

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки  
(повна назва)

другий (магістерський)  
(рівень вищої освіти)

Автоматизація контролю деталей пасивних компонентів волоконно-оптичних ліній зв'язку  
(тема)

Виконав: студент 2 курсу, гр. КІТПВм-19-1  
Усенко Д.С.  
 (прізвище, ініціали)

Спеціальності	151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
	(код і повна назва спеціальності)

Тип програми	Освітньо-професійний
Освітня програма	Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва
(повна назва освітньої програми)	

Керівник \_\_\_\_\_ проф. Олександров Ю.М.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов И. Ш.

(прізвище, ініціали)

2020 p.

Харківський національний університет радіоелектроніки

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми	освітньо-професійний
Освітня програма	Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КІТАМ

І.Ш. Невлюдов

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)**

студентові Усенко Денису Станіславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Автоматизація контролю деталей пасивних компонентів волоконно-оптичних ліній зв'язку

затверджена наказом по університету від 2 листопада 2020 р. № 1511 Ст.

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 16.12.2020р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Нейронна мережа, на основі висновків якої можна зварювати

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

4.1 Вступ

4.2 Огляд та аналіз методів контролю, переваги та недоліки

4.3 Автоматизація керування процесом зварювання оптичного волокна. Апаратна та програмна частини

4.4 Розробка програмного забезпечення методу контролю пасивних елементів волоконно-оптичних ліній зв'язку

4.5 Охорона праці при проведенні досліджень

4.6 Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (\*.ppt) – формату А4

6. Консультанти розділів роботи (проекту) (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи (проекту)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Отримання завдання	02.11.2020	виконано
2	Аналіз завдання	05.11.2020	виконано
3	Огляд літератури за темою дослідження	15.11.2020	виконано
4	Проведення експериментальних досліджень	20.11.2020	виконано
5	Проведення моделювання	25.11.2020	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	05.12.2020	виконано
7	Подання на підпис керівнику роботи	10.12.2020	виконано
8	Подання роботи на підпис зав. кафедри	11.12.2020	виконано
9	Подання роботи на рецензію	16.12.2020	виконано
10	Подання атестаційної роботи в ЕК	16.12.2020	виконано

Дата видачі завдання

2020 р.

Студент

Усенко Д.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту)

проф. Олександров Ю.М.

(підпис)

(посада, прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 61 с., 21 рис., 3 табл., 2 дод., 18 джерел.

### ОПТИЧНЕ ВОЛОКНО, ПАСИВНІ ЕЛЕМЕНТИ, НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ, PYTHON, PYCHARM IDE

Предмет дослідження – процес контролю пасивних компонентів волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Об'єкт дослідження – відцентрування кабелів для точного зварювання осереддя.

Методи дослідження – методи контролю, оптичні методи контролю.

Мета роботи полягає в розробці програмного засобу для контролю пасивних елементів оптичних волокон поперечного перерізу, що забезпечить гарну якість відновлених кабелів, шляхом зварювання серцевини.

Результатом роботи є програмне забезпечення процесу контролю через нейронну мережу, яка завдяки своїм властивостям визначає соосність кабелів та дає команду на їх зварювання.

## ABSTRACT

Explanatory note: 61 pp., 21 figs., 3 tables, 2 appendices, 18 sources.

OPTICAL FIBER, PASSIVE ELEMENTS, NEURAL NETWORKS,  
PYTHON, PYCHARM IDE

The subject of research is the process of control of passive components of fiber-optic communication lines.

The object of research is the centering of cables for precise welding of cores.

Research methods – control methods, optical control methods.

The aim of the work is to develop a software tool for the control of passive elements of optical fibers of cross section, which will ensure good quality of restored cables by welding the core.

The result of the work is the software of the control process through the neural network, which due to its properties determines the coaxiality of the cables and gives the command to weld them.

## ЗМІСТ

Перелік скорочень .....	8
Вступ .....	9
1 Сучасний стан волоконно-оптичних ліній зв'язку .....	11
1.1 Оптичне волокно як основа сучасних ВОЛЗ .....	11
1.2 Галузі застосування і класифікація волоконно-оптичних кабелів .....	13
1.3 Пасивні компоненти волоконно-оптичних ліній зв'язку .....	14
1.4 Переваги та недоліки ВОЛЗ .....	15
1.5 Сфери застосування ВОЛЗ в наш час .....	17
1.6 Етапи розвитку ВОЛЗ .....	19
1.7 Висновки за першим розділом .....	23
2 Автоматизація керування процесом зварювання оптичного волокна. Апаратна та програмна частини .....	24
2.1 Зварювання оптичного волокна та сучасні зварювальні апарати .....	24
2.1.1 Будова та класифікація зварювальних машин .....	24
2.1.2 Підготовка та етапи зварювання .....	27
2.2 Програмне забезпечення, його можливості, конфігурації та властивості .....	29
2.2.1 Нейронні мережі їх призначення та алгоритм .....	29
2.2.2 Мова програмування Python, її переваги .....	32
2.2.3 AnaConda – система керування середовищем .....	33
2.2.4 Pycharm як інтегроване середовище розробки .....	34
2.3 Висновки за другим розділом .....	36
3 Розробка програмного забезпечення для контролю елементів ВОЛЗ .....	37
3.1 Tensorflow від Google Brain .....	37
3.2 NumPy та її призначення .....	37
3.3 Розробка структури нейронної мережі .....	38
3.4 Розробка методу прийняття рішень .....	39

3.5 Розробка нейронної мережі та експериментальні дослідження.....	42
3.6 Керування та доступ до нейронної мережі.....	49
3.7 Висновки за третім розділом.....	51
4 Охорона праці при проведенні досліджень .....	53
4.1 Аналіз умов праці на робочому місці дослідника.....	53
4.2 Промислова безпека у лабораторії .....	56
4.3 Виробнича санітарія в лабораторії .....	56
Висновки.....	58
Перелік посилань .....	60
Додаток А Фрагмент програмного коду .....	62
Додаток Б Демонстраційний матеріал .....	106

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- АСК ТП – автоматизована система керування технологічним процесом;  
ВОК – волоконно-оптичний кабель;  
ВОЛЗ – волоконно-оптична лінія зв'язку;  
КДЗЗ – комплект для захисту з'єднань;  
МЗ – математичне забезпечення;  
МН – машинне навчання;  
НМ – нейронна мережа;  
ОВ – оптичне волокно;  
ОК – оптичний кабель;  
ОП – оптичний підсилювач;  
ПЗ – показник заломлення;  
СКС – структурована кабельна система;  
API – Application Programming Interface – інтерфейс створення додатку;  
IDE – Integrated Development Environment – інтегроване середовище розробки;  
PMD – Polarization mode dispersion – поляризаційно-модова дисперсія.



## ВСТУП

Динаміка сучасного економічного і соціального розвитку міст в значній мірі визначається у всіх країнах розвитком інфраструктури, найважливішим елементом якої є зв'язок. Досвід показує, що зв'язок (телекомунікації) відіграє значну роль не тільки як засіб обміну інформацією, а й як потужний каталізатор науково-технічного прогресу, підвищення добробуту і процвітання держави.

В останні роки світ телекомунікацій і передачі даних стикається з динамічно зростаючим попитом на частотні ресурси. Ця тенденція в основному пов'язана зі збільшенням числа користувачів Internet і також зі зростаючою взаємодією міжнародних операторів і збільшенням обсягів переданої інформації. Тому постачальники зв'язку при побудові сучасних інформаційних мереж використовують волоконно-оптичні кабельні системи найбільш часто.

Оптичне волокно в даний час вважається найдосконалішим фізичним середовищем для передачі інформації, а також найперспективнішим середовищем для передачі великих потоків інформації на значні відстані. Сьогодні волоконна оптика застосовується практично у всіх завданнях, пов'язаних з передачею інформації.

Велика кількість проблем продуктивності мереж зв'язку, які виникають на фізичному рівні, тісно пов'язані з якістю волоконно-оптичної лінії зв'язку. Будь-яке незначне відхилення від існуючих та прийнятих допусків оптоволоконних з'єднань, якості дотримання геометричних параметрів використаного оптичного волокна можуть істотно погіршити характеристики системи в цілому. Часто у складі компонентів волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) використовують оптичні волокна з аутентичними особливостями та особливою структурою поперечного перерізу. У разі повного дотримання характеристик оптичного волокна (ОВ), система збереже свою дієспособність та працездатність.

Саме розробка засобів і методів автоматизованого контролю пасивних компонентів ВОЛЗ безпосередньо дозволить значно підвищити їх параметри якості.

Темою випускної магістерської роботи є автоматизація контролю деталей пасивних компонентів волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Предмет дослідження – процес контролю пасивних компонентів волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Об'єкт дослідження – відцентрування кабелів для точного зварювання осереддя.

Методи дослідження – методи контролю, оптичні методи контролю.

Мета роботи полягає в розробці програмного засобу для контролю пасивних елементів оптичних волокон поперечного перерізу, що забезпечить гарну якість відновлених кабелів, шляхом зварювання серцевини.

Результатом роботи стало програмне забезпечення, а саме нейронна мережа процесу контролю, а саме мережа, яка завдяки своїм здібностям може визначити чи розташовані кабелі по центру та чи можна їх зварювати. Методи обробки візуальної інформації про розташування та відцентроване положення оптичного компонента та програма, що реалізує дані методи.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- огляд сучасних процесів контролю пасивних компонентів ВОЛЗ;
- огляд методів та засобів зварювання оптичних волокон;
- обґрунтування технологічного процесу контролю пасивних елементів ВОЛЗ, а саме зварювання оптичних волокон між собою в перетині;
- розробити структуру нейронної мережі та метод прийняття рішень;
- розробити програмний продукт, який забезпечує автоматизоване розпізнавання відцентрованих кабелів, які можна зварювати оптичним методом контролю;
- розробити і оформити пояснювальну записку згідно з методичними вказівками [1] і ДСТУ 3008-2015 [2].

# 1 СУЧАСНИЙ СТАН ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

## 1.1 Оптичне волокно як основа сучасних ВОЛЗ

Волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ) – лінії оптичного зв'язку, в яких передача інформації здійснюється за допомогою волоконно-оптичних елементів. ВОЛЗ складаються з передавальних і приймальних оптичних модулів, волоконнооптичних кабелів і волоконно-оптичних з'єднувачів.

Технології ВОЛЗ охоплюють питання, які стосуються електронного передавального обладнання, його стандартизації, протоколів передачі, топології мережі та їх побудови.

В основному ВОЛЗ використовуються при побудові об'єктів, в яких монтаж структурованої кабельної системи (СКС) повинен об'єднати багатоповерховий будинок, або в будівлі великої протяжності, а також при об'єднанні територіально-розрізнених об'єктів (рис. 1.1) [3].

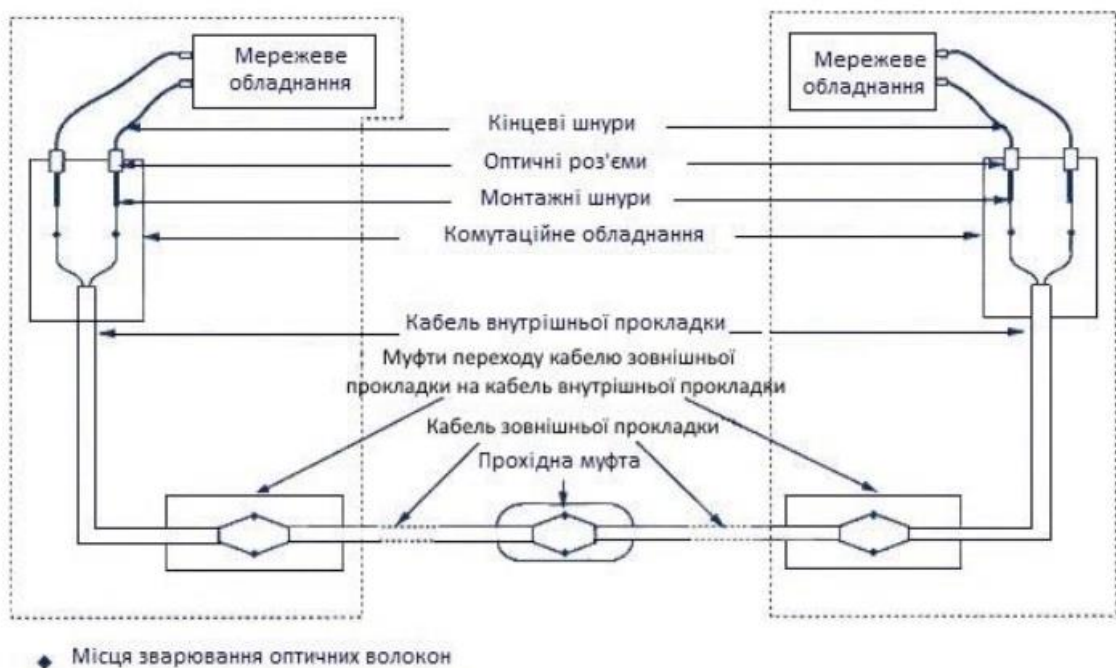


Рисунок 1.1 – Структурна схема ВОЛЗ, яка застосовується для створення підсистеми зовнішніх магістралей

Оптичне волокно – найдосконаліше середовище для передачі великих потоків інформації на великі відстані.

Воно виготовлене з кварцу, основу якого складає двоокис кремнію, - широко розповсюдженого і недорогого матеріалу, на відміну від міді, використовуваної в звичайних проводах. Оптичне волокно дуже компактне і легке, його діаметр всього близько 100 мкм. Волоконні світловоди представляють собою волоконно-оптичні джгути, захищені непрозорою оболонкою і мають торці з полірованою поверхнею. Скло є діелектриком, тому при будівництві волоконно-оптичних систем зв'язку окремі оптичні волокна не потребують ізоляції один від одного. Довговічність оптичного волокна – до 25 років.

При створенні волоконно-оптичних ліній зв'язку необхідні високонадійні електронні елементи, які перетворюють електричні сигнали в світло і світло в електричні сигнали, а також оптичні з'єднувачі з малими оптичними втратами. Тому для монтажу таких ліній потрібно дороге обладнання.

Однак переваги від застосування волоконно-оптичних ліній зв'язку настільки великі, що, незважаючи на перераховані недоліки оптичних волокон, ці лінії зв'язку все ширше використовуються для передачі інформації. Швидкість передачі даних може бути збільшена за рахунок передачі інформації відразу в двох напрямках, тому що світлові хвилі можуть поширюватися в одному оптичному волокні незалежно один від одного. Це дає можливість подвоїти пропускну здатність оптичного каналу зв'язку [4]. Волоконно-оптичні лінії зв'язку стійкі до електромагнітних перешкод, а передана по світловодах інформація захищена від несанкціонованого доступу. До таких ліній зв'язку неможливо підключитися без порушення цілісності лінії.

## 1.2 Галузі застосування і класифікація волоконно-оптичних кабелів

Волоконно-оптичні кабелі, що застосовуються при проектуванні і монтажі СКС, призначені для передачі оптичних сигналів в будівлях і між ними.

Всі оптичні структури підрозділяються на 2 види: одномодовий оптичний волоконний кабель та багатомодовий.

Відмінною рисою одномодового кабелю є наявність в ньому всього одного променя світла, а для передачі його всередині лінії використовується лазерний приймальний датчик.

В свою чергу багатомодовий кабель може транспортувати відразу кілька променів світла, а передавачі в ньому розташовані світлодіоди. Якість данного типу кабеля гірша, ніж першого, але й ціна волоконно-оптичного кабелю такого виду не висока. Будова кабеля зображено на рис. 1.2.

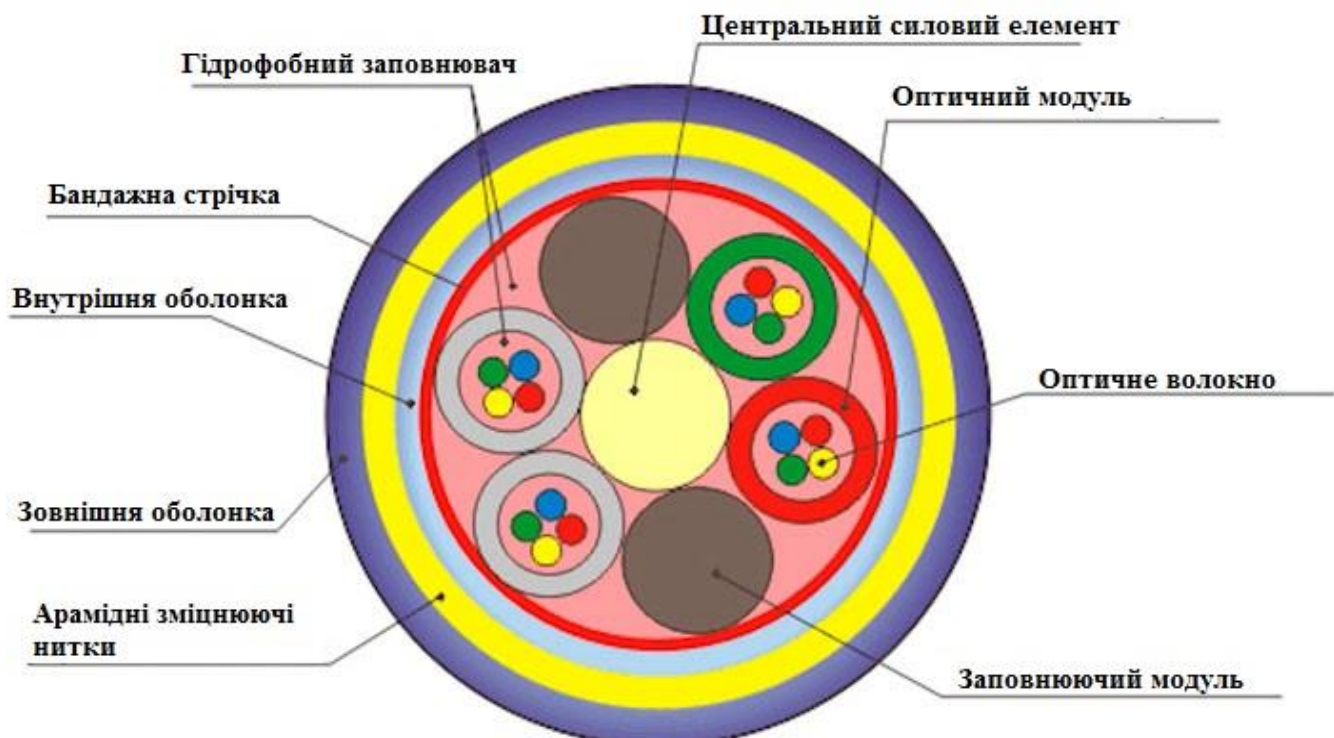


Рисунок 1.2 – Конструкція багатомодового оптичного кабелю

За видом застосування, волоконно-оптичні кабелі поділяються:

- кабелі зовнішньої прокладки (outdoor cables);
- кабелі внутрішньої прокладки (indoor cables);
- кабелі для шнурів.

Кабелі зовнішньої прокладки використовуються при створенні підсистеми зовнішніх магістралей і пов'язують між собою окремі будівлі. Основна галузь застосування кабелів внутрішньої прокладки, це організація внутрішньої магістралі будівлі, кабелі для шнурів призначені для виготовлення сполучних і комутаційних шнурів, також для горизонтальної розводки при реалізації проектів «fiber to the desk» (волокно до робочого місця) та «fiber to the room» (волокно до кімнати).

### 1.3 Пасивні компоненти волоконно-оптичних ліній зв'язку

Пасивні компоненти волоконно-оптичних ліній зв'язку включають в себе оптичні з'єднувачі, розетки, шнури, розподільні панелі, кросові шафи, з'єднувальні муфти, оптичні розгалужувачі, атенюатори, системи спектрального ущільнення, відгалужувачі, перемикачі, оптичні ізолятори, циркулятори, мультиплексори і т.д., тобто все те, що необхідно для забезпечення передачі оптичного сигналу по волоконно-оптичному кабелю від передатчика до приймача [5]:

- волоконно-оптичний кабель, елементами якого є оптичні волокна. Зовнішня оболонка кабелю може бути виготовлена з різних матеріалів: полівінілхлориду, поліетилену, поліпропілену, тефлону і інших матеріалів. Оптичний кабель може мати бронювання різного типу і специфічні захисні шари (наприклад, дрібні скляні голки для захисту від гризунів);
- оптична муфта – пристрій, використовуваний для з'єднання двох і більше оптичних кабелів;

– оптичний крос – пристрій, що призначений для оконечування оптичного кабелю і підключення до нього активного устаткування.

#### 1.4 Переваги та недоліки ВОЛЗ

Волоконно-оптичні лінії володіють переліком переваг перед дротяними (мідними) і радіорелейними системи зв'язку:

– широка смуга пропускання – пов'язана з надзвичайно високою несучою частотою  $10^{14}$  Гц, що дає потенціал для єдиного оптичного волокна для передачі інформації в декількох терабітах за секунду. Це одна з найважливіших переваг оптичного волокна над міддю або будь-яким іншим носієм передачі інформації;

– мале затухання сигналу – промислові оптичні волокна вітчизняних та закордонних виробників, на даний проміжок часу, мають затухання на 0,2-0,3 дБ на довжині хвилі 1550 на кілометр. Мале затухання і мала дисперсія дозволяють будувати секції ліній без ретрансляції довжиною до 100 км і більше;

– високий шумовий імунітет – волокно несприятливе до електромагнітних перешкод від оточуючих мідних кабельних систем та електричного обладнання, що здатне викликати електромагнітне випромінювання, бо воно виготовляється з діелектричного матеріалу;

– низький рівень шуму у волоконно-оптичному кабелі дозволяє збільшити пропускну здатність, передаючи різну модуляцію сигналів з низькою швидкістю кодування;

– висока захищеність від несанкціонованого доступу – передану інформацію по ВОК важко підслухувати, не порушуючи прийом-передачу, бо він майже не випромінює в радіодіапазоні. Системи контролю цілісності ВОЛЗ, які використовують властивості високої чутливості до волокна, мають змогу миттєво відключати «зламаний» канал зв'язку і надавати відповідний

сигнал попередження. Такі системи необхідні для спецслужб, які встановлюють підвищені вимоги до захисту даних (наприклад, банк);

- економічність – на відмінну від мідних дротів, волокно виготовляється з кварцу, в свою чергу основою якого є кремнезем. Цей матеріал широко поширений, а отже недорогий (співвідношення вартості волокна відносно мідної пари в даний час 2:5). Виходячи з цього ВОК дозволяю передавати сигнали на значно більші відстані без ретрансляції, що робить його більш ефективним на довгих дистанціях;

- легка вага та об'єм – ВОК мають менше ваги та об'єму в порівнянні з мідними кабелями з точки зору однакової пропускної здатності;

- пожежна безпека – через відсутність іскроутворення, оптичне волокно підвищує безпеку мережі на хімічних, нафтопереробних заводах та у підтримці технологічних процесів високого ризику;

- довгий термін експлуатації – з часом ослаблення в м'якому кабелі поступово збільшується (деградація волокон). Однак, завдяки вдосконаленню сучасних технологій виробництва оптичного волокна, цей процес значно сповільниться, а термін служби становитиме приблизно 25 років;

- гальванічна ізоляція елементів мережі – ця перевага полягає в ізоляційній властивості оптичного волокна. Волокно допомагає уникнути електричних «заземлювальних циклів», які можуть виникнути, коли два мережеві пристрої нерозділеної комп'ютерної мережі, з'єднані мідним кабелем, заземлюються в різних точках будівлі (наприклад, на різних поверхах). В даному випадку може мати місце велика різниця потенціалів, що може пошкодити обладнання. Для волокна ця проблема не існує.

Будь-яка система має свої недоліки, у випадку з волокном кількість недоліків значно менша за перелічені переваги і до них слід віднести:

- вартість інтерфейсного обладнання;
- вартість монтажних робіт;
- складна технологія виготовлення волокна і компонентів ВОЛЗ;



- високі вимоги до кваліфікації монтажників;
- складність з'єднання у випадку розриву;
- чутливість до вологи/хрупкість – при сильному вигинанні кабелю можлива поломка волокон або їх помутнінням через виникнення мікротріщин;
- втрата прозорості волокна з часом, внаслідок старіння.

### 1.5 Сфери застосування ВОЛЗ в наш час

Основною сферою застосування ВОЛЗ є мережі передачі інформаційних сигналів (обчислювальні мережі, відеоспостереження, телекомунікаційні системи контролю доступу та ін.). При цьому на рівні магістральних (аж до міжконтинентальних) ліній передачі сигналів, оптичне волокно займає домінуюче становище, а в підсистемах внутрішніх магістралей ВОЛЗ використовується поряд з витю парою.

Класифікація таких провідників визначається характеристиками волоконно-оптичних кабелів:

- внутрішній монтаж – виділяють розподільні, які потрібні для утворення мережі і абонентські, використовувані для підключення інтернету клієнту;
- підвісне монтування (системи відеоспостереження, телефонний зв'язок);
- при зовнішній установці – використовують броньований варіант шнура, де метал надійно захищає скляне осереддя від несприятливих зовнішніх умов. такий волоконно-оптичний кабель по характеристикам займає високі позиції;
- при закладці в ґрунт – використовують броньований кабель волоконно-оптичного кабелю (з дроту або з стрічкової захистом);

- підвісна (з тросом або без нього) – використовуються для проведення кабелю по повітрю. провід з тросом є самонесучим;
- монтування під водою – такі оптоволоконні кабелі мають певну специфіку укладання і збірки, і тому для таких пристроїв в першу чергу необхідна наявність захисту (броні), що залежить від обставин і території укладання. Нижче у таблиці 1.1 наведена характеристика типу оптичного волокна [6].

Таблиця 1.1 – Характеристика типу оптичного волокна

Параметри		Од. вим.	Тип оптичного волокна							
			Е	С	Н	А	В	Г	М	К
Робоча довжина хвилі		нм	1310 - 1550	1560	1530 - 1620	1310 - 1550	1460 - 1625	1300	1300	1550
Коефіцієнт загасання (для кабелів гелевим заповненням модулів)	1300 нм	дБ/к м	-	-	-	-	-	≤0,7	≤0,7	-
	1310 нм		≤0,36	-	-	-	-	-	-	-
	1550 нм		≤0,22	≤0,22	≤0,22	-	0,25	-	-	-
	1460 нм		-	-	-	-	0,35	-	-	-
	в діапазоні робочих довжин хвиль		-	-	≤0,22 - 0,25	≤0,25 - 0,40	0,22 0,35	-	-	-
Коефіцієнт загасання (для кабелів в щільному буферному покритті)	1300 нм	дБ/к м	-	-	-	-	-	≤1,3	≤1,3	-
	1310 нм		≤0,5	-	-	-	-	-	-	-
	1550 нм		≤0,4	≤0,4	≤0,4	-	-	-	-	≤0,4
	в діапазоні робочих довжин хвиль		-	-	≤0,4 - 0,5	≤0,4 - 0,5	-	-	-	-
Довжина хвилі відсічення в кабелі		нм	≤1260	≤1250	≤1260	≤1260	≤1450	-	-	-
Довжина хвилі нульової дисперсії		нм	1310± 10	1555± 15	-	1310± 10	1422± 17	-	-	-

## 1.6 Етапи розвитку ВОЛЗ

Велика частина проблем і одночасно основні досягнення та можливості ВОЛЗ пов'язані з двома елементами систем: волоконними світловодами і лазерами. У розвитку оптичних систем розробники прагнули реалізувати два принципи: "швидше" і "далі" [7].

1 етап. В середині 70-х років XX століття з'явилися напівпровідникові лазери і волоконні світловоди з невеликим загасанням. Перші лазери для ВОЛЗ мали довжину хвилі випромінювання 850 нм (перше вікно прозорості волокна) і невисоку ефективність; волоконні світловоди були багатомодовими і мали загасання в кілька дБ/км. Тому ВОЛЗ хоча і показали переваги перед системами на мідних проводах, але мали швидкості і відстані передачі далекими від очікуваних. Збільшенню швидкості передачі в перших ВОЛЗ заважала тимчасова дисперсія проходження оптичного сигналу по волоконному тракту. Перші волоконні світловоди (багатомодові із ступінчастим профілем показника заломлення) через велику міжмодову дисперсію мали смугу пропускання не більше 20 МГц/км. Ця проблема була досить швидко вирішена розробкою багатомодових волоконних світловодів з градієнтним профілем показника заломлення, які забезпечили збільшення смуги пропускання до 160 МГц/км.

2 етап. Збільшення дальності передачі інформації. Для цього було необхідно знизити величину загасання оптичного сигналу в волоконному тракті. Розробка приймально-передавальної апаратури, що працює в другому (1300 нм) спектральному діапазоні (вікні), дозволила знизити загасання в багатомодових волокнах з 3 дБ/км (850 нм) до 1 дБ/км (1300 нм). Одночасно у багатомодових волокон підвищилася і смуга пропускання до 500 МГц/км.

3 етап. Одномодові волокна дозволили значно підвищити швидкість передачі інформації за рахунок відсутності міжмодової дисперсії, а перехід до третього спектрального вікна (1550 нм) дозволив знизити втрати в одномодових волокнах з 0,35 дБ/км (1310 нм) до 0,2 дБ/км (1550 нм).

Відкриті можливості по нарощуванню швидкості і дальності передачі інформації привели до значного прогресу цифрових систем передачі інформації (мережі синхронної цифрової ієрархії – SDH). Потреба в розвитку таких систем була дуже високою, так як обсяг трафіку, що передається безперервно збільшувався, і це стимулювало роботи щодо подальшого вдосконалення ВОЛЗ. Було показано, що збільшення швидкості і дальності передачі інформації в одномодових системах перешкоджає хроматична дисперсія в волокнах. Ця проблема була успішно вирішена при розробці оптичних волокон з нульовою дисперсією в області довжин хвиль 1310 нм (волокна типу G.652) і зміщеною в області довжин хвиль 1550 нм нульовою дисперсією (волокна типу G.653). Для збільшення дальності передачі інформації стали використовуватися регенератори сигналу, які перетворювали оптичний сигнал в електричний, відновлювали його форму, а потім формували оптичний сигнал для подальшого проходження по волоконному тракту.

4 етап. Використання оптичних підсилювачів (ОП), які дозволили ефективно збільшити дальність передачі. ВОЛЗ з оптичними підсилювачами і волокном G.653 забезпечували передачу інформації зі швидкостями до 40 Гбіт/с на відстань понад сто кілометрів.

Розроблені ОП відкрили найважливіший етап в розвитку волоконно-оптичного зв'язку – з'явилися системи зі спектральним ущільненням. У них використовується така властивість волоконних систем, як можливість незалежної передачі інформації на різних довжинах хвиль, в різних каналах. Перші ВОЛЗ зі спектральним ущільненням працювали в різних спектральних вікнах (1310 нм і 1550 нм). Але системи зі спектральним ущільненням найбільш ефективні в третьому спектральному вікні (1550 нм), так як в цьому випадку один ОП посилює всі інформаційні канали, розташовані у вікні.

Реалізація унікальних можливостей таких систем (щільного спектрального мультиплексування – DWDM і надщільного спектрального

мультиплексування – HDWDM), в свою чергу, зажадала рішення ще одного ряду фундаментальних завдань.

Найбільш ефективний шлях побудови ВОЛЗ зі спектральним ущільненням – збільшення числа каналів. При збільшенні дальності передачі, доводиться посилювати оптичні сигнали в кожному каналі, і при великій сумарній потужності, у волокні починають проявлятися нелінійні ефекти. Для DWDM-систем найбільш істотним є ефект чотирьоххвильового зміщення, коли в спектрі сигналу з'являються небажані компоненти, перехресні перешкоди. При спектральному способі дешифрування оптичних сигналів, це може привести до значних помилок в передачі інформації. Чотирьоххвильове зміщення найбільш сильно позначається в разі рівності швидкостей поширення оптичних сигналів в каналах. З цієї причини оптичні волокна зі зміщеною нульовою дисперсією (G.653) не використовуються в DWDM-системах, а для зменшення впливу чотирьоххвильового зміщення були розроблені волокна зі зміщеною ненульовою дисперсією (G.655) і технологія компенсації хроматичної дисперсії.

Крім спеціальних оптичних волокон для DWDM-систем були розроблені високостабільні лазери з вузькою спектральною лінією, а також спектральні мультиплексори/демультиплексори. Цей цикл робіт зажадав значного поступу у фізиці, технології лазерів і інтегрально-оптичних схем.

Подальший розвиток ВОЛЗ відбувався по шляху збільшення числа порівняно "низькошвидкісних" (декілька Гбіт/с) каналів в DWDM- і HDWDM-системах, так і по шляху подальшого збільшення швидкості передачі інформації в оптичному каналі. В даний час серійно випускаються системи зі швидкістю передачі 40 Гбіт/с, ведуться експерименти на 100 Гбіт/с. Однак вже на швидкостях понад 10 Гбіт/с з'являються обмеження, пов'язані ще з одним видом тимчасової дисперсії – поляризаційно-модовою дисперсією (PMD). Вирішення цієї проблеми вимагає проведення фундаментальних досліджень і значного просування в області технології

виготовлення волоконних світловодів і оптичних кабелів, монтажу лінії і контролю параметрів тракту.

5 етап. Масові локальні волоконно-оптичні системи передачі повинні забезпечити завантаженість регіональних і магістральних ВОЛЗ, підвищити ефективність волоконно-оптичних мереж зв'язку. При цьому доцільно використовувати багатомодові волоконні світловоди. Поява нових високоефективних лазерів для локальних мереж, дозволяє значно підвищити швидкість і дальність передачі інформації в ВОЛЗ на основі багатомодових волокон. Однак при цьому з'являється проблема "центрального провалу" в багатомодових волокнах, пов'язана з недосконалістю технології виготовлення заготовок для цих світловодів. Значні відхилення профілю показника заломлення від оптимального в центрі волокна, викликали різке збільшення дисперсії в разі використання сучасних лазерів. Ця проблема багатомодового волокна була вирішена, що відкрило нові можливості в розвитку локальних ВОЛЗ і волоконно-оптичних систем в цілому.

Рішення фундаментальних проблем було підкріплено розвитком супутніх технологій, які і забезпечили просування ВОЛЗ до споживачів шляхом "швидше-далі". Найбільш істотні успіхи спостерігалися в технології виробництва волоконних світловодів та кабелів. При цьому, зростання виробництва оптичних волокон безпрецедентне: з 6,9 млн. км у 1990 році до 76,6 млн. км в 2000 р – в 11 разів. Сучасні технології монтажу і вимірювання параметрів волоконного тракту, повністю відповідають високому рівню сучасних ВОЛЗ. Досить сказати, що зварювальні апарати, забезпечують ефективний монтаж волоконного тракту з втратами в місці зварювання – менше 0,02 дБ. Завдяки цьому, а також розвитку високих технологій виробництва оптичних передавачів та приймачів, мережевих технологій та методів спектрального ущільнення, забезпечені високі темпи розвитку ВОЛЗ.

### 1.7 Висновки за першим розділом

Провівши аналіз завдання на магістерську атестаційну роботу та опрацювавши відповідну до теми літературу можна зробити такі висновки:

- пасивні компоненти, а саме їх цілісність безпосередньо відіграє найбільшу роль в якості передачі сигналу по лінії зв'язку;
- від кваліфікації людини, яка виконує монтажні роботи, залежить робота лінії зв'язку.

## **2 АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЗВАРЮВАННЯ ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА. АПАРАТНА ТА ПРОГРАМНА ЧАСТИНИ**

### **2.1 Зварювання оптичного волокна та сучасні зварювальні апарати**

#### **2.1.1 Будова та класифікація зварювальних машин**

Зварювання оптичного волокна – процес з'єднання оптичних волокон (тобто жили оптичного кабелю) за допомогою високотемпературної термічної обробки. В даний час виконується в автоматичному режимі спеціальними зварювальними апаратами.

З'єднання ОВ методом зварювання стало одним з основних методів монтажу оптичних систем зв'язку. Можливості отримання хорошого зварного з'єднання постійно зростають з удосконаленням обладнання, яке застосовується і технології зварювання, на додаток до безперервного вдосконалення геометрії волокна. В результаті, типові специфіфікуемые максимальні втрати в зварному з'єднанні знаходяться в даний час в діапазоні від 0,05 дБ (зварювання індивідуальних волокон) до 0,10 дБ (одночасна зварювання декількох волокон) [8].

Якість зварного з'єднання можна характеризувати двома параметрами:

- загасанням в місці зварювання;
- міцністю зварного з'єднання.

Фактори, які визначають загасання при використанні будь-якого методу з'єднання волокон, можуть класифікуватися на внутрішні, властиві волокнам, і зовнішні. Фактори, що визначаються ОВ, закладаються при виготовленні волокна, і тому в більшості випадків знаходяться поза контролем оператора, що виробляє зварювання.

Основні проблеми, створювані факторами навколишнього середовища, зводяться до можливості забруднення волокна в місці зварювання пилом і вологою. Попадання пилу в місце зварювання неминуче веде до зростання



загасання і зниження міцності. Тому робоче місце повинно бути захищене від вітру і опадів. Необхідно також знижувати час між обробленням волокна і зварюванням, що знижує ймовірність забруднення.

Зварювання оптичного волокна виробляється з використанням спеціальних зварювальних апаратів, які дозволяють провести весь комплекс зварювальних робіт від поєднання зварювальних решт до захисту з'єднання.

Зварювальний апарат для оптичних волокон – один з найдорожчих і складних (поряд з рефлектометром) інструментів зварювальника. Це розумний прилад, який бере на себе весь процес зведення (юстирування) і зварювання волокон, зварювальнику залишається лише підготувати їх і закласти в апарат, а потім дістати, насунути термоусадочну гільзу КДЗС і закласти в піч. Сучасні зварювальні апарати є промисловими роботами, забезпеченими автоматичною системою управління. Управляє апаратом людина (оператор). Розмір сучасного зварювального апарату приблизно 150 мм x 150 мм x 150 мм, без виступаючих частин.

Апарат складається з наступних вузлів або блоків:

- блоку живлення;
- електронного блоку. Сюди входять: материнська плата, перетворювач напруги живлення, блок дуги і т. д.;
- механічної частини. Сюди входять: електроприводи, каретки, V-канавки, оптична система, піч для термоусадки і т. д.;
- монітора (відеоконтрольного пристрою).

Повна назва зварювального апарату звучить так: зварювальний апарат для автоматичного зварювання оптичних волокон. Після цього зазвичай називають фірму-виробника і модель.

Всі апарати мають власне програмне забезпечення, унікальне для кожної моделі. Інтерфейс користувача складається з клавіатури, меню і монітора. Меню завжди має два розділи, відкритий – для користувача і секретний – для сервісу. Секретний розділ меню закритий паролем або

комбінацією клавiш, він використовується під час налаштування зварювального апарату.

Сучасні зварювальні апарати поділяються на три групи:

- зварювальні апарати з вирівнюванням по серцевині;
- зварювальні апарати з зафіксованими V-канавками;
- зварювальні апарати для стрічкового оптичного волокна.

В таблиці 2.1 наведені технічні характеристики відомих в наш час на ринку зварювальних апаратів.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики сучасних зварювальних апаратів

Параметр	FSM 15	FSM 30S	S174H	S176	S182PM	S199S	FUSION 2000
Виробник	Fujikura Японія	Fujikura Японія	Fitel Японія	Fitel Японія	Fitel Японія	Fitel Японія	Aurora США
Тип пристрою	Полу автомат	Автомат	Автомат	Автомат	Автомат	Автомат	Автомат
Вирівнювання	По серцевині	V-канавка	По серцевині	По серцевині	По серцевині	По серцевині	По серцевині
Втрати при зварюванні	sm 0,05 mm 0,03	0,02	0,02	0,02	Pm 0,05	Н/д	0,02
Габарити, мм	180x186 x110	210x187 x173	200x190 x180	169x203 x180	146x269 x169	150x150 x150	171x267 x203
Маса, кг	5,1	8	7,5	4,5	9	3,5	6,3
Коефіцієнт зростання оптичної системи	100	200	200	264	Н/д	264	Н/д
Кількість програм зварювання	30	34	39	64	32	32	20
Оцінка втрат зварювання	Є	Є	Є	Є	Є	Є	Є
Зберігання даних	100	100	100	200	400	400	100

### 2.1.2 Підготовка та етапи зварювання

Зварювання оптичного волокна починається з підготовки інвентарю та робочого місця. Руки повинні бути чистими!

Для зварювання на столі має залишитися наступне [9]:

- зварювальний апарат;
- зколювач;
- помпа/бульбашка зі спиртом;
- безворсові не тканинні серветки;
- підготовлена муфта (або крос);
- пінцет;
- ізоляційна стрічка (кріпити S-подібний перехід волокон в касеті, збирати осколки волокон);
- схема разварки;
- стриппер на випадок, якщо доведеться пере зачистити або перебити волокно.

Далі переходимо безпосередньо до етапів, які потрібно виконувати в указаній послідовності.

Процес зварювання крок за кроком наведений у цьому списку на прикладі зварювального апарату Fujikura FSM-18S ( рис. 2.1):

- оброблення оптичного кабелю. Зазвичай включає в себе зняття зовнішньої ізоляції кабелю, потім зняття ізоляції окремих модулів. У кожному модулі, як правило, знаходиться 8-16 волокон;
- очищення волокон від гідрофобного матеріалу. Найчастіше використовується безбарвний, або злегка забарвлений гель;
- на волокна одного з кабелів надягають спеціальні гільзи – КДЗЗ (комплект для захисту з'єднань), що складаються з двох термозбіжних трубок і силового стрижня;
- з кінців волокон (2-3 см) знімається кольоровий лак і захисний шар, волокна протираються спиртом;

- зачищене волокно сколюється спеціальним прецизійним сколювачем. Площина відколу волокон повинна бути перпендикулярна осі волокна. Допустиме відхилення – до  $1,5^\circ$  на кожний скол;
- волокна, призначені для зварювання, укладаються в затискачі зварювального апарату (V-подібні канавки) (рис. 2.2);
- під мікроскопом за допомогою маніпуляторів відбувається їх поєднання (юстирування). В сучасних зварювальних апаратах юстирування відбувається автоматично (рис. 2.3);
- електрична дуга розігріває до встановленої температури кінці волокон з мікрозазори між ними, торці волокон поєднуються мікродоводкою власника одного з волокон;
- апарат здійснює перевірку міцності з'єднання за допомогою механічної деформації і оцінює загасання, що вноситься стиком;
- КДЗЗ зсувається оператором на місце зварювання і цю ділянку поміщається в теплову камеру, де відбувається термоусадка КДЗС;
- зварені волокна укладаються в сплайс-пластину, касету оптичної муфти або кросу.



Рисунок 2.1 – Апарат для зварювання коротких ліній Fujikura FSM-18S

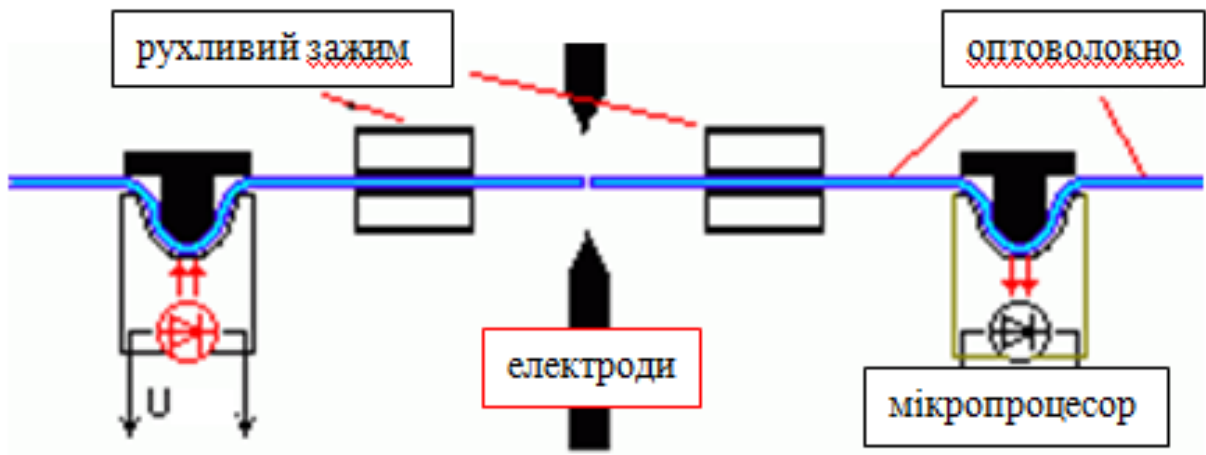


Рисунок 2.2 – Схема принципова полуавтоматического зварювання ОВ

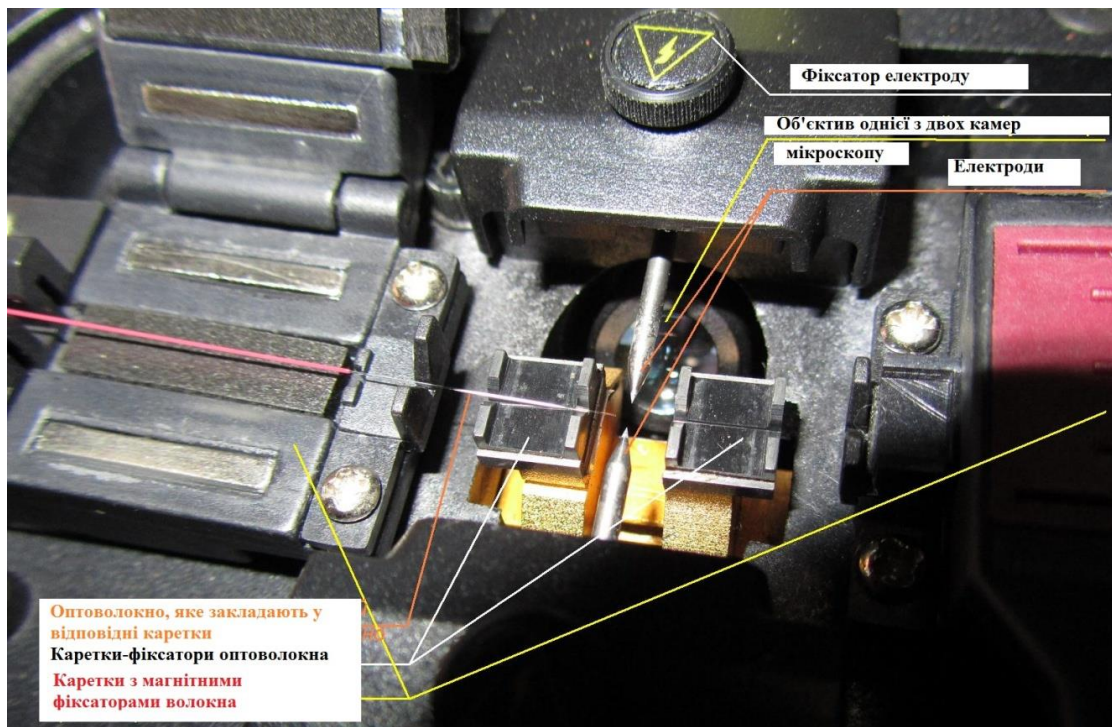


Рисунок 2.3 – Розташування елементів під кришкою зварювального апарату

2.2 Програмне забезпечення, його можливості, конфігурації та властивості

### 2.2.1 Нейронні мережі, їх призначення та алгоритм

Нейронні мережі являють собою самонавчальні моделі, що імітують діяльність людського мозку. Вони здатні не тільки виконувати одного разу

запрограмовану послідовність дій над заздалегідь певними даними, але і самі аналізувати інформацію, яка знову заходить.

Основною перевагою нейронних мереж є можливість ефективно будувати нелінійні залежності, точніше описуючи набори даних в порівнянні з лінійними методами статистики [10].

Даний обробник дозволяє задати структуру нейронної мережі, визначити її параметри і навчити за допомогою одного з доступних в системі алгоритмів. В результаті буде отримано емулятор нейронної мережі, який може бути використаний для вирішення завдань прогнозування, класифікації, пошуку прихованих закономірностей, стиснення даних і багатьох інших додатків [11].

Опис алгоритму роботи нейронної мережі. Нейронна мережа складається з найпростіших обчислювальних елементів – штучних нейронів, пов'язаних між собою. Кожен нейрон має кілька вхідних і одну вихідну зв'язок. В процесі роботи нейронної мережі значення вхідних змінних  $x_i$  передаються по міжнейронних зв'язків і множаться на вагові коефіцієнти  $w_i$ , отримані значення виважено підсумовуються в нейроні [12].

У нейронних мережах нейрони об'єднуються в шари, при цьому виходи нейронів попереднього шару є входами нейронів наступного шару. У кожному шарі нейрони виконують паралельну обробку даних. Ось як виглядає нейрон з двома входами (рис. 2.4).

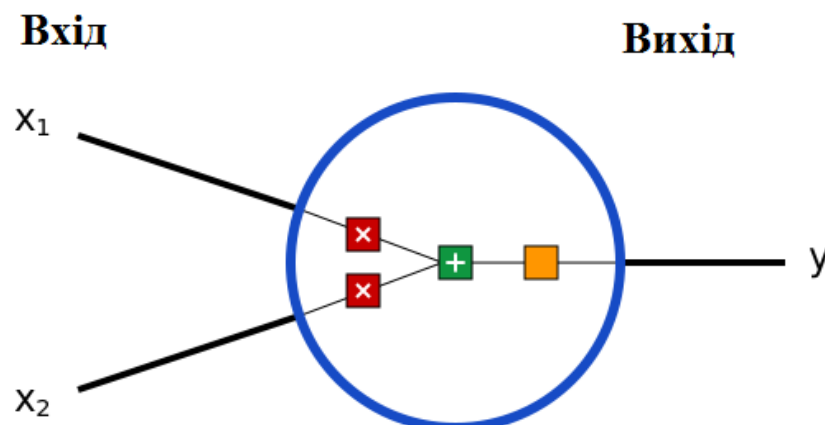


Рисунок 2.4 – Вигляд нейрону

Усередині нейрона відбуваються три операції. Спочатку значення входів множаться на ваги:

$$X_1 \rightarrow X_1 \cdot W_1, X_2 \rightarrow X_2 \cdot W_2. \quad (2.1)$$

Потім зважені входи складаються, і до них додається значення порога  $b$ :

$$X_1 \cdot W_1 + X_2 \cdot W_2 + b. \quad (2.2)$$

Нарешті, отримана сума проходить через функцію активації:

$$y = f(X_1 \cdot W_1 + X_2 \cdot W_2 + b). \quad (2.3)$$

Функція активації перетворює необмежені значення входів в вихід, що має ясну і передбачувану форму. Одна з часто використовуваних функцій активації – сигмоїда (рис. 2.5):

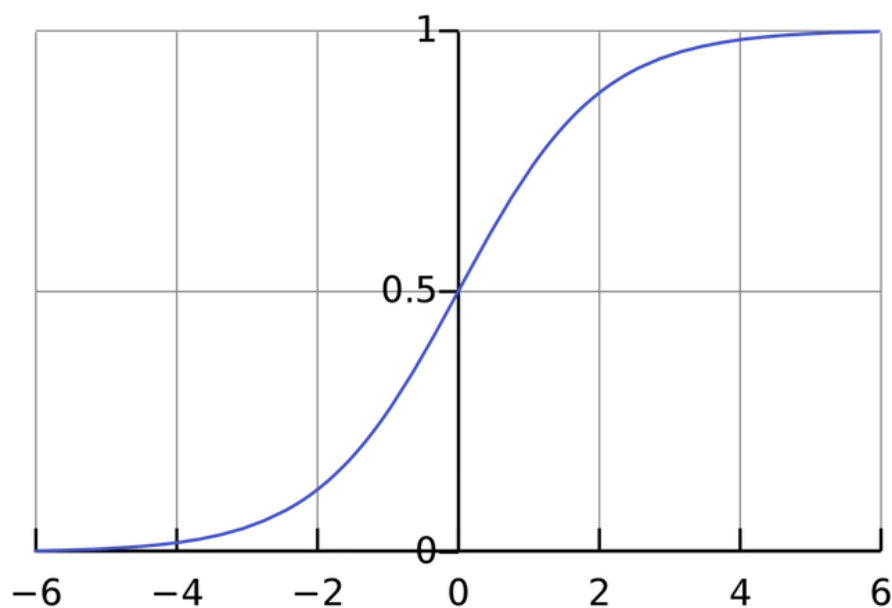


Рисунок 2.5 – Функція активація – сигмоїда

### 2.2.2 Мова програмування Python, її переваги

Python – високорівнева мова програмування загального призначення, орієнтований на підвищення продуктивності розробника і читання коду. Синтаксис ядра Python мінімалістичний. У той же час стандартна бібліотека включає великий набір корисних функцій [13].

Python підтримує структурний, узагальнене, об'єктно-орієнтоване, функціональне і аспектно-орієнтоване програмування. Основні архітектурні риси - динамічна типізація, автоматичне керування пам'яттю, повна інтроспекція, механізм обробки виключень, підтримка багатопоточних обчислень, високорівневі структури даних. Підтримується розбиття програм на модулі, які, в свою чергу, можуть об'єднуватися в пакети.

Серед основних її переваг можна назвати такі:

- чистий синтаксис (для виділення блоків слід використовувати відступи);
- переносність програм (що властиве більшості інтерпретованих мов);
- стандартний дистрибутив має велику кількість корисних модулів (включно з модулем для розробки графічного інтерфейсу);
- можливість використання Python в діалоговому режимі (дуже корисне для експериментування та розв'язання простих задач);
- стандартний дистрибутив має просте, але разом із тим досить потужне середовище розробки, яке зветься IDLE і яке написане мовою Python;
- зручний для розв'язання математичних проблем (має засоби роботи з комплексними числами, може оперувати з цілими числами довільної величини, у діалоговому режимі може використовуватися як потужний калькулятор);
- відкритий код (можливість редагувати його іншими користувачами).



### 2.2.3 AnaConda – система керування середовищем

Conda – це менеджер пакетів з відкритим кодом і система управління середовищем, яка працює на Windows, macOS і Linux.

Conda не викликає труднощів із встановленням, легка в виконанні та оновленні пакетів і залежностей. Conda легко створює, зберігає, завантажує і перемикається між середовищами на локальному комп'ютері.

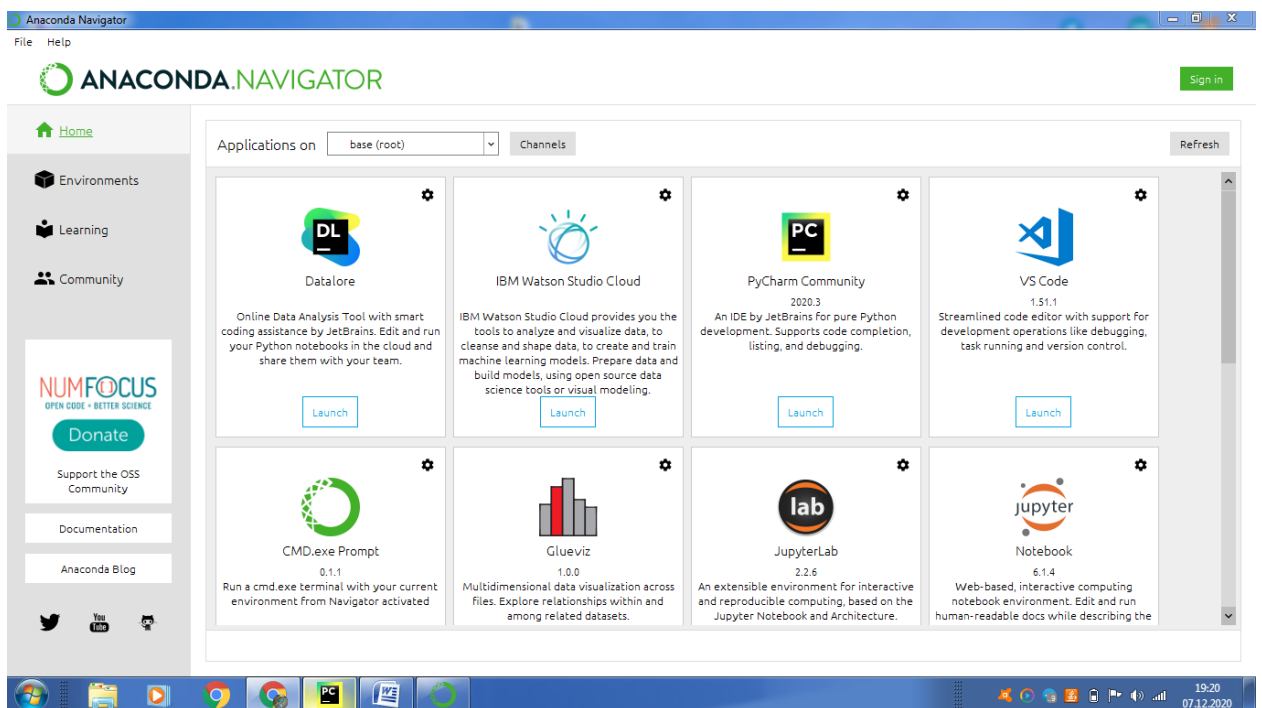


Рисунок 2.6 – Меню Anaconda Navigator

Вона замислювалася для програм на Python, але може створювати пакети і дистрибутиви програмного забезпечення на будь-якій мові. що це система управління пакетами, яка використовується для установки і управління пакетів програм, написаних на Python.

Система має і свої обмеження. Їй можна користуватися тільки для пакетів Python.

Pip працює з Python і нехтує залежностями з не-Python бібліотек (HDF5, MKL, LLVM), в вихідному коді яких відсутній файл установника. Простіше кажучи, pip – це менеджер пакетів, який полегшує установку, оновлення і видалення пакетів Python. Він працює з віртуальними середовищами Python.

Conda – це менеджер пакетів для будь-якого програмного забезпечення (установка, оновлення, видалення). Він працює з віртуальними системними середовищами.

Conda – це інструмент для управління пакетами і установник з куди більшим функціоналом, ніж в pip. Conda може обробляти залежності бібліотек поза пакетів Python, а також самі пакети Python. Крім того, Conda створює віртуальне середовище.

Conda написаний на чистому Python, що полегшує його використання в віртуальних середовищах Python. Крім того, Conda підходить для бібліотек C, пакетів R, Java і т.д.

Він встановлює виконавчі системи. Інструмент conda build створює пакети з вихідного коду, а conda install виконує установку з пакетів збірки Conda. Conda є менеджером пакетів для Anaconda – дистрибутива Python, що надається Continuum Analytics. Ємний опис Anaconda виглядає так:

Anaconda – це дистрибутиви Python і R. Він надає все необхідне для вирішення завдань з аналізу та обробці даних (з застосуванням до Python).

Anaconda – це набір бінарних систем, що включає в себе Scipy, Numpy, Pandas і їх залежності:

- scipy – це пакет статистичного аналізу;
- numpy – це пакет числових обчислень;
- pandas – рівень абстракції даних для об'єднання і перетворення даних.

Anaconda корисна тим, що об'єднує все це в єдину систему.

Двійкова система Anaconda – це установник, який збирає всі пакети з залежностями всередині вашої системи.

#### 2.2.4 PyCharm як інтегроване середовище розробки

PyCharm – це найінтелектуальніша Python IDE з повним набором засобів для ефективної розробки на мові Python. Випускається в двох варіантах – безкоштовна версія PyCharm Community Edition і підтримує

більший набір можливостей PyCharm Professional Edition. PyCharm виконує інспекцію коду на льоту, автодоповнення, в тому числі ґрунтуючись на інформації, отриманої під час виконання коду, навігацію по коду, забезпечує безліч рефакторингов [14].

Ключові можливості:

- потужний і функціональний редактор коду з підсвічуванням синтаксису, авто-форматуванням і авто-відступами для підтримуваних мов;
- проста і потужна навігація в коді;
- допомога при написанні коду, що включає в себе автодоповнення, авто-імпорт, шаблони коду, перевірка на сумісність версії інтерпретатора мови, і багато іншого;
- швидкий перегляд документації для будь-якого елемента прямо у вікні редактора, перегляд зовнішньої документації через браузер, підтримка docstring - генерація, підсвічування, автодоповнення і багато іншого;
- велика кількість інспекцій коду;
- потужний рефакторинг коду, який надає широкі можливості щодо виконання швидких глобальних змін у проекті;
- повна підтримка свіжих версій Django фреймворка;
- підтримка Google App Engine;
- підтримка IronPython, Jython, Cython, PyPy wxPython, PyQt, PyGTK і ін.;
- підтримка Flask фреймворка і мов Mako і Jinja2;
- редактор Javascript, Coffescript, HTML / CSS, SASS, LESS, HAML;
- інтеграція з системами контролю версій (VCS);
- UML діаграми класів, діаграми моделей Django і Google App Engine;
- інтегроване Unit тестування;
- інтерактивні консолі для Python, Django, SSH, відладчика і баз даних;
- повнофункціональний графічний відладчик (Debugger);

- підтримка схем найбільш популярних IDE / редакторів. таких як Netbeans, Eclipse, Emacs, емуляція VIM редактора;
- мови: Python (Versions: 2.x, 3.x), Jython, Cython, IronPython, PyPy, Javascript, CoffeScript, HTML / CSS, Django / Jinja2 templates, Gql, LESS / SASS / SCSS / HAML, Mako, Puppet , RegExp, Rest, SQL, XML, YAML;
- PyCharm має кілька колірних схем, а також настраюється підсвічування синтаксису коду;
- інтеграція з баг / issue-трекер, такими як JIRA, Youtrack, Lighthouse, Pivotal Tracker, GitHub, Redmine, Trac;
- величезна, постійно поповнюється колекція плагінів;
- крос-платформенность (Windows, Mac OS X, Linux).

### 2.3 Висновки за другим розділом

У другому розділі наведений аналіз сучасних відомих зварювальних апаратів на ринку та огляд програмних засобів для розробки нейронної мережі, а також огляд структури та алгоритму НМ. На цій основі можна побачити, що переважна більшість зварювальних апаратів вирівнює волокно по серцевині завдяки даним, які виявляють об'єктиви мікроскопів та передають на виконання. Це означає, що такий спосіб реалізації в зварочних апаратах значно підвищує їх ціну та якість.

Для зручної та легкої роботи з кодом на основі аналізу існуючих програмних продуктів обрано відповідні засоби: IDE Pycharm, бібліотека Tensorflow та Numpy, завдяки сумісності яких в третьому розділі виконана розробка нейронної мережі.

## **3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЕЛЕМЕНТІВ ВОЛЗ**

### **3.1 Tensorflow від Google Brain**

TensorFlow – відкрита програмна бібліотека для машинного навчання, розроблена компанією Google для вирішення завдань побудови і тренування нейронної мережі з метою автоматичного знаходження та класифікації образів, досягаючи якості людського сприйняття. Застосовується як для досліджень, так і для розробки власних продуктів Google. Основний API для роботи з бібліотекою реалізований для Python, також існують реалізації для R, C Sharp, C ++, Haskell, Java, Go і Swift [15].

### **3.2 Numpy та її призначення**

NumPy – бібліотека з відкритим вихідним кодом для мови програмування Python. Її можливості:

- підтримка багатовимірних масивів (включаючи матриці);
- підтримка високорівневих математичних функцій, призначених для роботи з багатовимірними масивами [16].

Математичні алгоритми, реалізовані на інтерпретованих мовах (наприклад, Python), часто працюють набагато повільніше тих же алгоритмів, реалізованих на компільованих мовах (наприклад, Фортран, Сі, Java). Бібліотека Numpy надає реалізації обчислювальних алгоритмів (у вигляді функцій і операторів), оптимізовані для роботи з багатовимірними масивами. В результаті будь-який алгоритм, який може бути виражений у вигляді послідовності операцій над масивами (матрицями) і реалізований з використанням Numpy, працює так само швидко, як еквівалентний код, що виконується в MATLAB.

### 3.3 Розробка структури нейронної мережі

Для створення програмного забезпечення прийняття рішень треба розробити структуру нейронної мережі, яка буде пройде навчання та буде обробляти вхідні дані, аби мати підстави для самостійного прогнозування рішення, а також отримувати нові вхідні дані з відповідних датчиків.

Структурна модель будь-якої нейронної мережі складається з:

- блок вхідних значень (приймає на вхід значення  $x$  та передає їх до наступного блоку);
- прихований блок (виконує перетворення вхідних даних і передає їх до наступного блоку);
- вихідний блок (містить нейрони, які відповідають результативним даним  $y$ ).

Блок вхідних значень та прихований блок з'єднані між собою, в свою чергу кожний зв'язок має свою вагу  $\omega$ , яка відповідає силі зв'язку між нейронами та визначає вплив вхідних даних на вихідні. Наприклад, від'ємна вага показує, що при збільшенні вхідних даних вихідні зменшаться.

За модель для виконання даного завдання взята MobileNet, хоча вона й менш точна від inception\_v3, але більш швидка та підходить для менших моделей.

MobileNets – це такі невеликі моделі з низькою затримкою та малою потужністю, параметризовані для задоволення обмежень ресурсів у різних випадках використання. Їх можна використовувати для класифікації, виявлення, вбудовування та сегментації, подібно до того, як використовуються інші популярні моделі, такі як Inception [17]. Наприклад, форма 'mobilenet\_1.0\_224' вибере модель розміром 17 мб, яка займає 224 піксельні зображення, в свою чергу 'mobilenet\_0.25\_128\_quantized' вибере багато менш точних зображень, але й менших за розміров 920 кб та 128 піксельні зображення, хоча зробить це набагато швидше.

### 3.4 Розробка методу прийняття рішень

Головною перевагою нейронної мережі над іншими є можливість навчання. Якщо мережа пройшла навчання успішно, то вона здатна приймати рішення самостійно відповідно до dataset (точність залежить від кількості та якості даних). Навчена нейронна мережа зможе розрізняти пошкодженні або неповні значення, а також повертати вірний результат при повній відсутності даних у початковій вибірці.

Для першого етапу навчання був застосований метод прямого розповсюдження, розрахунки якого відбуваються починаючи з вхідного блоку та закінчуючи вихідним. На рис. 3.1 зображено схему роботи НМ із застосуванням принципу прямого розповсюдження.

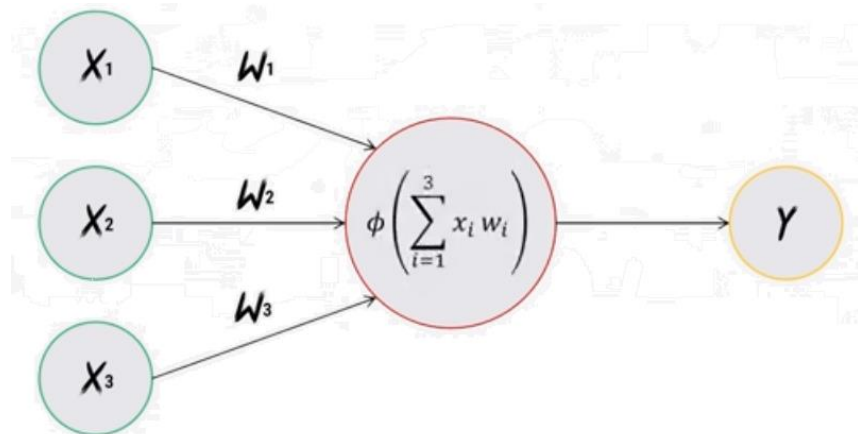


Рисунок 3.1 – Схема прямого розповсюдження

Дані на вході, переміщуючись до прихованого блоку, перемножуються на свою власну вагу, в результаті чого отримуємо  $X_1\omega_1$ ,  $X_2\omega_2$  і так далі відповідно до кількості входів ( $n$ ). В прихований блок, де знаходиться суматор, надходять дані з попереднього блоку і виконується розрахунок:

$$\sum_{i=1}^3 x_i \omega_i = x_1 \omega_1 + x_2 \omega_2 + x_3 \omega_3. \quad (3.1)$$

Отриманий результат на суматор відповідатиме параметру зваженої суми  $a$ :

$$\sum_{i=1}^n x_i \omega_i = a. \quad (3.2)$$

Застосовуючи функцію активації, яка зважену сумму, обробляємо результат допоки він не буде задовольняти вимоги. Після цього значення функції відповідає вихідному нейрону, а також вона визначає, які нейрони необхідно активувати та яка інформація перейде до наступного блоку. Власне за допомогою функції активації нейронна мережа здатна до навчання.

Надалі для створення та навчання НМ будемо застосовувати функцію активації сигмоїду  $\varphi(x)$ :

$$\varphi(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}. \quad (3.3)$$

$$\varphi(x) = \frac{1}{1 + e^{-\sum_{i=1}^3 x_i \omega_i}}. \quad (3.4)$$

Як зазначено вище, сигмоїдна (логістична) функція приймає на вхід дійсне число і нормалізує його до значень в межах потрібного діапазону (0...1), тобто вказує ймовірність виконання прогнозу відповідно значення розрахованого нейрона та заданого.

Наступним етапом навчання виступає метод зворотнього розповсюдження, який сприяє урегулюванню кожної ваги пропорційно відношенню до загальної похибки. Аби обчислити похибку значення порівнюються за допомогою правил диференційного обчислення. Кожен прихований нейрон додає вхідні помилки і вираховує величину похибки, помножуючи отримане значення на похідну активаційної функції, також



обчислює величину, на яку зміниться вага зв'язку та величину корегування зміщення.

Умовою припинення роботи алгоритму може бути досягнення сумарної квадратичної помилки результату на виході мережі встановленого на початку мінімуму в ході процесу навчання або виконання певної кількості ітерацій алгоритму. В основі алгоритму полягає метод градієнтного спуску. В залежності від знака, градієнт функції (функція – це похибка) дає напрямок, в якому значення функції збільшуються або зменшуються. Нижче наведена використана для розрахунку середньоквадратична помилка:

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \sum_{j=0}^n (a_j - y_j)^2. \quad (3.5)$$

Значення помилки до мінімального досягається за допомогою градієнтного спуску, а саме з використанням приватної похідної розраховуються необхідні значення ваги для кожного нейрона  $\omega_{i-1}$ :

$$\omega_i = \omega_{i-1} - \eta \sum_{j=1}^m x_j^i (a_j - y_j), \quad (3.6)$$

де  $\eta$  – параметр швидкості навчання.

На рис. 3.2 зображено схему зворотнього розповсюдження помилки.

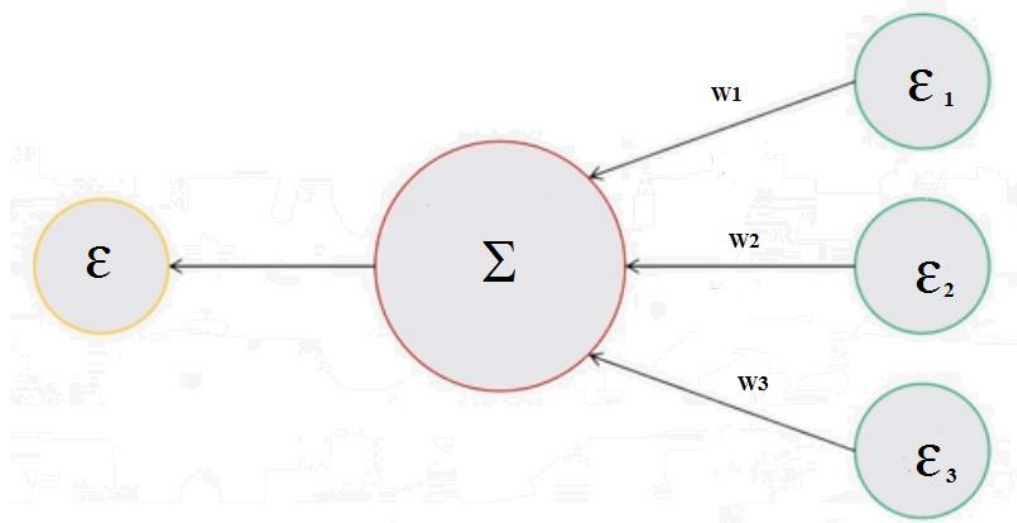


Рисунок 3.2 – Схема зворотнього розповсюдження помилки

З отриманих помилки та ваги на виході нейрона можна розрахувати помилку на вході нейрона:

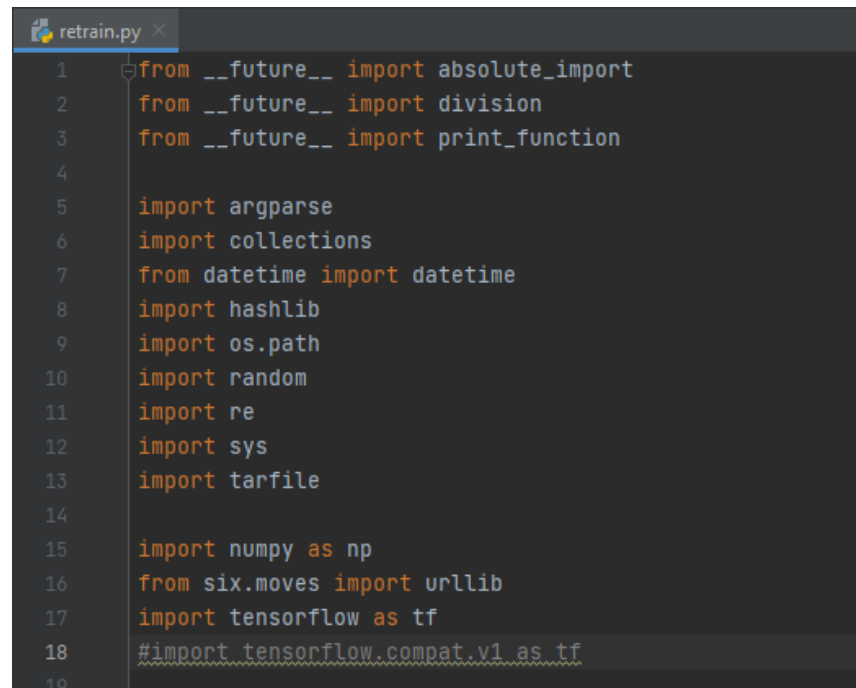
$$\epsilon_i = \sum_{j=1}^n \epsilon_j^n \omega_{ij}. \quad (3.7)$$

При розробці НМ будуть використані наведені вище етапи навчання та методи для її створення.

### 3.5 Розробка нейронної мережі та експериментальні дослідження

Для розробки НМ я використав середовище розробки Pycharm з використанням мови програмування Python, відкриту програмну бібліотеку для машинного навчання Tensorflow та Numpy – бібліотеку для підтримки великих масивів.

Для початку слід імпортувати необхідні бібліотеки та модулі, а також dataset з даними для тренування та перевірки (рис. 3.3).



```
1 from __future__ import absolute_import
2 from __future__ import division
3 from __future__ import print_function
4
5 import argparse
6 import collections
7 from datetime import datetime
8 import hashlib
9 import os.path
10 import random
11 import re
12 import sys
13 import tarfile
14
15 import numpy as np
16 from six.moves import urllib
17 import tensorflow as tf
18 #import tensorflow.compat.v1 as tf
19
```

Рисунок 3.3 – Імпорт dataset та бібліотек

Наступним кроком є розробка моделі для МН з вказаними для неї параметрами та аргументами. В данному випадку кількість зображень 2 в 27 степені приблизно 134 мільйони та відповідні аргументи: `image_dir`, `testing_percentage`, `validation_percentage`. При відсутності зображень не повертає нічого (рис. 3.4).

```

MAX_NUM_IMAGES_PER_CLASS = 2 ** 27 - 1 # ~134M

def create_image_lists(image_dir, testing_percentage, validation_percentage):
    """Builds a list of training images from the file system.

    Analyzes the sub folders in the image directory, splits them into stable
    training, testing, and validation sets, and returns a data structure
    describing the lists of images for each label and their paths.

    Args:
        image_dir: String path to a folder containing subfolders of images.
        testing_percentage: Integer percentage of the images to reserve for tests.
        validation_percentage: Integer percentage of images reserved for validation

    Returns:
        A dictionary containing an entry for each label subfolder, with images split
        into training, testing, and validation sets within each label.
    """
    if not gfile.Exists(image_dir):
        tf.logging.error("Image directory '" + image_dir + "' not found.")
        return None

```

Рисунок 3.4 – Функція визначення тренувального набору

Використав функцію `sorted`, яка сортує по зростанню або спаданню для упорядочення тренувального набору та задане необхідне розширення для зображень (рис. 3.5). За допомогою функції `len()`, яка підраховує кількість елементів в контейнері (знаходить його довжину), був заданий відповідний робочий діапазон від 20 зображень та не більше заданого максимуму (134 000 000).

```

sub_dirs = [
    os.path.join(image_dir, item)
    for item in gfile.ListDirectory(image_dir)]
sub_dirs = sorted(item for item in sub_dirs
                  if gfile.IsDirectory(item))
for sub_dir in sub_dirs:
    extensions = ['jpg', 'jpeg', 'JPG', 'JPEG']
    file_list = []
    dir_name = os.path.basename(sub_dir)
    if dir_name == image_dir:
        continue
    tf.logging.info("Looking for images in '" + dir_name + "'")
    for extension in extensions:
        file_glob = os.path.join(image_dir, dir_name, '*' + extension)
        file_list.extend(gfile.Glob(file_glob))
    if not file_list:
        tf.logging.warning('No files found')
        continue
    if len(file_list) < 20:
        tf.logging.warning(
            'WARNING: Folder has less than 20 images, which may cause issues.')
    elif len(file_list) > MAX_NUM_IMAGES_PER_CLASS:
        tf.logging.warning(
            'WARNING: Folder {} has more than {} images. Some images will '

```

Рисунок 3.5 – Функції sorted та len

Для запуску нейронної мережі для початку в середовищі розробки програмного продукту потрібно створити новий проект, який буде мати відповідне ім'я Project. На рис. 3.6 показано дерево відкритої папки, в якій зберігаються необхідні для роботи нейронної мережі дані.

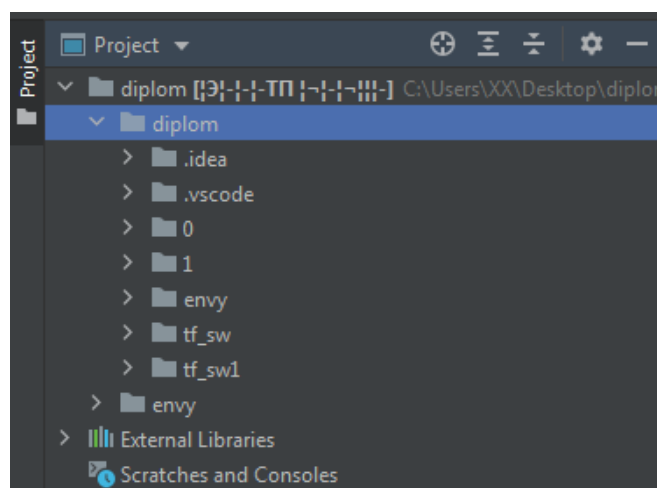


Рисунок 3.6 – Дерево проекту

Далі за допомогою комбінації клавіш Ctrl+Alt+S викликаємо налаштування Pycharm та назначаємо інтерпретатором для свого проекту Python та вказуємо навігатор Anaconda відповідно до своєї версії Python. В моєму випадку Python версії 3.8 відповідно навігатор Anaconda також, як показано на рис. 3.7.

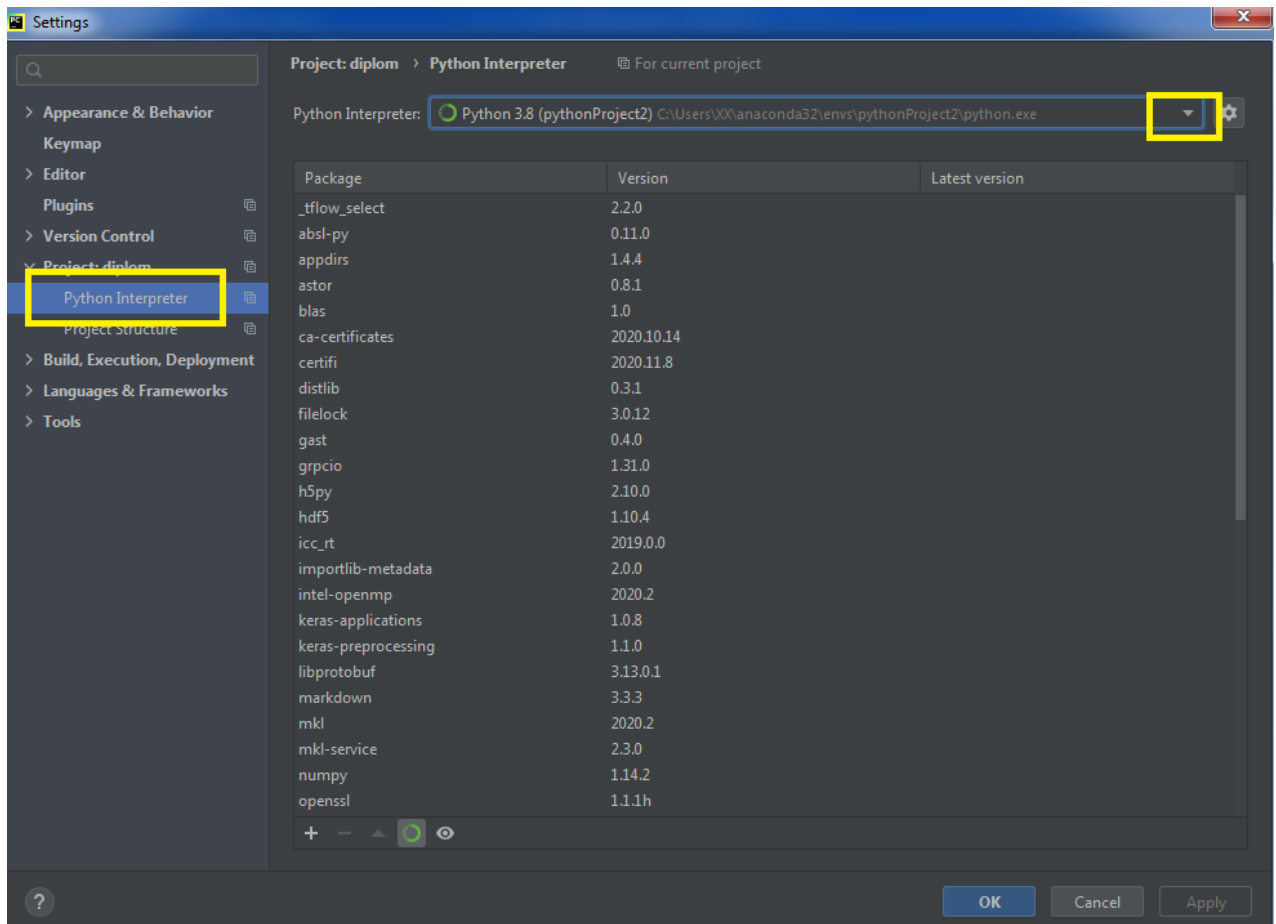


Рисунок 3.7 – Налаштування інтерпретатору відповідно до проекту

Завдяки тестовому dataset – це приблизно 100 різноманітних зображень розрізів в перетині кабелів зробив первинне навчання мережі. Маючи в своєму розпорядженні таку бібліотеку як tensorflow, яка допускає створення глибоких мереж без повного розуміння внутрішньої роботи нейронної мережі, була побудована відповідно за завданням мережа, з метою віднаходження необхідних образів, досягаючи відповідної якості.

Всі операції щодо керування та управління програмним забезпеченням відбуваються в IDE Pycharm (рис. 3.8). Команди виконуються через термінал середовища (як в Linux).

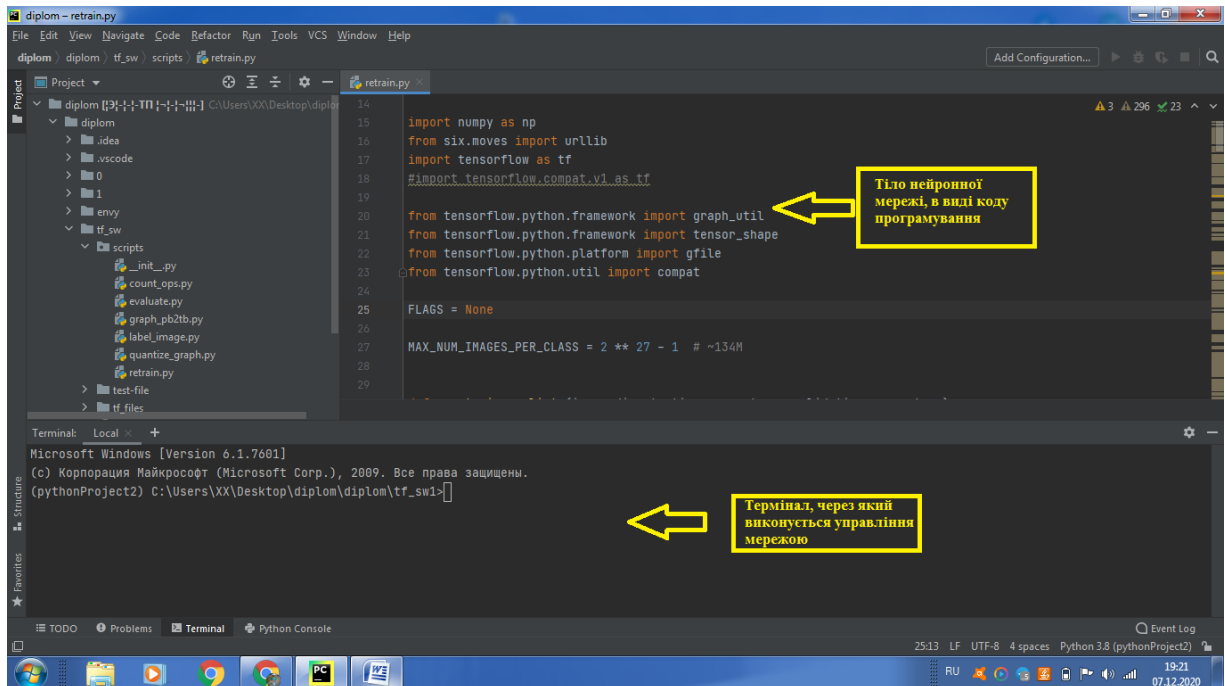


Рисунок 3.8 – IDE Pycharm та його інтерфейс

Для полегшення роботи шляхом зменшення символів для роботи з командами змінив назви (рис. 3.9).

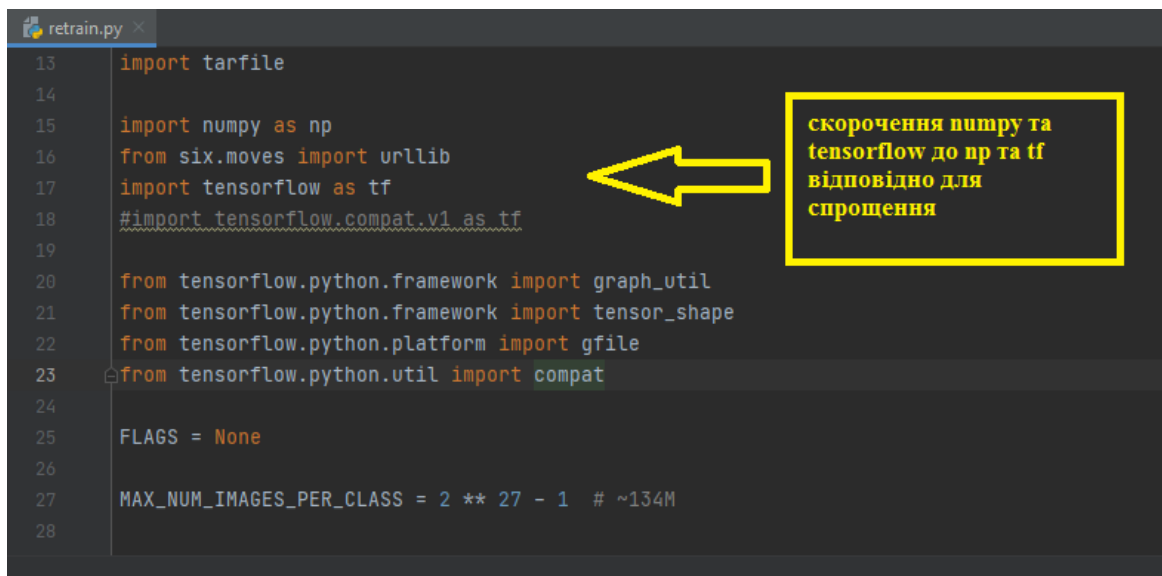


Рисунок 3.9 – Зміна ім'я

В подальших випадках вказані коментарі, щодо будь-якої функції або умови. Наприклад, функція `def create_image_lists` створює список навчальних образів с файлової системи, аналізує підпапки в каталозі зображень, розділяє їх на стабільні навчальні, тестувальні та валідаційні набори та повертає структуру даних описуючи списки зображень для кожної етикетки та їх шляхи (рис. 3.1).

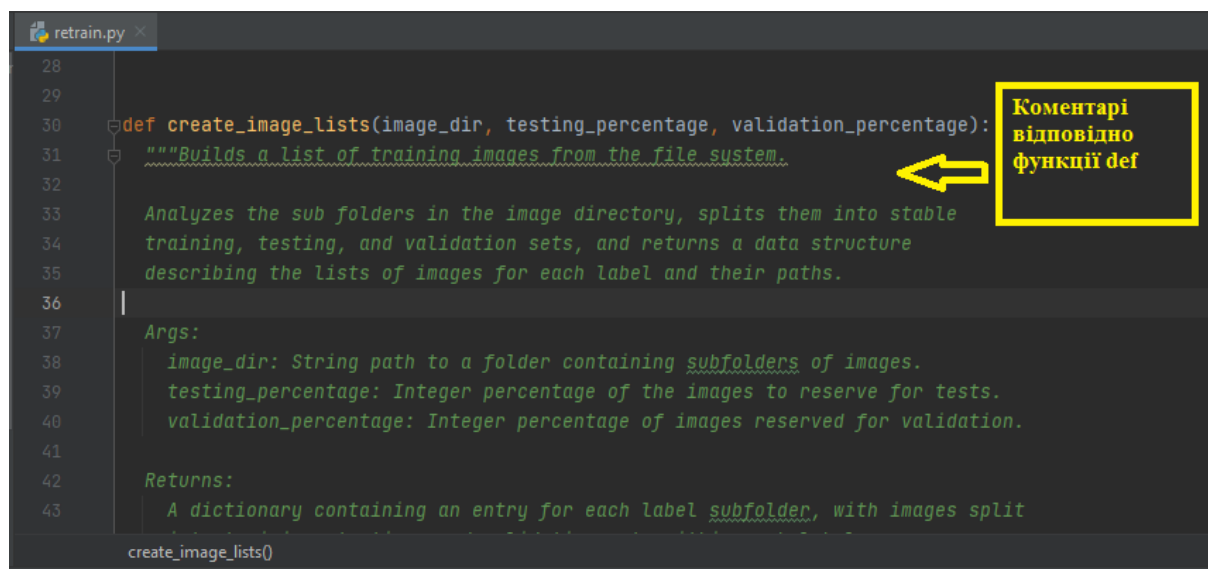


Рисунок 3.10 – Коментар щодо функції def

Надалі всі операції завдяки бібліотекам виконуються та описуються дуже легко. Оголошення змінних, місце розташування необхідних зображень, робота з масивами, вказівки щодо роботи з ними все це виконується завдяки бібліотекам.

За тестовий зразок для навчання мережі був взятий dataset зі 100 зображень. Завантаження dataset повертає чотири масиви NumPy:

- масиви `train_images` і `train_labels` є тренувальним сетом – даними, на яких модель буде навчатися;
- модель тестується на перевірочному сеті, а саме масивах `test_images` і `test_labels`;

Перш ніж модель буде готова для навчання, потрібно вказати ще кілька параметрів. Вони додаються на етапі `compile` моделі:



- функція втрат (Loss function) – вимірює точність моделі під час навчання. Потрібно мінімізувати цю функцію щоб "направити" модель в правильному напрямку;

- оптимізатор (Optimizer) – показує яким чином оновлюється модель на основі вхідних даних і функції втрат;

- метрики (Metrics) – використовуються для моніторингу тренування і тестування моделі. Цей приклад використовує метрику асигасу, яка дорівнює частині правильно класифікованих зображень.

Навчання моделі нейронної мережі вимагає виконання наступних кроків:

- подаю тренувальні дані в модель. У цьому прикладі тренувальні дані це масиви `train_images` і `train_labels`;

- модель вчиться асоціювати зображення з правильними класами;

- прошу модель зробити прогнози для перевірочних даних, в цьому прикладі масив `test_images`, а після перевіряю, чи відповідають передбачені класи міткам з масиву `test_labels`.

### 3.6 Керування та доступ до нейронної мережі

Усі зображення `dataset`, який обробила нейронна мережа зберігаються у відповідних папках (відцентровані та ні) і підтягуються програмою в потрібний момент (рис. 3.11).

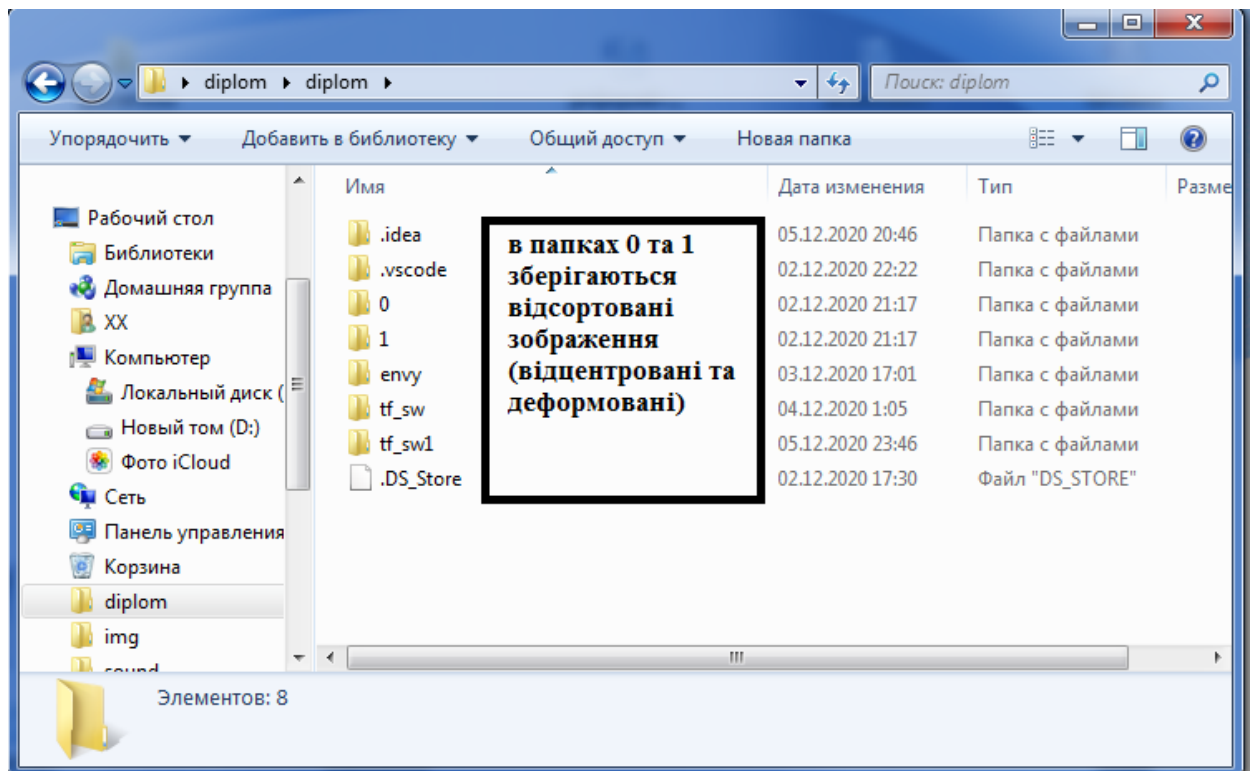


Рисунок 3.11 – Структура файлів із даними

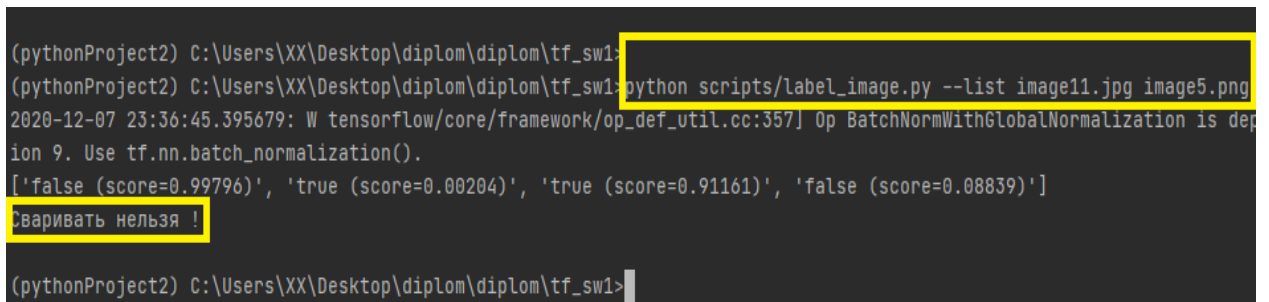
У вже навченій мережі потрібно задати будь-які два зображення на вхід, аби на виході отримати відповідь, чи можна обробляти ці два кабелі. `tf_sw` та `tf_sw1` виконуючі папки. Зображення шляхом завантаження в папку `tf_sw1` оброблюються через програму та видають відповідь.

Команди, які використані для налаштування та виконуючі команди:

- `pip install --upgrade virtualenv` – `pip` – це система управління пакетами, яка використовується для установки і управління програмними пакетами, написаними на Python;
- `virtualenv --system-site-packages envy`;
- `envy\Scripts\activate.bat` – для активації оточення треба запустити скрипт `activate.bat` всередині директорії з віртуальним оточенням. Потім виконати необхідні операції, припустимо встановити пакет;
- `conda install tensorflow` – з допомогою навігатора `anaconda` встановив бібліотеку;
- будь-які операції з зображенням в даному випадку виконуються через команду `python scripts/label_image.py --list image.jpg image2.png`.

Змінюючи назви зображень, відповідно змінюєш в команді і запускаєш на виконання.

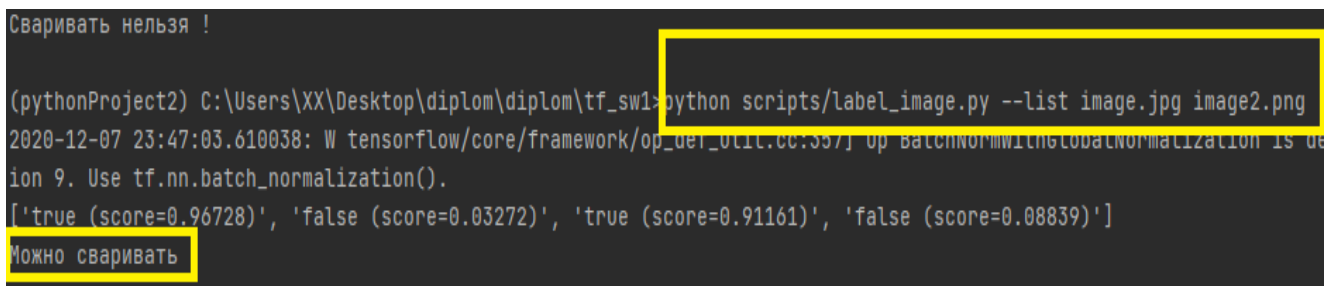
Завдавши на вході шукані зображення через команду, наприклад, `python scripts/label_image.py --list image11.jpg image5.png`. маємо на виході такі значення (рис. 3.12).



```
(pythonProject2) C:\Users\XX\Desktop\diplom\diplom\tf_sw1>python scripts/label_image.py --list image11.jpg image5.png
2020-12-07 23:36:45.395679: W tensorflow/core/framework/op_def_util.cc:357] Op BatchNormWithGlobalNormalization is deprecated. Use tf.nn.batch_normalization().
['false (score=0.99796)', 'true (score=0.00204)', 'true (score=0.91161)', 'false (score=0.08839)']
Сваривать нельзя !
(pythonProject2) C:\Users\XX\Desktop\diplom\diplom\tf_sw1>
```

Рисунок 3.12 – Вивід результату

Відповідно коли результат позитивний, то відповідь має такий вигляд (рис. 3.13).



```
(pythonProject2) C:\Users\XX\Desktop\diplom\diplom\tf_sw1>python scripts/label_image.py --list image.jpg image2.png
2020-12-07 23:47:03.610038: W tensorflow/core/framework/op_def_util.cc:357] Op BatchNormWithGlobalNormalization is deprecated. Use tf.nn.batch_normalization().
['true (score=0.96728)', 'false (score=0.03272)', 'true (score=0.91161)', 'false (score=0.08839)']
Можно сваривать
```

Рисунок 3.13 – Вивід позитивного результату

### 3.7 Висновки за третім розділом

В цьому розділі створено набори даних (для тестування та навчання). За допомогою IDE Pycharm з використанням мови програмування Python та відкритих бібліотек, а саме Tensorflow та Numpy розроблена та натренова нейронна мережа для прийняття рішень щодо відцентрованості кабелів.

В залежності від кількості тренувальних шагів (в моєму випадку 4000) змінюється точність прийняття рішення. В оціночному наборі використано 100 зображень (validation batch size), бо якщо брати більший набір він буде працювати повільніше. Чим більшу кількість тренувальних кроків пройде мережа, тим вища буде точність.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ПРОВЕДЕНІ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.1 Аналіз умов праці на робочому місці дослідника

Приміщення, де ведуться експериментальні дослідження являє собою лабораторію з двома робочими місцями та наступними загальними характеристиками:

- площа приміщення  $20 \text{ м}^2$  ( $5 \text{ м} \times 4 \text{ м}$ );
- висота  $3 \text{ м}$ ;
- кількість робочих місць розрахована на 2 людини;
- обладнання – стіл з персональним комп'ютером.

Приміщення, у відповідності з ДНАОП 0.00-1.31-99, повинно забезпечувати  $6 \text{ м}^2$  площі і  $20 \text{ м}^3$  об'єму на одне окреме робоче місце [16]. У лабораторії на одне робоче місце припадає  $10 \text{ м}^2$  і  $30 \text{ м}^3$ , що відповідає нормативному документу.

Для аналізу умов праці в лабораторії розглянуті всі зв'язки в системі «Людина-Машина-Середовище». На рисунку 4.1 представлена схема «Структурна Л-М-С». Все зв'язку в системі, вказані в таблиці 4.1.

В якості машини виступає персональний комп'ютер, середовища – приміщення лабораторії. Предмет праці – програмний додаток в середовищі Matlab Усі елементи «Л-М-С» впливають один на одного, при цьому деякі зв'язки можуть бути небезпечними і шкідливими. Виділяють три типи елементів «людина» і «машина»:

- Л1 – це дослідник;
- Л2 – це людина, як біологічний об'єкт, впливає на середовище (енерговиділення від людини);
- Л3 – це людина, його психофізіологічний стан під впливом факторів (втома, розумове перенапруження);

- М1 – персональний комп'ютер, що виконує функції моделювання;
- М2 – система, що виконує функції аварійного захисту;
- М3 – функціонування програмного засобу як джерела шкідливих впливів на людину і середовище.

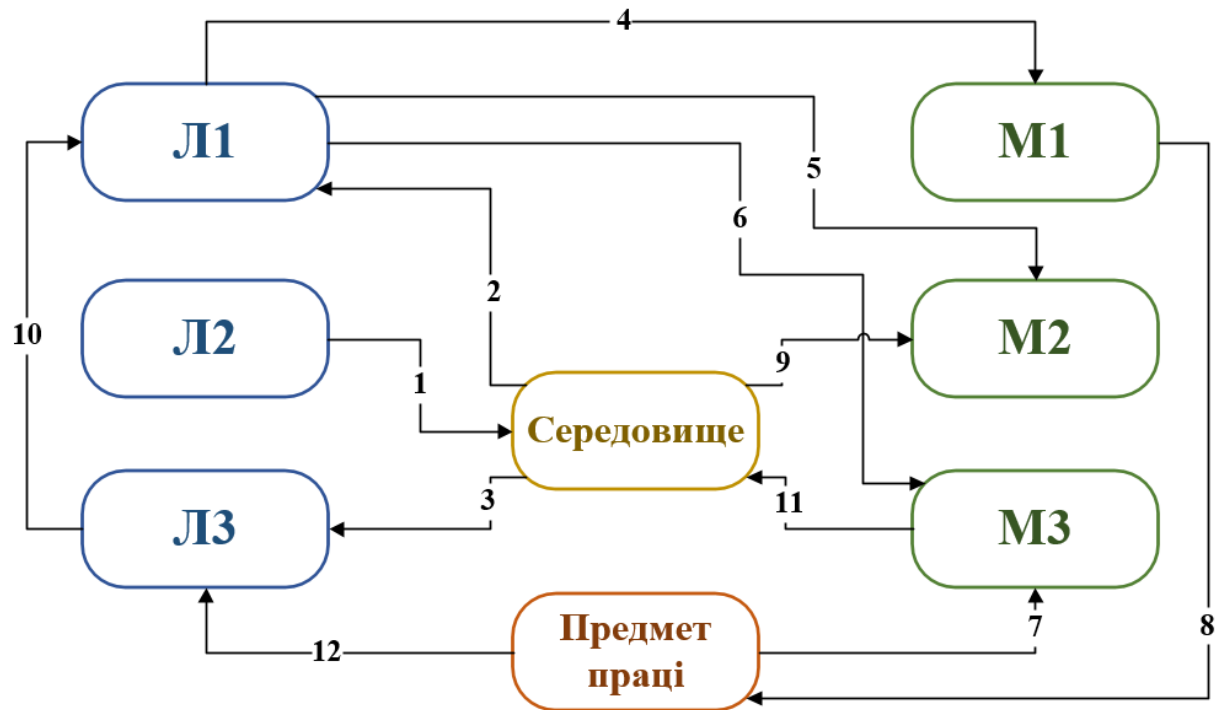


Рисунок 4.1 – Загальна структура системи «Л-М-С»

Таблиця 4.1 – Перелік зв'язків і їх вплив в системі «Ч-М-С»

№ зв'язку	Напрямок зв'язку	Зміст зв'язку
1	2	3
1	Л2-С	Вплив людини як біологічного об'єкта на середовище: на температуру, вологість, вміст кисню, за рахунок споживання людиною кисню, тепло і вологовиділення.
2	С-Л1	Інформація про стан зовнішнього середовища, яка обробляється людиною (спостереження за мікрокліматом)

Продовження таблиці 4.1

1	2	3
3	С-ЛЗ	Вплив середовища на психофізіологічний стан людини – недолік освітлення, температура, знижена вологість в лабораторії призводять до стомлення, перенапруження аналізаторів
4	Л1-М1	Вплив людини на роботу персонального комп'ютера – включення, використання, виключення
5	Л1-М2	Порушення в експлуатації, аварійного захисту, зарядці системи живлення ПК (при не правильній роботі акумуляторів можуть виділятися шкідливі пари)
6	Л1-М3	Контроль за правильною експлуатацією
7	ПП-М3	Інформація про стан предмета праці (коректна робота ПЗ)
8	М1-ПП	Вплив ПК на предмет праці – збій в роботі ПК призводить до некоректної роботи ПЗ
9	С-М2	Вплив середовища на ефективність роботи ПК – підвищена вологість в приміщенні може привести до короткого замикання
10	ЛЗ-Л1	вплив психофізіологічного стану людини на його діяльність – дратівливість, стомлюваність може привести до втрати концентрації уваги
11	М3-С	вплив ПК на середовище – тепловіддача, виділення парів
12	ПП-ЛЗ	вплив предмета праці на психофізіологічний стан людини – якість предмета праці може викликати негативні емоції, що можуть привести до подразнення, нервозності

Домінуючим шкідливим фактором є підвищена вологість в приміщенні.

## 4.2 Промислова безпека у лабораторії

Проектування конструкції мобільної платформи виконується на комп'ютері, живлення якого здійснюється від трифазної чотирипровідної електричної мережі змінного струму з глухозаземленою нейтраллю напругою 220 В, частотою 50 Гц.

Згідно НПАОП 40.1-1.21-98 приміщення можна віднести до категорії без підвищеної небезпеки, так як в приміщенні відсутні чинники, які викликають підвищену або особливу небезпеку.

Для створення безпечних умов праці необхідно провести ряд організаційних і технічних заходів. Згідно НПАОП 40.1-1.32-01 для запобігання ураження людини електричним струмом у приміщенні застосовується система занулення [18].

Відповідно до вимог НПАОП 0.00-4.12-05 необхідно проводити вступний, первинний на робочому місці, повторний, цільовий та позаплановий інструктаж. Зміст інструктажу повинно відповідати вимогам НПАОП 0.00-4.12-05 та бути зафіксований у відповідних журналах з підписами.

## 4.3 Виробнича санітарія в лабораторії

Згідно ДСН 3.3.6-042-99 робота в лабораторії по категорії робіт відноситься до категорії I<sub>a</sub> (легкі фізичні роботи, енерговитрати до 120 ккал/ч). З метою забезпечити комфортні умови для працівників і відповідно в лабораторії встановлені наступні метеорологічні параметри:

- температура повітря від 23 °C до 25 °C в холодний період та від 22 °C до 24 °C в теплий період;
- вологість повітря від 40 % до 60 %;
- швидкість руху повітря не повинна перевищувати 0,1 м/с.



Для освітлення робочих місць і приміщення в цілому застосовується як природне бічне освітлення, так і штучне освітлення. Лабораторія з комп'ютером повинна мати природне і штучне освітлення відповідно до ДБН Ст. 25-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

Рівень загального штучного освітлення лабораторії можна перевірити за допомогою методу питомої потужності, що розраховується наступним чином:

$$W = \frac{W_{\Sigma}}{S}, \quad (4.1)$$

де  $W$  – питома потужність,  $Bm/m^2$ ;

$S$  – площа лабораторії,  $m^2$ ;

$W_{\Sigma}$  – загальна потужність освітлювальної установки,  $Bm$ .

Загальна потужність розраховується по формулі:

$$W_{\Sigma} = W_{ce} \cdot n_{ce}, \quad (4.2)$$

де  $W_{ce}$  – потужність одного світильника,  $W_{ce} = 80 Bm$ ;

$n_{ce}$  – кількість світильників у лабораторії,  $n_{ce} = 5$ .

$$W_{\Sigma} = 80 \cdot 5 = 400 Bm,$$

$$W = \frac{400}{20} = 20 Bm/m^2.$$

Питома потужності  $20 Bm/m^2$  по таблиці Б. 3 з [14] відповідає освітленості 400 лк при мінімальній допустимій освітленості 300 лк. Отже, в лабораторії створенні сприятливі зорові умови.

## ВИСНОВКИ

Магістерська атестаційна робота присвячена рішення питань щодо автоматизації контролю деталей пасивних компонентів волоконно-оптичних ліній зв'язку. В ході виконання магістерської роботи отримані знання щодо роботи з нейронними мережами та відповідним програмним забезпеченням (мова програмування Python, навігатор середовищ Anaconda, Pycharm (середовище розробки)). Як видно з даного звіту, для початку роботи з нейронними мережами не потрібно складних маніпуляцій. Якщо використовувати Python як мову програмування для даної роботи, то на допомогу приходять готові бібліотеки, які взаємодіють із середовищем розробки Pycharm. Для полегшення написання коду програми можна використовувати готові бібліотеки, такі як tensorflow та ін. Огляд найбільш популярних програмних забезпечень для взаємодії з конкретним елементом було наведено в Anaconda (jupyter та безліч інших).

В процесі вирішувалися наступні завдання:

- аналіз методів контролю, переваги та недоліки;
- огляд зварювальних пристроїв та принцип їх дії;
- огляд необхідних для написання програмного продукту програм;
- створення нейронної мережі, які буду визначати, чи відцентровані кабелі та надавати сигнал (+/-).

Готовий програмний продукт пройшов тестовий dataset, в результаті якого можна сказати, що він може відрізняти та визначати різноманітні зображення на рахунок розташування серцевини оптичного кабелю та робити висновки (давати дозвіл або заборону). Даний програмний продукт дає змогу впровадити себе у вже існуючі зварювальні апарати або пере налаштувати їх, аби автоматизувати подачу кабелів, а також при випуску нових зварювальних машин заощадити на дорогих камерах-мікроскопах, які аналізують

положення серцевини щодо найбільш точного зварювання. Це дає змогу здешевити нові пристрої та автоматизувати їх роботу. Нейронна мережа з часом буде поповнювати свій dataset на основі якого точність буде ставати ще більшою. Якщо поєднати програмне та апаратне забезпечення і підключити сюди різні рекламні компанії, то даний програмний продукт буде користуватися попитом.

Розроблена система являє собою повний комплекс програмного забезпечення, із застосуванням сучасних бібліотек, які спростили і зекономили час на написання коду, і досвіду програмування в середовищі Pycharm мовою Python. Отриманий програмний продукт має можливість модернізації та оптимізації при необхідних навичках користувача з подальшим підключенням та налаштуванням апаратної частини.

Підводячи підсумок, можна сказати, що розроблена система дозволить на середньому рівні (зважаючи на похибку на початку її життєвого циклу) відцентровувати потрібні об'єкти (а саме кабелі) і робити відповідний висновок щодо зварювання. Провівши аналіз зварювальних пристроїв на ринку можна сказати, що проект амбітний і при належному контролі здатний приносити прибуток для розробника.

В першому розділі була наведена класифікація пасивних елементів волоконно-оптичних ліній зв'язку, галузі застосування волоконно-оптичних кабелів, переваги та недоліки ВОЛЗ, етапи розвитку оптичного волокна.

В другому розділі повністю описується апаратні та програмні засоби. В першому випадку щодо зварювання оптичного волокна, а в другому – все необхідне для написання та навчання нейронної мережі (мова програмування, середовище розробки, відповідні бібліотеки та dataset).

В третьому розділі програмно реалізовано всі функції щодо створення нейронної мережі.

Також розглянуто питання, пов'язані з охороною праці.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Невлюдов, І.Ш. дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [Текст] / І.Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, О. В. Токарева, Г. В. Пономарьова – Київ-58, пр. Космонавта Комарова, 1, 2016 – 320с.
2. ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. – К.: Вид-во стандартів, 2016. – 26 с.
3. ВОЛС: волоконно-оптические линии связи [Електронний ресурс]: [www.tls-group.ru](http://www.tls-group.ru). – <http://www.tls-group.ru/services/sistemy-tsod/struktur-kab-sistem/vols/> – Загол. з екрану.
4. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. – Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ, 2019. – 366 с.
5. Компоненты волоконно-оптических систем передачи [Електронний ресурс]: [ohranatruda.ru](https://ohranatruda.ru). – [https://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/norma/389350/](https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/389350/) – Загол. з екрану.
6. ВОЛС. Основные характеристики и сферы применения [Електронний ресурс]: [pue8.ru](http://pue8.ru). – <http://pue8.ru/kabelnye-linii/548-vols-osnovnye-kharakteristiki-i-sfery-primeneniya.html> – Загол. з екрану.
7. Этапы развития ВОЛС [Електронний ресурс]: [kunegin.com](http://kunegin.com). – [http://kunegin.com/ref7/fiber/vols1\\_2.htm](http://kunegin.com/ref7/fiber/vols1_2.htm) – Загол. з екрану.
8. Разъемные и неразъемные соединения [Електронний ресурс]: [siblec.ru](https://siblec.ru). – <https://siblec.ru/telekommunikatsii/opticheskie-linii-svyazi-i-passivnye-komponenty-vosp/8-raz-emnye-i-neraz-emnye-soedineniya/> – Загол. з екрану.
9. Сварка оптических волокон [Електронний ресурс]: [deps.ua](https://deps.ua). – <https://deps.ua/knowegable-base-ru/articles/2013-welding-the-optical-fiber-part-2.html#q12/> – Загол. з екрану.

10. Невлюдов І. Ш. Людино-машинний інтерфейс в технічних засобах автоматизації: Навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, О. І. Филипенко, Б. О. Шостак. – Харків : «ХТМТ», 2019. – 244 с.

11. Нейросеть [Електронний ресурс]: basegroup.ru. – <https://basegroup.ru/deductor/function/algorithm/neuronet> – Загол. з екрану.

12. Пишем нейросеть на Python с нуля [Електронний ресурс]: proglib.io. – <https://proglib.io/p/pishem-neyroset-na-python-s-nulya-2020-10-07> – Загол. з екрану.

13. Python [Електронний ресурс]: ru.wikipedia.org. – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Python> – Загол. з екрану.

14. Описание продукта Pycharm [Електронний ресурс]: itpro.ua – <https://itpro.ua/product/jetbrains-pycharm/?tab=description> – Загол. з екрану.

15. TensorFlow [Електронний ресурс]: ru.wikipedia.org. – <https://ru.wikipedia.org/wiki/TensorFlow> – Загол. з екрану.

16. NumPy [Електронний ресурс]: ru.wikipedia.org. – <https://ru.wikipedia.org/wiki/NumPy> – Загол. з екрану.

17. Моделі з відкрити кодом [Електронний ресурс]: ai.googleblog.com. – <https://ai.googleblog.com/2017/06/mobilenets-open-source-models-for.html> – Загол. з екрану.

18. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» у випускних роботах ОКР «бакалавр» усіх форм навчання / Упоряд.: Б.В. Дзюндзюк, В.А. Айвазов, Т.Є. Стиценко. – Харків: ХНУРЕ, 2012. – 28 с.