

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

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

«На правах рукопису»
УДК 620.19

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Анатолій ПРОТАСОВ

« ____ » _____ 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані
технології та системи неруйнівного контролю і діагностики»
зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»**

**на тему: «Автоматизована система для контролю багатошарових
конструкцій методом вільних коливань»**

Виконав:

студент II курсу, групи ПК-91мп
Тасаж Владислав Сергійович _____

Науковий керівник:

к.т.н. доцент, Галаган Роман Михайлович _____

Консультант з стартап-проекту:

д.е.н, доцент, Бояринова Катерина Олександрівна _____

Рецензент:

к.т.н., доц. Богомазов Сергій Анатолійович _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

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

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

«На правах рукопису»
УДК 620.19

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

Анатолій ПРОТАСОВ

« » 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані
технології та системи неруйнівного контролю і діагностики»
зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»

на тему: «Автоматизована система для контролю багатошарових
конструкцій методом вільних коливань»

Виконав:

студент II курсу, групи ПК-91мп
Тасаж Владислав Сергійович

Науковий керівник:

к.т.н. доцент, Галаган Роман Михайлович

Консультант з стартап-проекту:

д.е.н. доцент, Бояринова Катерина Олександрівна

Рецензент:

к.т.н., доц. Богомазов Сергій Анатолійович

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент

Київ – 2020 року

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

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно інтегровані технології та системи неруйнівного контролю і діагностики»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Анатолій ПРОТАСОВ

«__» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Тасажу Владиславу Сергійовичу

1. Тема дисертації «Автоматизована система для контролю багатошарових конструкцій методом вільних коливань», науковий керівник дисертації к.т.н. , доцент, Галаган Роман Михайлович, затверджені наказом по університету № 3234-с від 05.11.2020 року
2. Термін подання студентом дисертації: 09.12.2020р.
3. Об'єкт дослідження: процес аналізу збуджених акустичних коливань за допомогою нейронної мережі.
4. Вихідні дані: генератор імпульсів NE555, середовище моделювання Matlab
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Огляд методів контролю багатошарових конструкцій, актуальність та сфери застосування методу вільних коливань. Розробка та отримання моделі робочого прототипу. Збір та аналіз експериментальних даних.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: плакати А1 (3 шт).
7. Орієнтовний перелік публікацій: дві тези.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Розробка стартап-проектів	Бояринова Катерина Олександрівна, д.е.н., доцент		

9. Дата видачі завдання 04.09.2020

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Пошук та огляд інформаційних матеріалів	11.09.2020	Виконано
2	Аналіз отриманих даних	23.09.2020	Виконано
3	Розробка моделі автоматизованої системи по технічним вимогам	15.10.2020	Виконано
4	Розробка програмного забезпечення	01.11.2020	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	9.11.2020	Виконано

Студент

Владислав ТАСАЖ

Науковий керівник

Роман Галаган

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація включає в себе перелік умовних позначень, вступ та 5 розділів, висновки та список використаної літератури. Повний обсяг складає 114 сторінок, з 56 ілюстраціями, 27 таблицями та 29 літературними джерелами.

Дана тема є актуальною оскільки необхідність в автоматизації різко росте в різних галузях. З розвитком новітніх технологій та обчислювальної техніки стало можливим вирішення багатьох питань в сферах автоматизації та оптимізації певних процесів, які стали виконуватись набагато швидше і якісніше.

В даній магістерській дисертації було розроблено автоматизовану систему для контролю багат шарових конструкцій методом вільних коливань. Система складається з апаратної та програмної частини. За допомогою апаратної частини збуджуються акустичні коливання з певною частотою. До складу апаратної частини належать: акустичні перетворювачі, генератор імпульсів NE555 з транзисторним ключем. Програмна частина розроблена в середовищі Matlab. В ній виконуються такі функції як отримання сигналу з акустичного перетворювача, обробка (класифікація) даних за допомогою нейромережевого алгоритму ART-2 та візуалізація результатів.

Розроблена система має досить низьку собівартість тому може застосовуватися як в проведенні досліджень так і на виробництві в сферах пов'язаних з неруйнівним контролем.

Ключові слова: нейронна мережа, автоматизація, метод вільних коливань, Matlab.

ABSTRACT

The master's dissertation consists of list of notations, an introduction and 5 sections, a conclusions and a list of references. The total volume is 114 pages, with 56 illustrations, 27 tables and 29 references.

This topic is relevant because the need for automation is growing rapidly in various industries. With the development of new technologies and computer technology, it has become possible to solve many issues in the field of automation and optimization of certain processes, which began to be performed much faster and better.

In this master's dissertation an automated system for control of multilayer structures by the method of free oscillations was developed. The system consists of hardware and software. Acoustic oscillations with a certain frequency are excited by means of hardware. The hardware includes: acoustic transducers, pulse generator NE555 with a transistor key. The software part is developed in the Matlab environment. It performs such functions as receiving a signal from an acoustic transducer, processing (classification) of data using the neural network algorithm ART-2 and visualization of results.

The developed system has a fairly low cost, so it can be used both in research and in production in areas related to non-destructive testing.

Keywords: neural network, automation, free oscillation method, Matlab.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень.....	8
ВСТУП.....	9
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	10
1.1. Опис дефектів в багатошарових конструкціях	10
1.2. Огляд методів контролю багатошарових конструкцій	13
1.3. Принцип роботи метода вільних коливань	19
1.4. Існуючі прилади контролю методом вільних коливань	23
1.5. Застосування нейронних мереж при аналізі даних	27
1.5.1. Штучний нейрон	28
1.5.2. Основні типи нейронних мереж	31
1.5.2.1. Одношарова нейронна мережа (одношаровий персептрон).....	32
1.5.2.2. Багатошарові нейронні мережі.....	34
1.5.2.3. Мережі РБФ (мережі з радіальними базисними функціями).....	35
1.5.2.4. Мережі зі зворотними зв'язками	36
1.5.2.5. Мережа Кохонена	37
1.5.2.6. Мережа Хопфілда	39
1.5.2.7. Нейронні мережі АРТ (Adaptive Resonance Theory (ART)) 40	
1.5.3. Застосування моделей АРТ в методі вільних коливань.....	42
Висновки до розділу 1	46
2. РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ БАГАТОШАРОВИХ КОНСТРУКЦІЙ МЕТОДОМ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ	46
2.1. Розробка ударного перетворювача	46
2.2. Вибір електроакустичного перетворювача	51
Висновки до розділу 2	55

3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ БАГАТОШАРОВИХ КОНСТРУКЦІЙ МЕТОДОМ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ	56
3.1. Розробка архітектури програми в середовищі Matlab	56
Висновки до розділу 3	60
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	61
4.1. Опис проведеного дослідження	61
Висновки до розділу 4	64
5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	65
5.1. Представлення ідеї стартап – проекту та її технологічний аудит .	65
5.2. Ринкові можливості реалізації стартап-проекту.....	71
5.3. Розробка ринкової стратегії проекту	79
5.4. Створення маркетингової програми	81
Висновки до розділу 5.....	86
ВИСНОВКИ	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	90
ДОДАТОК.....	95

Перелік умовних позначень:

МВК	Метод вільних коливань
НК	Неруйнівний контроль
НМ	Нейронна мережа
УЗ	Ультразвуковий контроль
ОК	Об'єкт контролю
АД	Акустичний дефектоскоп
РБФ	Радіально базисна функція
АРТ	Адаптивно-резонансна теорія
УМ	Ударний механізм
ПК	Персональний комп'ютер
ПЗ	Програмне забезпечення
АЦП	Аналогово-цифровий перетворювач
ANN	Artificial neural network
SLP	Single layer perceptron
MLP	Multilayer perceptron
RNN	Recurrent neural network

ВСТУП

Розвиток технологій стрімко росте, а з ним росте і необхідність у автоматизації різних процесів. Тому жодна галузь не в змозі обійтись без автоматизації, починаючи з авіабудування і закінчуючи харчовою промисловістю. Адже правильно зібрана, систематизована і класифікована виробнича інформація є запорукою ефективності будь-якої організації.

Так чи інакше, одні з найважливіших завдань, що стоять перед будь-якими технічними підприємствами є автоматизація контролю виробів які вони створюють [1].

Оскільки участь людини в деяких процесах значно знижує продуктивність праці та погіршує якість продукції. Це особливо проявляється при контролі складних та масштабних конструкцій де потрібно провести великий обсяг роботи.

Для вирішення цих завдань застосовують різні автоматизовані системи і одним із головних напрямків подальшого розвитку є вдосконалення та оптимізація цих систем.

В даній роботі розглядається питання автоматизації в методі вільних коливань для контролю багат шарових конструкцій. Проводиться огляд та враховуються переваги та недоліки існуючих рішень. Часткова автоматизація цього методу проводиться за рахунок нейронної мережі, яка використовується в якості класифікатора та ударного перетворювача.

Реалізація цієї системи дозволить полегшити процес контролю, забезпечить пришвидшення часу його проведення та мінімізує вплив людського фактору на кінцевий результат.

Отже, необхідність в автоматизації є беззаперечно актуальним питанням в будь-якій сфері виробництва.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

Метою даного розділу є аналізування основних дефектів в багатошарових конструкціях та методи їх контролю. Опис методу вільних коливань та існуючих приладів, що його реалізують. Застосування нейромережевих алгоритмів обробки даних в неруйнівному контролі.

1.1. Опис дефектів в багатошарових конструкціях

Конструкції із композитних матеріалів останнім часом знаходять все більш широке застосування і є перспективними в багатьох галузях промисловості (машинобудуванні, авіації, космонавтиці, енергетиці та ін.). Так як забезпечують при малій масі високу міцність, жорсткість, технологічність і хороші теплоізоляційні властивості. Такі конструкції представляють собою різні комбінації не роз'ємних з'єднань між собою, шарів з металевих і неметалевих матеріалів. Полімерні конструкції не схильні до корозії.

За способом виготовлення багатошарові конструкції можна розділити на два типи [2]:

1. Виготовлені шляхом з'єднання між собою зарані виготовлених блоків;
2. Виготовлені методами намотки, приклеювання і пресування просочених шарів армованих тканин.

Конструкції першого типу можна попередньо проконтролювати, виключивши попадання дефектних елементів в технологічний процес. Задача контролю багатошарових конструкцій такого типу полягає у виявленні дефектів з'єднань між шарами цих конструкцій.

Шари, які входять в неметалічні конструкції з'єднують шляхом приклеювання, а металічні шляхом приклеювання, зварювання та пайки.

Основними видами з'єднань таких конструкцій є:

- зони відсутності зчеплення між з'єднувальними елементами;
- погана адгезія;
- неповна полімеризація клею;
- пористість;
- сторонні включення.

Зони відсутності зчеплення між з'єднувальними елементами, мають нульову міцність. Причинами появи таких дефектів є погана підгонка з'єднувальних елементів або недостатній тиск, що створюється технологічним оснащенням. Це найбільш поширені і найнебезпечніші дефекти багат шарових конструкцій.

Погана адгезія, тобто, слабе зчеплення клею з матеріалом з'єднуваного елемента пов'язана з наявністю на склеюваній поверхні жиру або інших забруднювачів.

Неповна полімеризація клею, обумовлена недостатньою температурою і скороченою витримкою при затвердінні клею.

Пористість послаблює міцність з'єднання. Причини пористості є неповне видалення з клею розчинника, недостатній тиск при запресовуванні, застосування недоброякісного клею.

Наявність сторонніх включень в складі клею може істотно знизити міцність і експлуатаційні характеристики багат шарових конструкцій.

До числа основних дефектів багат шарових конструкцій другого типу відносяться:

- розшарування;
- неповна полімеризація сполучника;
- наявність зон підвищеного або пониженого вмісту сполучника;
- сторонні включення.

Такі дефекти типові (рис. 1.1) для армування полімерів, виготовлених з декількох шарів армованих тканин або отриманих методом намотування. Причинами є порушення вимог технологічного процесу.

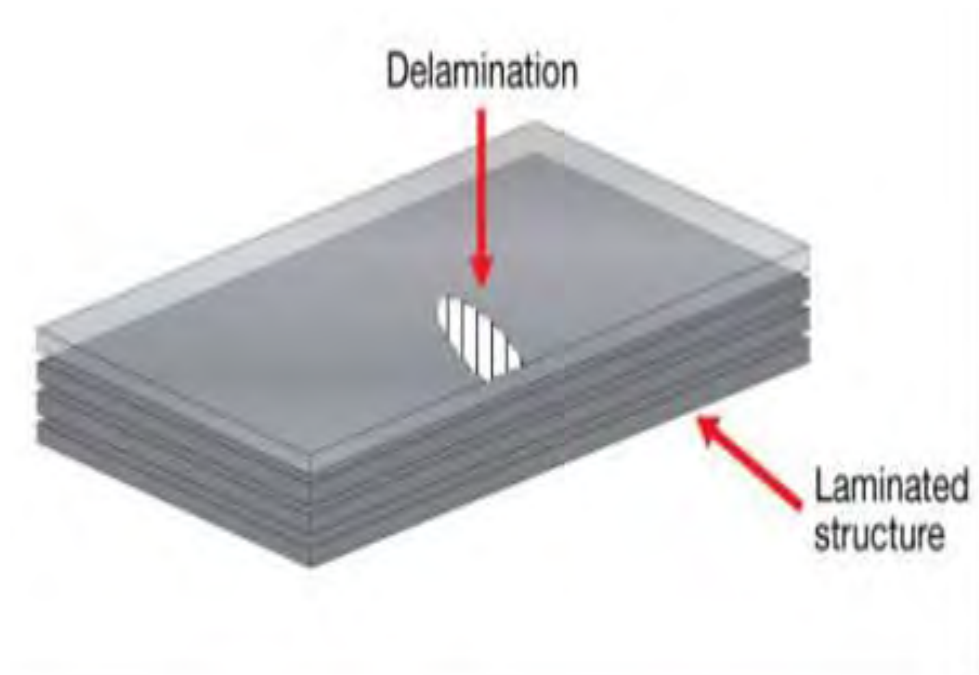


Рис. 1.1. Розшарування багатошарової структури

В процесі експлуатації необхідною умовою є контроль багатошарових конструкцій на наявність руйнувань. Найбільш схильними до таких руйнувань є місця з'єднань між шарами, тому основним завданням експлуатаційного контролю є визначення зон відсутності зчеплення між сполучними елементами. Можливими дефектами таких конструкцій є зони руйнування заповнювача і утворення порожнеч, внаслідок чого відбувається зміщення в конструкції.

Наявність зон підвищеного або пониженого вмісту сполучника призводить до нерівномірного з'єднання, внаслідок чого послаблюється міцність з'єднання.

Попадання в склад сполучника сторонніх включень може значно знизити міцність і експлуатаційні характеристики багатошарових конструкцій.

1.2. Огляд методів контролю багат шарових конструкцій

Тепловий метод контролю заснований на дистанційному аналізі температурних полів, розподілених по поверхні об'єкта контролю. Корисний сигнал формується на екрані тепловізора або комп'ютера у вигляді колірного розподілу, в якому певний колір поєднаний з температурою досліджуваної поверхні (холодні ділянки відображаються в темних тонах, а ділянки з більш високою температурою - в світлих). Розрізняють пасивний та активний способи теплового контролю. При пасивному контролі різниця в температурі виникає через різну теплоємність в окремих складових конструкції об'єкта контролю. При активному способі контролю використовують зовнішні або вбудовані в агрегат нагрівальні елементи і різницю в теплопровідності матеріалів об'єкта дослідження.

У роботах проведених компанією «ПЕРГАМ», відзначається позитивний досвід застосування тепловізорів для діагностики агрегатів авіаційної техніки та контролю стільникових агрегатів на наявність води. У пасивному режимі контролю проведені дослідження панелей Ту-204 (рис. 1.2) безпосередньо після посадки літака [3]. Результати показали можливість визначення зон, в яких міститься вода, що відображаються на термограмах у вигляді холодних (темних) ділянок, форма і розміри яких відповідають реальному розподілу води в агрегаті.

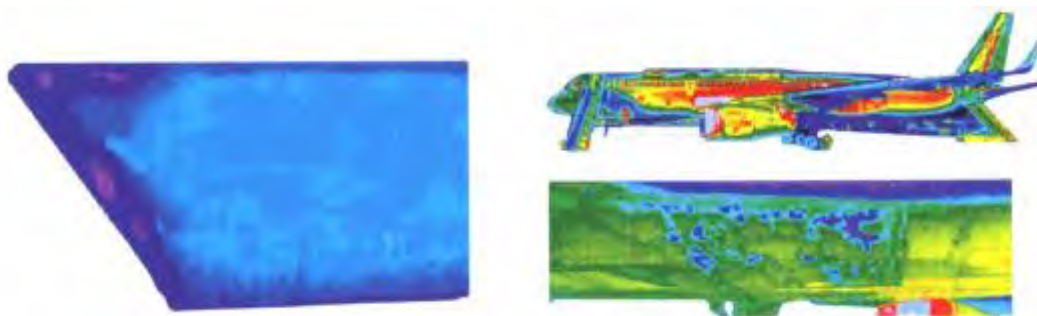


Рис. 1.2. Пасивне виявлення води в композиційних стільникових панелях елерона і фюзеляжу літака Ту-204

При активному способі використовувалися оптичні нагрівачі (галогенні лампи) і теплові гармати (фени). Контрольовану поверхню розбивають на ділянки розміром 0,4-0,8 м і контролюють, послідовно переходячи від одного до іншого. На (рис. 1.3) показані термограми дюралюмінієвої і склопластикової стільникової конструкції (з алюмінієвими стільниками), отримані при оптичному нагріванні [4].

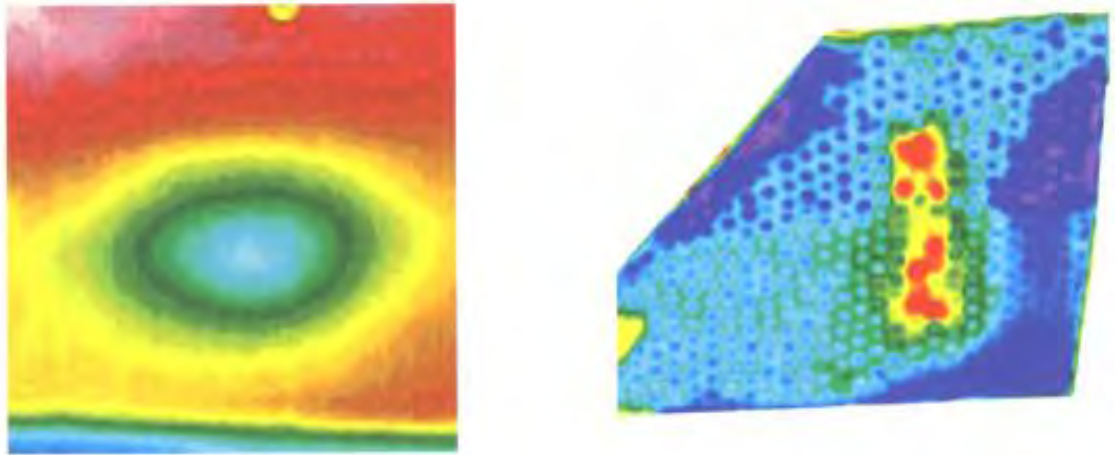


Рис. 1.3. Термограми дюралюмінієвої і склопластикової стільникової конструкції

Зони скупчення води залишилися більш холодними в процесі нагрівання в порівнянні з бездефектними ділянками. Істотна відмінність між термограмами пояснюється різною теплопровідністю матеріалу обшивок. У термограмах панелей, виготовлених зі склопластику, чітко простежується структура стільникового заповнювача, тоді як термограма панелі з дюралюмінію має більш змащений вид через велику теплопровідність матеріалу конструкції.

Радіаційний метод контролю заснований на законі ослаблення рентгенівського випромінювання речовиною контрольованого об'єкта. Випромінювання, пройшовши крізь об'єкт контролю, послаблюється в різному ступені бездефектними ділянками і ділянками, що містять дефекти, в результаті чого виникає приховане радіаційне зображення,

реєстроване детектором - радіографічною плівкою в рентгенографічному методі контролю і перетворювачем в радіоскопічному методі (рис. 1.4) [5].

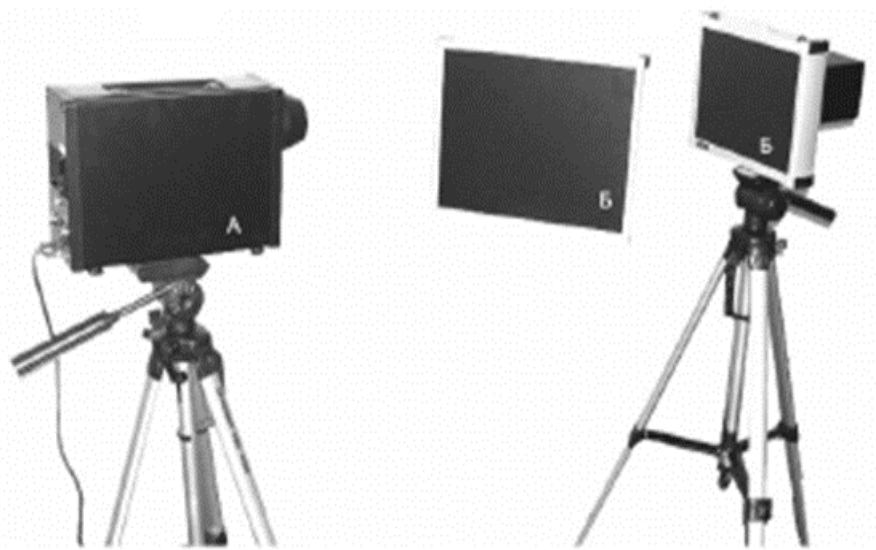


Рис. 1.4. Комплект радіоскопічної апаратури: рентгенівський апарат і люмінесцентні перетворювачі

Дослідження можливостей рентгенографічного та радіоскопічного контролю стільникових конструкцій широко розповсюджені.

Метою досліджень було визначення мінімального рівня води, що виявляється вищевказаними радіаційними методами контролю в стільникових агрегатах літаків; чутливості методів при пошуку інших дефектів, характерних для стільникових конструкцій; розробка методів оцінки розмірів дефектів і рівня води в досліджуваних об'єктах контролю, а також технологій рентгенографічного та радіоскопічного контролю.

В якості об'єктів контролю при дослідженнях використовували фрагменти металевих, композиційних і неметалевих стільникових панелей, а також агрегати літаків, демонтовані для ремонтних робіт. В результаті роботи було встановлено, що мінімальний рівень води, що

виявляється в осередку стільникових панелей, на рентгенографічних знімках склав 1,5 мм, на радіоскопічних знімках 2 мм.

Результати рентгенографічного та радіоскопічного контролю зразків з штучними дефектами показали, що в стільникових конструкціях надійно можуть бути виявлені дефекти, пов'язані з геометричними порушеннями стільників і їх з'єднань (зазори, відсутність зчеплення осередків); менш надійно можуть бути виявлені деформація стільників і заповнення їх ремонтним заповнювачем. Дефекти типу непокля, відшарування, тріщин в обшивці рентгенографічним методом не виявляються.

Зображення на рентгенівському знімку дозволяє шляхом вимірювання і порівняння оптичної щільності тест-зразка та виявленої вологи в контрольованому об'єкті провести кількісну оцінку вмісту вологи в стільникових панелях. Чутливість контролю зміни рівня води з використанням тест-зразка склала $\pm 15 \div 20\%$ від висоти виявленого водяного шару. На (рис. 1.5) показаний приклад радіоскопічного і рентгенографічного знімків одного із зразків.

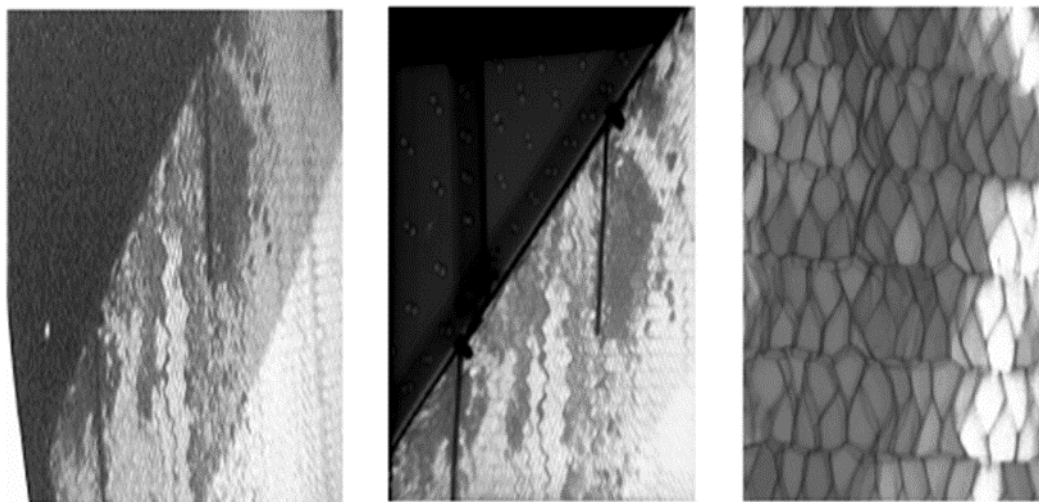


Рис. 1.5. Знімок агрегату, що містить вологу в стільниках, отриманий: рентгеноскопічним методом, рентгенографічним методом і збільшений (5x) фрагмент рентгенографічного знімка

Отримані в процесі роботи результати лягли в основу розробки технології рентгенографічного та рентгеноскопічного контролю стільникових конструкцій: РТМ 1-2.167-2000 «Неруйнівний контроль стільникових панелей літальних апаратів в умовах ремонту авіаційної техніки радіаційним і тепловими методами»; ТР 1.2.1769-2003 «Неруйнівний контроль рентгеноскопічним методом виробів з композиційних матеріалів і стільникових конструкцій в умовах ремонту та експлуатації авіаційної техніки».

Ультразвукова дефектоскопія є самим широко використовуваним методом контролю конструкцій з композитних матеріалів. Частина акустичних методів в обсязі неруйнівного контролю, складають більше 60% по відношенню до інших методів контролю [6].

В даний час на ринку представлений широкий асортимент ультразвукових приладів. Як правило, ультразвукова хвиля дуже добре поширюється в композитних багат шарових структурах, що прискорює виявлення аномалій.

На жаль, в сендвічних конструкціях ультразвукові сигнали сильно послаблюються через неоднорідності і малу щільність основної структури. Відповідно, для контролю такого роду конструкцій потрібні ультразвукові дефектоскопи зі спеціальними функціями.

У виробничих умовах, контроль великих сендвіч-панелей виконується в тіньовому режимі: ультразвуковий промінь з відносно високою амплітудою проходить через весь об'єкт, а прийомний перетворювач, розташований на протилежному боці, вимірює загасання сигналу. Результати зазвичай відображаються у вигляді С-скан розгортки. Даний метод є надійним і широко використовується в галузі. На жаль, для технічного обслуговування даний метод не підходить, оскільки він ефективний тільки при двосторонньому доступі.

Проте, УЗ дозволяє виявляти відшарування внутрішнього і зовнішнього шару обшивки, наявність рідини і змінання заповнювача. Необхідні для цього низькочастотні перетворювачі і функцію трасування донного луна-сигналу слід використовувати обдуманно. У разі розшарування в зовнішній обшивці або відшарування зовнішнього шару обшивки від заповнювача спостерігається повне затухання донного луна-сигналу.

Нещодавно була розроблена нова методика (рис. 1.6) для виявлення відшарування внутрішнього шару обшивки від заповнювача [7].

Ця методика використовує переваги широкопasmового перетворювача (1 МГц), який під впливом потужного прямокутного імпульсу створює резонанс в зоні під перетворювачем. Фільтр приймача приладу налаштований на товщину об'єкта і для роботи на відповідній напівхвилі. Наявність відшарування зменшує жорсткість структури, що змінює резонанс на тривалу довгу хвилю, а резонансна частота зменшується.

Унаслідок цього феномена, відшарування (25 x 25 мм) на внутрішню структуру викликає загасання донного луна-сигналу на 6-12 дБ.

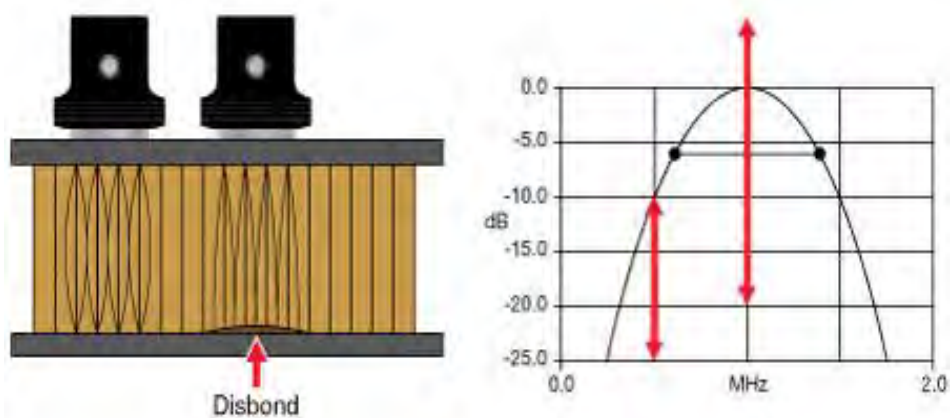


Рис. 1.6. Ультразвуковий резонансний метод

Контроль здійснюється з використанням приладів (ультразвукових дефектоскопів) фірм «Кропус», «УкрІнтех», «Олімпус», «Сонотест». В

основі технологій, що реалізуються даними приладами, покладений велосиметричний метод, імпедансний метод, метод вільних коливань, резонансний метод і інші.

1.3. Принцип роботи метода вільних коливань

Практично у всіх сферах виробництва і галузях промисловості застосовні методи, як руйнівної, так і неруйнівного контролю, що розрізняються між собою принципами проведення вимірювань. У міру можливості, використовується методи неруйнівного контролю, так як його проведення виключає порушення цілісності досліджуваного об'єкта.

Серед методів контролю багат шарових клеєних конструкцій, акустичні методи за обсягом застосування займають перше місце [8]. Ці методи засновані на взаємодії пружних коливань і хвиль широкого діапазону частот з контрольованою деталлю або конструкцією. Основна область застосування спеціальних низькочастотних методів, до яких відносяться імпедансний, велосиметричний методи і метод вільних коливань, - виявлення зон порушення з'єднань в багат шарових клеєних конструкціях.

Метод вільних коливань (МВК) заснований на ударному збудженні імпульсів вільно затухаючих пружних коливань в контрольованій зоні конструкції і аналізі параметрів прийнятого сигналу. Спектр прийнятого сигналу при знаходженні перетворювача в зоні дефекту контрольованої конструкції відрізняється від спектра прийнятого сигналу в бездефектній зоні, що є ознакою дефекту.

МВК є найдавнішим методом неруйнівного контролю. Найпростіший його варіант - простукування, широко використовується для контролю посуду, колісних пар залізничного рухомого складу, виявлення порожнеч, дефектів клейових з'єднань і т.п [9].

Розрізняють інтегральний і локальний МВК. У першому використовуються коливання контрольованого об'єкта як єдиного цілого, у другому (локальному) - тільки його частини. Локальний метод зазвичай використовується при контролі багатопарових клейових з'єднань.

У даній роботі буде розглядатися тільки інтегральний МВК, опускаючи слово «інтегральний».

Для задач контролю деталей машин і металевих конструкцій зазвичай застосовуються низькочастотні методи. І МВК не виняток, тобто відноситься до низькочастотних методів [10]. Це пов'язано з тим, що при наявності шорсткостей і мікронерівностей на поверхні об'єкта контролю (ОК) із-за малої довжини хвилі спостерігається наявність відбитків і крайових ефектів, що ускладнює завдання аналізу прийнятого спектра. Також МВК відрізняється відносною простотою генераторної й приймальної конструкцій, що дає ще один аргумент на користь його використання [11].

Як відомо, частота коливань будь-якого ізотропного тіла може бути в загальному вигляді представлена як:

$$f = F(\alpha, \mu) \cdot C_i \quad (1)$$

де $F(\alpha, \mu)$ - коефіцієнт форми, що залежить від геометричних розмірів тіла, його форми і коефіцієнта Пуассона, C_i - параметр, що представляє собою швидкість поширення пружних коливань в нескінченно довгому стрижні;

$$C_i = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2)$$

де E - модуль нормальної пружності, ρ - щільність матеріалу.

Шляхом короткочасного зовнішнього впливу на ОК, збуджують вільні коливання, в результаті чого в ОК виникнуть вільні (власні) затухаючі коливання.

Інформативний параметр методу - частотний спектр. Спосіб отримання інформації мікрофонний. При заданих розмірах і формі виробу, однорідності матеріалу, з якого вона виготовлена, частота власних коливань є величиною визначеною. При наявності дефекту параметри коливальної системи змінюються, що веде до зміни частотного спектра коливань. У дефектних виробках спектр зміщений в сторону нижніх частот. Спектральний склад акустичного сигналу при контролі методом вільних коливань показаний на (рис. 1.7).

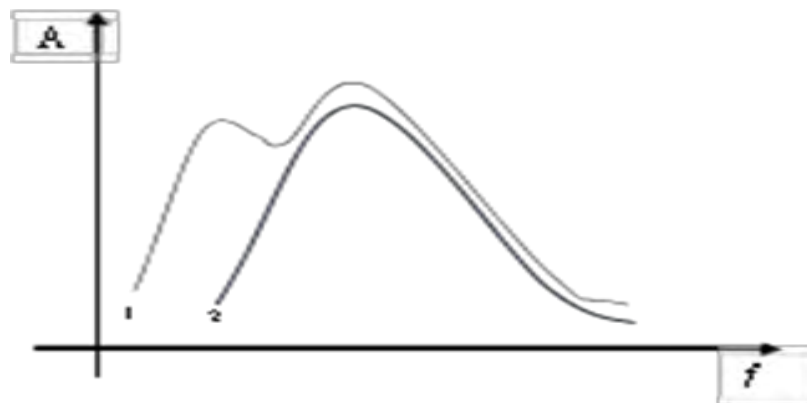


Рис. 1.7. Виріб з дефектом - 1, без дефекту - 2

Цей метод дозволяє виявити порушення жорсткого зв'язку між шарами в багат шарових конструкціях, а також внутрішні дефекти в масивних виробках.

Складність даного методу полягає в тому, для будь-якого ОК може бути визначено кілька частот вільних коливань, що відповідають декільком типам коливань (поздовжніх, поперечних, кручених, вигнутих і т.д.) тобто різним модам цих коливань.

Для виробів простої форми вдається вирішити задачу виділенням з резонансного спектру конкретного типу коливань шляхом певного розташування опору і прийом випромінюючої системи щодо ОК. У тому випадку, якщо дана методика неможлива, доводиться вирішувати завдання розпізнавання складових частотного спектра.

Статичні методи мають на увазі обчислення частоти вільних коливань для кожного конкретного типу виробу на основі теорії коливань. В даний час існує велика кількість різних пристроїв і установок для визначення частот вільних коливань виробів різних форм і розмірів. Сутність методів, покладених в основу цих пристроїв, зводиться в збудженні в ОК коливань, частота яких збігається з частотою власних коливань і реєстрації значення цієї частоти. За способом збудження і реєстрації коливань у виробі ці методи можуть бути розділені на методи вільних і вимушених коливань.

На рис. 1.8 наведена блок-схема методу вільних коливань.

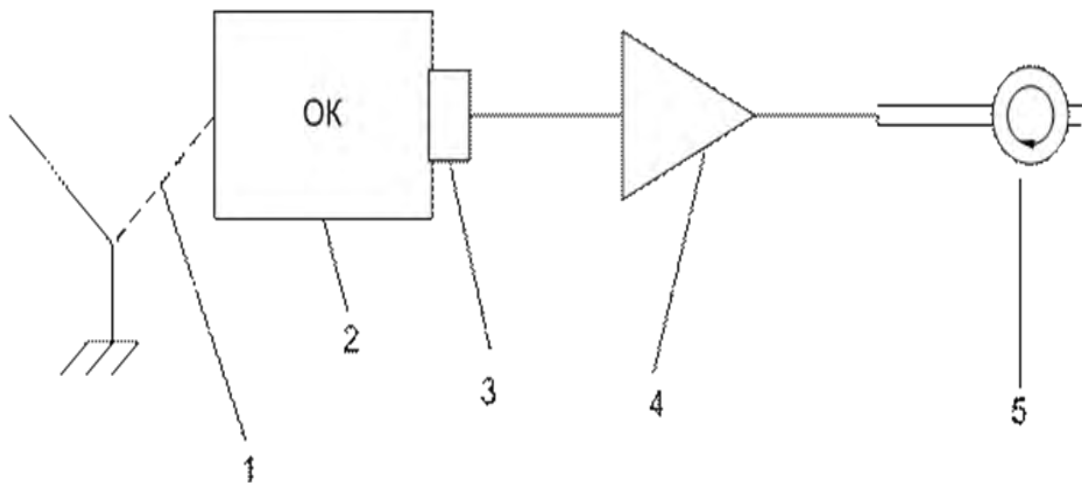


Рис. 1.8. Блок-схема методу вільних коливань

Робота пристрою, що реалізує дану схему, полягає в наступному: при нанесенні удару ударником (1) по об'єкту контролю (2) в ньому виникають механічні коливання в широкому діапазоні частот, які перетворюються в електричні приймачем (3), потім посилюються підсилувачем-синхронізатором (4) і потрапляють на вимірювач частоти (5), який, власне, і показує частоту власних коливань ОК.

Підсилувач-синхронізатор включає в себе фільтр, який забезпечує пониження коливань перехідного процесу, в результаті чого на вимірювач

частоти потрапляють коливання якраз після встановлення власних коливань виробу. Очевидно, що однією з найскладніших деталей вищеописаного пристрою є саме підсилювач-синхронізатор, а точніше, його фільтр, оскільки існує вплив коливального процесу на результати вимірювань.

При неправильному виборі параметрів удару та моменту початку вимірів похибки при вимірах можуть досягати значної величини і перешкоджати застосуванню МВК на практиці.

1.4. Існуючі прилади контролю методом вільних коливань

Метод вільних коливань застосовується для виявлення дефектів в деталях з неметалічних матеріалів і зон порушення з'єднань між елементами багат шарових матеріалів, що мають різні металеві і неметалеві шари з високим коефіцієнтом загасання пружних коливань і малим модулем пружності (елементи конструкцій з оргпластику, гуми, теплозахисні покриття).

Серед поширених промислових дефектоскопів, використовується серія АД (АД-50У, АД-60С, АД-64М, АД-701М), ДАМІ-С та інші.

Висновок про дефектність виробу в приладі АД-64М (рис. 1.9), робиться програмно в режимі реального часу по різниці константного спектра свідомо бездефектного та тестового ОК [12].



Рис. 1.9. Акустичний дефектоскоп АД-64М

Технічні характеристики АД-64М:

- Мінімальна площа виявленого дефекту: 1x1 см.
- Глибина виявлених дефектів в склопластику: від 12 до 15 мм.
- Сигналізація про дефекти: світлова та звукова
- Тривалість безперервної роботи: 8 годин.

Даний підхід розглядає можливість застосування МВК по діагностиці циліндричних стрижнів і пропонують спосіб визначення дефекту в стрижні з аналізу спектру його власних частот.

Він полягає в знаходженні резонансного спектра свідомо бездефектних стрижнів і подальшого порівняння зі спектрами протестованих виробів.

В результаті знаходиться різниця спектрів дефектного і бездефектного виробу за розрахованим коефіцієнтом кореляції (різницевий спектр).

Дефектоскоп АД-64М дозволяє запам'ятовувати і зберігати в пам'яті для подальшого використання параметри налаштування для контролю типових виробів, що виключає використання контрольних зразків для повторного калібрування. Прилад запам'ятовує дані в вигляді спектрів сигналів дефектних ділянок. Ці дані можна передавати на персональний комп'ютер.

Низькочастотний акустичний дефектоскоп АД-701М (рис. 1.10) призначений для контролю композиційних матеріалів [13].



Рис. 1.10. Акустичний дефектоскоп АД-701М

Конструктивно прилад має портативне виконання, автономне живлення і призначений для використання в лабораторних, цехових і польових умовах.

Технічні характеристики АД-701М:

- Мінімальна площа виявлених дефектів: 1,2x1,2 см.
- Частота проходження збуджуючих імпульсів: 25 Гц.
- Діапазони частот спектроаналізатора: 0,3 - 20 кГц.
- Живлення здійснюється від акумулятора: 3.6 В
- Тривалість безперервної роботи: 24 години.

Прилад оснащений вбудованим рідкокристалічним індикатором, на якому наочно відображається інформація, що надходить. Інфрачервоний порт дозволяє здійснювати обмін даними між приладом і персональним комп'ютером.

Дефектоскоп Дамі-С (рис. 1.11) використовується для виявлення та побудови С-зображень дефектів у композитних матеріалах і стільникових структурах [14].

Технічні характеристики Дамі-С:

- Режими виведення графічної інформації на екран: тимчасова розгортка (А-скан); комплексна площина; С-скан в декартових координатах.
- Сигналізація про дефекти: світлова та звукова.
- Робочий діапазон частот : 1 - 40 кГц.
- Продуктивність контролю в точковому режимі: не менше 500 вимірів/с
- Тривалість безперервної роботи: 8 години.



Рис. 1.11. Дефектоскоп композиційних матеріалів ДАМІ-С

В авіаційних конструкціях його використовують для виявлення корозії в різних сплавах. Прилад має вихрострумові, імпедансні та ударні методи контролю. Завдяки своїй функціональності, дефектоскоп Дамі-С може автоматично налаштувати перетворювач на об'єкт контролю враховуючи щільність та структуру об'єкта контролю.

1.5. Застосування нейронних мереж при аналізі даних

Винайдений Френком Розенблаттом, перцептрон спочатку замислювався як спеціальне механічне обладнання (Mark 1 perceptron) для розпізнавання зображень, а не як програмна функція.

Ідея перцептронів полягає в тому, що можна імітувати певні частини нейронів (рис. 1.12), такі як дендрити, клітинні тіла та аксони, використовуючи спрощені математичні моделі обмежених знань про їх внутрішню роботу: сигнали можуть прийматися від дендритів, і йти вниз по аксонах, як тільки отримано достатньо сигналів, вихідні сигнали можна використовувати як ще один вхід для інших нейронів, повторюючи процес [15].

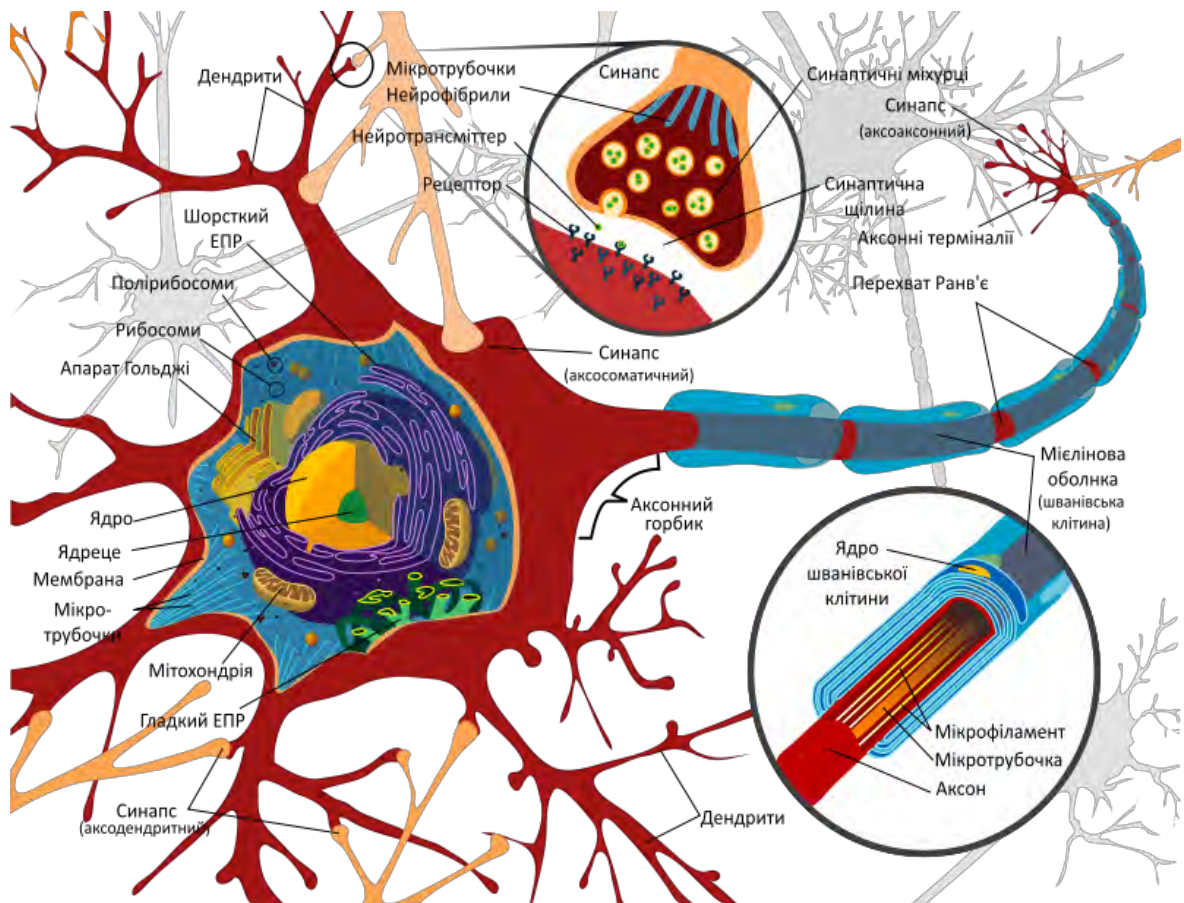


Рис. 1.12. Схема будови нейрона

Деякі сигнали важливіші за інші і можуть спровокувати легше спрацьовування деяких нейронів. Зв'язки можуть стати міцнішими або слабшими, можуть з'являтися нові зв'язки, тоді як інші можуть припинити своє існування.

Ми можемо імітувати більшу частину цього процесу, придумавши функцію, яка приймає список зважених вхідних сигналів і видає якийсь сигнал, якщо сума цих зважених входів досягає певного зміщення.

Зауважте, що ця спрощена модель не імітує ні створення, ні руйнування зв'язків (дендритів чи аксонів) між нейронами, і ігнорує синхронізацію сигналів. Однак лише ця обмежена модель є досить потужною для роботи з простими класифікаційними завданнями.

1.5.1 Штучний нейрон

Основна структура ANN (Artificial Neural Network) складається із штучних нейронів (подібних до біологічних нейронів людського мозку), які згруповані в шари. Найбільш поширена структура ANN складається з вхідного рівня, одного або декількох прихованих шарів та вихідного рівня.

Приховані шари, які є вузлами нейронів, розміщеними між входами та виходами, що дозволяє нейромережам вивчати більш складні функції (наприклад, логіку XOR).

У мозку людини нейрони взаємодіють, посилаючи сигнали один одному через складні зв'язки. ANN засновані на тому ж принципі, намагаючись імітувати процес навчання людського мозку за допомогою складних алгоритмів. Кожне з'єднання має вагу, яка може мати як позитивне, так і негативне значення [16].

Позитивні ваги активують нейрон, тоді як негативні ваги його гальмують.

На рис. 1.13 показана мережева структура з входами (x_1, x_2, \dots, x_i), підключеними до нейрона j з вагами ($w_{1j}, w_{2j}, \dots, w_{ij}$) на кожному з'єднанні.

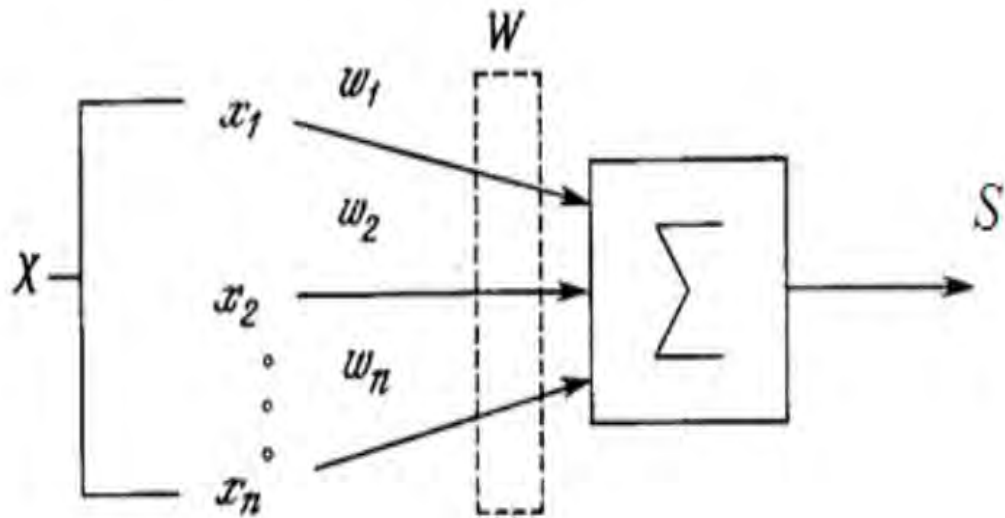


Рис. 1.13. Схема штучного нейрона

Нейрон підсумовує всі сигнали, які він отримує, при цьому кожен сигнал множиться на пов'язані з ним ваги з'єднання.

Потім цей вихід (S) передається через передавальну (активаційну) функцію, $g(S)$, яка зазвичай є нелінійною, щоб отримати кінцевий результат.

Математичний нейрон, як і його біологічний прототип, існує в двох станах. Якщо зважена сума вхідних сигналів S не досягає деякої граничної величини, то математичний нейрон не збуджений і його вихідний сигнал дорівнює нулю. Якщо ж вхідні сигнали досить інтенсивні і їх сума досягає порогу чутливості, то нейрон переходить в збуджений стан і на його виході утворюється сигнал $Y = 1$.

Активаційна функція може бути й звичайною лінійною функцією (рис. 1.14)

$$Y = k(S), \quad (3)$$

де k - постійна або пороговою функцією виду

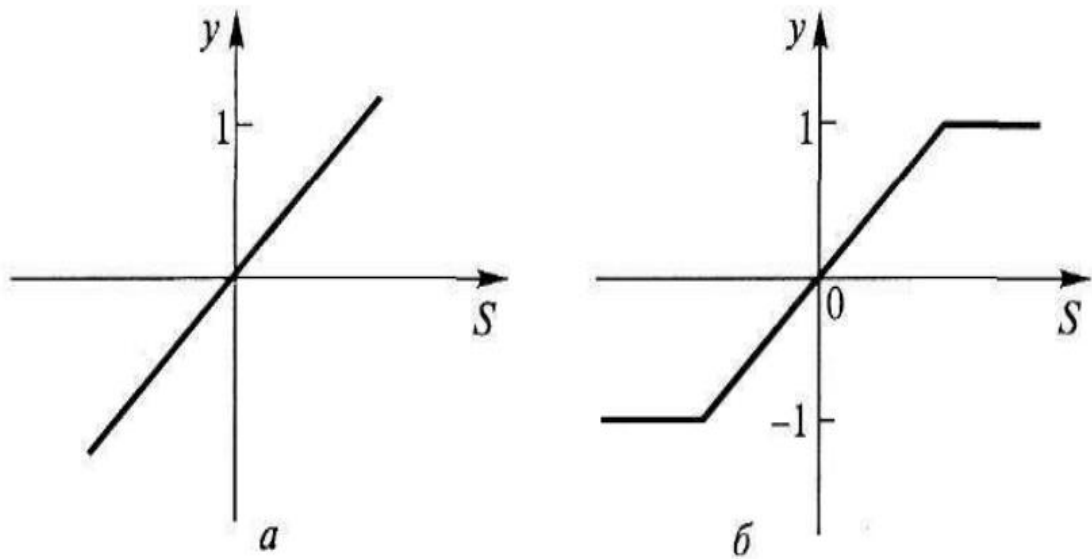


Рис. 1.14. Лінійні функції активації:

а) - з необмеженою; б) - з обмеженою областю зміни

$$Y = 1, \text{ якщо } S \geq P,$$

$$Y = 0 \text{ в інших випадках,}$$

(4)

де P - деяка постійна порогова величина (рис. 1.15).

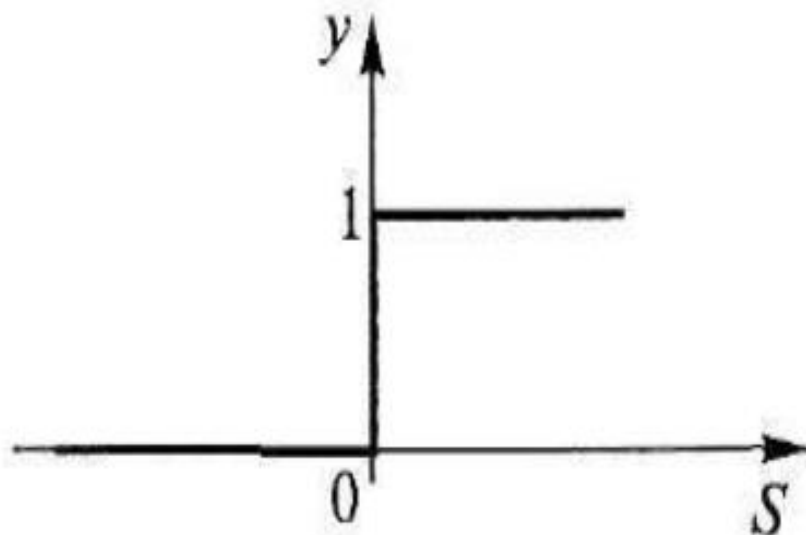


Рис. 1.15. Порогова функція активації (функція Хевісайда)

Поряд з розглянутими функціями в даний час в якості активаційної застосовується функція Гаусса, яка має вигляд

$$Y = \exp\left(-\frac{S^2}{2\sigma^2}\right), \quad (5)$$

тут σ - параметр кривої Гаусса («ширина вікна»), а S - евклідова відстань між вхідним вектором X і центром активаційної функції C :

$$S = \|X - C\|, \quad (6)$$

Функція Гаусса використовується нейронами радіально-базисних нейронних мереж (рис. 1.16).

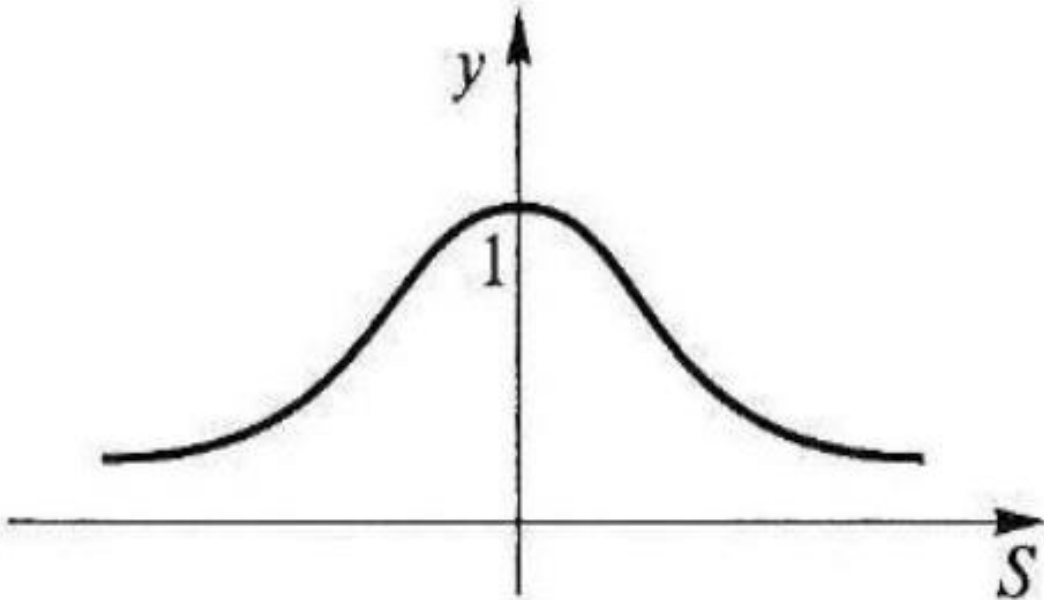


Рис. 1.16. Радіально-базисна активаційна функція

Розглянута модель штучного нейрона не враховує затримки часу, що впливають на динаміку системи. Вхідні сигнали негайно генерують вихідний сигнал. Він також не враховує наслідків функції частотної модуляції або функції синхронізації біологічного нейрона, які деякі дослідники вважають базовими. Незважаючи на це, мережі, побудовані з таких нейронів, мають властивості, що нагадують біологічну систему.

1.5.2 Основні типи нейронних мереж

Експерименти над різними способами об'єднання нейронів та їх взаємодії, нашою виходили на створення нових типів мереж. Серед безлічі існуючих видів мереж в якості найважливіших можна виділити одношаровий і багатшаровий перцептрон, радіальні мережі, мережі з самоорганізацією в результаті конкуренції нейронів, мережі з самоорганізацією кореляційного типу, а також рекурентні мережі, в яких є сигнали зворотного зв'язку. Окремо від усіх названих типів стоять нейронні мережі з не чіткою логікою.

Нижче наведена схема, яка об'єднує основні типи штучних нейромереж (рис. 1.17).

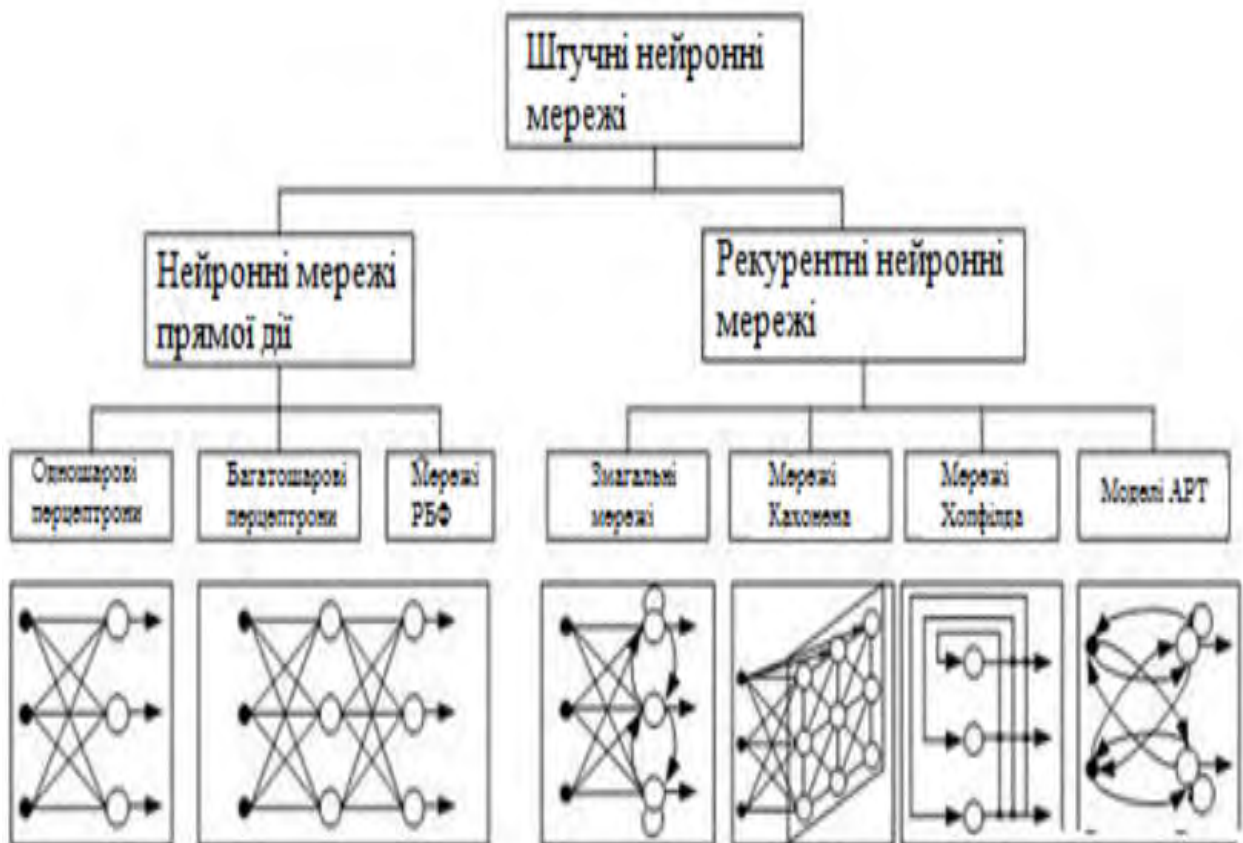


Рис. 1.17. Узагальнена класифікація нейромереж

1.5.2.1 Одношарова нейронна мережа (одношаровий персептрон)

Одношаровий персептрон SLP (Single Layer Perceptron) - це мережа зворотного зв'язку, заснована на функції порогової передачі. SLP - це найпростіший тип штучних нейронних мереж (рис. 1.18) і може класифікувати лише лінійно відокремлювані випадки з двійковими даними (1, 0). Одношаровий персептрон не має апріорних знань, тому початкові ваги присвоюються випадковим чином. SLP підсумовує всі зважені вхідні дані, і якщо сума перевищує порогове значення (деяке заздалегідь визначене значення), SLP називається активованим (вихід = 1).

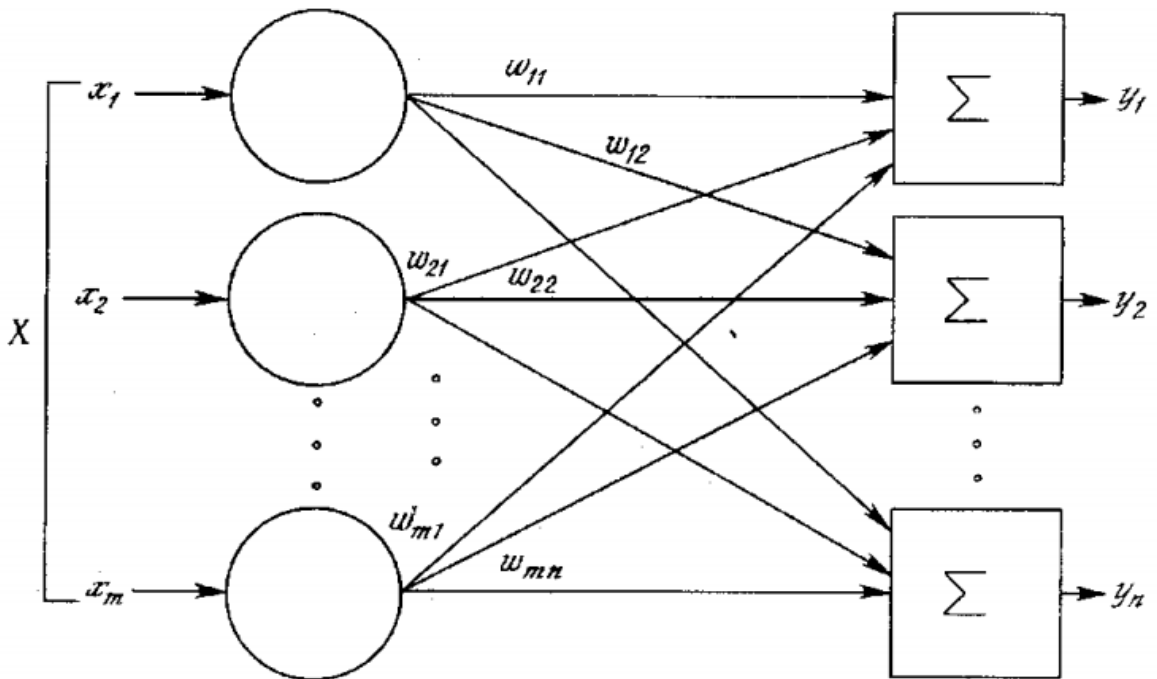


Рис. 1.18. Одношарова нейронна мережа

Вхідні значення подаються в персептрон, і якщо передбачуваний вихід такий самий, як бажаний вихід, то продуктивність вважається задовільною, і ніяких змін у вагах не вноситься. Однак, якщо вихід не відповідає бажаному результату, тоді ваги потрібно змінити, щоб зменшити помилку.

Оскільки SLP є лінійним класифікатором, і якщо випадки не можна лінійно розділити, процес навчання ніколи не дійде до точки, коли всі випадки класифікуються належним чином. Найвідомішим прикладом нездатності перцептрону вирішувати проблеми з лінійно нерозривними випадками є проблема XOR.

Однак багатошаровий перцептрон, що використовує алгоритм зворотного розповсюдження, може успішно класифікувати дані XOR.

1.5.2.2 Багатошарові нейронні мережі

Багатошаровий перцептрон MLP (Multilayer perceptron) (рис. 1.19) має однакою структуру одношарового перцептрона з одним або декількома прихованими шарами. Алгоритм зворотного розповсюдження складається з двох фаз: прямої фази, де активації поширюються від вхідного до вихідного шару, та зворотної фази, де помилка між спостережуваним фактичним та запитуваним номінальним значенням у вихідному рівні поширюється назад у порядку змінити ваги та значення зміщення.

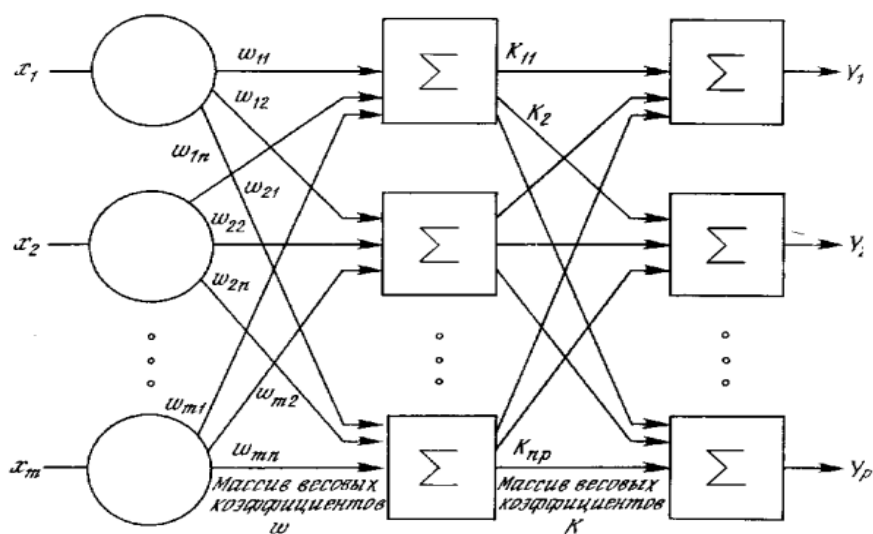


Рис. 1.19. Двошарова нейронна мережа

Вхідні дані множаться з вагами та надходять на функцію активації, а при зворотному розповсюдженні вони модифікуються для зменшення втрат. Простими словами, ваги - це машинно засвоєні значення з нейронних мереж. Вони самостійно регулюються залежно від різниці між прогнозованими результатами та навчальними входами.

Перевага багатошарового персептрону в тому, що його можна використовувати для глибокого навчання (завдяки наявності щільних повністю з'єднаних шарів та зворотного розповсюдження).

До недоліків можна віднести: порівняно складний при проектуванні та обслуговуванні; повільний (залежить від кількості прихованих шарів).

1.5.2.3. Мережі РБФ (мережі з радіальними базисними функціями)

Мережі РБФ представляють, на відміну від MLP, локальні апроксиматори до нелінійного відображення вводу-виводу. Основними їх перевагами є короткий етап навчання та знижена чутливість до порядку подання навчальних даних. Однак у багатьох випадках плавне відображення досягається лише тоді, коли кількість радіальних базисних функцій, необхідних для охоплення вхідного простору, стає дуже великим. Це заважає здійсненню багатьох практичних застосувань.

Мережі РБФ утворюють особливий клас нейронних мереж, які складаються з трьох шарів. Вхідний рівень використовується лише для підключення мережі до її середовища. Прихований шар містить ряд вузлів, які застосовують нелінійне перетворення до вхідних змінних, використовуючи радіальну базову функцію, таку як функція Гауса. Вихідний шар є лінійним і служить одиницею підсумовування. Типову структуру нейронної мережі РБФ представлена на (рис. 1.20).

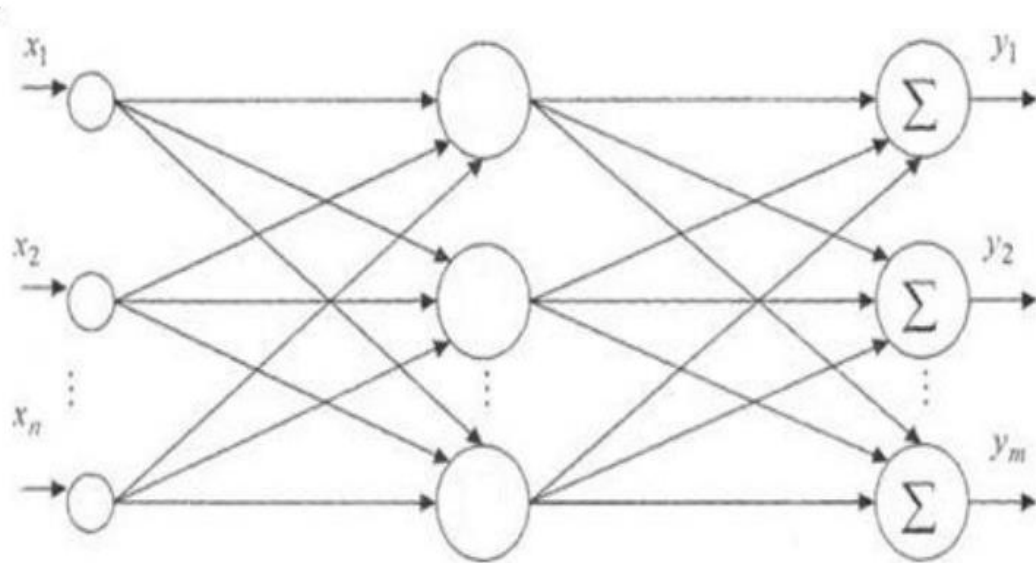


Рис. 1.20. Нейронна мережа з радіальними базисними функціями

До переваг можна віднести : довільна нелінійна функція; швидкість навчання.

Недоліки мереж РБФ: виходять доволі громіздкими при великій розмірності вектора входів.

1.5.2.4 Мережі зі зворотними зв'язками

Мережа зі зворотними зв'язками RNN (Recurrent Neural Network) - це тип штучної нейронної мережі, яка використовує послідовні дані або дані часових рядів. Ці алгоритми глибокого навчання (рис. 1.21) зазвичай використовуються для порядкових або часових проблем, таких як переклад мови, обробка природної мови , розпізнавання мови та субтитри до зображень; вони включені в такі популярні програми, як Siri, голосовий пошук та Google Translate.

Вони відрізняються своєю «пам'яттю», оскільки беруть інформацію з попередніх входів, щоб впливати на поточний вхід і вихід. З цієї причини мережі зі зворотними зв'язками можуть мати властивості, подібними з

короткочасною людською пам'яттю. У той час як традиційні глибинні нейронні мережі припускають, що входи та виходи не залежать один від одного, вихід повторюваних нейронних мереж залежить від попередніх елементів у послідовності. Хоча майбутні події також могли б допомогти у визначенні результату даної послідовності, однонаправлені рекурентні нейронні мережі не можуть враховувати ці події у своїх прогнозах.

Переваги даних мереж: послідовні дані, в яких кожна вибірка залежить від попередніх; використовується з шарами згортки для збільшення ефективності.

До недоліків можна віднести: навчання мереж зі зворотними зв'язками може бути складним завданням; важко обробити довгі послідовні дані.

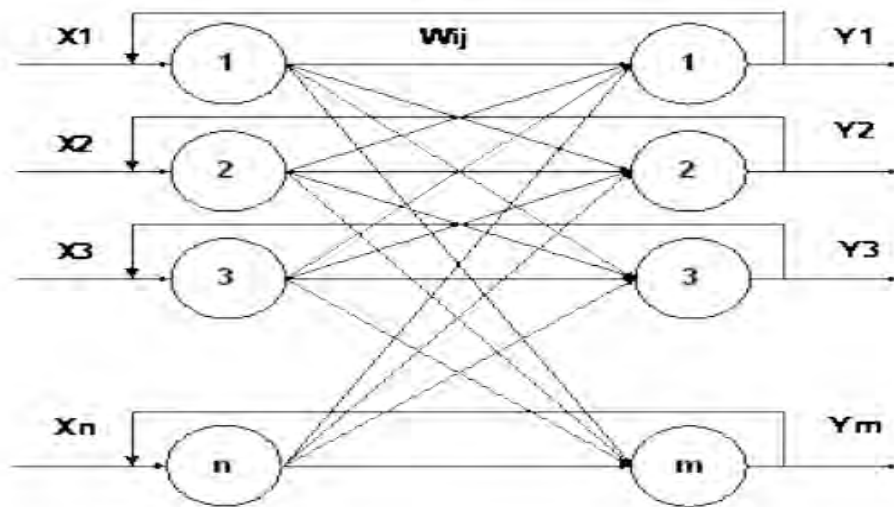


Рис. 1.21. Топологія мережі зі зворотними зв'язками

1.5.2.5 Мережа Кохонена

Завдання карти Кохонена полягає у введенні векторів довільної розмірності на дискретну карту, що складається з нейронів. Карту потрібно навчити, щоб створити власну організацію даних навчання. Вона містить

один або два виміри. Під час тренування карти розташування нейрона залишається постійним, але ваги відрізняються залежно від значення. Цей процес самоорганізації має різні частини: на першій фазі кожне значення нейрона ініціалізується з невеликою вагою та вхідним вектором.

На другій фазі нейрон, найближчий до точки, є «нейроном-переможцем», і нейрони, з'єднані з нейроном-переможцем, також рухатимуться до точки. Відстань між точкою і нейронами обчислюється за евклідовою відстанню, перемагає нейрон з найменшою відстанню. Завдяки ітераціям всі точки кластеризовані, і кожен нейрон представляє кожен тип кластера. У цьому полягає суть організації нейронної мережі Кохонена (рис. 1.22).

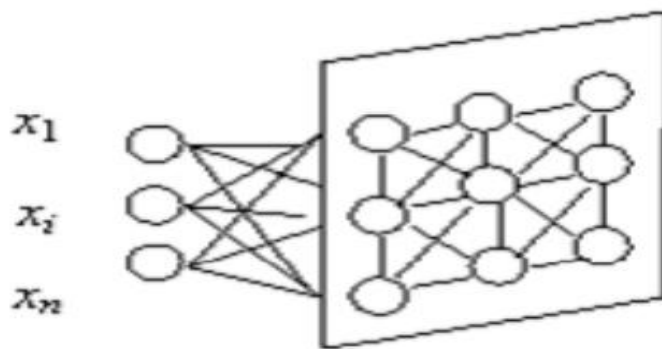


Рис. 1.22. Мережа Кохонена

Нейронна мережа Кохонена використовується для розпізнавання закономірностей у даних. Її застосування можна знайти в медичному аналізі для об'єднання даних у різні категорії.

Переваги мережі: зіставлення даних легко інтерпретувати; здатна організувати великі, складні набори даних.

Недоліки мережі Кохонена: важко визначити, які вхідні ваги використовувати; картографування може призвести до розділення кластерів потрібно, щоб сусідні точки поведились однаково.

1.5.2.6 Мережа Хопфілда

Мережа Хопфілда - це бінарна, повністю повторювана мережа, яка при запуску у випадковому стані активації переводить активацію з часом у стан, що представляє рішення. Ця архітектура (рис. 1.23) була ретельно проаналізована за допомогою інструментів статистичної фізики. Зокрема, з симетричними вагами, відсутністю самозв'язку та оновленнями активації асинхронних нейронів для мережі існує функція Ляпунова, що означає, що мережева активність врешті-решт врегулюється.

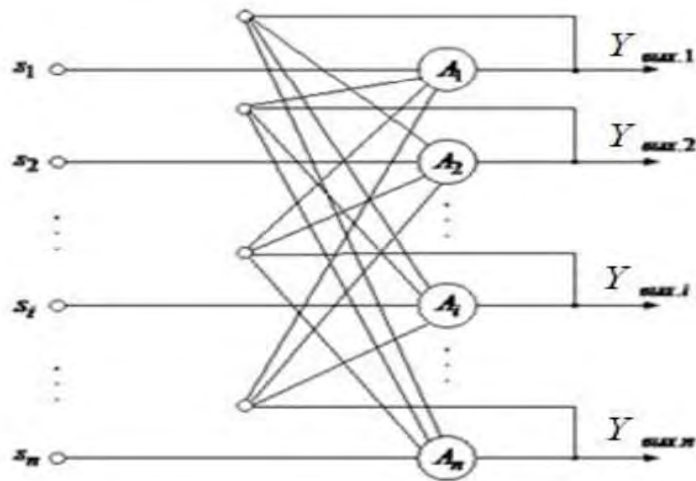


Рис. 1.23. Архітектура мережі Хопфілда

Мережу Хопфілда можна використовувати як асоційовану пам'ять або як загальний оптимізатор. При використанні в якості асоціативної пам'яті значення ваги обчислюються з набору шаблонів, які слід зберегти. Під час отримання активується частина шаблону, який потрібно отримати, і мережа осідає у повному шаблоні.

До переваг можна віднести: концептуально проста та легко тренується; при правильній подачі завдання загалом дає хороші результати.

Основним недоліком мережі Хопфілда є те, що вона має відносно невеликий обсяг пам'яті, а при спробі запису більшого числа образів призводить до того, що нейронна мережа перестає їх розпізнавати.

1.5.2.7. Нейронні мережі ART (Adaptive Resonance Theory (ART))

Теорія адаптивного резонансу - це тип нейромережевої техніки, розроблений Стівеном Гроссбергом та Гейл Карпентером у 1987 році. Термін «адаптивний» та «резонансний», використаний у цьому, свідчить про те, що вони відкриті для нового навчання (тобто адаптивного), не відкидаючи попередньої або старої інформації (тобто резонансу). Відомо, що мережі ART вирішують проблему стабільності та пластичності, тобто стабільність відноситься до їх природи запам'ятовування навчання, а пластичність - до того, що вони гнучкі для отримання нової інформації. Завдяки цій природі ART вони завжди можуть вивчати нові моделі введення, не забуваючи про минуле [17].

Існує кілька видів нейромереж на основі адаптивної резонансної теорії, зокрема, мережі ART-1 і ART-2. ART-1 призначена для роботи з двійковими вхідними зображеннями або векторами, а ART-2 - для класифікації як статичних, так і непереривних векторів. Хоча деталі архітектури і алгоритмів роботи для ART-1 і ART-2 різні, проте вони мають загальну базову архітектуру. Як видно з (рис. 1.24), мережа типу ART-1 складається з п'яти функціональних модулів: двох шарів нейронів - шару порівняння і шару розпізнавання, і трьох керуючих спеціалізованих нейронів - скидання, управління 1 та управління 2.

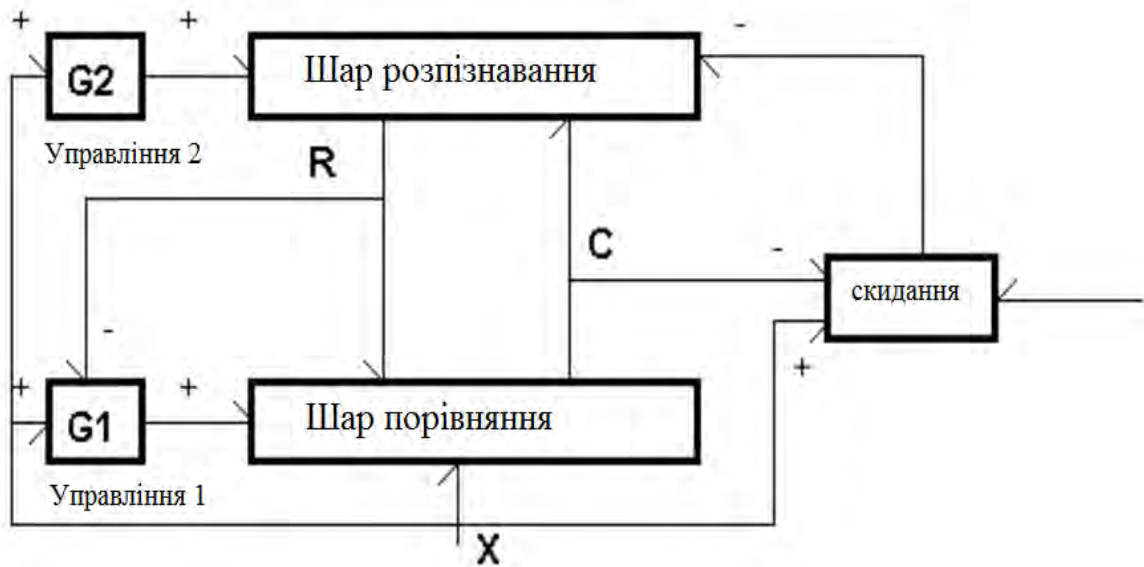


Рис. 1.24. Схема мережі АРТ-1

Шар розпізнавання служить для віднесення вхідного вектора X з двійковими компонентами до одного з класів. Кожному класу відповідає один нейрон шару розпізнавання. В результаті розпізнавання може бути активований всього один нейрон. Після визначення найбільш підходящого класу за допомогою шару порівняння визначається залишковий сигнал, який є різницею між вхідним образом і образом, відповідним підібраному класу. Якщо різниця істотна, нейронна мережа фіксує вхідний образ як новий клас.

Переваги адаптивної теорії резонансу (АРТ): демонструє стабільність і не заважає широкому спектру входів; можна інтегрувати та використовувати з різними іншими методами для отримання більш хороших результатів; може бути використана для різних областей, таких як управління мобільним роботом, розпізнавання обличчя, класифікація покриття землі, розпізнавання цілей, медична діагностика, кластеризація користувачів тощо.

Обмеження теорії адаптивного резонансу: деякі мережі ART суперечливі (наприклад, Fuzzy ART та ART-1), оскільки вони залежать від рівня навчання.

1.5.3 Застосування моделей ART в методі вільних коливань

При багатопараметровому контролі для обробки даних і побудови вирішальних правил часто використовуються методи спектрального аналізу і методи розпізнавання образів. Однак застосування даних методів характеризується рядом недоліків.

При спектральному аналізі складним завданням є вибір базису для спектрального перетворення. Для аналізу сигналу необхідно враховувати велику кількість спектральних складових, які не завжди чутливі до появи дефектів матеріалу, необхідно також враховувати складові вищих частот, які мають малу енергію і сильно спотворюються шумами.

Додаткові труднощі виникають при розробці та реалізації відповідного математичного забезпечення систем НК: необхідно використовувати складні методи обробки інформаційних сигналів (на основі статистичних критеріїв), які призводять до формування надлишкових і складних вирішальних правил.

Існуючі системи НК не дозволяють вирішувати завдання кластерного аналізу в автоматичному режимі, відсутня можливість швидко вносити в пам'ять системи інформацію про новий класі (об'єкта або дефекту), а також розширювати власну базу даних без перерахунку всіх параметрів системи.

Альтернативним методом обробки експериментальних даних і побудови правил прийняття рішень і класифікації при багатопараметровому контролі виробів з композиційних матеріалів є застосування штучних нейронних мереж. У завданнях НК навчена

нейронна мережа не тільки вміє розпізнавати (класифікувати) отримані під час контролю сигнали з датчиків, а й зберігає важливу інформацію про закономірності і взаємозв'язки форми інформаційного сигналу і стану об'єкта контролю, а також може правильно класифікувати нові сигнали і можливі дефекти, що не зустрічалися під час навчання.

Для вирішення завдання діагностики виробів кращі показники достовірності контролю можна отримати при використанні нейронних мереж адаптивної резонансної теорії (АРТ), а саме моделей АРТ-2 та Fuzzy – АРТ.

Нейронна мережа Fuzzy-АРТ також здатна вирішувати завдання кластерного аналізу і класифікації образів. Даний тип нейронної мережі дозволяє їй динамічно розширювати власну базу даних про можливі типи дефектів контрольованих об'єктів в процесі роботи. Характерними відмінностями нейронної мережі Fuzzy-АРТ від АРТ-2 є використання нечітких логічних операцій і наявність в них лише однієї матриці вагових коефіцієнтів замість двох.

Типова архітектура АРТ-2, представлена на (рис. 1.25), тут показана лише одна одиниця кожного типу [18].

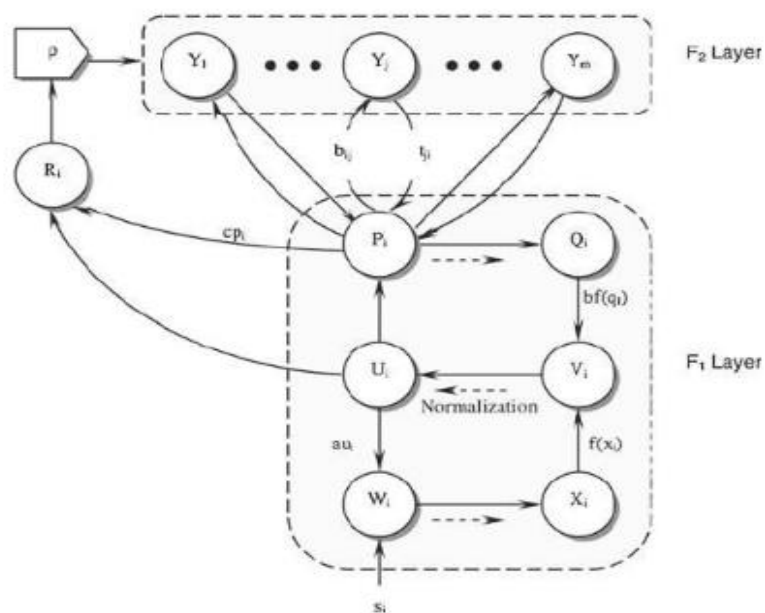


Рис. 1.25. Схема мережі АРТ-2

В архітектурі АРТ-2 рівень F1 складається з шести типів одиниць-W, X, U, V, P, Q-, і існує n одиниць кожного типу. Додатковий блок "N" між блоками W і X приймає сигнали від усіх "W" Одиниць, обчислює норму вектора (w) і посилає цей сигнал кожному з одиниць X. Подібно до цього виходять додаткові одиниці між U і V, а також P і Q, виконуючи ту ж операцію, що і між W і X. Зв'язок між $P_i(f)$ рівень F1 та Y_j рівня F2 показують зважені взаємозв'язки, які множать сигнал, що передається по цих шляхах.

Оскільки F2 - це конкурентний рівень з режимом "переможець", переможцем є лише один збережений шаблон. Він також представляє найкращий шаблон збігу для шаблону введення на рівні F1. Крім того, шаблон активації на F2 забезпечує вихідний шаблон, який надсилається назад на F1 через ваги t_{ji} . Для орієнтуючої підсистеми вона містить механізм скидання R параметр q , щоб перевірити схожість між вихідним шаблоном із шару F2 та шаблоном введення з шару F1. Якщо обидва шаблони узгоджуються, нейронна мережа переходить у резонансний стан, де проводиться адаптація збереженого шаблону. В іншому випадку нейронна мережа призначить неприйнятний (гальмуючий) вузол на рівні F2 для цього шаблону введення, а потім вивчить і перетворить його на новий збережений шаблон.

Нейронна мережа АРТ-2 нечутлива до порядку пред'явлення вхідних векторів, має високу швидкодію роботи і високу достовірність (рис. 1.26) класифікації образів в порівнянні з іншими мережами.

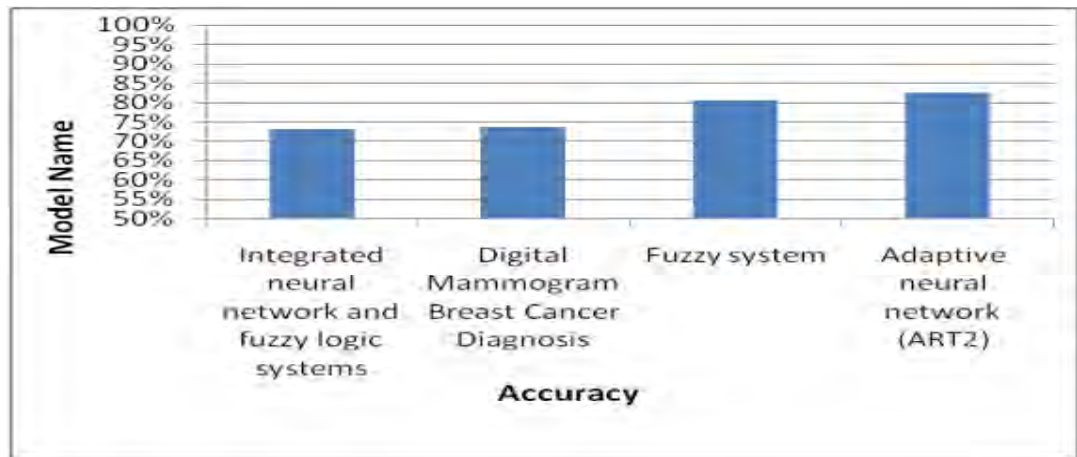


Рис. 1.26. Приведена інформація із статті «Рак молочної залози Системи діагностики: огляд» [19], в якій порівнюється виконання різних моделей діагностики раку молочної залози.

Висновки до розділу 1

В розділі розглянуті основні види дефектів в багат шарових конструкціях, а також методи їх контролю, зокрема тепловий , рентгенографічний, радіоскопічний та ультразвукові методи. Це дозволило оцінити їх можливості та доцільність застосування в тих чи інших випадках.

На основі проведеного аналізу для подальших досліджень був обраний метод вільних коливань. Описаний його принцип роботи та наведена блок-схема.

Аналіз існуючих приладів методом вільних коливань показав, що оцінка контролю в них проводиться за рахунок оператора. Тож для усунення людського фактору на результат контролю та автоматизації цього процесу було запропоноване використання нейронних мереж.

В ході опису та класифікації нейромереж були розглянуті їхні області застосування, переваги й недоліки. В результаті чого було обрано мережу ART-2 , за її швидкодію та можливість роботи в реальному часі.

2. РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ БАГАТОШАРОВИХ КОНСТРУКЦІЙ МЕТОДОМ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ

В даному розділі буде розглядатися розробка апаратної частини системи. Вона складатиметься з ударного механізму, мікрофона та генератора імпульсів. Наведений опис розробки перетворювача та характеристики підібраних компонентів.

2.1. Розробка ударного перетворювача

Конструкція механізму буде складатися з котушки та якоря-ударника, розробленого по типу соленоїда. Соленоїдом називається циліндрична обмотка (рис. 2.1), довжина якої значно перевищує її діаметр. Слово соленоїд складається з двох слів - solen і eidos, перше означає труба, а друге – перекладається як подібний [20]. Отже соленоїд - це котушка, за формою труби.

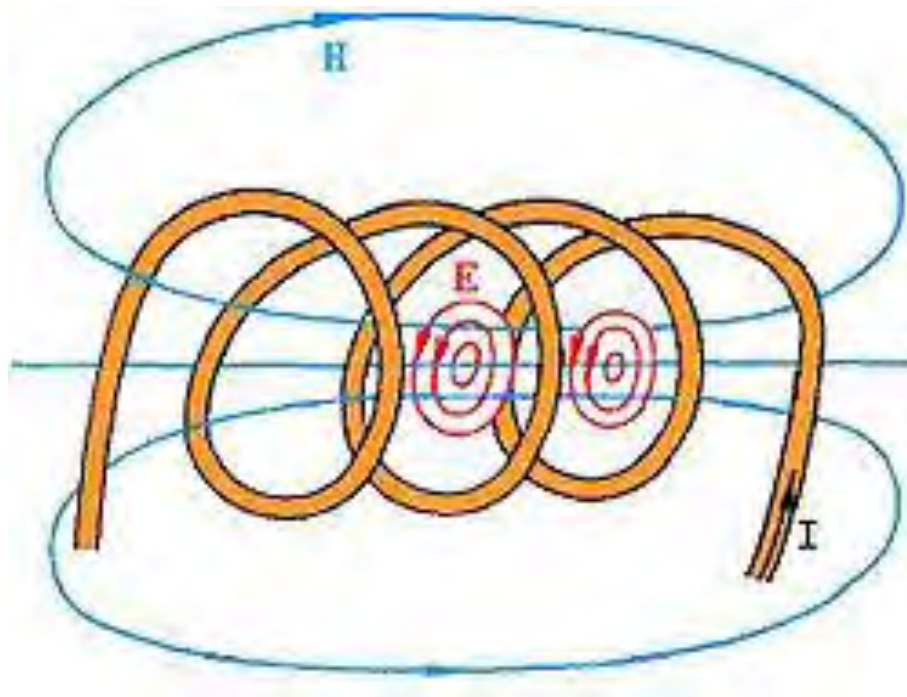


Рис. 2.1. Схема магнітних і вихрових електричних полів в соленоїді при протіканні по обмотці змінного струму.

При намотуванні котушки довжина якої значно перевищує діаметр намотування, то при подачі електричного струму в соленоїд створюється магнітне поле, яке за своєю сутністю подібне до однорідного.

Зазвичай соленоїди постійного струму використовуються в якості поступальних силових електроприводів. Будова магнітної системи впливає на силову характеристику яка буває близька до лінійної. Застосування соленоїдів різноманітне починаючи від рухання ножиців для відрізання квитків і чеків , закінчуючи штовханням клапанів в двигунах та гідравлічних системах і ін.

Принцип дії розробленого перетворювача (рис. 2.2) полягає в наступному.

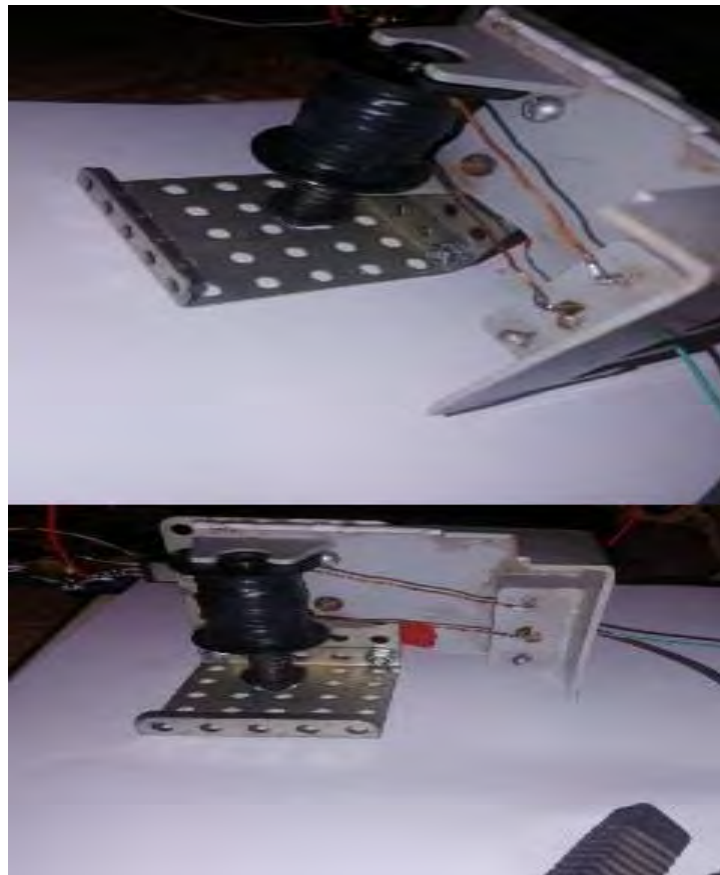


Рис. 2.2. Розроблений УМ.

При протіканні струму в обмотці соленоїда, запасасться енергія. Внаслідок протезування котушки соленоїда постійного струму з опором 0.4 Ом, всередині котушки створюється магнітне поле, яке під впливом сил Максвелла, втягує якір-ударник в котушку соленоїда. В кінці робочого ходу бойок вдаряє по поверхні контрольованого об'єкта, в якому збуджуються пружні затухаючі коливання. Після закінчення дії розгінного імпульсу пружина повертає якір ударник в початкове положення.

Генерація імпульсів відбувається за рахунок генератора імпульсів на мікросхемі NE555 (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Генератор на базі таймера NE555

Плата генератора імпульсів на мікросхемі NE555, застосовується в різних проектах для регулювання параметрів вихідних імпульсів на мікроконтролерах або як генератор, що генерує прямокутні імпульси, які визначаються RC ланцюжком [21].

Регулювання частоти вихідних імпульсів можна змінювати в 4 діапазонах за допомогою перемички:

1. від 1 Гц до 50 Гц ,
2. від 50 Гц до 1 кГц ,
3. від 1 кГц до 10 кГц ,
4. від 10 кГц до 200 кГц.

Зміну частоти імпульсів в одному із діапазонів можна здійснювати з допомогою резистора R1, а скважність регулюється резистором R2.

Живити модуль можна від зовнішнього джерела живлення або з допомогою мікроконтролера. Перед зміною діапазону частот потрібно вимкнути живлення модуля.

Основні характеристики:

Форма імпульсів: прямокутна

Діапазон частот : від 1 Гц до 200 кГц

Діапазон скважності: від 50 до 100%

Діапазон напруг для живлення модуля: від 5 до 15 В (струм постійний)

Вихідний струм даного модуля: 100 мА

Розміри: 31 x 22 x 15 м

Оскільки вихідний струм генератора не перевищує 100 мА, тому для управління соленоїдом потрібне зовнішнє джерело живлення. Так як ударник споживає струм в 2А, то для комутації ударного механізму застосовується польовий N-канальний транзистор IRF640 (рис. 2.4), так як його максимальний струм становить 18А. Нижче наведена схема (рис. 2.5) підключення транзисторного ключа [22].



Рис. 2.4. Транзистор IRF640 в корпусі TO-220

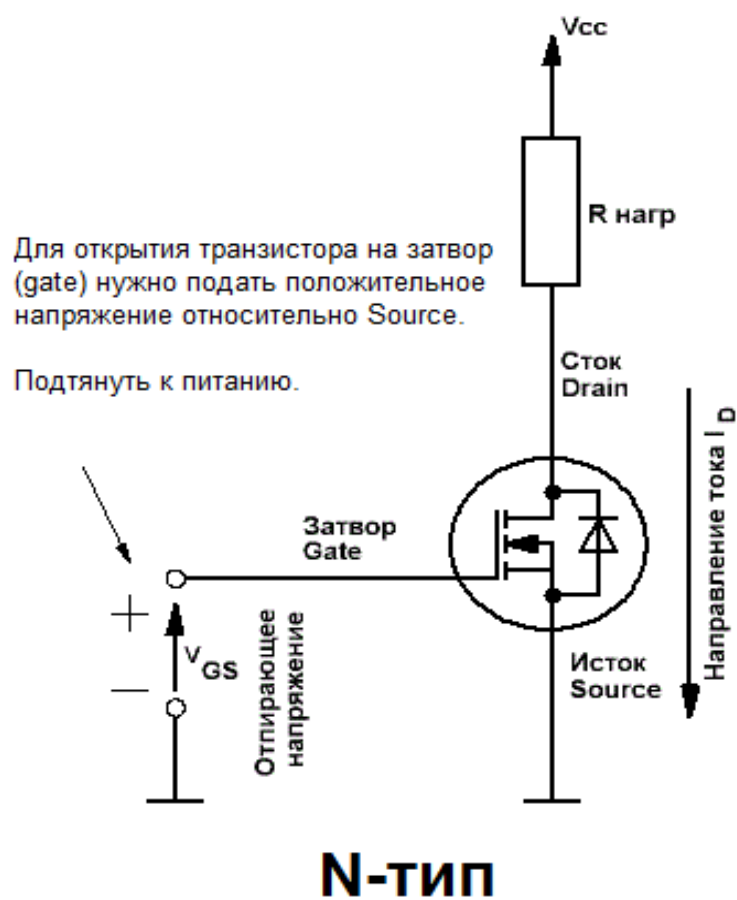


Рис. 2.5. Схема підключення транзистора IRF640

2.2. Вибір електроакустичного перетворювача

Для прийому пружних коливань в дефектоскопах, що дозволяють реалізувати МВК, використовують п'єзоелектричні приймачі або мікрофони. П'єзоелектричні приймачі контактують з контрольованою конструкцією і сприймають коливання безпосередньо від конструкції.

Недоліками п'єзоприймачів (рис. 2.6) є схильність до фрикційних шумів, що виникають при переміщенні по шорсткій поверхні об'єкта контролю, і нерівномірність амплітудно-частотної характеристики.



Рис. 2.6. П'єзоелектричний приймач

У перетворювачах з мікрофонними приймачами пружні коливання конструкції передаються до мікрофона через повітря.

Перевагами мікрофона перед п'єзоприймачами є відсутність безпосереднього контакту і менша чутливість до фрикційних шумів, недоліком - чутливість до зовнішніх акустичних шумів.

Вплив останніх в значній мірі послаблюється корпусом перетворювача. Прийняті акустичні сигнали перетворюються приймачем в електричні сигнали, обробка яких здійснюється в електронному блоці дефектоскопа.

В основі кожного мікрофона лежить перетворювач - просто механізм, що перетворює одну форму енергії в іншу [23]. Джерелом (входом) енергії є звуковий сигнал, а виходом - електричний. Форма отриманого електричного сигналу повторює акустичний вхідний сигнал з мінімально можливими спотвореннями. Все направлені мікрофони повинні до деякої міри змінювати сприйнятий звук. Неможливо змінити характеристики спрямованості, не змінюючи при цьому характер прийнятого звуку.

Типи перетворювачів:

- Конденсаторний: їх також називають ємнісними мікрофонами. Зазвичай вони вважаються найбільш затребуваними. Вони мають виняткову деталізацію і, як правило, можуть витримувати дуже високі рівні звукового тиску. Спотворення дуже низькі, тому що амплітуда руху діафрагми дуже мала (порівнянна з амплітудою рухів барабанної перетинки людського вуха).
- Динамічний: конструкція динамічного мікрофона подібна до конструкції відтворюючих динамічних головок. Більшість цих мікрофонів міцні і здатні сприймати екстремальні рівні звуку. Вони ідеально підходять для «живих» виступів. Більшість з них мають кардіоїдну характеристику спрямованості, хоча доступні також всепрямовані і гіперкардіоїдні типи спрямованості. З усіх типів, що використовуються в живій роботі, динамічні мікрофони є найбільш поширеними.
- Електретний: в мікрофонах, званих «електретним конденсатором», використовується постійно «заряджена» пластикова мембрана, тому вони не вимагають високої напруги для її поляризації (як у випадку з «справжніми» конденсаторними мікрофонами). Більшість з них є все спрямованими, хоча виготовляються також і в кардіоїдній капсулі. Як і в конденсаторних мікрофонах, важливе значення має каскад

перетворення імпедансу через надзвичайно високу його власну величину.

- **Стрічковий:** зазвичай використовуються для студійного звукозапису, але використовуються менше, тому що порівняно тендітні. Дуже тонка (зазвичай алюмінієва) стрічка підвішена в сильному магнітному полі і при переміщенні звуковими хвилями генерує невеликий струм. Стрічкові мікрофони мають надзвичайно низький імпеданс, зазвичай набагато менше 1 Ом. Для підвищення імпедансу (і вихідної напруги) до прийняттого рівня використовується трансформатор. Хоча діаграма спрямованості стрічкових мікрофонів за визначенням двонаправлена («вісімка»), вони також існують з кардіоїдною або гіперкардіоїдною спрямованістю.

В даній роботі використовується електретний мікрофон (рис. 2.7), оскільки він має рівномірну амплітудно-частотну характеристику та компактні розміри. Вихідна напруга в діапазоні від 200мВ – 500мВ (цей параметр не вказувався в характеристиках мікрофона, тому підібраний експериментально, оскільки більшість мікрофонів з живленням до 5В розраховані для звукових карт ПК, що мають вхідну напругу 0 – 0.7В),
діапазон частот становить від 20 Гц до 20 кГц,
спрямованість мікрофона – все направлений,
живлення 3–5 В .

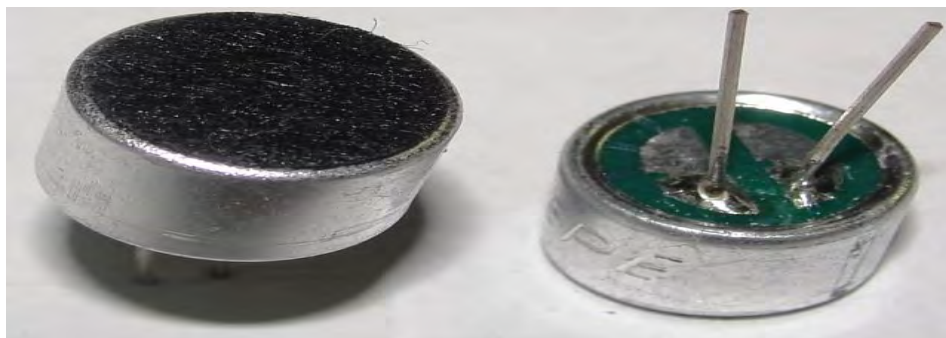


Рис. 2.7. Електретний мікрофон

Акустичний сигнал від контрольованого виробу приймається мікрофоном і перетворюється в електричний сигнал. Отриманий сигнал надходить на звукову карту ПК (ноутбука) для подальшої обробки. Процес оцифрування може проходити з частотою дискретизації до 44100 Гц та розрядністю аналогово-цифрового перетворювача 16 біт.

Висновки до розділу 2

Даний розділ був присвячений розробці засобу збудження акустичних хвиль та сприйманню цих хвиль. В ході роботи було сконструйовано електро-ударний механізм та наведено опис конструкції та принцип її роботи.

Провівши аналіз та опис різних типів акустичних приймачів, було обрано електретний мікрофон. Також були підібрані з вищеописаними характеристиками такі електро-компоненти як: генератор імпульсів та N-канальний транзистор.

Як результат зібрана та протестована апаратна частина системи успішно виконує свої функції.

3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ БАГАТОШАРОВИХ КОНСТРУКЦІЙ МЕТОДОМ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ

В даному розділі проводиться розробка програми яка сприймає сигнал з мікрофону та проводить його первинну обробку. Отримані результати відображаються графічно та передаються на нейронну мережу ART-2, для кластеризації даних.

3.1. Розробка архітектури програми в середовищі Matlab

У цьому підрозділі представлена реалізація програмного забезпечення для даної системи в середовищі Matlab, для забезпечення роботи системи в цілому.

Отримавши сигнал з мікрофона (рис. 3.1), за допомогою вбудованого АЦП в ПК(ноутбук), виробляється вибірка вимірювань.

```
% create the audio recorder
recorder = audiorecorder(Fs,16,1);

% assign a timer function to the recorder
set(recorder, 'TimerPeriod',1, 'TimerFcn', @audioTimerCallback);
```

Рис. 3.1. Це можливо завдяки вбудованій функції audiorecorder

Для обробки даних нейронною мережею відфільтровані дані (рис. 3.2) потрібно перетворити в спектр та нормалізувати.

```
%filtering the signal
[b,a] = butter(4, fc/(Fs/2));
X = filter(b,a,X);
```

Рис. 3.2. Фільтрування вхідних даних фільтром Баттерворта

Якщо не провести нормалізацію (рис. 3.3), то вхідні дані будуть надавати додатковий вплив на нейрон, що призведе до невірних рішень.

```

% compute the FFT
Y = abs(fft(X,N));

%normalize the data
d1 = 0;
d2 = 1;
[maxVal,imaxVal] = max(Y);
[minVal,iminVal] = min(Y);

for i=1:size(Y,1);
    Y(i,:) = ((Y(i,:))*(d2-d1)/(maxVal - minVal))+d1;
end

```

Рис. 3.3. Алгоритм нормалізації даних в інтервалі від 0 до 1

В якості класифікатора даних, використовується мережа АРТ-2, розроблена Стівеном Гроссбергом та Гейлом Карпентером.

Алгоритм її роботи складається з наступних етапів:

1. На вхід S-шару надходить вектор сигналів, що складається з n елементів. Нейрони W-шару сприймають сигнали S-шару і додають їх до вихідних сигналів U-шару.

$$w_i = s_i + au_i; \quad i = 1 \dots n; \quad (7)$$

2. Вихідні сигнали w_i нейронів W-шару надходять на входи X-шару та в нормалізуючий елемент, який обчислює норму:

$$\|w_i\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i^2}; \quad (8)$$

$$x_i = \frac{w_i}{e + \|w\|}; \quad i = 1 \dots n; \quad (9)$$

де e - позитивна константа, що перешкоджає діленню на нуль.

3. Вихідні сигнали V-шару визначаються виразом:

$$v_i = f(x_i) + bf(q_i); i = 1 \dots n; \quad (10)$$

де $f(x)$ - порогова функція для гасіння шумових сигналів:

$$f(x) = \begin{cases} x, & \text{if } x > \theta \\ 0, & \text{else} \end{cases}; \quad (11)$$

де θ - поріг шуму.

4. Вихідні сигнали v_i нейронів V-шару надходять на входи U-шару та в нормалізуючий елемент, який обчислює норму:

$$\|v_i\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^2}; \quad (12)$$

$$u_i = \frac{v_i}{e + \|v\|}; i = 1 \dots n; \quad (13)$$

5. Сигнали p_i визначаються u_i . Вихідні сигнали нейронів P-шару надходять у нормалізуючий елемент i до групи Q-нейронів.

$$\|p_i\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n p_i^2}; \quad (14)$$

$$q_i = \frac{p_i}{e + \|p\|}; i = 1 \dots n; \quad (15)$$

Потім повторюються етапи з 3-5. Стабільний стан у полі F1 встановлюється після двох ітерацій.

6. Вихідні сигнали з P-рівня надходять на рівень розпізнавання Y, і обчислюється максимальний елемент y_i .

$$y_j = \sum_{i=1}^n z_{ij}p_i; j = 1 \dots m; \quad (16)$$

$$i_{max} = \max(Y); \quad (17)$$

тоді обчислюється вихідний сигнал з Y-шару:

$$p_i = u_i + z_{i_{max}i}d; i = 1 \dots n; \quad (18)$$

де z - вагові відносини нейронів Р-шару до нейронів Y-шару.

7. Розраховуються сигнали елементів керуючого рівня.

$$r_i = \frac{u_i + cp_i}{e + ||u|| + c||p||}; i = 1 \dots n; \quad (19)$$

Нормуючий елемент обчислює вихідний сигнал.

$$||r_i|| = \sqrt{\sum_{i=1}^n r_i^2}; \quad (20)$$

8. Якщо $||r|| \geq \rho$ (де ρ - параметр відповідності очікуваного результату поточному, який змінюється в інтервалі $[0; 1]$), тоді передбачається, що в даний час активний нейрон Y-шару з індексом i max F2-поля, переможець. Потім відбувається додаткове тренування його ваг.

$$z_{i \max_i} += d(1 - d) \left(\frac{u_i}{1 - d} - z_{i \max_i} \right); i = 1 \dots n; \quad (21)$$

Якщо $||r|| < \rho$ тоді поточний активний нейрон Y-шару заморожений і не бере участі в подальшій конкуренції.

Якщо не всі нейрони Y-шару заморожені, перейдіть до етапу 6, інакше новий нейрон створюється в Y-шарі, m збільшується на 1. Вважається, що цей нейрон буде резонувати з новими даними, тому ваги розраховуються наступним чином :

$$z_{mi} = d(1 - d) \left(\frac{u_i}{1 - d} \right); i = 1 \dots n; \quad (22)$$

Після виконання обробки(класифікації) вибірки даних мережа відразу ж повідомляє результат.

Отже архітектура мережі АРТ-2 дозволяє швидко виконувати класифікацію даних, що дозволяє застосовувати її в системах реального часу.

Висновки до розділу 3

В розділі програмна реалізація системи було описано процес створення програми в середовищі моделювання Matlab для отримання сигналу мікрофона. В ході роботи були запропоновані етапи первинної обробки .

Також описаний поетапний алгоритм роботи нейронної мережі ART-2 яка реалізована в програмі і служить для кластеризації вхідних даних.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даного дослідження є перевірка працездатності розробленої системи та ефективності практичного застосування нейронної мережі АРТ-2 в методі вільних коливань. Результати проведених експериментальних досліджень даною системою приведені в розділі.

4.1. Опис проведеного дослідження

Експериментальні дослідження проводилися розробленою системою (рис. 4.1) на композиційних матеріалах (зразок з фанери). Зразок (ОК-1) товщиною в 10 мм, та розмірами 123 x 153 мм . Зразок ОК-1 (рис. 4.2) має штучні дефекти по типу на пів отвір та відшарування (рис. 4.3).

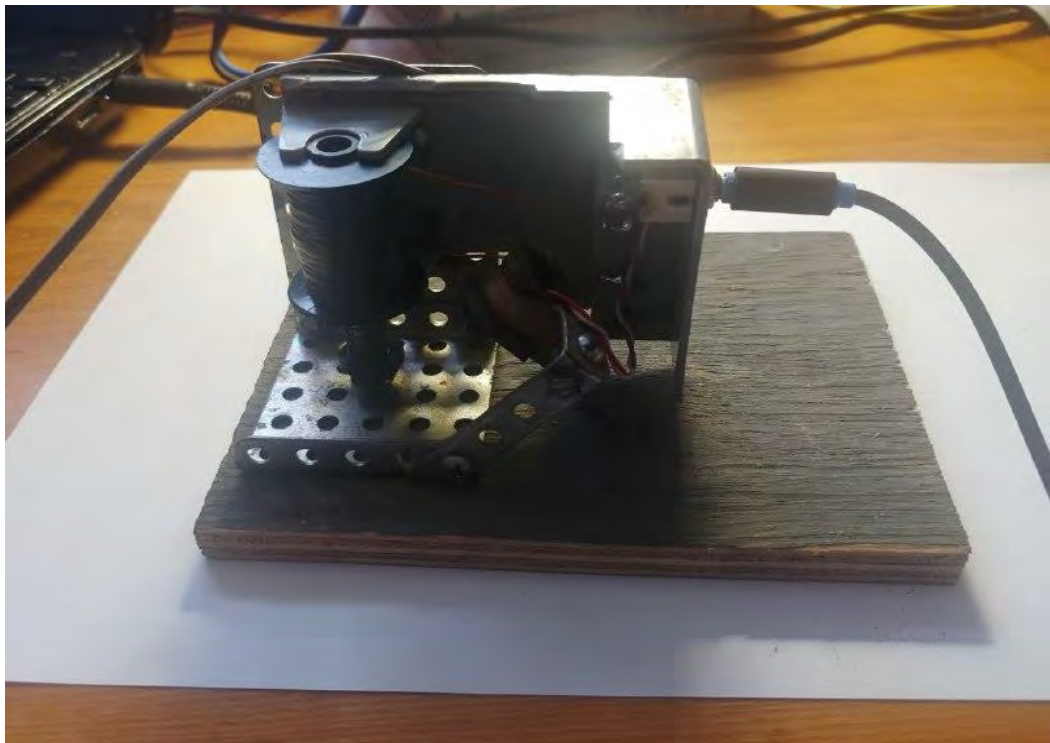


Рис. 4.1. Розроблений акустичний перетворювач на базі ударного механізму та мікрофона

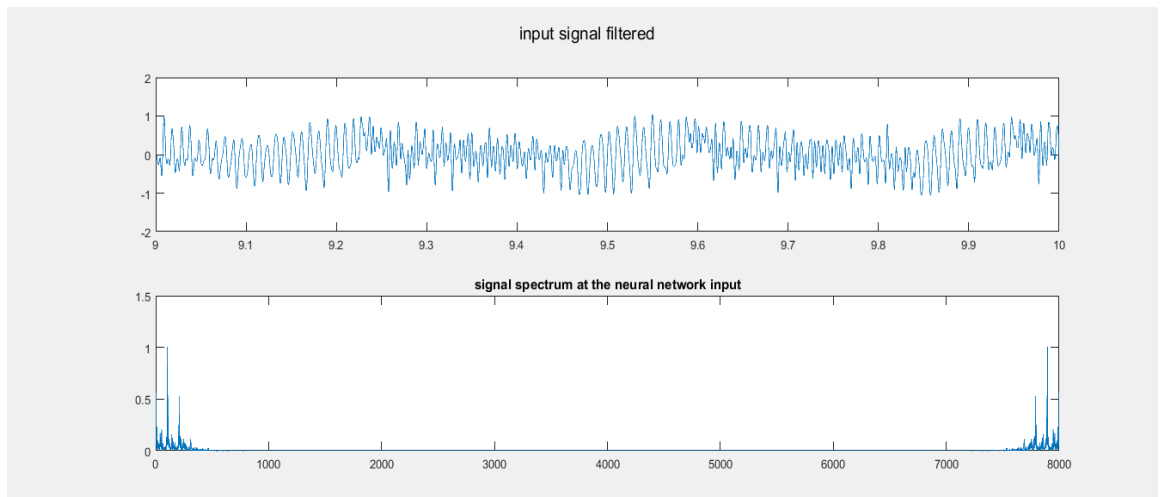


Рис. 4.2. Зразок ОК-1 має два на пів отвори глибиною 5 мм та діаметрами 14 та 10 мм відповідно

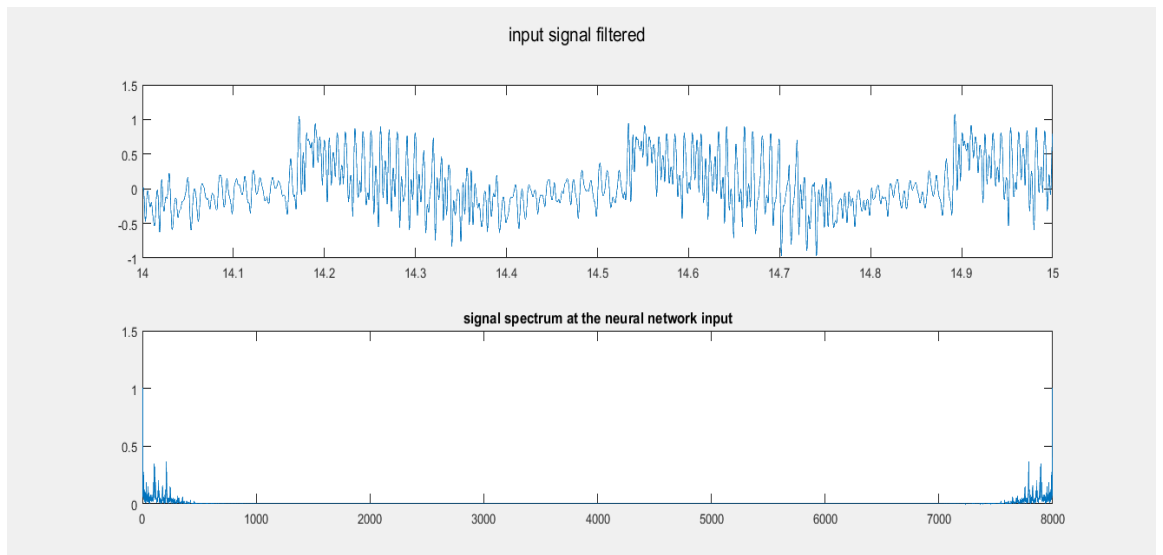


Рис. 4.3. Зона штучного розшарування 40 x 30 мм на зразку ОК-1

Обробка результатів експериментів, що проводились показала, що амплітудні області вільних коливань найкраще розрізняються при переході з бездефектної зони до зони розшарування і навпаки (рис. 4.4).



а)



б)

Рис. 4.4. Представлені графіки сигналу та спектру а) бездефектної зони та б) зони штучного розшарування

Це підтверджується як на графіках так і результатами нейронної мережі, яка створює новий клас і потім розпізнає його (рис. 4.5).


```
Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.
N 5 ART2::process: T[] Клас 1 розпізнано
N 6 ART2::process: T[] Клас 1 розпізнано
N 7 ART2::process: T[] Клас 1 розпізнано
N 8 ART2::process: T[] Клас 1 розпізнано
N 9 ART2::process: T[] Клас 1 розпізнано
N 10 ART2::process: T[] Клас 1 розпізнано
N 11 ART2::process: T[] Клас 1 розпізнано
N 12 ART2::process: T[] Клас 1 розпізнано
N 13 ART2::process: T[] Клас 1 розпізнано
N 14 ART2::process: T[] Додавлено новий клас 2
N 15 ART2::process: T[] Клас 2 розпізнано
N 16 ART2::process: T[] Клас 2 розпізнано
N 17 ART2::process: T[] Клас 2 розпізнано
N 18 ART2::process: T[] Клас 2 розпізнано
N 19 ART2::process: T[] Клас 2 розпізнано
N 20 ART2::process: T[] Клас 2 розпізнано
```

Рис. 4.5. Реакція нейронної мережі на зону розшарування

При переході з бездефектної зони в зони на пів отворів, значних змін на графіках не відбувається. Результату також немає і від нейронної мережі, яка взагалі не створює новий клас і розпізнає зону з дефектом як бездефектну, або створює і не розпізнає при повторних переходах.

Отже як результат проведеного дослідження, застосування нейронних мереж АРТ-2 забезпечує високу чутливість при діагностуванні композиційних матеріалів (фанери), лише до дефектів типу відшарування.

Висновки до розділу 4

Проведені експериментальні дослідження були реалізовані розробленою автоматизованою системою для контролю багат шарових конструкцій методом вільних коливань.

Об'єктом контролю в дослідженні був композиційний матеріал(фанера) з штучними дефектами. Отримані результати наглядно показані в розділі.

За результатами дослідів встановлено доцільність застосування нейронної мережі АРТ-2 при контролі композиційних матеріалів на дефектність по типу відшарування.

5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

В попередніх розділах було розглянуто існуючі прилади методом вільних коливань. Врахувавши недоліки попередніх рішень було розроблено автоматизовану систему для контролю багат шарових конструкцій з власним програмним забезпеченням.

5.1. Представлення ідеї стартап – проекту та її технологічний аудит

В даному розділі буде проведений аналіз стартап проекту. Табл. 5.1 відображає зміст ідеї та напрямки стартап проекту для формування базових потенційних ринків, а також яку саме користь проект принесе тому чи іншому користувачу.

Таблиця 5.1

Аналіз ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка системи для контролю багат шарових конструкцій методом вільних коливань. Розробка програмного забезпечення для даної системи.	1.Промисловість	Прискорення процесу неруйнівного контролю завдяки автоматизації
	2.Вищі навчальні заклади	Ознайомлення з методом вільних коливань та отримання практичних навиків при проведенні контролю цієї системою

Отже, пропонується система для контролю багат шарових конструкцій методом вільних коливань. Яка автоматизує процес розпізнавання певних дефектів під час контролю, побудована на сучасній програмній та апаратній базі та може використовуватися при мінімальних початкових витратах.

В порівнянні з конкурентами ,проводиться аналіз потенційних техніко-економічних переваг проекту (Табл. 5.2):

– визначаються техніко-економічні властивості та характеристики проекту;

– враховується інформація щодо значень техніко-економічних показників для ідеї цього стартапу та пропозицій конкурентів;

– проводиться порівняльний аналіз з урахуванням таких показників:
а) слабка сторона (W); б) аналогічна (A); в) сильна сторона (S).

Таблиця 5.2

Проведення порівняльних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Концепції потенційних конкурентів				W	A	S
		Моя система	Акустичний дефектоскоп АД-64М	Акустичний дефектоскоп АД-701М	Дефектоскоп п композитних матеріалів Дамі-С			
1.	Ціна, (тис.) грн	1-2 (за наявності ПК)	155,4	145,83	117,42			+
2.	Зручність використання	Висока	Висока	Висока	Висока		+	
3.	Надійність	Висока	Висока	Висока	Висока		+	
4.	Можливість зміни методу контролю	-	+	+	+	+		
5.	Зручність транспортування	Висока (ПЗ можна встановити на	Середня (Прилад і перетворювач транспортув	Середня (Прилад і перетворювач транспортув	Середня (Прилад і перетворювач транспортув			+

		декілька ПК)	ати потрібно разом)	ати потрібно разом)	ати потрібно разом)			
--	--	--------------	---------------------	---------------------	---------------------	--	--	--

Проаналізувавши (Табл. 5.2) можна зробити висновок, що запропонована ідея в порівнянні з конкурентними рішеннями має одну слабку сторону - це проведення контролю лише методом вільних коливань. Щодо сильних сторін то – це висока зручність у користуванні, доступна ціна (за наявності ПК) та завдяки модульності системи, легкість у транспортуванні.

Однак немалу роль у реалізації стартап-проекту відіграє ефективна команда. Тож сформуємо необхідну команду для старту даного проекту (Табл. 5.3), адже по мірі розвитку стартапу може змінюватись і його команда [24].

Таблиця 5.3

Формування команди стартапу

В який термін команда повинна бути сформована?	Команда повинна бути сформована після проведеного аналізу можливостей стартап-проекту. Після чого з'явиться можливість зрозуміти які співробітники необхідні в першу чергу і які обов'язки матимуть
Співробітники без яких робота неможлива.	Розробник, маркетолог, менеджер
Чи є можливість використовувати для пошуку персоналу додаткові джерела?	Так.
Яка роль у кожного члена команди?	Кожен із членів команди має свої обов'язки: 1. Розробник - мозок проекту, займається безпосередньо розробкою даної системи (програмної та апаратної частини), вдосконаленням

	<ul style="list-style-type: none"> 2. Маркетолог – займається рекламою, розробляє дизайн проекту 3. Менеджер - забезпечення проекту всіма ресурсами, управління доставкою, основні переговори з клієнтами
Як мотивувати членів команди?	<ul style="list-style-type: none"> 1. Нагородження премією за хороший результат 2. Кар’єрний ріст 3. Публічне признання

За результатами (Табл. 5.3) можна зазначити, що формування команди, один із найважливіших аспектів від якого безпосередньо буде залежати подальша доля проекту. Тому для успішного старту даного стартапу необхідно мати розробника, маркетолога та менеджера з суворо розділеними обов’язками між ними.

Визначимо розподіл часток участі у проекті між членами команди (Табл. 5.4). Для цього визначаються основні елементи вкладу в створення стартапу. Оцінювання важливості кожного фактора проводиться за шкалою від 0 до 10, показники кожного партнера множаться на вагу і визначається відсоткове співвідношення.

Таблиця 5.4

Оцінювання особистого внеску кожного партнера у створення та реалізацію стартапу

Фактор	Вага	Розробник	Маркетолог	Менеджер	
Ідея стартапу	7	9	5	3	
Підготовка бізнес плану	2	3	7	7	

Компетентність	5	7	5	5	
Залученість і ризику	7	1	1	8	
Обов'язки	6	3	5	1	
Разом		129	111	122	362
Відсоток, %		35.6	30.7	33.7	100

При всій простоті калькулятор Деммлера допомагає об'єктивно оцінити внесок кожного учасника стартапа і належну йому частку без зайвих суперечок. Але слід пам'ятати, що результати носять лише рекомендаційний характер.

Тепер сформуємо скорочену інформаційну карту даного проєкту (Табл. 5.5).

Таблиця 5.5

Формування інформаційної карти стартапу

Назва проєкту	Автоматизована система для контролю багатошарових конструкцій методом вільних коливань
Ідея стартап-проєкту	Розробка автоматизованої системи для контролю багатошарових конструкцій методом вільних коливань та розробка програмного забезпечення до системи
Термін реалізації	3 місяці
Необхідні ресурси	ударний механізм, мікрофон, генератор імпульсів, блок живлення, електронні компоненти, програмне забезпечення Matlab

Опис проблеми, яку вирішує стартап-проект	Прискорення процесу неруйнівного контролю завдяки автоматизації, ознайомлення з методом вільних коливань та отримання практичних навиків при проведенні контролю цією системою
Головні цілі та завдання стартап-проекту	Вихід на ринок з якісним та доступним в ціні продуктом
Очікувані результати	Отримання підтримки з боку інвесторів або зацікавленість державних підприємств

Реалізація ідеї проекту можлива тільки після проведення її технологічного аудиту. Технологічний аудит – це комплексний аналіз фірми / організації, який спрямований на виявлення технологій та здійснення об'єктивної оцінки їх потенціалу. Загальна структура технологічного аудиту:

1. збір інформації
2. аналіз зібраної інформації
3. синтез (розробка рекомендацій)
4. отримання звіту.

Для визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачається аналіз складових (Табл. 5.6).

Таблиця 5.6

Технологічна здійсненність ідеї проекту

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
---	--------------	--------------------------	----------------------	------------------------

1.	Розробка системи для контролю багат шарових конструкцій методом вільних коливань. Розробка програмного забезпечення для даної системи.	Замовлення компонентів та виготовлення власноруч	Наявна	Доступна
		Написання програми в середовищі Matlab	Наявна	Середовище для створення доступне

Отже, за результатами аналізу (Табл. 5.6) можна зробити висновок, що наш проект не має суттєвих складнощів в реалізації, програмна й апаратна його частини виконані з використанням наявних та новітніх технологій. Всі необхідні технології доступні.

5.2. Ринкові можливості реалізації стартап-проекту

Для реалізації проекту, визначимо ринкові можливості та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Проведений аналіз (Табл. 5.7). дозволить спланувати напрями розвитку проекту, пропозиції проектів-конкурентів, охарактеризувати динаміку ринку, виявити існуючі обмеження та вимоги, а також зрозуміти потреби потенційних клієнтів.

Таблиця 5.7

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1.	Кількість головних гравців, од	3
2.	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	500000

3.	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4.	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Патент на проект
5.	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Перевірка системи з метою підтвердження працездатності в реальних умовах
6.	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	85

Отримавши результати аналізу попередньої характеристики можна зробити висновок, що існує декілька основних конкурентів, проте динаміка ринку зростає, а отже вкладення коштів в даний проект є рентабельним. Хоч і має деякі обмеження та вимоги.

Далі визначаємо потенційну аудиторію, її характеристики, та сформуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної цільової групи споживачів (Табл. 5.8).

Таблиця 5.8

Безпосередня характеристика потенційних споживачів товару

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Автоматизація виробництва та контролю виробів	Підприємства, виробники будь яких галузей промисловості	Ціна, зовнішній вигляд, якість сервісного обслуговування.	Простота в експлуатації. Якісний товар за свою ціну.

Результати (Табл. 8) показали, що було визначено сегменти ринку на яких варто запропонувати продукт. Проведено відмінності у різних цільових груп клієнтів. Визначено поведінку потенційних споживачів та їхні вимоги.

Існують і певні загрози при застосуванні даної технології. При яких проект не зможе конкурувати або взагалі буде провальним. Тож складемо таблицю факторів, що перешкоджають ринковому впровадженню проекту (Табл. 5.9).

Таблиця 5.9

Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Поява конкурентів	Вихід на ринок конкурента	Знизити ціну на сервісне обслуговування, встановлення більш якісних комплектуючих.
2.	Економічний	Зростання ціни на комплектуючі	Пошук нових постачальників, перехід на інші мікросхеми
3.	Технічний	Неполадки в програмному забезпеченні	Наявність кваліфікованих спеціалістів
4.	Правовий	Блокування реклами продукції	Залучення юридичної підтримки
5.	Соціальний	Відсутність попиту	Зниження ціни, залучення рекламних компаній

Проаналізувавши (Табл. 5.9) потрібно зазначити, що виникла ціла низка загроз, різного виду та характеру, які можуть спричинити проблеми

реалізації стартапу. Тому потрібно постійно контролювати ринок і вносити відповідні корективи для нівелювання нових факторів загроз.

Розглянемо й сприятливі фактори для даного проекту та реакції на них. Тож розглянемо можливості (Табл. 5.10) при яких стартап буде успішно розвиватись.

Таблиця 5.10

Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Відсутність конкуренції	Відсутня конкуренція, а отже є можливість стати монополістом	Повний контроль над ціною і обсягом пропозиції на ринку
2.	Економічний	Зацікавленість інвесторів в даній технології	Збільшення обсягів збуту, розширення компанії та технологічна модернізація
3.	Технічний	Нові алгоритми в класифікації даних	Програмна модернізація системи та постійне оновлення програмного забезпечення
4.	Ринок збуту	Вихід на міжнародний ринок, збільшення клієнтів	Розширення компанії та підвищення якості продукції
5.	Державний	Зацікавленість державних підприємств	Виділення держ. бюджету в дану компанію

Результати (Табл. 5.10) показали, що при певних сприятливих умовах можна досягти успіху в розвитку даного проекту, якщо вчасно реагувати запропонованими шляхами реакції на виникаючі можливості.

В (Табл. 5.11) проведемо аналіз конкуренції на ринку, зазначимо особливості конкурентного середовища, проведемо їхню характеристику та запропонуємо вплив на діяльність підприємства.

Таблиця 5.11

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказаний тип конкуренції: олігополія	Мала кількість компаній, що пов'язані з даною сферою	Ведення сприятливої цінової політики та покращення якості продукції
2. Зазначений рівень конкурентної боротьби: міжнародна	Пропонування продукції в інших країнах	Освоєння міжнародного ринку
3. Галузева ознака: міжгалузева	Підприємства охоплюють декілька галузей	Пропозиція товару за нижчою ціною
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Товари пропонуються лише одного виду	Залучення рекламних компаній та поліпшення якості
5. Конкуренція за характером конкурентних переваг: цінова	Пряма залежність вартості продукції від ціни її комплектуючих	Залучення аналітики для просування оптимальних рішень
6. Конкуренція за інтенсивністю: не марочна	Популярні виробники користуються своїм «іменем»	Пошук держзамовлень та постійне покращення якості

Запропонований алгоритм дій показує, що підібравши відповідну цінову політику і провівши рекламну кампанію потрібно закріпитися в

одному сегменті з подальшим розширенням, постійно покращувати свою продукцію і робити спроби виходу на міжнародний ринок. Тож проведемо детальний аналіз за М. Портером (Табл. 5.12).

Таблиця 5.12

Аналіз конкуренції в галузі за моделлю М. Портера

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Дефектоскоп композитних матеріалів Дамі-С	Економія на масштабах Доступ до ресурсів	Значення розміру поставок для постачальників	Контроль ціни та якості	Лояльність споживачів
Висновки	Невисока конкуренція	Вихід на ринок можливий за рахунок державних замовлень	Відсутній вплив постачальників на умови праці на ринку	Вимога клієнтів на якіснішу та дешевшу продукцію	Компанії з досвідом володіють ринком

Отже з (Табл. 5.12) можна зробити такий висновок, що проект повинен реалізовуватись високої якості та мати дещо нижчу ціну ніж в конкурентів аби успішно конкурувати з іменитими брендами.

Тепер потрібно визначити і обґрунтувати основні фактори конкурентоспроможності (Табл. 5.13).

Таблиця 5.13

Обґрунтування основних факторів конкурентоспроможності

№	Фактор	Обґрунтування
1.	Наявність сертифікатів та патенту	Певний захист для власних розробок

2.	Ціна	Ціна є головним засобом ведення конкурентної боротьби
3.	Технологічна модернізація	Оновлення алгоритмів в обробці даних
4.	Рекламна компанія	Наявність ефективної реклами та якісна технічна підтримка
5.	Бренд компанії	Наявність «імені» у компанії з хорошою репутацією дає змогу мати постійних клієнтів

Обґрунтувавши основні фактори, можна відмітити, що головним засобом ведення конкурентної боротьби є нижча ціна на продукцію. А наявність сертифікатів та патенту дасть змогу захистити власні розробки від не добросовісних конкурентів.

Далі проводиться порівняльний аналіз з конкурентами для ілюстрації сильних та слабких сторін в розробленій системі (Табл. 5.14).

Таблиця 5.14

Порівняльний аналіз даної системи

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з компанією						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Наявність сертифікатів та патенту	15		+					
2.	Ціна	20							+
3.	Технологічна модернізація	16				+			
4.	Рекламна компанія	17						+	

Результати (Табл. 5.14) показали, що основною перевагою та головним досягненням даного проекту є його низька ціна, висока якість продукції та сервісне обслуговування на протязі заявленого терміну використання.

Тепер складемо SWOT – аналіз (Табл. 5.15), сильних – Strength та слабких – Weak сторін, загроз – Troubles та можливостей – Opportunities, на основі (Табл. 5.14).

Таблиця 5.15

SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Низька ціна компонентів 2. Простота у встановленні програмного забезпечення 3. Легкість в транспортуванні 4. Сучасні комплектуючі та алгоритми в обробці даних 5. Ціна/якість набагато вище ніж у конкурентів 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Необхідність в інвестиціях 2. Немає «імені» на ринку 3. Вузько спеціалізована продукція
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отримання держзамовлення 2. Підтримка інвесторів 3. Вдосконалення програмного забезпечення та оновлення комплектуючих 4. Зростання попиту на продукцію 5. Відсутність конкуренції 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Конкурентний тиск 2. Ріст цін на комплектуючі 3. Невчасне постачання комплектуючих 4. Вірогідність збою при обробці на «слабкому» ПК 5. Відсутність попиту

SWOT-аналіз допомагає розробити альтернативні рішення ринкової поведінки для реалізації стартапу на ринку та оптимальний час в залежності від ринкової реалізації з урахуванням конкурентів.

Отримані рішення потрібно аналізувати відносно строків та ймовірності отримання ресурсів (Табл. 5.16).

Таблиця 5.16

Альтернативні рішення ринкового впровадження стартап-проекту

№	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів ринкової поведінки)	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Ліквідація ринкових загроз сильними сторонами проекту	Висока	3 місяці
2.	Отримання держзамовлення	Середня	9 місяців
3.	Залучення інвесторів (за можливістю іноземних)	Висока	6 місяців

Отже, найбільш перспективна альтернатива є ліквідація ринкових загроз сильними сторонами стартап-проекту, оскільки ймовірність отримання ресурсів висока, а терміни реалізації менші за такі ж як і в інших альтернативах.

5.3. Розробка ринкової стратегії проекту

При розробці ринкової стратегії в першу чергу проводиться вибір потенційної аудиторії. В (Табл. 5.17) буде аналізуватись цільова група клієнтів від певних залежностей.

Таблиця 5.17

Підбір цільових груп потенційних клієнтів

№	Опис цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент

1.	Вищі технічні заклади освіти, компанії пов'язані з неруйнівним контролем	Висока	Високий	Середня	Помірна
----	--	--------	---------	---------	---------

Проаналізувавши групи потенційних споживачів можна обрати цільові групи, яким пропонується автоматизована система методом вільних коливань. Ринок потрібно охоплювати застосовуючи стратегією маркетингу [25].

Наступним етапом є визначення базової стратегії розвитку (Табл. 5.18).

Таблиця 5.18

Визначення базової стратегії на ринку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	Вдосконалення даного проекту	Реклама та маркетинг	Нижча ціна	Стратегія диференціації

Оскільки мета полягає в задоволенні потреб декількох цільових груп, тому стратегією розвитку було вибрано – стратегію диференціації.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (Табл. 5.19).

Таблиця 5.19

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проект «першопроходцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки

		існуючих у конкурентів?		
1.	Ні	Так	Ні	Зайняття конкурентної ніші

Отже, визначившись зі стратегією конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування (Табл. 5.20) яка визначається у формуванні ринкової позиції, за якою споживачі будуть розпізнавати стартап-проект.

Таблиця 5.20

Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Доступна ціна, висока якість	Стратегія диференціації	Ціна, зручність використання та транспортування	Помірна ціна, висока якість, зручність транспортування

Результати розробленої системи рішень ринкової поведінки компанії, показують перспективи стартап-проекту на різних етапах його реалізації. Це дасть змогу зайняти вигідний сегмент цільової аудиторії і закріпитися в ньому.

5.4. Створення маркетингової програми

При розробці маркетингової програми спочатку потрібно проаналізувати ключові переваги (Табл. 5.21) даної продукції.

Таблиця 21.

Визначення основних переваг концепції товару

№	Потреба	Вигода, яка пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1.	Доступна (низька) ціна	Значно нижча ціна ніж у конкурентів	Ріст клієнтів завдяки доступній ціні
2.	Легкість у транспортуванні	Універсальність та модульність системи	Можливість застосування системи з різними ПК
3.	Висока якість	Довший термін придатності	Система зібрана із сучасних та доступних компонентів

Отримавши результати ключових переваг зробимо опис трьох рівнів моделі товару (Табл. 5.22).

Таблиця 5.22

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Автоматизована система для контролю багат шарових конструкцій методом вільних коливань
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики
	1. Якість 2. Ціна 3. Модульність системи 4. Легкість у використанні 5. Сучасні технології
	Пакування: картонна упаковка
III. Товар із підкріпленням	До продажу: можливість замовити різними службами доставки по всій Україні

	Після продажу: тех. підтримка та оновлення програмного забезпечення
--	---

Як результат описано три-рівневу модель даного товару, потрібно зазначити, що товар буде захищено від піратства, за рахунок індивідуального ліцензійного коду в кожній копії програмного забезпечення.

Залишилось встановити ціну для даного продукту але спочатку потрібно проаналізувати (Табл. 5.23) ціни конкурентів та рівень доходів цільової групи споживачів.

Таблиця 5.23

Визначення меж встановлення ціни

№	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Нижня та верхня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	5000	5000-155000	500000-1000000	5000 - 155000

Розробка системи збуту наведена в (Табл. 5.24).

Таблиця 5.24

Формування системи збуту

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Продаж оптом або в роздріб	Проведення консультації щодо встановлення програмного	Висока	Підписання домовленості щодо поставки

		забезпечення та тех. хар. системи. Відправка продукції через служби доставки.		певної кількості товару
--	--	--	--	-------------------------------

Отже, продаж товару передбачає як в роздріб, так і за домовленістю щодо постачання партією в певну кількість товару. Приведена система збуту дозволить набувати нових клієнтів і утримувати постійних.

Тепер можна сформулювати концепцію маркетингових комунікацій (Табл. 5.25).

Таблиця 5.25

Концепція маркетингових комунікацій

№	Поведінка потенційних споживачів	Засоби комунікацій, якими користуються потенційні споживачі	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Ціль рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1.	Якісна продукція за низькою ціною	Тематичні сайти (канали на різних платформах), журнали, виставки	Низька ціна, легкість в транспортуванні та використанні	Низька ціна та висока якість за таку ціну	Опис сильних сторін даного продукту

Сформувавши концепцію маркетингових комунікацій, як висновок, потрібно акцентувати увагу на проведення якісної рекламної компанії за допомогою всіх можливих методів. Це значно полегшить знаходження нових клієнтів.

Для того щоб стартап був помічений інвесторами було складено резюме, в якому описано основні розділи проекту (Табл. 5.26). Ця інформація є дуже важливою для інвесторів, оскільки саме вона відображає здатність компанії досягти заявлених цілей. Її призначення - стимулювати інвестора отримати більш детальну інформацію про проект.

Таблиця 5.26

Структура резюме

№	Структурні елементи	Пояснення
1.	Назва проекту	Автоматизована система для контролю багат шарових конструкцій методом вільних коливань
2.	Мета проекту	Розвиток даної технології і отримання прибутку
3.	Тип проекту	Створення нового продукту
4.	Опис продукту та його унікальності	Продукт призначений для проведення неруйнівного контролю багат шарових конструкцій методом вільних коливань. Основні блоки: ударний механізм, мікрофон, генератор імпульсів, блок живлення, електронні компоненти, програмне забезпечення Matlab Унікальність проявляється в методі класифікації даних
5.	Опис проблеми, на вирішення якої спрямовано стартап	Прискорення процесу неруйнівного контролю завдяки автоматизації, ознайомлення з методом вільних коливань та отримання практичних навиків при проведенні контролю цією системою
6.	Короткий опис унікального вирішення проблеми завдяки стартапу	Автоматизація проводиться за рахунок роботи нейронної мережі
7.	Учасники стартап-проекту	Розробник, маркетолог, менеджер

8.	Роз'яснення щодо отримання доходу завдяки вирішенню проблеми	Отримання доходу завдяки автоматизації та пришвидшення процесу контролю
9.	Розвиток стартапу	Технологічна модернізація та залучення ефективної реклами
10.	Необхідний обсяг фінансування	2000
11.	Напрями використання інвестицій	Закупівля необхідних елементів, розробка системи, тех. підтримка, маркетинг та реклама
12.	Розкриття питань щодо інтелектуальної власності	Оформлення сертифікатів для захисту власних розробок

Складене резюме дає змогу направити інвесторів для попереднього ознайомлення з проектом. Потім, якщо ідея їх зацікавить, вони зможуть ознайомитись більш детально і проаналізувати чи дасть проект в майбутньому можливість вигідно продати їх частку.

Висновки до розділу 5

Провівши аналіз даного стартап-проекту потрібно зазначити, що автоматизована система для контролю багатшарових конструкцій методом вільних коливань по прогнозам рентабельності комерціалізації цього проекту є доволі перспективним рішенням оскільки необхідність в автоматизації різко росте в різних галузях. З розвитком новітніх технологій та обчислювальної техніки стало можливим вирішення багатьох питань в сферах автоматизації та оптимізації певних процесів, які стали виконуватись набагато швидше і якісніше.

Проте на ринку присутня конкуренція різного рівня тому для виходу на ринок потрібно залучати маркетингову програму (тематичні сайти (канали на різних платформах), журнали, виставки) та висвітлювати

найсильніші сторони даного продукту, щоб успішно конкурувати з іменитими брендами. Такі як висока якість продукції за дуже доступну ціну, а також легкість в транспортуванні. Також варто враховувати можливу конкуренцію зі сторони товарів замінників. Тому потрібно постійно контролювати ринок і у разі виникнення загроз вносити відповідні корективи для їх нівелювання.

Незважаючи на конкуренцію, проект не має суттєвих складнощів в реалізації, програмна й апаратна його частини виконані з використанням наявних технологій, а ринок надає можливості впровадження стартапу в обіг з огляду на наявність цільових споживачів, які могли б зацікавитись цим продуктом.

Отже наразі проект є конкурентоспроможним тож підібравши відповідну цінову політику і провівши рекламну кампанію потрібно закріпитися в одному сегменті з подальшим розширенням, постійно покращувати свою продукцію, прислуховуватись до споживачів і робити спроби виходу на міжнародний ринок.

ВИСНОВКИ

У результаті проведення аналітичного огляду за заданою тематикою було проаналізовано існуючі види дефектів в багатошарових конструкціях, а також методи їх контролю, зокрема тепловий, рентгенографічний, радіоскопічний та ультразвукові методи. Це дозволило оцінити їх можливості та доцільність застосування в тих чи інших випадках.

На основі проведеного аналізу для подальших досліджень був обраний метод вільних коливань, описаний принцип його роботи та наведена блок-схема. Адже він є ефективним, а в ряді випадків і єдиним засобом контролю багатошарових конструкцій з неметалевих матеріалів.

Огляд існуючих приладів методом вільних коливань показав, що оцінка контролю в них проводиться за рахунок оператора. Як результат ручний контроль має багато недоліків. Оскільки участь людини в деяких процесах значно знижує продуктивність праці та погіршує якість продукції. Це особливо проявляється при контролі складних та масштабних конструкцій де потрібно провести великий обсяг роботи.

Тому постало питання в автоматизації цього методу НК і для усунення людського фактору на результат контролю було запропоноване використання нейронних мереж.

В ході опису та класифікації нейромереж були розглянуті їхні області застосування, переваги й недоліки. В результаті чого було обрано мережу АРТ-2, за її швидкодію та можливість роботи в реальному часі.

Отже проаналізувавши весь аналітичний матеріал була розроблена система для контролю багатошарових конструкцій. Вона складається з апаратної та програмної частини. За допомогою апаратної частини збуджуються та передаються на ПК акустичні коливання з певною частотою. До складу апаратної частини належать: акустичні перетворювачі, генератор імпульсів NE555 з транзисторним ключем.

Програмна частина розроблена в середовищі Matlab. В ній виконуються такі функції як отримання сигналу з акустичного перетворювача , обробка (класифікація) даних за допомогою нейромережевого алгоритму ART-2 та візуалізація результатів.

В ході роботи над магістерською дисертацією було проведене дослідження композиційного матеріалу (фанери) даною системою на наявність дефектів. Хоч і отримані результати виявилися задовільні лише при контролі дефектів типу відшарування, можна зазначити, що процес автоматизації в даному методі за допомогою нейронних мереж має великий потенціал.

Завершальним етапом даної магістерської дисертації була розробка стартап-проекту. За результатами прогнозів рентабельності комерціалізації цього проекту виявилось, що він є доволі перспективним рішенням оскільки необхідність в автоматизації постійно росте.

Проте на ринку присутня конкуренція різного рівня тому для виходу на ринок потрібно залучати маркетингову програму та висвітлювати найсильніші сторони даного продукту. Такі як висока якість продукції за дуже доступну ціну, а також легкість в транспортуванні за рахунок модульності системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Лашко О. В., Удод В. О. Дослідження можливостей автоматизації ультразвукового контролю елементів мостових конструкцій. Погляд у майбутнє приладобудування : збірник праць XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. 2019. С. 410-413.
- [2] Загретдинов А.Р. Методика и прибор ударно-акустического контроля многослойных композиционных конструкций: Дис. ... канд. техн. наук : Казань, 2013 — [Электронный ресурс].— Режим доступа до ресурсу: <http://tekhnosfera.com/view/430754/d?#?page=1>
- [3] Азаров Н.Т. Эксплуатационный УЗК содержания и определения количества воды в клееных сотовых конструкциях самолетов /В мире неразрушающего контроля, 2001, №4
- [4] Вавилов В.П. Климов А.Г. Тепловизионная диагностика воды в авиационных сотовых панелях /В мире неразрушающего контроля, 2003, № 2.
- [5] Косарина Е.И., Степанов А.В., Тараканов Ю.В., Усачев В.Е. Радиоскопический контроль сотовых конструкций, с. 73—81 (настоящего сборника).
- [6] Саликова Е.В. Применение метода свободных колебаний для определения внутренних дефектов в клееной фанере : Дис. ... канд. техн. наук : 05.21.05 : Кострома, 2004 146 с. РГБ ОД, 61:04-5/4057. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа до ресурсу: <http://www.dslib.net/les-texnology/primenenie-metoda-svobodnyh-kolebanij-dlja-opredelenija-vnutrennih-defektov-v.html>
- [7] Неразрушающий контроль качества клеевых соединений в композитных конструкциях самолетов — [Электронный ресурс].—

- Режим доступу до ресурсу:
http://www.defectoscop.ru/index.php?show_aux_page=64
- [8] Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю [Електронний ресурс]: підручник / Р. М. Галаган; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.
- [9] Тасаж В.С. Обробка даних, що отримані у результаті контролю методом вільних коливань. Погляд у майбутнє приладобудування : збірник праць XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. 2020. С. 330-332.
- [10] Цапенко, В. К. Основи ультразвукового неруйнівного контролю [Електронний ресурс] : підручник / В. К. Цапенко, Ю. В. Куц ; НТУУ «КПІ». - Електронні текстові дані (1 файл 6,54 Мбайт). - Київ : НТУУ «КПІ», 2009. - Назва з екрана. — Режим доступу до ресурсу:
<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/303>
- [11] Применение информационного подхода к решению задачи дефектоскопии методом свободных колебаний. [Електронний ресурс] / Хатьков Д.Н.– Томск. – Труды МАИ. Выпуск № 88. – Режим доступу до ресурсу:
http://trudymai.ru/upload/iblock/078/khatkov_rus.pdf?lang=ru&issue=88
- [12] Акустический дефектоскоп АД-64М — [Електронний ресурс].— Режим доступу до ресурсу: <https://www.geo-ndt.ru/pribor-1602-akusticheskii-defektoskop-ad-64m.htm>
- [13] Акустический дефектоскоп АД-701М — [Електронний ресурс].— Режим доступу до ресурсу: <https://www.geo-ndt.ru/pribor-1562-akusticheskii-defektoskop-ad-701m.htm>
- [14] Дефектоскоп композитних матеріалів універсальний ДАМІ-С — [Електронний ресурс].— Режим доступу до ресурсу:
<https://ukrintech.com.ua/ua/defektoskop-kompozitnikh-materialiv-universal-nij-dami-s/>

- [15] Orhan E. Arslan, in Artificial Neural Network for Drug Design, Delivery and Disposition, 2016— [Електронний ресурс].— Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/topics/veterinary-science-and-veterinary-medicine/biological-neural-network>
- [16] Теорії нейронних мереж — [Електронний ресурс].— Режим доступу до ресурсу: <https://uadoc.zavantag.com/text/1792/index-5.html>
- [17] Carpenter G. A., Grossberg S. ART 2: Stable self-organization of pattern recognition codes for analog input patterns // Applied Optics. — 1987. — № 26. — P. 4919–4930.
- [18] ART (Adaptive Resonance Theory) — [Електронний ресурс].— Режим доступу до ресурсу: <https://blog.oureducation.in/art-adaptive-resonance-theory/>
- [19] Esugasini Subramaniam, Tan Kuan Liung, Mohd. Yusoff Mashor, Nor Ashidi Mat Isa “Breast Cancer Diagnosis Systems: A Review,” Control and Electronic Intelligent System (CELIS) Research Group, 2002
- [20] Соленоид— [Електронний ресурс].— Режим доступу до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Соленоид>
- [21] Генератор на базі таймера NE555 — [Електронний ресурс].— Режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/prod1939-generator-na-baze-taimera-ne555>
- [22] Транзистор IRF640 полевой N-канальный 200V 18A корпус TO-220 — [Електронний ресурс].— Режим доступу до ресурсу: <https://electronoff.ua/good/tranzistor-irf640-polevoj-n-kanalnyj-200v-18a-korpus-to-220.php>
- [23] Микрофоны - разновидности, свойства, применение — [Електронний ресурс].— Режим доступу до ресурсу: <http://cxem.net/sound/raznoe/microphones.php>
- [24] Гавриш, О. А., Бояринова К. О., Копішинська К. О. Розробка стартап-проектів. Конспект лекцій : навчальний посібник для студентів

спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка»; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові данні (1 файл: 2,88 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 188 с. — [Електронний ресурс].— Режим доступу до ресурсу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/29447>

- [25] Гавриш, О. А., Бояринова К. О., Копішинська К. О. Розробка стартап-проектів: практикум: навчальний посібник для студентів спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка»; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові данні (1 файл: 2,11 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 116 с — [Електронний ресурс].— Режим доступу до ресурсу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/29450>
- [26] Галаган Р.М. Реалізація нейромережових алгоритмів класифікації технічного стану композиційних матеріалів за результатами акустичного контролю / Р. М. Галаган, А. С. Момот // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – Київ. – 2017. – №1. – С. 43-46 (DOI 10.15407/tdnk2017.01.07)
- [27] R. M. Galagan and A. S. Momot, "The use of ART-2 neural network for processing information signals of non-destructive testing," 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Kiev, 2017, pp. 981-985 (doi: 10.1109/UKRCON.2017.8100395)
- [28] R. Galagan and A. Momot, "The Use of Backpropagation Artificial Neural Networks in Thermal Tomography", 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC), Kyiv, Ukraine, 2018, pp. 1-6. (doi: 10.1109/SAIC.2018.8516880)

- [29] Bielecki, A. & Wójcik M. (2017). Hybrid system of ART and RBF neural networks for online clustering. *Applied Soft Computing*, vol. 58, 1-10, ISSN 1568-494



НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. І. СІКОРСЬКОГО»

Автоматизована система для контролю багатошарових конструкцій методом вільних КОЛИВАНЬ

Виконав:

Тасаж В.С., студент гр. ПК-91мп,

Науковий керівник:

к.т.н., доц. Галаган Р.М.

Київ-2020

Мета об'єкт та предмет дослідження

Мета дослідження: розробка автоматизованої системи для контролю багат шарових конструкцій методом вільних коливань та ефективності практичного застосування нейронної мережі АРТ-2 в методі вільних коливань.

Завдання дослідження: огляд методів контролю багат шарових конструкцій, актуальність та сфери застосування методу вільних коливань. Розробка та отримання моделі робочого прототипу. Збір та аналіз експериментальних даних.

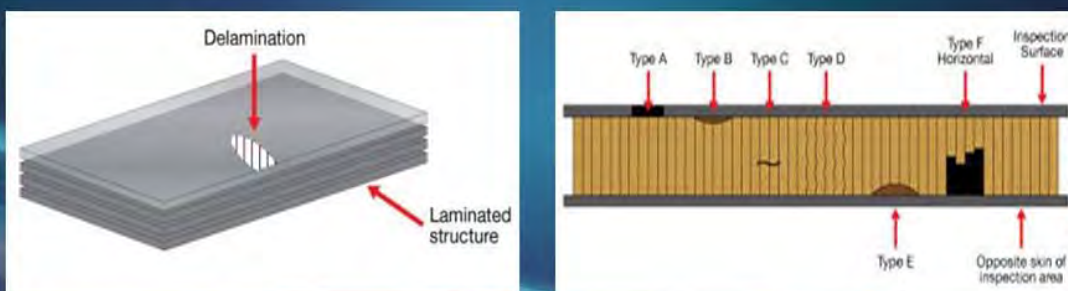
Об'єкт дослідження: процес аналізу збуджених акустичних коливань за допомогою нейронної мережі АРТ-2.

Предмет дослідження: метод класифікації даних , акустичний перетворювач

Дефекти в багат шарових конструкціях

Конструкції із композитних матеріалів останнім часом знаходять все більш широке застосування і є перспективними в багатьох галузях промисловості (машинобудуванні, авіації, космонавтиці, енергетиці та ін.). Так як забезпечують при малій масі високу міцність, жорсткість, технологічність і хороші теплоізоляційні властивості.

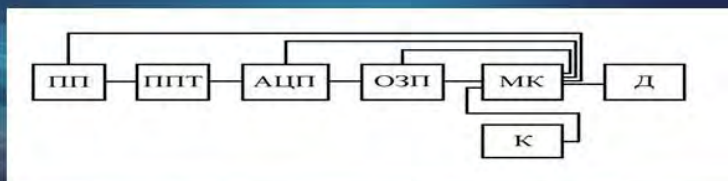
Але на жаль в них теж виникають різного виду дефекти. Такі як розшарування, неповна полімеризація сполучника, наявність зон підвищеного або пониженого вмісту сполучника, сторонні вclusions.



Огляд методу вільних коливань

На основі проведеного аналізу для подальших досліджень був обраний метод вільних коливань. Адже він є ефективним, а в ряді випадків і єдиним засобом контролю багат шарових конструкцій з неметалевих матеріалів.

Метод вільних коливань заснований на ударному збудженні імпульсів вільно затухаючих пружних коливань в контрольованій зоні і аналізі параметрів прийнятого сигналу. Спектр прийнятого сигналу при знаходженні перетворювача в зоні дефекту контрольованої конструкції відрізняється від спектра прийнятого сигналу в бездефектній зоні, що є ознакою дефекту.



Розробка системи

Генерація імпульсів відбувається за рахунок генератора імпульсів на мікросхемі NE555B, для комутації розробленого акустичного перетворювача застосовується польовий N-канальний транзистор IRF640.



Збуджений акустичний сигнал, що має затухаючий характер і складається з безлічі гармонік, записується мікрофоном та перетворюється на звукову карту ноутбука.

Отримавши сигнал з мікрофона, за допомогою вбудованого АЦП в ПК(ноутбук), виробляється вибірка вимірювань. Запис та считування сигналу в середовищі матлаб реалізовано таким чином.

```
% create the audio recorder
recorder = audiorecorder(Fs,16,1);

% assign a timer function to the recorder
set(recorder, 'TimerPeriod', 1, 'TimerFcn', @audioTimerCallback);
```

```
% get the sample data
samples = getaudiodata(hObject);
```

Для обробки даних нейронною мережею потрібно відфільтрувати та нормалізувати вибіркові дані. Оцінювання спектра дискретизованих детермінованих і випадкових процесів зазвичай виконується за допомогою процедур, що використовують перетворення Фур'є. Реалізація в матлаб виглядає таким чином.

```
%filtering the signal
[b,a] = butter(4, fc/(Fs/2));
X = filter(b,a,X);
```

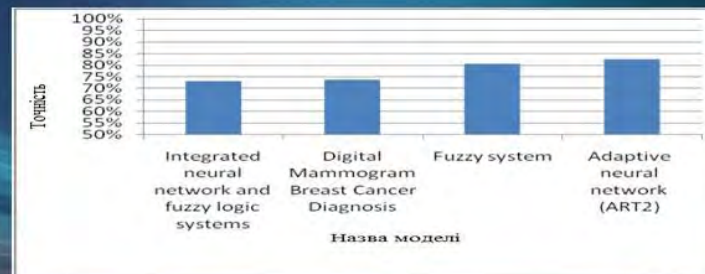
```
% compute the FFT
Y = abs(fft(X,N));

%normalize the data
d1 = 0;
d2 = 1;
[maxVal,imaxVal] = max(Y);
[minVal,iminVal] = min(Y);

for i=1:size(Y,1);
    Y(i,:) = ((Y(i,:))*(d2-d1)/(maxVal - minVal))+d1;
end
```

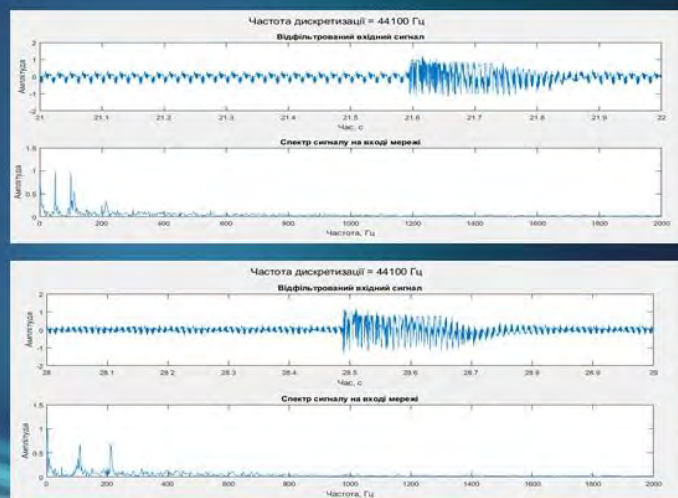
Аналіз спектра сигналу з допомогою нейронної мережі ART-2

Амплітуда і частота коливань при відсутності і наявності дефектів в деяких ОК має досить складний характер. Тому для визначення наявності дефектів доцільно застосовувати нейронну мережу в якості класифікатора (розпізнавача). Яка в залежності від характеру згасаючих коливань, визначає присутність або відсутність дефекту. Для вирішення завдання діагностики виробів кращі показники достовірності контролю можна отримати при використанні нейронних мереж адаптивної резонансної теорії (АРТ), а саме моделі ART-2.



Проведення дослідження розробленою системою

Експериментальні дослідження проводилися розробленою системою на композиційному матеріалі (зразок з фанери). Зразок (ОК-1) товщиною в 10 мм, та розмірами 123 x 153 мм, має штучні дефекти по типу на пів отвір та відшарування.



Висновки

Огляд існуючих приладів методом вільних коливань показав, що оцінка контролю в них проводиться за рахунок оператора. Як результат ручний контроль має багато недоліків. Оскільки участь людини в деяких процесах значно знижує продуктивність праці та погіршує якість продукції.

Отже проаналізувавши весь аналітичний матеріал була розроблена система для контролю багатошарових конструкцій. Вона складається з апаратної та програмної частини.

За результатами дослідів встановлено доцільність застосування нейронної мережі АРТ-2 при контролі композиційних матеріалів на дефектність по типу відшарування.

Дякую за увагу!

ДОДАТОК Б

Вказані основні фрагменти коду

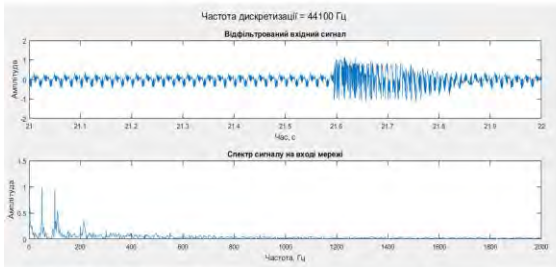
```
clc; clear all;
```

```
    FD = 44100; %частота дискретизації  
    FC = 20000; %частота зрізу  
    useTime = 45; %тривалість роботи  
    myAudioRecording(FD,useTime,FC);
```

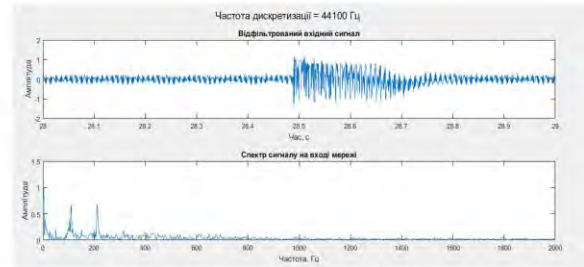
(з метою захисту інтелектуальної власності з ел. варіанту МД код видалено)

```
end
```

Результат контролю композитного матеріалу



Графіки без дефектної ділянки



Графіки дефектної ділянки



Проведений контроль на композиційному матеріалі(фанера)

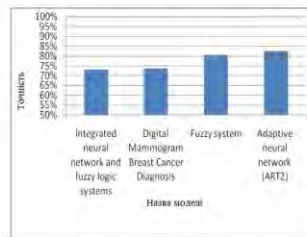
Апаратна та програмна реалізація автоматизованої системи для контролю багаточарових конструкцій методом вільних коливань



Класифікація нейронних мереж та порівняння ART-2 моделі з іншими моделями



Класифікація штучних нейромереж



Порівнюється виконання різних моделей діагностики раку молочної залози

