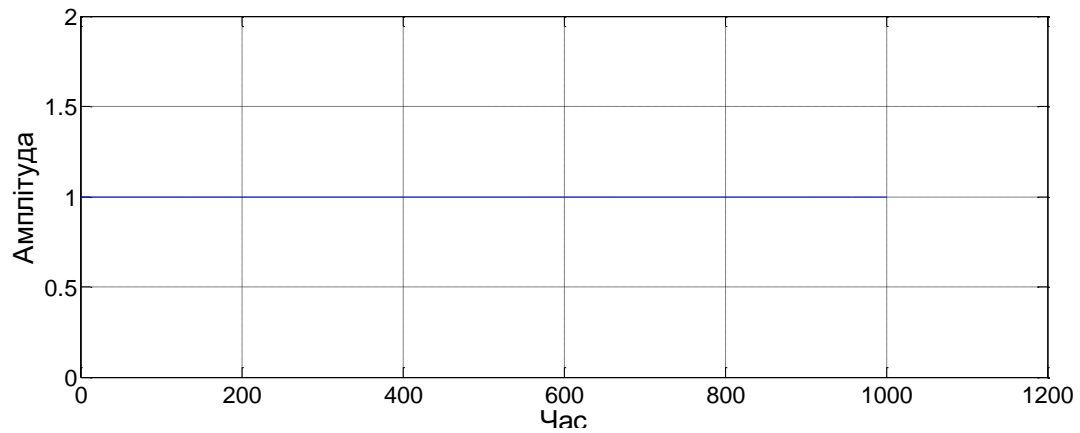


Рис. 5.5. Сигнал  $\int_0^T |U(t)_{\text{ex}}| dt$  на виході фільтра

Розглянуті форми сигналу дозволяють описати роботу приладу на рівні процесів, що проходять в ньому.

### 5.3 Висновки до розділу 5

В розділі розглянуто особливості роботи в середовищі MATLAB та моделювання сигналів для задачі розбірливості мови в телекомунікаційних системах засобами середовища MATLAB.

## РОЗДІЛ 6

### ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

#### 6.1 Науково-технічна актуальність науково-дослідної роботи

Наукові дослідження, які є основою наступних стадій інноваційних процесів, класифікують по трьом видам: фундаментальні, пошукові та прикладні.

Фундаментальні дослідження проводять з метою отримання систематизованих даних щодо певної науково-технічної проблеми, виявлення нових закономірностей і принципів розвитку світу, обґрунтування нових понять, створення нових теорій.

Пошукові дослідження розвивають фундаментальні розробки з метою їх практичної використання, тобто вони спрямовані на конкретний науково-технічний результат.

Прикладні наукові дослідження, в свою чергу, базуються на пошукових і проводяться для розробки нових чи удосконалення існуючих технологічних процесів; створення матеріалів з особливими властивостями; принципово нових зразків машин, обладнання, приладів, оснащення, високотехнологічних наукомістких виробництв.

І, нарешті, розробки – технологічні, дослідно-конструкторські, проектні, організаційні роботи, які включають створення техніко-економічної документації для освоєння нововведень (нових технологій, нової продукції та виробництв, споруд, прогресивних методів організації та управління виробництвом) та їх дослідно-експериментального випробування.

Основне завдання економічного обґрунтування – довести, що тема досліджень, яку опрацьовує магістрант, має, перш за все, наукову, технічну, а також економічну, соціальну або екологічну значущість і сприяє тим самим зростанню темпів науково-технічного прогресу в цілому. З цією метою акцентується увага на масштабах виробництва і використання продукції, на

підвищення якості або удосконалення виробництва якої направлена тема магістерської роботи.

У разі, коли дослідження має фундаментальний або фундаментально-пошуковий характер необхідно висвітлити науково-технічне значення даної сфери знань та перспективи, які розкривають дослідження по темі магістерської роботи.

Ця частина економічного розділу повністю формується на основі критичного опрацювання фахових публікацій останніх років, які присвячені питанням, що стосуються теми дослідження. Всі викладки цієї частини повинні спиратись на конкретні кількісні оцінки експлуатаційних та технологічних властивостей матеріалів та виробів, обсягів їх виробництва та використання, режимів технологічних процесів, ринкової вартості виробів та технологічних матеріалів, сировини, енергоресурсів тощо з відповідним посилками в тексті на першоджерела.

Результатом цього розділу має стати чітко сформульована науково-технічна проблема, на вирішення якої повинна бути направлена дана дослідницька робота. Таким чином, сформульована проблема і тема науково-дослідницької роботи повинні знаходитись у логічній єдності між собою.

## 6.2 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Розрахунок усіх витрат організації-виконавця НДР, пов'язаних з виконанням теми, дає можливість встановити її собівартість або кошторисну вартість. Кошторис розробляє виконавець робіт на основі календарного плану проведення досліджень і затверджує замовник або орган, що забезпечує фінансування робіт. Як правило, кошторис складається до початку виконання робіт і тому називається плановим.

Встановлення величини витрат на проведення робіт по темі в розрізі типових статей кошторисної вартості (калькуляції собівартості) НДР наводяться нижче.

6.2.1 Витрати на оплату праці. Витрати за цією статтею включають заробітну плату безпосередніх виконавців теми, а заробітна плата адміністративно-управлінського персоналу, працівників дослідних виробництв включаються в кошторисну вартість теми через статтю «Накладні витрати». Крім цього, слід враховувати, що для тем, які фінансуються за рахунок держбюджету прибуток не планується і тому в дану статтю витрат включається тільки основна заробітна плата (без премій та інших виплат, що здійснюються із прибутку). Витрати на оплату праці розраховують на основі даних про трудомісткість окремих робіт по темі (табл. 1.1) та посадових окладів безпосередніх їх виконавців.

Загальна трудомісткість робіт, що виконуються безпосередньо студентом (інженером - дослідником), визначається навчальним планом відповідного напрямку підготовки.

Таблиця 6.1

## Трудомісткість робіт по темі НДР

Найменування робіт по темі дослідження	Трудомісткість за виконавцями, людино-днів					
	Провідний науковий співробітник	Старший науковий співробітник	Молодший науковий співробітник	Інженер	Лаборант	Студент
1. Уточнення та конкретизація завдань по темі дослідження	3	2	1	–	–	2
2. Аналіз науково-технічних публікацій з теми	1	2	3	–	–	3
3. Розроблення математичної моделі	2	3	4	–	–	–
4. Розроблення методу опрацювання	2	3	3	–	–	–
5. Експериментальні дослідження	2	2	2	2	2	2
6. Формування звіту по НДР	5	6	6	6	6	1
Разом за виконавцями теми	15	18	19	8	8	8

Подальші розрахунки витрат на оплату праці проводиться за алгоритмом, зрозумілим із табл. 6.2.

Середньоденна заробітна плата за категоріями виконавців розраховується шляхом ділення їх посадового місячного окладу на 21,2 (де 21,2 – усереднене число робочих днів за місяць).

Таблиця 6.2

## Розрахунок витрат на оплату праці

Посада виконавців теми	Планова трудомісткість, люд-днів	Заробітна плата, грн		
		Посадовий місячний оклад	Середньоденна зарплата	Усього за виконавцями
1.Провідний науковий співробітник	15	4847	228,63	3429,45
2.Старший науковий співробітник	18	3768	177,74	3199,32
3. Молодший науковий співробітник	19	2036	96,04	1824,76
4. Інженер	8	1902	89,72	717,76
5. Лаборант	8	1470	69,34	554,72
6. Студент	8	1470	69,34	554,72
Разом оплата праці з теми				10280,73

6.2.2 Відрахування на соціальні заходи. До цієї статті витрат належать виплати у вигляді єдиного соціального внеску, які здійснює організація – виконавець теми в пенсійний фонд в розмірі 37,26%, що становить 3830,6 грн. від загальних витрат на оплату праці.

Базою вказаного нарахування слугують загальні витрати на оплату праці по темі (табл.6.2).

6.2.3 Обладнання, необхідне для проведення досліджень. В даній статті враховують вартість усіх видів матеріалів, необхідних для проведення НДР, з вирахуванням вартості зворотних відходів.

Тематика дослідницьких робіт, які виконуються на факультеті контрольно-вимірювальних та радіокомп'ютерних систем, передбачає використання, перш за



все, комп'ютерної діагностичної системи, комп'ютерів для опрацювання кардіосигналів сигналів та формування матеріалів звітності, оргтехніки та інші.

Розрахунки зведено за формою у табл.6.3

Таблиця 6.3

Розрахунки витрат на обладнання

Найменування обладнання	Одиниця виміру	Кількість	Ринкова ціна за одиницю, грн	Сума,грн.
1. ПК (системний блок, монітор, клавіатура, мишка, кабель живлення)	шт	1	8200	8200
2. Принтер лазерний	шт	1	1600	1600
3. Кабель для підключення до ПК	шт	1	120	120
Загальні витрати на матеріали				9920

6.2.4 Енергоносії для проведення досліджень. На підприємстві електроенергія використовується для освітлення, живлення медобладнання, комп'ютерної техніки та оргтехніки.

$$Z_{cm} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot k_i \cdot t_i \cdot C_i, \quad (6.1)$$

де  $P_i$  – витрата  $i$ -го виду матеріального ресурсу, натуральні одиниці;

$C_i$  - ціна за одиницю  $i$ -го виду матеріального ресурсу, грн;

$k_i$  – коефіцієнт використання потужності  $i$ -го виду матеріального ресурсу;

$t_i$  – час роботи  $i$ -го виду матеріального ресурсу;

$i$  - вид матеріального ресурсу;

$n$  - кількість видів матеріальних ресурсів.

Якщо для проведення НДР використовується електрообладнання, то необхідно розрахувати витрати на електроенергію за формулою (6.1), наведеною в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4

**Витрати на електроенергію**

Найменування обладнання	Паспортна потужність, Вт	Коефіцієнт використання потужності	Час роботи обладнання для розробку АІС, год	Ціна електроенергії, Грн/ (кВт/год)	Сума, грн.
ПК (системний блок, монітор, клавіатура, мишка, кабель живлення)	250	0,15	100	1,72	6450
Принтер лазерний	700	0,25	3	1,72	903
Лампи розжарювання (освітлення)	120	0,85	10	1,72	1754,4
<b>РАЗОМ витрати на електроенергію</b>					<b>9107,4</b>

6.2.5 Витрати на службові відрядження. Дані витрати складаються із фактичних витрат на службові відрядження штатних працівників, зайнятих виконанням НДР: витрат на проїзд до місця відрядження і назад; витрат на проживання у готелі; добових витрат, які розраховуються на кожний день перебування у відрядженні, враховуючи час перебування в дорозі, та деякі інші.

Під час виконання НДР здійснюються ряд відряджень, які пов'язані із доповідями на конференціях, які наведено у таблиці 6.5.

## Приблизні витрати на службові відрядження

Тип відрядження	Кількість	Приблизна вартість відрядження
Конференція	5	1000
Здача звітів НДР	1	200
Впровадження результатів НДР	3	300
Всього	–	1500

6.2.6. Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми. Планова калькуляція вартості проведення досліджень по темі складається на підставі виконаних розрахунків та нормативних даних (табл.6.6).

Таблиця 6.6

## Планова калькуляція кошторисної вартості НДР

Найменування статей витрат	Сума, грн	Обґрунтування
1	2	3
1.Витрати на оплату праці	10280,73	Відповідно до розрахунків
2.Відрахування на соціальні заходи	3830,6	Відповідно до діючих загальнодержавних нормативів
3.Обладнання для проведення досліджень	9920	Відповідно до розрахунків
4.Енергоносії для проведення досліджень	9107,4	Відповідно до розрахунків
5.Витрати на службові відрядження	1500	Відповідно до розрахунків
6.Інші невраховані прямі витрати по темі	3463,87	10% від суми прямих розрахованих витрат по темі
7.Кошторисна вартість теми	38102,6	Сума попередніх статей

Кінцевим результатом науково-дослідницьких робіт є досягнення наукового, науково-технічного, економічного, соціального, екологічного та інших видів ефектів.

Науковий ефект від виконання теми передбачає приріст наукових знань у певній сфері науки, а науково-технічний ефект характеризує можливість

використання цих наукових знань в інших наукових напрямках та при розробці принципово нових технічних рішень. Економічний ефект відображає потенціал НДР в досягненні кращого співвідношення результатів виробництва до витрат і має прогнозний характер. Соціальний ефект заводитьсь до збільшення числа робочих місць, поліпшення умов праці та побуту, скорочення тривалості робочого тижня, розвитку охорони здоров'я, науки, культури, освіти. Екологічний ефект полягає в поліпшенні стану навколишнього середовища, зменшенні електромагнітного та іонізуючого випромінювання тощо.

### 6.3. Науково-технічна ефективність науково-дослідної роботи

Економічна оцінка фундаментальних і пошукових НДР у вартісному вимірі, як правило, неможливо, бо ймовірність доведення результатів таких досліджень до конкретного практичного застосування невелике. Для таких досліджень рекомендується визначати науковий та науково-технічний ефект, який враховує результати наукових досліджень та їх значущість для прискорення науково-технічного прогресу та розвитку національної економіки.

Науковий та науково-технічний ефект рекомендується оцінювати коефіцієнтом науково-технічної ефективності ( $E_{нт}$ ) за допомогою формули:

$$E_{нт} = \frac{\sum B_i \cdot B_{ij}}{\sum B_i \cdot B_{ij}^{\max}}, \quad (6.2)$$

де  $B_i$  – нормативні значення коефіцієнтів вагомості факторів науково-технічної ефективності (табл. 6.7);

$B_{ij}$  – середнє значення балу, який виставляється експертами і-му фактору;

$B_{ij}^{\max}$  – максимально можливе значення балу (табл. 6.8);

$i$  – порядковий номер фактору;

$j$  – відповідна характеристика і-го фактора.

Нормативні значення коефіцієнтів вагомості факторів науково-технічної ефективності наведені в табл. 6.7.

Таблиця 6.7

Нормативні значення коефіцієнтів вагомості факторів  
науково-технічної ефективності

Фактори ( $i$ )	Коефіцієнти вагомості ( $B_i$ )
1.Новизна очікуваних або одержаних результатів	0,25
2.Глибина наукового опрацювання	0,16
3.Ступінь ймовірності успіху	0,09
4.Перспективність використання результатів	0,25
5.Масштаб можливої реалізації результатів	0,15
6.Завершеність одержаних результатів	0,10
Разом	1,00

Характеристика факторів науково-технічної ефективності НДР наведена в табл. 6.8.

Таблиця 6.8

Характеристика факторів науково-технічної ефективності НДР

Фактор наукової та науково-технічної ефективності	Характеристика фактора	Оцінка фактора	
		Якісна	Бальна $A_{ij}^{\max}$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1.Новизна одержаних або передбачуваних результатів	Одержані принципово нові результати, раніше невідомі в науці, розроблена нова теорія, відкрита нова закономірність	Висока	10
	Встановлені деякі часткові закономірності, методи, способи, які дозволяють створити принципово нові види техніки	Середня	7
	Позитивне вирішення поставлених задач на підставі простих узагальнень, аналіз зв'язків між факторами, розповсюдження відомих наукових принципів на об'єкти	Недостатня	3
	Опис окремих елементарних фактів, передача та поширення отриманих раніше результатів, реферативні огляди	Тривіальна	1

1	2	3	4
2.Глибина наукового опрацювання	Проведена значна кількість експериментів по нетрадиційним методикам, виконані складні теоретичні розрахунки, підтверджені експериментальними даними	Істотна	10
	Проведена обмежена кількість розрахунків по відомим методикам, виконані теоретичні розрахунки невисокої складності, частково перевірені експериментальними даними	Середня	6
	Проведена недостатня кількість експериментів, виконані прості теоретичні розрахунки без експериментальної перевірки	Несуттєва	1
3.Стіпнь ймовірності успіху	Висока ймовірність повного вирішення поставлених задач НДР	Значна	10
	Середня ймовірність вирішення більшості експериментальних або теоретичних задач	Помірна	6
	Низька ймовірність вирішення поставлених задач, отримання позитивних результатів сумнівне	Незначна	1
4.Масштаб використання результатів	Результати можуть бути використані в багатьох наукових напрямках, мають значення для розвитку суміжних наук	Широкий	10
	Результати можуть бути використані в конкретному науковому напрямку при розробці нових технічних рішень, спрямованих на суттєве підвищення продуктивності суспільної праці	Достатньо широкий	8
	Результати будуть використані при проведенні наступних НДР, при розробці нових технічних рішень в конкретній галузі	Достатній	5
5.Ступінь реалізації результатів	Строк впровадження, роки: До 2	Висока	10
	До 4	Середня	7
	До 6	Достатня	4
	Більше 6	Недостатня	2
6.Завершення одержаних результатів	Авторське свідоцтво, стаття в фаховому виданні, методика, інструкція, класифікатор, стандарти, нормативи.	Висока	10
	Технічне завдання на прикладну НДР	Середня	8
	Рекомендації, розгорнутий аналіз, пропозиції	Достатня	6
	Огляд, інформаційне повідомлення	Недостатня	3

Кількісна оцінка факторів науково-технічної ефективності НДР здійснюється експертним шляхом за десятибальною шкалою і визначається як середньоарифметичне. Отримані результати зводять за формою табл. 6.9.

Таблиця 6.9

## Результати розрахунків науково-технічної ефективності НДР

Фактори науково-технічної ефективності	Характеристика фактора	Розрахунок $B_{ij}$			$B_{ij}^{\max}$
		Експертні оцінки		$B_{ij}$	
		1	2		
1.Новизна очікуваних або одержаних результатів	Встановлені деякі часткові закономірності, методи, способи, які дозволяють створити принципово нові види техніки	3	3	3	10
2.Глибина наукового опрацювання	Проведена обмежена кількість розрахунків по відомим методикам, виконані теоретичні розрахунки невисокої складності, частково перевірені експериментальними даними	6	6	6	10
3.Ступінь ймовірності успіху	Середня ймовірність вирішення більшості експериментальних або теоретичних задач	6	6	6	10
4.Перспективність використання результатів	Результати можуть бути використані в багатьох наукових напрямках, мають значення для розвитку суміжних наук	10	10	10	10
5.Масштаб можливої реалізації результатів	До 2 років	10	10	10	10
6.Завершеність одержаних результатів	Рекомендації, розгорнутий аналіз, пропозиції	6	6	6	10

Розраховане за формулою 6.2 значення  $E_{нт}$  буде відображати рівень наукової та науково-технічної ефективності конкретної теми фундаментального чи пошукового дослідження:

$$E_{нт} = \frac{0.25 \cdot 3 + 0.16 \cdot 6 + 0.09 \cdot 6 + 10 \cdot 0.25 + 10 \cdot 0.15 + 6 \cdot 0.1}{1 \cdot 10} = 0,685 .$$

Загальну оцінку магістерської НДР можна здійснити, користуючись даними табл. 6.10.

Загальна оцінка наукової та науково-технічної ефективності  
фундаментальних та пошукових НДР

Загальна оцінка наукової та науково-технічної ефективності		Можливі рекомендації по результатам виконання НДР
Розраховане значення $E_{нт}$	Загальна якісна оцінка ефективності	
0,91-1,00	Відмінно	Оформлення авторського свідоцтва, публікація у фаховому виданні, продовження досліджень по даній тематиці
0,76-0,90	Дуже добре	
<b>0,61-0,75</b>	<b>Добре</b>	<b>Рекомендації можуть бути сформульовані після ретельного аналізу отриманих результатів</b>
0,36-0,60	Достатня	Переглянути технічне завдання у разі продовження досліджень по даній темі
Менш 0,35	Незадовільна	Здійснити всебічний аналіз отриманих результатів по темі

#### 6.4 Висновки до розділу 6

У розділі на підставі виконаних розрахунків та нормативних даних встановлено, що планова калькуляція вартості проведення досліджень по темі становить 38102,6 грн., а кількісна оцінка науково-технічна ефективність науково-дослідної роботи, яка здійснюються експертним шляхом за десятибальною шкалою і визначається як середньоарифметичне, що складає 0,685 від максимального числа 1, а рекомендації по результатам виконання НДР можуть бути сформульовані після ретельного аналізу отриманих результатів.



## РОЗДІЛ 7

## ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

## 7.1 Охорона праці

7.1.1 Основні вимоги до побудови і функціонування системи управління охороною праці (СУОП). Забезпечення функціонування та побудова СУОП в організації. Положення про СУОП, структура та зміст його розділів.

В Україні функціонує багаторівнева СУОП, функціональними ланками якої є відповідні структури державної законодавчої і виконавчої влади різних рівнів, управлінські структури підприємств і організацій, трудових колективів.

Залежно від спрямування вирішуваних завдань всі ланки СУОП можна розділити на дві групи:

- ланки, що забезпечують вирішення законодавчо-нормативних, науково-технічних, соціально-економічних та інших загальних питань охорони праці;
- ланки, до функціональних обов'язків яких входить забезпечення безпеки праці в умовах конкретних організацій, підприємств.

До першої групи належать органи державної законодавчої ініціативи та органи державного управління охороною праці:

- Верховна Рада України;
- Кабінет Міністрів України;
- Державна служба гірничого нагляду та промислової безпеки України (Держгірпромнагляд України);
- міністерства та інші центральні органи державної виконавчої влади;
- Фонд соціального страхування від нещасних випадків і профзахворювань;
- місцева державна адміністрація, органи місцевого самоврядування.

Верховна Рада України зі своєї ініціативи у взаємодії з відповідними структурами державної виконавчої влади визначає державну політику в сфері охорони праці, вирішує питання щодо удосконалення і розвитку законодавчої бази охорони праці, соціальні питання, пов'язані зі станом умов і охорони праці.

Кабінет Міністрів України забезпечує реалізацію державної політики в сфері охорони праці, виходячи із стану охорони праці в державі, організує розробку загальнодержавних програм відповідно до поліпшення цього стану, затверджує ці програми і контролює їх виконання, визначає функції органів виконавчої влади щодо вирішення питань охорони праці і нагляду за охороною праці.

Для вирішення цих питань при Кабінеті Міністрів України функціонує Національна рада з питань безпечної життєдіяльності населення, яку очолює віце-прем'єр-міністр України.

Держгірпромнагляд України здійснює комплексне управління охороною праці на державному рівні, реалізує державну політику в цій сфері, розробляє за участі відповідних органів державної програми в сфері охорони праці, координує роботу державних органів і об'єднань підприємств із питань безпеки праці, розробляє і переглядає разом з компетентними органами систему показників і обліку умов і безпеки праці, здійснює міжнародне співробітництво з питань охорони праці і нагляд за охороною праці в державі тощо.

Рішення Держгірпромнагляду України, що відносяться до її компетенції, обов'язкові для виконання всіма міністерствами, іншими центральними органами державної виконавчої влади, місцевими державними адміністраціями, місцевими радами народних депутатів і підприємствами.

Фонд соціального страхування від нещасних випадків здійснює профілактику нещасних випадків і профзахворювань, а також координацію всієї страхової діяльності, пов'язаної з охороною праці.

Міністерство праці і соціальної політики України здійснює також державну експертизу умов праці, визначає порядок і здійснює контроль за якістю проведення атестації робочих місць згідно з їх відповідністю нормативним актам про охорону праці, бере участь у розробці нормативних документів про охорону праці.

Інші міністерства і центральні органи державної виконавчої влади як ланки системи управління охороною праці визначають науково-технічну політику галузі з питань охорони праці, розробляють і реалізують комплексні заходи щодо

поліпшення безпеки праці, здійснюють методичне керівництво діяльністю підприємств галузі з охорони праці, співробітничать з галузевими профспілками щодо вирішення питань безпеки праці, організують у встановленому порядку навчання і перевірку знань правил і норм охорони праці керівниками і фахівцями галузі, створюють, у разі необхідності, професійні воєнізовані аварійно-рятувальні формування, здійснюють внутрішній контроль за станом охорони праці.

Для забезпечення виконання перелічених функцій в апаратах міністерств і інших центральних органів державної виконавчої влади створюються служби охорони праці.

Місцеві державні адміністрації й органи місцевого самоврядування в межах підвідомчої їм території забезпечують реалізацію державної політики в сфері охорони праці, формують за участі профспілок місцеві програми заходів щодо поліпшення безпеки, гігієни праці і виробничого середовища, здійснюють контроль за дотриманням нормативних актів про охорону праці. Для забезпечення виконання названих функцій при місцевих органах державної виконавчої влади створюються відповідні структурні підрозділи.

Управлінські структури підприємств забезпечують в умовах конкретних виробництв реалізацію вимог законодавчих і нормативних актів про охорону праці з метою створення безпечних і нешкідливих умов праці, попередження виробничого травматизму і професійних захворювань, вирішують весь комплекс питань з охорони праці, пов'язаних з даним виробництвом. У своїй діяльності стосовно охорони праці управлінські структури підприємств взаємодіють з комісією з питань охорони праці підприємства (за наявності такої), з профспілками підприємства та уповноваженими трудових колективів.

СУОП в умовах конкретної організації, на конкретному об'єкті завжди є багаторівневою системою управління, у якій верхнім рівнем є державне управління, а нижнім - управління охороною праці на конкретному об'єкті. Як проміжні рівні управління можуть виступати відомче, регіональне управління, а також управління в об'єднанні, тресті тощо.

Слід зазначити, що вихідні параметри СУОП визначаються, виходячи з вимог норм, правил, проектної документації, аналізу фактичного стану виробничої ситуації і ряду факторів виробничого середовища, тому СУОП варто віднести до категорії звичайних, багатоконтурних систем, які піддаються програмуванню. Багатоконтурність систем управління в даному випадку пояснюється складністю об'єкта управління, його великою інерційністю, складністю і інерційністю реалізації управлінських впливів.

Правовою основою СУОП є: Конституція України, Кодекс законів про працю України, Закони України «Про охорону праці» і «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві і професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності», накази і розпорядження Президента України, розпорядження і постанови Кабінету Міністрів, Держгірпромнагляд, Міністерства охорони здоров'я, Міністерства праці і соціальної політики, а також інших директивних органів України з питань охорони праці (органи Державного управління охороною праці).

Позитивна дія впровадження систем управління охороною праці (СУОП) на рівні організації як на зниження небезпек і ризиків, так і на продуктивність, нині визнана урядами, роботодавцями і працівниками.

#### 7.1.2 Встановлення зв'язку нещасного випадку з виробництвом

"Порядок розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві" визначає процедуру проведення розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій, що сталися на підприємствах, в установах та організаціях незалежно від форми власності, виду економічної діяльності або в їх філіях, представництвах, інших відокремлених підрозділах чи у фізичних осіб-підприємців, які відповідно до законодавства використовують найману працю (далі - підприємство), а також тих, що сталися з особами, які забезпечують себе роботою самостійно, за умови добровільної сплати ними внесків на державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання.

Порядок розслідування та ведення обліку нещасних випадків, що сталися з учнями, студентами, курсантами, слухачами, стажистами тощо під час навчально-виховного процесу визначається МОІН України.

Нещасні випадки, що не пов'язані з виконанням трудових обов'язків, підлягають розслідуванню відповідно до "Порядку розслідування та обліку нещасних випадків невиробничого характеру".

Нещасні випадки класифікуються за наслідками, кількістю потерпілих та стосовно їх зв'язку з виробництвом.

За наслідками нещасні випадки поділяються на легкі, важкі та смертельні. До легких належать такі нещасні випадки, що призвели до необхідності переведення працівника на легшу роботу або спричинили нетривалу втрату працездатності (не менше як на один робочий день). Якщо стався нещасний випадок з важкими наслідками, то характер і ступінь тяжкості травми, отриманої працівником, встановлюється медичним заключенням спеціалізованого медичного закладу відповідно до Класифікатора розподілу травм за ступенем тяжкості, що затверджується МОЗ України.

За кількістю потерпілих нещасні випадки поділяються на поодинокі та групові (одночасно постраждали двоє і більше працівників).

Стосовно зв'язку з виробництвом нещасні випадки можна в загальному поділити на випадки виробничого та невиробничого характеру (рис. 1.7). До нещасних випадків невиробничого характеру належать такі випадки, які призвели до ушкодження здоров'я потерпілого, однак не пов'язані з виконанням ним трудових обов'язків. Зокрема це нещасні випадки, що сталися під час прямування на роботу чи з роботи пішки, на громадському, власному або іншому транспортному засобі, що не належить підприємству і не використовувався в інтересах підприємства; виконання громадських обов'язків (рятування людей, захист власності, правопорядку, якщо це не передбачено службовими обов'язками), участі в культурно-масових заходах, спортивних змаганнях тощо.



Рис. 7.1 Класифікація нещасних випадків стосовно їх зв'язку з виробництвом

Якщо ж нещасний випадок стався з працівником під час виконання ним трудових (посадових) обов'язків, то він класифікується як нещасний випадок виробничого характеру. Однак не всі такі випадки є пов'язаними з виробництвом. Так не визнаються пов'язаними з виробництвом нещасні випадки, що сталися з працівниками:

- за місцем постійного проживання на території польових і вахтових селищ;
- під час використання ними в особистих цілях транспортних засобів, устаткування, механізмів, інструментів, що належать або використовуються підприємством (крім випадків, що сталися внаслідок їх несправності);
- унаслідок отруєння алкоголем, наркотичними засобами, токсичними чи отруйними речовинами, а також унаслідок їхньої дії (асфіксія, інсульт, зупинка серця тощо) за наявності відповідного медичного висновку, якщо це не пов'язано із застосуванням цих речовин у виробничих процесах, або порушенням вимог безпеки щодо їх зберігання і транспортування, або якщо потерпілий, який перебував у стані алкогольного, токсичного чи наркотичного сп'яніння до нещасного випадку, був відсторонений від роботи згідно з установленим порядком;
- під час скоєння ними злочину, що встановлено обвинувальним вироком суду;
- у разі смерті або самогубства на підприємстві за винятком тих випадків, які зазначені у НПАОП 00.0-6.02-04.

У вищезазначених випадках комісією з розслідування складається акт форми НПВ про нещасний випадок на підприємстві, не пов'язаний з виробництвом.

За висновками роботи комісії з розслідування визнаються пов'язаними з виробництвом і складається акт за формою Н-1 про нещасні випадки, що сталися з працівниками під час виконання трудових обов'язків.

Залежно від того, як за висновками роботи комісії з розслідування класифікується конкретний нещасний випадок, нею складається акт про нещасний випадок тої чи іншої форми.

7.1.3 Класи виробничих та складських приміщень по вибуховій та пожежній небезпеці. Вогнестійкість будівельних конструкцій і матеріалів

Відповідно до чинних будівельних норм і правил (БНіП) будівлі й споруди за вогнестійкістю поділяються на п'ять ступенів.

Ступінь вогнестійкості будівель і споруд визначається границями вогнестійкості основних будівельних конструкцій, границями поширення вогню по цих конструкціях, а також відповідними їм групами займання.

Границя вогнестійкості елементів і будівельних конструкцій - це проміжок часу (в годинах або хвилинах) від початку вогневого стандартного випробування зразків до виникнення одного з граничних станів елементів і конструкцій. Стандартне випробування виконують відповідно до стандарту.

Для того щоб перевірити, чи відповідає вогнестійкість будівлі або споруди" що проектується, протипожежним вимогам, необхідно зробити розрахунок вогнестійкості конкретних будівельних конструкцій, який зводиться до визначення розрахункової тривалості горіння і потрібної границі вогнестійкості. Розрахунок вогнестійкості завершується порівнянням фактичної і потрібної границі вогнестійкості.

Границя поширення вогню - це проміжок часу (в годинах або хвилинах) від початку вогневого стандартного випробування зразків до настання будь-якої з ознак, які характеризують поширення вогню по конструкціях.

Ступінь вогнестійкості будівель і споруд характеризується групою займання будівельних матеріалів, з яких виготовлена споруда і вогнестійкості несучих будівельних конструкцій та їхніх частин. Відповідно до цього всі об'єкти поділяються на п'ять ступенів займистості. Нормований ступінь вогнестійкості будівель за вимогами СНІП залежить від категорії пожежної безпеки виробництва, висотності будівель тощо. Із зростанням номера категорії приміщення збільшується ступінь займання конструкції і зменшується границя їхньої вогнестійкості.

За ступенем вогнестійкості вибирають матеріал для стін, перекриттів і колон та визначають необхідні границі між будівлями або спорудами. Необхідну кількість води для зовнішнього гасіння пожеж можна визначити, знаючи категорію пожежної безпеки виробничої будівлі, ступінь її вогнестійкості і об'єм. Вибір необхідних систем вентиляції, опалення, водопостачання, освітлення і електропроводки, електрообладнання і засобів для гасіння пожеж здійснюють залежно від категорії пожежної безпеки будівель або споруд.

Категорія А (вибухопожежонебезпечна). Горючі гази, легкозаймисті рідини з температурою спалаху  $t < 28^{\circ}\text{C}$  в такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні парогазоповітряні суміші, під час займання яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск  $\Delta P_{\text{ф}} > 5$  кПа у фронті ударної хвилі вибуху в приміщенні. Речовини і матеріали, здатні вибухати і горіти при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним в такій кількості, що розрахунковий тиск  $\Delta P_{\text{ф}} > 5$  кПа у фронті ударної хвилі у приміщенні. До них відносяться водневі станції, склади балонів для зріджених газів, приміщення стаціонарних кислотних і лужних акумуляторних установок, насосні станції з перекачування рідин з температурою спалаху до  $t = 28^{\circ}\text{C}$  та склади цих рідин, приміщення малярних цехів, де застосовують нітрофарби, лаки і нітроемалі, ацетиленові станції і приміщення ацетиленових генераторів та ін.

Категорія Б (вибухопожежонебезпечна). Горючі порохи або волокна, легкозаймисті рідини з температурою спалаху  $t > 28^{\circ}\text{C}$ , горючі рідини в такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні порохоповітряні або пароповітряні суміші, під час займання яких розвивається розрахунковий



надлишковий тиск вибуху у приміщенні  $\Delta P_{\text{ф}} = 5$  кПа. До них відносяться, наприклад, виробництва із застосуванням аміаку, пального для ТГД і ТРДД, а також складські приміщення, в яких зберігаються дизельне пальне, мінеральні мастила, закриті склади вугілля, пакгаузи змішаних вантажів, гаражі тощо.

Категорія В (пожежонебезпечна). Легкозаймисті, горючі й важкозаймисті рідини, тверді горючі й важкозаймисті речовини і матеріали, здатні при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним горіти тільки за умови, що приміщення, в якому вони знаходяться (обертаються), не відносяться до категорії А або Б.

Категорія Г. Негорючі речовини і матеріали в горючому, розжареному або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променевого тепла, Іскор та полум'я; горючі гази, рідини й тверді речовини, що спалюються або утилізуються як паливо (ливарні цехи, станції випробування двигунів, котельні і т. ін.).

Категорія Д Негорючі речовини і матеріали в холодному стані. Це - цехи холодної обробки металів (крім магнієвих сплавів), повітродувки, інструментальні цехи, насосні станції для перекачування негорючих рідин тощо.

Категорію виробництва вибирають за нормами технологічного проектування або за спеціальним переліком виробництв.

Відповідно до ПУЕ існує також класифікація виробничих приміщень і зовнішніх установок з вибухової і пожежної безпеки. Віднесення приміщень і зовнішніх установок до вибухо- або пожежонебезпечних залежить від умов створення можливих вибухо- і пожежонебезпечних середовищ.

Вибухонебезпечними називаються приміщення і зовнішні установки, в яких згідно з умовами технологічного процесу можуть створюватися вибухонебезпечні суміші: горючих газів або пари з повітрям чи киснем та іншими газами-окислювачами (наприклад, з хлором), горючих пилу або волокна з повітрям у разі переходу їх у завислий стан. Усі вибухонебезпечні виробничі приміщення і установки відповідно до ПУЕ поділяються на такі класи: В-1, В-1а, В-1б - приміщення з небезпекою вибуху пари і газів, В-1 г - зовнішні установки з небезпекою вибуху горючого пилу або волокна. Наприклад, в приміщеннях

класу В-1 виділяються горючі гази або пара в об'ємі, що створює з повітрям або іншими окислювачами вибухонебезпечні суміші не тільки при аварійних, але й при нормальних режимах роботи, невеликих за тривалістю (при зберіганні або зливанні, наливанні, переливанні легкозаймистих і горючих речовин, які знаходяться у відкритих посудинах, тощо).

У приміщеннях класу В-1а при нормальній експлуатації вибухонебезпечні суміші горючих газів і пари з повітрям та іншими окислювачами не виникають, а створюються тільки в результаті аварій або несправностей. У приміщеннях класу В-1б на відміну від класу В-1а є такі особливості: горючі гази мають високу нижню границю вибуховості (15 % і більшу) і різкий запах при граничнодопустимих за санітарними нормами концентраціях (наприклад, машинні зали аміачних і холодильних абсорбційних установок); створення вибухонебезпечної концентрації для всього приміщення за умов технологічного процесу виключається, можливе створення місцевої вибухонебезпечної концентрації; легкозаймисті і горючі речовини є в приміщеннях в невеликих кількостях і роботу з ними проводять у витяжних шафах або під витяжними зонтами (приміщення для зберігання проб легкозаймистих і горючих речовин, лабораторії і т. ін.).

До класу В-1г відносяться зовнішні установки, які містять у собі вибухонебезпечні гази, пару, легкозаймисті речовини (газгольдери, зливно-наливні естакади для легкозаймистих речовин та ін.).

У приміщеннях класу В-ІІ виділяються горючі пил або волокна, які переходять у завислий стан і здатні створювати з повітрям та іншими окислювачами вибухонебезпечні суміші не тільки при випадкових, але й при нормальних, недовгочасних режимах роботи (наприклад, при завантажуванні технологічних апаратів).

У приміщеннях класу В-ІІа, на відміну від В-ІІ, небезпечні стани не виникають під час нормальної експлуатації, вони можливі тільки в результаті аварій або несправностей.

Найбільш вибухонебезпечними є приміщення класів В-І і В-ІІ, найменш вибухонебезпечними — приміщення класів В-1б, установки класу В-1г.

Пожежонебезпечними називаються приміщення і установки, в яких використовують або зберігають горючі речовини. Відповідно до ПУЕ вони поділяються на класи П-I, П-II, П-IIa, П-III.

До класу П-I відносяться приміщення, в яких використовують або зберігають горючі рідини з температурою спалаху пари вище 45°C (склади мінеральних мастил, регенераційні установки для них тощо).

До класу П-II відносяться приміщення, в яких небезпека виникає внаслідок виділення горючих пилу або волокна, які переходять у завислий стан. Виникаюча при цьому небезпека призводить до пожежі (але не до вибуху).

До класу П-IIa відносяться виробничі й складські приміщення, в яких знаходяться тверді або волокнисті горючі речовини (дерево, тканини тощо) і в яких горючих пилу або волокна, що переходять у завислий стан, немає.

До класу П-III відносяться зовнішні установки, в яких використовують або зберігають горючі рідини з температурою спалаху пари вищою 45°C, наприклад, відкриті склади мінеральних масел, а також тверді горючі речовини.

## 7.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

### 7.2.1 Дії персоналу підприємства при виникненні надзвичайних ситуацій

#### 1. Загальні положення

Типова Інструкція розроблена згідно з Кодексом цивільного захисту та інших нормативно-правових документів.

Усі працівники підприємства, не залежно від займаних посад, повинні знати і суворо виконувати вимоги Типової Інструкції щодо дій персоналу при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій природного або техногенного характеру. За невиконання вимог Інструкції персонал підприємства може бути притягнутий до адміністративної відповідальності.

#### 2. Характеристика можливої обстановки в районі підприємства при виникненні надзвичайної ситуації

У розділі перелічуються можливі джерела потенційної небезпеки на території самого підприємства або поблизу від нього, додається характеристика

можливої обстановки при виникненні надзвичайних ситуацій, яка пов'язана з руйнуванням або іншим негативним впливом.

Відомості про джерела і характер їх дії на підприємство надають районні державні адміністрації, міські ради.

3. Порядок оповіщення адміністрації та персоналу про загрозу виникнення надзвичайних ситуацій

Оповіщення адміністрації, робітників та службовців підприємства щодо надзвичайних ситуацій проводиться по завчасно розробленій схемі.

Адміністрація у неробочий час оповіщається по телефону (вказується відповідальний виконавець). У залежності від обстановки, оповіщається і решта персоналу.

У робочий час персонал підприємства оповіщається про надзвичайну ситуацію (вказується яким способом).

При отриманні відповідної інформації вмикають сирени, інші звукові та світлові засоби, що буде означати подання попереджувального сигналу "Увага всім", після чого негайно приводяться у готовність гучномовці, радіотрансляційні та телевізійні приймачі для прослуховування початкового повідомлення.

Кожний працівник підприємства повинен знати сигнали оповіщення цивільного захисту та вміти правильно діяти в умовах загрози та виникнення надзвичайних ситуацій.

4. Порядок укриття персоналу у захисних спорудах цивільного захисту

На випадок виникнення надзвичайної ситуації, яка пов'язана із загрозою або початком забруднення повітря хімічно небезпечною, радіоактивною речовиною всі працівники підприємства підлягають укриттю у захисних спорудах цивільного захисту (вказується адреса, кому належить).

Для термінового укриття працівників у разі забруднення хімічно небезпечною речовиною використовуються власні загерметизовані приміщення (вказується адреса), забезпечується перебування у ньому осіб, без подачі повітря протягом години.

При отриманні інформації щодо радіоактивної небезпеки працівники укриваються (вказується приміщення, адреса), яке забезпечує захист осіб, що перехо

вуються від ураження іонізуючим випромінюванням при радіоактивному зараженні.

#### 5. Порядок видачі персоналу засобів індивідуального захисту

Засоби індивідуального захисту (вказуються які) видаються після отримання відповідного розпорядження або за рішенням керівника підприємства (вказується місце видачі).

Працівники, які отримали такі засоби, повинні перевірити їх стан, провести підбір та мати постійно при собі або на робочому місці.

Протигази переводяться у бойовий стан за командою або самостійно, при наявності небезпеки забруднення повітря.

#### 6. Порядок виділення автомобільного транспорту для проведення евакуаційних заходів

При проведенні негайної евакуації персоналу з небезпечних зон залучається увесь наявний службовий, а також особистий транспорт працівників підприємства, які повинні надавати його у розпорядження адміністрації для негайної евакуації із небезпечної зони працівників та відвідувачів підприємства (вказується вид та тип транспортних засобів, місця посадки на транспорт та маршрут руху).

#### 7. Вимоги до персоналу щодо додержання протиепідемічних заходів при загрозі розповсюдження особливо небезпечних інфекційних захворювань

Якщо на території підприємства або поблизу його виникла небезпека розповсюдження особливо небезпечних інфекційних захворювань, усі працівники повинні суворо дотримуватись вимог санітарно-епідеміологічної служби щодо проведення термінової профілактики та імунізації, ізоляції і лікування виявлених хворих, дотримуватися режиму, який запобігає розповсюдженню інфекції. При необхідності працівники, які прибули на роботу, повинні проходити санітарну обробку (проводити дезінфекцію або зміну одягу) (вказується місце її проведення), а водії транспортних засобів - здійснювати спеціальну обробку автотранспорту (вказується місце її проведення), а також виконувати інші вимоги та заходи, які перешкоджають розповсюдженню особливо небезпечних інфекційних захворювань.

8. Заходи щодо зберігання матеріальних цінностей у період загрози та виникнення надзвичайних ситуацій

Усі працівники підприємства повинні вжити необхідних заходів щодо зберігання матеріальних цінностей при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій.

У період виконання заходів захисту від надзвичайних ситуацій або при ліквідації їх наслідків необхідно вживати заходи, які направлені на попередження або зменшення можливих збитків підприємству від надзвичайних ситуацій, на забезпечення охорони майна та обладнання.

Відповідальність за організацію охорони покладається на (вказується посада, прізвище).

9. Особливості дій працівників при деяких надзвичайних ситуаціях

При загрозі ураження хімічно небезпечною речовиною оповіщаються усі працівники та відвідувачі, які знаходяться на території підприємства.

Вентиляційні установки та кондиціонери терміново вимикаються, зачиняються вікна, двері, кватирки, приміщення герметизується. Вихід із будівлі й вхід до неї припиняється до особливого розпорядження адміністрації.

Працівникам видаються засоби індивідуального захисту, одночасно приймаються заходи щодо забезпечення відвідувачів ватно-марлевими пов'язками.

Відповідальними призначаються за:

- забезпечення герметизації приміщень (посада, прізвище);
- забезпечення працівників та відвідувачів засобами індивідуального захисту (посада, прізвище).

При виявленні у приміщенні, де укриваються працівники, хімічно небезпечної речовини, працівники повинні вийти (вказати куди) або з дозволу адміністрації залишити зону забруднення. Виходити з неї необхідно тільки у засобах індивідуального захисту і рухатися в напрямку, перпендикулярному напрямку вітру.

При виникненні пожежі на підприємстві всі працівники зобов'язані суворо виконувати вимоги Інструкції з пожежної безпеки, евакуацію проводити згідно з Планом евакуації (вказується покажчик напрямку руху).

Відповідальність за дотриманням заходів пожежної безпеки та організацію дій персоналу при загрозі або виникненні пожежі покладається на (посада, прізвище).

При радіоактивному забрудненні території підприємства або при загрозі забруднення всі працівники повинні уважно слідкувати за мовним повідомленням управління з питань надзвичайних ситуацій, яке передається за допомогою радіо і телебачення після попереджувального сигналу "Увага всім", за інформацією інших засобів масової інформації про обстановку в місті, і суворо виконувати рекомендації по захисту від радіоактивного зараження.

Працівник (посада, прізвище) організовує на території підприємства контроль за радіаційною обстановкою за допомогою побутового дозиметру (називається тип приладу) і постійно інформує про результати вимірювань адміністрацію підприємства, управління з питань надзвичайних ситуацій.

При перевищенні гранично допустимих норм опромінення організується облік доз опромінювання. Відповідальний за виконання цього заходу (посада, прізвище).

Скорочується до мінімуму вхід у будівлю та вихід із неї. Контроль за дотриманням режиму поведінки й роботи працівників, який дозволяє максимально понизити наслідки радіоактивного опромінення покладається на (посада, прізвище).

При загрозі або виникненні катастрофічних стихійних лих призначений працівник підприємства за розпорядженням адміністрації повинен зупинити виробництво, виконати необхідні протипожежні заходи, відімкнути від електромережі електрообладнання, підготуватися до евакуації або вивезення у безпечні місця найбільш цінних матеріальних засобів.

Контроль за обстановкою на території підприємства при стихійних лихах і за прийняті заходи захисту персоналу покладається на (посада, прізвище).

Якщо з'явилися постраждалі - надається перша медична допомога.

Залучаються санітарні дружини підприємства або санітарні пости, які створені. Приймаються заходи щодо госпіталізації постраждалих до спеціалізованих медичних закладів.

Працівник (посада, прізвище) постійно слідкує за інформацією, яку надає управління з питань надзвичайних ситуацій, про обстановку у місті та доводить її до адміністрації і персоналу підприємства.

При надходженні анонімної інформації про загрозу на території підприємства або поблизу нього терористичного акту, працівник, який прийняв її, повинен терміново доповісти керівнику підприємства й у правоохоронні органи, і діяти згідно з розпорядженнями і рекомендаціями.

### 7.2.2 Надзвичайні ситуації природного характеру. Геологічні ситуації

Землетруси, повені, зсуви, селеві потоки, бурі, урагани, снігові заноси, лісові пожежі лише протягом останніх 20 років забрали життя більше трьох мільйонів чоловік. За даними ООН, за цей період майже один мільярд жителів нашої планети зазнав збитків від стихійних лих.

Серед надзвичайних ситуацій природного походження на Україні найчастіше трапляються:

- геологічні небезпечні явища (зсуви, обвали та осипи, просадки земної поверхні);
- метеорологічні небезпечні явища (зливи, урагани, сильні снігопади, сильний град, ожеледь);
- гідрологічні небезпечні явища (повені, паводки, підвищення рівня ґрунтових вод та ін.);
- природні пожежі лісових та хлібних масивів;
- масові інфекції та хвороби людей, тварин і рослин.

Особливості географічного положення України, атмосферні процеси, наявність гірських масивів, підвищень, близькість теплих морів зумовлюють різноманітність кліматичних умов: від надлишкового зволоження в західному Поліссі - до посушливого - в південній Степовій зоні. Виняткові кліматичні умови на Південному березі Криму, в горах Українських Карпат та Криму. Внаслідок взаємодії всіх цих факторів виникають небезпечні стихійні явища. В окремих випадках вони мають катастрофічний характер.



Надзвичайні ситуації природного походження в Україні поділяються на: геологічні, географічні, метеорологічні, агрометеорологічні, морські гідрологічні, гідрологічні небезпечні явища, природні пожежі, епідемії, епізоотії, епіфітотії.

Стихійні явища часто виникають в комплексі, що значно посилює їх негативний вплив. Небезпечні природні явища, переважно, визначаються трьома основними групами процесів - ендегенними, екзогенними та гідрометеорологічними.

Стихійні лиха, що мають місце на території України, можна поділити на прості, що включають один елемент (наприклад, сильний вітер, зсув або землетрус) та складні, що включають декілька процесів однієї групи або кількох груп, наприклад, негативних атмосферних та геодинамічних екзогенних процесів, ендегенних, екзогенних та гідрометеорологічних процесів у поєднанні з техногенними.

*Землетруси (earthquakes)* – коливання земної кори, що виникають внаслідок вибухів у глибині землі, розламів шарів земної кори, активної вулканічної діяльності. Область підземного удару викликає пружні коливання (сейсмічні хвилі), що поширюються по землі у всіх напрямках. Область землі, з якої виходять хвилі землетрусу, називають центром, а розташовану на поверхні землі ділянку - епіцентром землетрусу. Інтенсивність землетрусу вимірюється в балах за шкалою Ріхтера, а у останні роки у нашій країні та у ряді європейських держав використовують 12-бальну міжнародну шкалу MSK-64. Інтенсивність землетрусу зменшується до периферії зони катастрофи. Осередки землетрусів знаходяться на глибині 30–60 км, а інколи на глибині до 700 км. В залежності від причин і місця виникнення землетруси поділяються на тектонічні, вулканічні, обвальні і моретруси.

Землетруси захоплюють великі території і характеризуються:

- руйнуванням будівель і споруд, під уламки яких потрапляють люди, виникненням масових пожеж і виробничих аварій;
- затопленням населених пунктів і цілих районів;
- отруєнням газами при вулканічних виверженнях;

- ураженням людей і руйнуванням будівель уламками вулканічних гірських порід;

- ураженням людей і виникненням осередків пожеж у населених пунктах від вулканічної лави;

- провалом населених пунктів при обвальних землетрусах;

- руйнуванням і змиванням населених пунктів хвилями цунамі;

- негативною психологічною дією.

Сейсмоактивні зони оточують Україну на південному заході і півдні: Закарпатська, Вранча, Кримсько-Чорноморська та Південно-Азовська.

У сейсмічному відношенні найбільш небезпечними областями в Україні є Закарпатська, Івано-Франківська, Чернівецька, Одеська та Автономна Республіка Крим. На теренах Закарпаття відзначаються осередки землетрусів з інтенсивністю 6-7 балів (за шкалою Ріхтера) у зонах Тячів – Сигет, Мукачево – Свалява. Закарпатська сейсмоактивна зона характеризується проявом землетрусів, що відбуваються у верхній частині земної кори на глибинах 6-12 км з інтенсивністю в епіцентрі 7 балів. Шестибальні землетруси зафіксовані також у Прикарпатті (Буковина). Прикарпаття відчуває вплив від району Вранча (Румунія).

В 1974-1976 роках тут мали місце землетруси інтенсивністю від 3 до 5 балів. Сейсмонебезпечність Одеської області зумовлена осередками землетрусів в масиві гір Вранча та Східних Карпат в Румунії. Починаючи з 1107 року до цього часу там мали місце 90 землетрусів з інтенсивністю 7-8 балів. Кримсько-чорноморська сейсмоактивна зона огинає з півдня Кримський півострів. Осередки сильних корових землетрусів тут виникають на глибинах 20-40 км та 10-12 км на відстані 25-40 км від узбережжя з інтенсивністю 8-9 балів. За останні два століття на Південному узбережжі Криму зареєстровано майже 200 землетрусів від 4 до 7 балів. Південно-Азовська сейсмоактивна зона виділена зовсім недавно. У 1987 році було зафіксовано кілька землетрусів інтенсивністю 5-6 балів. Крім того, за палеосеймотектонічними та археологічними даними встановлено сліди давніх землетрусів інтенсивністю до 9 балів з періодичністю близько одного разу на 1000 років.

У платформній частині України виділено ряд потенційно сейсмотектонічних зон з інтенсивністю 4-5,5 бала. За інженерно-сейсмічними оцінками приріст сейсмічності на півдні України перевищує 1,5 бала, і у зв'язку з чим було визначено, що в окремих районах 30-50% забудови не відповідає сучасному рівню сейсмічного та інженерного ризику.

Попередити землетруси точно поки що неможливо. Прогноз справджується лише у 80 випадках і має орієнтовний характер. Серед всіх стихійних лих за даними ЮНЕСКО землетруси займають перше місце в світі за заподіяною економічною шкодою і кількістю загиблих.

### 7.2.3 Долікарська допомога при задусі, утопленні, заваленні землею

Асфіксія (задуха) — припинення надходження кисню в легені протягом 2-3 хв. Зупиняється газообмін в легенях, настає кисневе голодування, людина непритомніє. За цим — зупинення серця і настає смерть.

Асфіксія може виникнути внаслідок стискання (рукою, шнурком) гортані і трахеї (задушення), заповнення гортані і трахеї водою (утоплення), слизовими масами, блювотинням, землею; закривання входу в гортань чужорідним тілом чи запалим язиком (при наркозі або без свідомості); параліч дихального центру від отрути, вуглекислого газу, снодійних засобів; внаслідок прямої травми головного мозку (електрошок, блискавка, рана); внаслідок дифтерії, грипу, ангіни.

При рятуванні втопленика його беруть за волосся, перевертають лицем догори і пливуть, не даючи зачепити себе. Потерпілого кладуть животом на зігнуте коліно так, щоб голова була нижче грудної клітки, видаляють з ротової порожнини і гортані воду, блювотні маси, водорості.

Енергійно стискають грудну клітку, видаляють воду з трахей і бронхів. В утопленника параліч легенів настає через 4-5 хв., а серце працює 15 хв. Тоді потерпілого кладуть на рівну поверхню, роблять штучне дихання і непрямий масаж серця.

При набряку гортані спостерігається шумне затруднення дихання, посиніння шкіри. Накладають холодний компрес на карк, ноги занурюють в

гарячу воду. Підшкірно вводять 1 мл. 2% розчину димедролу. При потребі лікарі роблять трахіостомію — вводять трубку в розсічену трахею.

При заваленні землею стискається грудна клітка й ускладнюється відтік крові, тиск крові у венозній системі зростає, що призводить до розриву дрібних вен обличчя і шиї. Різко погіршується дихання. Розвивається синдром травматичного роздавлення. В тканинах накопичуються токсичні речовини, які викликають важку інтоксикацію, аніроз, порушують функції серця, печінки, нирок. При потребі очищують рот, гортань, накладають джгути, терміново транспортують в стаціонар.

## РОЗДІЛ 8 ЕКОЛОГІЯ

### 8.1 Актуальність охорони навколишнього середовища

Соціально-економічний розвиток людства неминує супроводжується посиленням антропогенної дії на навколишнє середовище, що спричиняє за собою підрив його здатності до самовідновлення. Останнім часом у зв'язку з прискоренням темпів науково-технічного прогресу спостерігаються явні ознаки екологічної кризи, що виявляється в деградації навколишнього середовища, збідненні генетичного фонду планети, виснаженні природно-ресурсного потенціалу і зрештою - погіршення якості життя населення. Сьогодні світова громадськість усвідомлює життєву необхідність переходу людства на модель стійкого розвитку, що припускає інтегроване рішення соціальних, екологічних, технічних і економічних проблем з метою забезпечення зростання добробуту сьогоденного і майбутнього покоління людей.

У цих умовах особливої значущості набуває природоохоронна діяльність, направлена на зниження і запобігання негативній антропогенній дії на навколишнє середовище, збереження, поліпшення і раціональне використання природних ресурсів. Здійснення природоохоронної діяльності відбувається на різних рівнях: міжнародному, національному, регіональному, муніципальному і корпоративному. Проте заходи в області захисту природи в першу чергу слід проводити безпосередньо на підприємствах, які з одного боку виступають основними елементами виробництва, а з іншого боку - головним джерелом екологічної небезпеки.

Згідно з законами України «Про охорону навколишнього природного середовища» та «Про екологічну експертизу» кожен проект, що розробляється, необхідно проаналізувати з метою виявлення негативного впливу на довкілля, встановлення ступеня енерго та матеріалозбереження, а також ступеня використання сучасних методів захисту довкілля.

## 8.2 Електромагнітне забруднення довкілля, його вплив на людину

На екологічний стан довкілля впливають не тільки речовинні фактори, а й не речовинні - різноманітні польові форми матерії - це електромагнітні випромінювання, які можуть впливати на хімічну будову речовини, і передусім живої. Тобто це фізичні фактори, але їх дія проявляється на молекулярному, хімічному рівні і тому їх виділяють в групу фізико-хімічних забруднень.

Електромагнітна обстановка в населених пунктах створюється великою кількістю радіотехнічних та електротехнічних засобів господарського, оборонного та іншого призначення. Головними джерелами електромагнітного випромінювання є радіо-, телевізійні, радіолокаційні об'єкти та високовольтні лінії електропередачі, електротранспорт, побутові пристрої, телевізійні центри, ретранслятори, радіоцентри, засоби радіозв'язку різного призначення. Рівень електромагнітних випромінювань у населених (діапазон радіочастот об'єктів випромінювання може змінюватися від 50— 100 Гц до 100 ГГц) часто перевищує допустимі гігієнічні норми і є шкідливим здоров'ю людей.

Електромагнітне поле навколо джерела випромінювання хвиль умовно поділяється на три діапазони:

- ближня (зона індукції);
- проміжна (зона інтерференції);
- дальня (хвильова або зона випромінювання).

Значним джерелом ЕМП є струми промислової частоти 50Гц. Під ЛЕП напруженість може досягти декількох тисяч вольт на метр. Хвилі такого діапазону сильно поглинаються землею, тому вже через 50-100м від лінії електропередач напруженість зменшується до сотень і навіть десятків В/м.

Мірою забруднення електромагнітними полями є напруженість поля (В/м). Електромагнітні поля завдають шкоди перш за все нервовій системі. Напруженість поля 1000 В/м спричинює головний біль і сильну втому, більші значення зумовлюють розвиток неврозів, безсоння, важкі захворювання.

На основі медико-біологічних досліджень розроблені санітарні норми та правила щодо радіотехнічних і електротехнічних об'єктів ДСН 239-96 (Правила

захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань). Вони регламентують умови експлуатації з метою охорони населення від шкідливого впливу електромагнітних випромінювань. Зростання енергетичних потужностей становить небезпеку для довкілля - розширюється мережа та зростає напруга повітряних ліній електропередач.

Гранично допустимі рівні електромагнітних полів згідно ДСН 239-96 показані в таблиці 8.1.

*Таблиця 8.1*

Гранично допустимі рівні електромагнітних полів.

№ діапазону	Метричний розподіл діапазонів	Частоти	Довжини хвиль	ГДР
5	Кілометрові хвилі (низькі частоти, НЧ)	30-300 кГц	10-1км	25 В/м
6	Гектаметрові хвилі (середні частоти, СЧ)	0,3-3 МГц	1-0,1км	15 В/м
7	Декаметрові хвилі (високі частоти, ВЧ)	3-30 МГц	100-10 м	3В/м
8	Метрові хвилі (дуже високі частоти, ДВЧ)	30-300 МГц	10-1 м	3 В/м

Ступінь і характер впливу ЕМП на організм людини залежать від: інтенсивності випромінювання, частоти коливань, площі поверхні тіла, що опромінюється, індивідуальних особливостей організму, режиму опромінення (безперервний чи переривчастий), тривалості впливу, комбінованої дії інших факторів виробничого середовища.

Випромінювання високих частот зумовлює в організмі зміну умовно-рефлекторної діяльності (гальмування умовних і безумовних рефлексів), падіння кров'яного тиску, уповільнений пульс. Постійний вплив опромінення і особливо надвисоких частот (НВЧ) може призвести до стійких функціональних змін у центральній нервовій і серцево-судинній системах.

В зоні випромінювання, енергія ЕМП частково поглинається тілом людини. Під дією ВЧ полів у тканинах виникають ВЧ струми, що супроводжуються тепловим ефектом. Електромагнітні поля при тривалому впливі можуть викликати підвищену стомлюваність, дратівливість, головний біль чи

сонливість, порушення сну, зниження кров'яного тиску, зміну температури тіла, розлад центральної нервової і серцево-судинної систем. Поля НВЧ, особливо сантиметрового і міліметрового діапазонів, викликають також зміни в крові, помутніння кришталика (катаракта), погіршення нюху, а в окремих випадках - трофічні явища: випадіння волосся, ламкість нігтів.

Порушення органів людини, зумовлені впливом ЕМП, є оборотними, якщо припинити опромінення; але варто враховувати, що оборотність функціональних зрушень не є безмежною і визначаються інтенсивністю опромінення, тривалістю впливу, а також індивідуальною особливістю організму. Тому профілактика професійних захворювань повинна передбачати, поряд з розробкою технічних засобів захисту, організаційні заходи.

У діапазонах промислової частоти, радіочастот, інфрачервоного і частково ультрафіолетового світла (до частоти  $3 \cdot 10^{16}$  ступені Гц) електромагнітні поля чинять тепловий вплив. У діапазоні частот рентгенівського спектра і вище ЕМП настільки змінюють енергію атомів, що їх називають іонізуючими.

Тепловий вплив ЕМП пояснюється, тим що тіло людини складається з клітин, що містять рідину (протоплазма, кров, лімфа та ін.), яка є електролітом. Під дією зовнішнього постійного електричного поля тканини живого організму поляризуються. Дипольні молекули (наприклад води) та іони, що містяться у рідкому середовищі, переміщуються й орієнтуються за напрямком силових ліній зовнішнього поля. У змінному ЕМП електричні властивості живих клітин залежать від частоти випромінювання, і в міру її збільшення вони набувають властивостей провідників. Крім струмів провідності, змінне ЕМП призводить до змінної поляризації діелектричних складових організму (сухожилля, хрящі тощо). До того ж може мати місце резонансне поглинання енергії. Найбільш небезпечними для організму людини є частоти до 1000 Гц, оскільки вони збігаються з частотами енергетичних центрів. Зокрема частоти від 3 до 50 Гц збігаються з частотним ритмом мозку.

Активність впливу полів різних діапазонів частот зростає з ростом частоти і дуже серйозно впливає у НВЧ діапазоні. У цьому діапазоні працюють багато теле-та радіостанцій, а також майже усі радіорелейні станції, радіолокатори.



НВЧ випромінювання поширюється у межах прямої видимості. На деяких ділянках діапазону НВЧ хвилі розсіюються молекулами кисню, атмосферними опадами, що обмежує дальність їх поширення. У апаратурі, що використовує НВЧ діапазон, його використання пов'язане із зменшенням перешкод та більш високої якості передачі інформації ніж у УВЧ діапазоні. Але, слід зазначити, що сучасна побутова та корпоративна апаратура зв'язку досить широко використовує саме УВЧ діапазон. У ньому працює більшість телефонів мобільного зв'язку, безпроводні комп'ютерні мережі, транкінгові радіостанції та інше. Це насамперед пов'язане з небезпекою використання апаратури, яка працює у діапазонах високих частот в безпосередній близькості від людини.

Через те, що випромінювання НВЧ при поглинанні середовищем, яким є поганий провідник, спричиняє його нагрівання, цей діапазон дуже широко використовують у промислових установках.

При інтенсивності поля близько  $20 \text{ мкВт/см}^2$ , що діє на людину спостерігається зменшення частоти пульсу, зниження артеріального тиску. Ця дія більш сильна у людей, що вже підпадали під подібне опромінення. З ростом інтенсивності проявляються електрокардіографічні зміни. Потім відмічається прискорення пульсу, коливання об'єму крові. При досяганні відмітки інтенсивності у  $6 \text{ мВт/см}^2$  відмічають зміни у статевих залозах, у крові та помутніння кришталика. Далі можуть почати відчуватися навіть такі страшні симптоми, як розриви капілярів і крововиливи у легені та печінку. Подальше опромінення помітно впливає на тканини, викликає больові почуття. Якщо інтенсивність перевищує  $1 \text{ Вт/см}^2$ , це спричиняє швидку втрату зору. Пошкодження органів зору, до речі, являє собою один з найсерйозніших ефектів спричинених електромагнітними полями СВЧ діапазону. На низьких частотах такі ефекти не спостерігаються, тому вони є специфічними саме для СВЧ діапазону. Ступень ушкодження внаслідок ураження електромагнітним полем СВЧ діапазону може бути різною і частіше залежить від інтенсивності опромінення та часу його дії. Ушкодження зору спричиняє напруженість поля, яка зменшується з ростом частоти.

### 8.3 Захист від впливу електромагнітних полів

Основними шляхами при розробці засобів захисту від впливу ВЧ і НВЧ полів є зменшення випромінювання ЕМП безпосередньо від самого джерела, є найефективнішим засобом захисту обслуговуючого персоналу, що регулює, настроює й проводить випробування передавачів радіолокаційних станцій і генераторів НВЧ. Для цього замість антени підключають узгоджене з вихідним каскадом передавача навантаження - еквівалент антени (поглинач потужності). В еквіваленті антени генеруюча енергія цілком поглинається, не порушуючи режим роботи генератора НВЧ. Поглинаючі елементи еквівалентів антен виконують клинчастої, східчастої або конусоподібної форми. Випромінювання НВЧ енергії в простір при застосуванні еквівалентів антен зменшується більше, ніж на 50дБ, тобто в 100000 разів порівняно з випромінюванням за допомогою антени. Також, засобом захисту від впливу ВЧ і НВЧ є зменшення інтенсивності ЕМП у робочій зоні НВЧ може здійснюватись шляхом екранування джерел випромінювання металевими суцільними і сітчастими екранами. Інтенсивність випромінювання може бути знижена також за допомогою поглинаючих покриттів. Електромагнітне поле в металевому екрані наводить вихрові струми, що створюють ЕМП, протилежне екрану. Товщину суцільного металевого екрана вибирають з конструктивних міркувань, тому що глибина проникнення електромагнітної ВЧ і НВЧ енергії невелика. Екран товщиною 0,01 мм послабляє енергію поля на 50 дБ (у 100000 разів).

Генератори НВЧ енергії можуть екрануватися цілком (замкнутий екран) чи частково (незамкнутий екран). Якщо біля джерела випромінювання є ненаправлене паразитне випромінювання невеликої інтенсивності, наприклад, витік через нещільності фланцевих сполук хвилеводних трактів, вентиляційні щілини і т. ін., то екранують джерело випромінювання цілком (рис.8.1,а). Якщо ж випромінювання гостронаправлене, то застосовуються незамкнені екрани, у яких енергія НВЧ поглинається в покритті (рис.8.1, б), не проникаючи за бічні і задню стінку екрана.

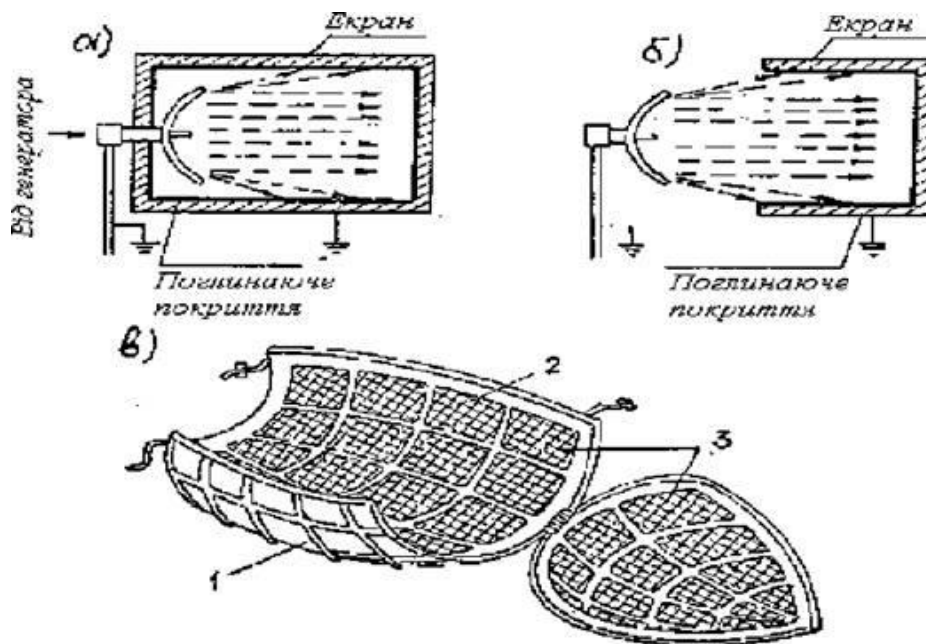


Рисунок 8.1 – Екрани: а - повне екранування; б - незамкнений екран;  
 в - кожух, що екранує; 1 - металева конструкція; 2 - нерухомий кожух; 3 -  
 поглинаючі покриття.

Поглинаючі екрани (покриття) застосовуються у випадках, коли відбита електромагнітна енергія від внутрішніх поверхонь суцільних металевих екранів може істотно порушити режим роботи НВЧ генератора. Тому поглинаючі покриття повинні по можливості цілком поглинати енергію. Це досягається відповідним підбором діелектричної і магнітної проникності поглинаючого матеріалу. Як поглинаючі покриття застосовують гумові килимки з конічними шипами В2Ф-2, В2Ф-1, що поглинають електромагнітну енергію в діапазоні 0,8-4 см; магнітоелектричні пластини ХВ-0,8, ХВ-2,0, ХВ-3,2, ХВ-10,6 - поглинаються хвилі 0,8-10,6 см; поглинаючі покриття на основі поролону ВРПМ, поглинають хвилі в діапазоні 0,8-3 см. Для послаблення щільності потоку потужності НВЧ випромінювання на 20-30 дБ ( $10^2$ - $10^3$  разів) застосовують сітчасті металеві екрани. Стички між металевими листами повинні з'єднуватися електрично надійно пайкою чи зварюванням по всьому периметру, а знімні чи рушійні частини екранів (двері, оглядові вікна) повинні мати електричний контакт із нерухомою частиною екрана.

Екранування робочого місця передбачають у тих випадках, коли зниження інтенсивності випромінювання безпосередньо біля джерела чи його екранування

зумовлює технічні ускладнення. Екранування робочого місця виконують у вигляді незамкненого екрана чи спеціальної кабіни, звідки керують роботою чи настроюванням установки.

Індивідуальні засоби захисту від ЕМП НВЧ використовують спеціальний одяг - комбінезони, халати, каптури. Матеріалом для цього одягу служить бавовняна тканина з тонкими металевими нитками, що утворюють сітку. Тканина арт.4381 здатна послабляти потужність випромінювання в діапазоні 0,8-10 см на 20-38 дБ. Для захисту очей застосовують захисні окуляри ОРЗ-5. Скло окулярів покрите тонкою прозорою плівкою двоокису олова  $\text{SnO}_2$ . Оправа - пориста гума із запресованою металевією сіткою.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті виконання роботи отримано наступні результати.

Проаналізовано канали передачі даних в телекомунікаційних системах, зокрема цифрової форми передачі голосових сигналів в області комп'ютерної чи IP-телефонії. Проаналізовано параметри голосових сигналів, від яких залежить якість отримуваних сигналів. При цьому встановлено, що спектральна характеристика каналу передачі даних може значно спотворювати спектральний склад передаваних голосових сигналів, тим самим погіршувати якість зв'язку.

Одним із методів якісного оцінювання параметрів каналів передачі мовних сигналів є оцінювання розбірливості мови при порівнянні окремих параметрів переданих та прийнятих по цьому каналу мовних повідомлень.

Проаналізовано відомі методи оцінювання розбірливості мови. Встановлено, що їх можна розділити на об'єктивні та суб'єктивні. Для дослідження використано об'єктивні методи, які попри вищу складність практично не містять впливів людського фактору на результат вимірювань та придатні для автоматизації.

Запропоновано метод оцінювання розбірливості, який полягає в генеруванні тестових сигналів, передачі їх по каналам зв'язку та за результатами порівняння параметрів вхідного та вихідного сигналів оцінюванні розбірливості мови. При цьому запропоновано алгоритми генерування тестових сумішей голосового сигналу, який попередньо реєструється, та шумів із наперед заданими співвідношеннями сигнал/шум.

Запропоновано структурну схему процедури об'єктивного вимірювання розбірливості мови, що передбачає запис тестових голосових сигналів, генерування маскуючого шуму, формування суміші голосового сигналу і шуму із визначеним співвідношенням сигнал-шум, проведення багатоканальної фільтрації голосового сигналу та шуму та оцінюванням відношень сигнал-шум на частотних смугах визначених октав і вимірювання словесної розбірливості

мови. Проведено моделювання окремих функціональних елементів цієї схеми в середовищі Matlab.

## Бібліографія

1. Хорев А.А. Технические каналы утечки акустической (речевой) информации (<http://st.ess.ru/publications/articles/tspi/tspi.htm>)
2. Хорев А.А. Классификация и характеристика технических каналов утечки информации, обрабатываемой ТСПИ и передаваемой по каналам связи (<http://st.ess.ru/publications/articles/tspi/tspi.htm>)
3. ОАО “Электрозавод”, Лаборатория 11 (<http://lab11.ess.ru/index.htm> ) Система комплексной защиты “СКИТ-М” и трехканальный генератор виброакустических помех.
4. Барсуков В.С. Интегральная защита информации (<http://st.ess.ru/publications/articles/tspi/tspi.htm>)
5. Барсуков В.С. Интегрированная защита специальных экранированных помещений (<http://st.ess.ru/publications/articles/tspi/tspi.htm>)
6. Покровский Н.Б. Расчет и измерение разборчивости речи. – М.,Связьиздат,1962,390с.
7. ГОСТ Р 50840-95. Государственный стандарт Российской Федерации. Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости. Издание официальное. – М.: Госстандарт России, 1997.
8. Сапожков М.А. Речевой сигнал в кибернетике и связи. – М.,Связьиздат,1963.
9. Вахитов Я.Ш. Слух и речь. – Л., изд.ЛИКИ, 1973.
10. Сапожков М.А., Михайлов В.Г. Вокодерная связь. –М.,Радио и связь,1983,247с.
11. Железняк В.К., Макаров Ю.К.,Хорев А.А. Некоторые методические подходы к оценке эффективности защиты речевой информации//Специальная техника. – М.: 2000.– № 4.
12. Хорев А.А., Макаров Ю.К. К оценке эффективности защиты акустической (речевой) информации (<http://st.ess.ru/publications/articles/tspi/tspi.htm>)

13. Котович А.Е., Рябенкий В.М. Спектрально-адаптированные нормы защиты речевой информации от утечки по акустическому каналу. – Безопасность информации, №1(9), 1998, сс.32-35.
14. Хекл М., Мюллер Х.А. Справочник по технической акустике. – Л., Судостроение, 1980.
15. Каргашин В.Л. Проблемы активной защиты виброакустических каналов (<http://st.ess.ru/publications/articles/tspi/tspi.htm>)
16. Применение цифровой обработки сигналов. Под ред. Оппенгейма. – М., Мир, 1980, 544с.
17. Дідковський В.С., Луньова С.А. Основи архітектурної і фізіологічної акустики. – К., 2001
18. Семенов В.Ю. Разработка адаптивных методов коррекции речевых сигналов на основе авторегрессионной модели голосового тракта. – Диссертация канд.техн.наук, К., 2004, 172с.
19. Ковалгин Ю.А., Володин Э.И. Цифровое кодирование звуковых сигналов. С-Пб, КОРОНА принт, 2004, 231с.



## ДОДАТКИ

Текст програми генерування адитивної суміші мовного сигналу з шумом із заданим відношенням сигнал-шум  $SNR_0 = -18\text{дБ}$

```
% суміш сигнал+БШ  $SNR_0 = -18$  дБ
SNR0 = -18;
Dn = var (noise)% вимірювання дисперсії згенерованого шуму
sig = wavread ('rech3_11kHz'); % Читання сигналу в робочий простір Matlab
Ds = var (sig)% вимірювання дисперсії сигналу
SNR = 10 * log10 (Ds / Dn)% вимірювання відношення сигнал-шум
k = 10 ^ (0.05 * (SNR0-SNR)); % Коригувальний коефіцієнт
signal = sig * k; % Сигнал з скоригованим рівнем
mix_18 = signal + noise; % Суміш із заданим відношенням сигнал-шум
SNR0
sound (mix_18,11025); % Прослуховування суміші
plot (mix_18)% побудова графіка суміші

% Побудова графіків спектрів шуму, сигналу і суміші
% Спектр шуму
figure; [Gn, f] = pwelch (noise, hamming (1023), 512,1024,11025);
plot (f, 10 * log10 (Gn), '- b'); grid on; title ('Спектри потужності для SNR0 =
-18 дБ');
xlabel ('Частота, Гц'); ylabel ('Рівень, дБ');
% Спектр сигналу
hold on; [Gs_18, f] = pwelch (signal, hamming (1023), 512,1024,11025);
plot (f, 10 * log10 (Gs_18), 'r');
% Спектр суміші
hold on; [Gmix_18, f] = pwelch (mix_18, hamming (1023), 512,1024,11025);
plot (f, 10 * log10 (Gmix_18), 'm');
```

## Обчислення формантної і словесної розбірливості мови

```

% ===== вхідні дані: =====
i = 1: 5;
Q (1) = q1 (1,1, end); Q (2) = q2 (1,1, end); Q (3) = q3 (1,1, end); Q (4) = q4
(1,1, end); Q (5) = q5 (1,1, end);
f0 = [250; 500; 1000; 2000; 4000]; % Центральні частоти смуг аналізу
fn = [180; 355; 710; 1400; 2800]; % Нижні граничн.частоти смуг аналізу
fv = [355; 710; 1400; 2800; 5600]; % Верхні граничн.частоти смуг аналізу
%
% ===== рівні відчутт. =====
for i = 1: 5
    if f0 <= 1000
        E (i) = Q (i) - (200 / f0 (i). ^ 0.43-0.37);
    else
        E (i) = Q (i) - (1.37 + 1000 / f0 (i). ^ 0.69);
    end
end
%
% ===== коеф.сприйн. =====
for i = 1: 5
    if E (i) <= 0
        P (i) = (0.78 + 5.46 * exp (-4.3 * 10 ^ (- 3) * (27.3-abs (E (i))). ^ 2)) / (1 +
10 ^ (0.1 * abs (E (i))));
    else
        P (i) = 1 (0.78 + 5.46 * exp (-4.3 * 10 ^ (- 3) * (27.3-abs (E (i))). ^ 2)) / (1
+ 10 ^ (0.1 * abs (E (i))));
    end
end
%
% ===== частоти формант =====
for i = 1: 5
    if f0 (i) <= 400
        pv (i) = 2.57 * 10 ^ (- 8) * (fv (i). ^ 2.4-fn (i). ^ 2.4);
    else
        pv (i) = 1.074 * (exp (-10 ^ (- 4) * fn (i). ^ 1.18) -exp (-10 ^ (- 4) * fv (i). ^
1.18));
    end
end
%
% ===== артикуляційна (формантна) розбірливість =====
A = sum (pv. * P);
%

```

```
% ===== словесна розбірливість =====  
if A < 0.15  
    W = 1.54 * A ^ 0.25 * (1 - exp(-11 * A));  
else  
    W = 1 - exp(-11 * A / (1 + 0.7 * A));  
end  
% Вивід результатів на дисплей  
disp('Формантн.розбірл. ='), disp(A);  
disp('Словесн. розбірл. ='), disp(W);
```

## М-скрипт розрахунку гребінки з п'яти октавних еліптичних фільтрів

```

% === програма filgreb_ellip_prog.m - синтез гребінки еліптич.фільтрів ===
% Fs - частота дискретизації
% A - матриця коефіцієнтів фільтра (номер рядка - номер фільтра)
% Len_a - макс.кільк. коеф-тів
% === параметри фільтрів ===
Fs = 22050;
Dstop = 0.001; % Рівень загасання в смугах затримання
Dpass = 0.057501127785; % Нерівномірність в смузі пропускання
dens = 16; % Фактор щільності
Fstop1 = [160 340 680 1375 2760]; % Гранична частота першої смуги
затримання
Fpass1 = [180 360 710 1420 2810]; % Нижня гранична частота смуги
пропускання
Fpass2 = [355 700 1410 2775 5450]; % Верхня гранична частота смуги
пропускання
Fstop2 = [365 720 1440 2850 5500]; % Гранична частота другої смуги
затримання
%
% === розрахунок коефіцієнтів 1-го фільтра ===
[N, Fo, Ao, W] = remezord ([Fstop1 (1) Fpass1 (1) Fpass2 (1) Fstop2 (1)] /
(Fs / 2), [0 1 ...
0], [Dstop Dpass Dstop]); % Розрахунок порядку фільтра
a = remez (N, Fo, Ao, W, {dens}); % Розрахунок коефіцієнтів фільтра
len_a = length (a); % Довжина вектора коеф-тів 1-го фільтра
%
% === розрахунок коефіцієнтів 2-5-го фільтрів ===
for k = 2: 5
[N, Fo, Ao, W] = remezord ([Fstop1 (k) Fpass1 (k) Fpass2 (k) Fstop2 (k)] / (Fs
/ 2), [0 1 ...
0], [Dstop Dpass Dstop]); % Розрахунок порядку фільтра
a1 = remez (N, Fo, Ao, W, {dens}); % Розрахунок коефіцієнтів фільтра
dif_len = len_a - length (a1); % Різниця довжин векторів коеф-тів
zer_a = zeros (1, dif_len); % Масив нулів
a1 = [a1 zer_a]; % Дописування масиву нулів
a2 = circshift (a1, [0 round (dif_len / 2)]); % Циклічний зсув
% A2 = a1; % Циклічний зсув відсутній
a = [a; a2];
end

```

## М-скрипт тестування гребінки білим шумом

```
% ===== програма testnois.m - тестування гребінки білим шумом =====  
T = 14; % Тривалість реалізації шуму в секундах  
NT = T * Fs; % Кількість вибірок шуму  
%  
% Генерув.білого шуму  
noise = randn (1, NT);  
%  
% Фільтрації шуму і підсумовування відгуків  
y = filter (a1,1, noise) + filter (a2,1, noise) + filter (a3,1, noise) + filter (a4,1,  
noise) + filter (a5,1, noise);  
%  
% Спектр потужності суми відгуків  
nfft = 2048;  
wind = boxcar (nfft);  
[Pyy, f] = pwelch (y, wind, nfft / 2, nfft, Fs);  
figure; plot (f, 10 * log10 (Pyy)); grid on;  
title ('Спектр потужн.греб.фільтрів');  
xlabel ('Частота, Гц'); ylabel ('Рівень, дБ');
```

## М-скрипт генерування пофарбованого шуму

```
% ==== color_n.m - підпрограма генерув.зabarвленого шуму ====
% C - вектор вагових коефіцієнтів
% Y - пофарбований шум (вихідний сигнал даної програми)
% ==== задання коефіцієнтів з =====
% C = [1 1 1 1 1]; % білий шум
c = [2 sqrt (2) 1 + 1 / sqrt (2) 1/2]; % Рожевий шум
% C = [4 2 1 1/2 1/4]; % Коричневий шум
% ===== генерування білого шуму =====
n = randn (1, length (s) + len_a);
% ===== фільтрація =====
nk = [];
for I = 1: 5
    nk1 = filter (a (I, :), 1, n);
    nk = [nk; nk1];
end
% ===== зважене підсумовування =====
y = c * nk;
y (1: len_a) = []; % Відкидання перших len_a неправильних відліків
tn = 0: 1 / Fs: (length (s) - 1) / Fs;
figure; plot (tn, y);
title ( 'Перешкода');
% ==== графік спектра потужності перешкоди ====
[Gy, f] = pwelch (y, hamming (nfft-1), 512, nfft, Fs);
figure; plot (f, 10 * log10 (Gy)); title ( 'Спектр потужності перешкоди');
grid on;
```

## ДОДАТОК Е

```
% ===== mix.m ===== програма створення суміші сигнал + шум із заданим SNR0
SNR0 = 0;
Dn = var (y)% вимірювання дисперсії згенерованого шуму
Ds = var (s)% вимірювання дисперсії сигналу
SNR = 10 * log10 (Ds / Dn)% вимірювання мають відношення сигнал-шум
k = 10 ^ (0.05 * (SNR-SNR0)); % Коригувальний коефіцієнт
y1 = y * k; % Шум з скоригованим рівнем
mix = s + y1'; % Суміш із заданим відношенням сигнал-шум SNR0
figure; plot (t, mix)% побудова графіка суміші
title ( 'Суміш сигналу з шумом');
% Побудова графіків спектрів шуму, сигналу і суміші
figure; [Gy1, f] = pwelch (y1, hamming (nfft-1), 512, nfft, Fs);
plot (f, 10 * log10 (Gy1), '- b'); grid on;
title ( 'Спектри потужності'); xlabel ( 'Частота, Гц'); ylabel ( 'Рівень, дБ');
hold on; plot (f, 10 * log10 (Gs), 'r');
hold on; [Gmix, f] = pwelch (mix, hamming (nfft-1), 512, nfft, Fs);
plot (f, 10 * log10 (Gmix), 'm');
legend ( 'спектр шуму', 'спектр сигналу', 'спектр суміші')
```



Програма обчислення залежності словесної розбірливості від інтегрального відношення сигнал-шум

```
% === razb_prog.m - програма обчислення залежності  $W = W(\text{SNR})$  ===
% === пооктавна фільтрація мови ===
sk = [];
for j = 1: 5
    sk1 = filter (a (j, :), 1, s);
    sk = [sk; sk1];
end
W = [];
% === циклічна зміна інтегрального SNR ===
SNR0 = -12: 4: 4; % Задання необхідного інтегрального відношення сигнал
/ шум:
for i = 1: length (SNR0)% визначення числа ітерацій циклу
    k = 10 ^ (0.05 * (SNR-SNR0 (i))); % Коригувальний коефіцієнт для шуму
в октавах
    y1 = y * k; % Шум з скоригованим інтегральним рівнем
    mix = s + y1 '; % Суміш мови з шумом
% === пооктавна фільтрація шуму ===
yk = [];
for j = 1: 5
    yk1 = filter (a (j, :), 1, y1);
    yk = [yk; yk1];
end
% === Обчислення  $q_i$  - октавних відношень сигнал / шум ===
Dsk = var (sk ');
Dyk = var (yk ');
q = 10 * log10 (Dsk./Dyk);
% === обчислення  $W$  - словесної розбірливості ===
W1 = razb1 (q);
W = [W W1];
end
% === Побудова графіка  $W = W(\text{SNR})$  ===
figure; plot (SNR0, W);
title ('Залежність словесної розбірливості від відношення сигнал-шум');
function W = razb1 (Q)
% =====
% Обчислення формантної і словесної розбірливості
% =====
% ===== вхідні дані: =====
```

```

f0 = [250; 500; 1000; 2000; 4000]; % Центральні частоти смуг аналізу
fn = [180; 355; 710; 1400; 2800]; % Нижні граничн.частоти смуг аналізу
fv = [355; 710; 1400; 2800; 5600]; % Верхні граничн.частоти смуг аналізу
%
% ===== рівні відчуття =====
for i = 1: 5
    if f0 (i) <= 1000
        E (i) = Q (i) - (200 / f0 (i). ^ 0.43-0.37);
    else
        E (i) = Q (i) - (1.37 + 1000 / f0 (i). ^ 0.69);
    end
end
%
% ===== коеф.сприйн. =====
for i = 1: 5
    if E (i) <= 0
        P (i) = (0.78 + 5.46 * exp (-4.3 * 10 ^ (- 3) * (27.3-abs (E (i))). ^ 2)) / (1 +
10 ^ (0.1 * abs (E (i))));
    else
        P (i) = 1 (0.78 + 5.46 * exp (-4.3 * 10 ^ (- 3) * (27.3-abs (E (i))). ^ 2)) / (1
+ 10 ^ (0.1 * abs (E (i))));
    end
end
%
% ===== частоти формант =====
for i = 1: 5
    if f0 (i) <= 400
        pv (i) = 2.57 * 10 ^ (- 8) * (fv (i). ^ 2.4-fn (i). ^ 2.4);
    else
        pv (i) = 1.074 * (exp (-10 ^ (- 4) * fn (i). ^ 1.18) -exp (-10 ^ (- 4) * fv (i). ^
1.18));
    end
end
%
% ===== артикуляційна (формантна) розбірливість =====
A = sum (pv. * P);
%
% ===== словесна розбірливість =====
if A <0.15
    W = 1.54 * A ^ 0.25 * (1-exp (-11 * A));
else
    W = 1-exp (-11 * A / (1 + 0.7 * A));
end

```

УДК 612.78

**С. Шиндін, А. Згуровський**

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

## **ОЦІНЮВАННЯ РОЗБІРЛИВОСТІ МОВИ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ**

Під комунікацією сьогодні розуміють процес обміну (прийому/передачі) інформації між декількома особами, а як спосіб спілкування – комунікація може реалізуватись із застосуванням вербальних та невербальних методів [1]. На початках розробки технічних засобів обміну даними питання комунікації носили практичний характер, однак з появою поняття масової комунікації стало необхідним провести означення суб'єктів комунікаційного процесу, параметрів каналів обміну даними тощо. При цьому застосовуються різні методи моделювання з метою відтворення основних елементів і функціональних характеристик комунікаційних процесів.

В області лінгвістики відомою є лінійна модель, запропонована Клодом Шеноном [1], яка включає в себе такі основні елементи процесу комунікації, як джерело інформації, передавач, канал передачі, приймач і кінцеву мету, які розміщені в лінійній послідовності. Доповнена модель Шенона включає джерело інформації, кодер (кодуючий пристрій), повідомлення, канал передачі даних, декодер (декодуючий пристрій) та приймач [1]. Ця модель застосовується сьогодні найбільш широко а її елементи реалізуються у вигляді проміжних ланок передачі даними в системах радіозв'язку, телефонії, телекомунікаційних технологій тощо. В зазначених випадках джерелом та кінцевим споживачем інформації зазвичай є людина а повідомленням є голосові сигнали. І якщо якість та ефективність роботи кодерів, передавачів, декодерів та приймачів таких сигналів постійно зростає, то актуальним є підвищення якості каналів передачі даних, що в кінцевому випадку визначатиме якість та ефективність роботи усієї комунікаційної системи.

У випадку каналів передачі голосових (мовних) сигналів, якісним показником телефонної, радіотелефонної, телекомунікаційної техніки тощо є якість передачі голосових сигналів при використанні такої техніки окремими абонентами [2]. При цьому, якість таких сигналів може бути оцінена якісними та кількісними показниками, які в сукупності визначають розбірливість мови [2]. Враховуючи той факт, що сам процес, який підлягає передачі, та фактори, що можуть на нього впливати, є настільки різноманітними, що необхідним є розроблення та наступне застосування статистичних методів оцінювання розбірливості мови, які давали б стійкі ознаки самого процесу передачі голосових сигналів.

В дослідженнях пропонується метод оцінювання розбірливості мови, який полягає в тестуванні каналів передачі із застосуванням тестових голосових сигналів та маскуючого шуму з різними характеристиками (білого, коричневого, рожевого тощо) та спосіб оцінювання кількісних статистичних показників каналу передачі даних, що ґрунтується на оцінюванні параметрів прийнятого тестового голосового сигналу та такого сигналу в суміші із різними типами та параметрами маскуючого шуму.

### **Література.**

1. Кашкин В.Б. Введение в теорию коммуникации: Учеб. пособие. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2000. – 175 с.
2. Покровский Н.Б. Расчет и измерение разборчивости речи. – М.,Связьиздат,1962,390с.