

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

(Повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки

(Повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти Другий (магістерський)

Розроблення програмного модуля підсистеми ідентифікації вибухонебезпечних предметів

(Тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи АУТПм-21-1

Сергієнко А.С

(Прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(Код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

(Освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Автоматизоване управління технологічними процесами

(Повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Хрустальов К.Л

(Посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(Підпис)

Невлюдов І.Ш.

(Прізвище, ініціали)

2022 р.

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

19.12.2022

Сергієнко Андрій Сергійович

Харківський національний університет радіоелектроніки

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-професійна
Освітня програма	Автоматизоване управління технологічними процесами (код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

« _____ » _____ 2022 р.

Розроблення програмного модуля підсистеми ідентифікації вибухонебезпечних предметів

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Сергієнку Андрію Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Розроблення програмного модуля підсистеми ідентифікації вибухонебезпечних предметів

затверджена наказом по університету від _____ 07.11. 2022 р. № 1463Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 27.12.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи _____ Підсистема ідентифікації вибухонебезпечних предметів, OpenCV, мова програмування Python

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

4.1 Вступ.

4.2 Аналіз існуючих методів, засобів та систем ідентифікації вибухонебезпечних предметів

4.3 Розробка програмного модуля підсистеми ідентифікації вибухонебезпечених предметів

4.4 Експериментальна частина

4.5 Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 10с. формату А4

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

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	07.11.2022	Виконано
2	Аналіз стану проблеми	10.11.2022	Виконано
3	Розробка програмного модуля підсистеми ідентифікації вибухонебезпечених предметів	20.11.2022	Виконано
4	Проведення експериментів	10.12.2022	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	17.12.2022	Виконано
6	Подання роботи до ЕК	27.12.2022	Виконано

Дата видачі завдання 07.11.2022

Студент _____
(підпис)

Сергієнко А.С.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Хрустальов К.Л
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 66 с., 2 табл., 32 рис., 1 дод., 24 джерела.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ, ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИЙ ПРЕДМЕТ, ПІДСИСТЕМА, ПРОГРАМНИЙ ЗАСІБ.

Об'єкт дослідження – процес ідентифікації вибухонебезпечних предметів.

Предмет дослідження – програмний модуль підсистеми ідентифікації вибухонебезпечних предметів.

Мета дослідження – підвищення точності ідентифікації вибухонебезпечних предметів за рахунок розроблення програмного модуля.

Методи дослідження та апаратура: для розв'язання задачі використовувалися методи системного аналізу та сучасних інформаційних технологій.

На базі проведеного дослідження було проаналізовано існуючі методи, засоби та системи ідентифікації вибухонебезпечних предметів такі методи як газового аналізу, хімічного аналізу, лазерного аналізу та непрямого аналізу.

Розроблено програмний модуль підсистеми ідентифікації вибухонебезпечних предметів.

Область застосування – використання спецслужбами саперами для розмінування територій.

ABSTRACT

Explanatory note: 66 pages, 2 tables, 32 figures, 1 addition, 24 sources.

IDENTIFICATION, EXPLOSIVE ITEM, SUBSYSTEM, SOFTWARE.

The object of the research is the process of identifying explosive objects.

The subject of the research is the subsystem software module for the explosive objects identification.

The goal of the research is improving the accuracy of explosive objects identification by the software module development.

Research methods and equipment: methods of system analysis and modern information technologies are used to solve the problem.

On the basis of the research, the basic methods, means and systems for explosive objects identification are used and gas, chemical, laser and indirect analysis methods as well.

The subsystem software module for the explosive objects identification has been developed.

The application is military intelligence and sappers' usage for territories demining.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	9
Вступ.....	10
1 Аналіз існуючих методів, засобів та систем ідентифікації вибухонебезпечних предметів у приміщенні	12
1.1 Аналіз пристроїв ідентифікації вибухонебезпечних предметів.....	12
1.1.1 Autoclear Scintrex Trace E3500.....	12
1.1.2 Autoclear Scintrex Trace E5000	13
1.2 Аналіз інноваційних технічних засобів для виявлення ВР.....	14
1.2.1 Рентгенівський метод виявлення ВР.....	14
1.2.2 Метод газового аналізу.....	16
1.2.3 Метод хімічного аналізу.....	21
1.2.4 Метод лазерного аналізу	22
1.2.5 Методи пошуку за непрямими ознаками	25
1.3 Висновки до розділу	26
2 Розробка програмного модуля підсистеми ідентифікації вибухонебезпечених предметів	27
2.1 Алгоритми роботи програми	27
2.2 Основні етапи створення xml-файлу класифікатора Хаара.....	31
2.3 Основні етапи створення нейронної мережі	38
2.4 Результати розпізнавання.....	47
2.5 Висновки до розділу	48
3 Експериментальна частина	49
3.1 Планування	49
3.2 Експеримент в Cascade Trainer GUI	50
1.2 Висновки до розділу	52
4 Охорона праці	53
4.1 Фактори, що впливають на функціональний стан розробника	54
4.2 Вимоги до організації робочих місць	55
4.3 Вимоги до електробезпеки.....	56
1.2 Висновки до розділу	60

Висновки	61
Перелік джерел посилання	63
Додаток А.....	66

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

ВП – вибухонебезпечний предмет;

ВР – вибухова речовина;

ДЕЗ – детектор електронного захоплення;

ДПР – диференціальне поглинання та розсіювання;

ПГС – параметричний генератор світла;

ПК – персональний комп'ютер;

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;

ІЧ – інфрачервоний;

ТАТР – триацетонатрипероксид;

ТЗ – технічне завдання;

DNT – динітротолуол.

ВСТУП

Під час війни однією з найактуальніших проблем є проблема розмінування територій, які раніше було заміновано ворогом. Для того, щоб уникнути травм і допомогти саперам виявити вибухонебезпечні предмети, використовують спеціальні прилади, роботи, для виявлення вибухонебезпечних ознак, які допомагають виявити ці предмети. Грамотне застосування технічних засобів для пошуку вибухових речовин може сприяти зниженню ймовірності отримати травми під час розмінування.

Для розмінування територій необхідне виконання комплексу заходів, одним із яких є оснащення відповідних служб сучасними технічними засобами виявлення вибухових пристроїв та вибухових речовин. Грамотне застосування технічних засобів для пошуку вибухових речовин може сприяти зниженню ризику.

Потрібно проаналізувати сучасні методи та прилади, які дозволяють забезпечити розмінування території.

Об'єкт дослідження – процес ідентифікації вибухонебезпечних предметів.

Метою роботи є розробка програмного модулю підсистеми ідентифікації вибухонебезпечних предметів та оформлення пояснювальної записки, згідно атестаційної роботи, керуючись методичними вказівками до підготовки випускної кваліфікаційної роботи магістра [1] згідно з ДСТУ 3008-2015 [2].

Методи дослідження та апаратура: для розв'язання задачі використовувалися методи системного аналізу та сучасних інформаційних технологій.

У першому розділі буде проаналізовано сучасні методи та прилади для виявлення вибухонебезпечних предметів.

У другому розділі диплома буде розроблено програмний модуль підсистеми ідентифікації вибухонебезпечних предметів. Під час розробки програми буде розроблено її алгоритм і буде описано етапи її розробки.

У третьому розділі атестаційної роботи буде проведено експерименти з розробленим програмним модулем. Перед проведенням експериментів буде проведено інформаційний пошук матеріалів за проблемою, яка розглядається.

У четвертому розділі атестаційної роботи буде проаналізовано охорону праці. Будуть проаналізовані фактори, що впливають на функціональний стан розробника, вимоги до організації робочих місць та вимоги до електробезпеки.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ, ЗАСОБІВ ТА СИСТЕМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ

1.1 Аналіз пристроїв ідентифікації вибухонебезпечних предметів

1.1.1 Autoclear Scintrex Trace E3500

Хемілюмінесцентний детектор Autoclear Scintrex Trace E3500 зображено на рис. 1.1 призначений для виявлення більшості саморобних, військових і промислових вибухових речовин, включаючи С4, тринітротолуол, нітрогліцерин, динаміт, парамонітротолуол, семтекс, гексоген, ІСАО (DMNM, нітрат сечовини та перекис ацетону (ТАТР), а також чорний (димний) порох [3].



Рисунок 1.1 – Детектор Autoclear Scintrex Trace E3500

Може виявляти ультрамалі сліди ВР менше нанограма: С4, тринітротолуолу, динаміту, парамонітротолуолу (PETN), семтексу, етиленглікольдинітрату, гексогену, нітрату амонію, нітрату сечовину, нітрату сечовину, з низьким рівнем помилкового спрацьовування.

Переваги:

- пристосований до роботи за різних умов довкілля;
- у пристрої застосовується два види виявлення ВР: пароподібних – забір повітря безпосередньо через повітрязабірник; твердих частинок – за допомогою металевих екранів, що входять до комплектації приладу;

– простий в експлуатації: Вибір речовини та встановлення способу аналіз виконуються простим натисканням кнопки. Результати виводяться на великий рідкокристалічний дисплей у графічному та числовому форматі;

– не містить радіоактивних ізотопів або джерел радіації та безпечний для персоналу та оточуючих.

Недоліки:

- маленький за об'ємом акумулятор;
- потрібно чекати від п'яти хвилин перед використанням;
- маленький радіус виявлення ВР.

1.1.2 Autoclear Scintrex Trace E5000 детектор для виявлення ВР

Autoclear Scintrex Trace – настільні пристрої, що використовують комбінацію технологій газової хроматографії (GC) та спектрометрії рухливості іонів (IMS) для виявлення слідів вибухових речовин. Це прості у використанні прилади, що дозволяють швидко отримувати точні та достовірні результати. Використання в детекторах серії 5000 подвійної технології GC/IMS дозволяє виявляти сліди вибухових речовин з більшою точністю порівняно з приладами, що працюють із використанням лише однієї технології [3].



Рисунок 1.2 – Детектор Autoclear Scintrex Trace

Переваги:

- висока чутливість та селективність;
- простий в експлуатації: результати виводяться на великий рідкокристалічний дисплей за кілька секунд;
- виявляє вибухові речовини на основі нітрогенів та піроксидів;
- подвійна технологія.

Недоліки:

- громіздкий;
- немає незалежного джерела живлення;
- для сканування потрібно класти на спеціальний датчик;
- предмет потрібно класти на спеціальну панель

1.2 Аналіз інноваційних технічних засобів для виявлення ВР

В даний час можна виділити кілька груп технічних засобів для виявлення ВР:

- рентгенівські установки з можливістю аналізу речовин у багажі;
- детектори пар ВР методом хімічного аналізу;
- детектори ВР методом газового аналізу;
- лазерні методи аналізу.

1.2.1 Рентгенівський метод виявлення ВР

Для виявлення вибухових речовин існує кілька типів рентгенівських установок.

Звичайні, типу HI-SCAN, LINESCAN які зображені на рис. 1.3 дозволяють виявляти зброю та деталі вибухонебезпечний предмет (ВП) завдяки їх великій щільності. Однак саме ВР через відносно малу щільність може бути непоміченим, а компоненти ВП можуть бути закамуюфльовані або затіснені щільними побутовими предметами.



Рисунок 1.3 – HI-SCAN

Дворакурсні установки, що дозволяють отримувати два рентгенівські зображення під різними кутами опромінення об'єкта за один прохід через контрольовану зону. У цих установках використовується принцип дуальної енергії: реєстрація сигналів у двох діапазонах енергії рентгенівського випромінювання та наближене визначення ефективного атомного номера речовин.

Однак роздільна здатність установки значення атомного номера речовини недостатня для виявлення конкретної речовини.

Двосканерна установка, такими характеристиками:

– типи військових і промислових ВР, що виявляються: тротил, октоген, нітрогліцерин, тен, гексоген, тетрил;

– мінімальна маса виявлених ВР 50-100 р.; очікувана ймовірність виявлення ВР – не менше 98%;

– час прийняття рішення про наявність ВР процесором установки, трохи більше 1 секунди.

В установці реалізується метод виявлення ВР за значеннями $Z_{\text{еф}}$ та щільності, що забезпечує практично 100% ймовірність виявлення ВР. При цьому практично не знижується швидкість контролю об'єктів та забезпечується вимога щодо граничної дози опромінення об'єкта, так як другий сканер дає невеликий внесок у загальну дозу і крім того він включається лише за необхідності перевірки наявності ВР.

1.2.2 Метод газового аналізу

В основі цього напрямку виявлення ВР лежать науково-технічні досягнення у галузі газового аналізу.

Відповідні прилади побудовані на принципах газової хроматографії, дрейф-спектрометрії іонів та мас-спектрометрії та виготовляються у стаціонарному, мобільному та портативному варіантах. Портативна апаратура обслуговується одним оператором і дозволяє оперувати їй у безпосередній близькості від об'єкта, що доглядається.

Стаціонарна та мобільна апаратура, що розміщуються відповідно на пунктах контролю чи транспортних засобах (поліцейських автомобілях), вимагають застосування пробовідбірних пристроїв.

Складність виявлення парів індивідуальних ВР, які є основними компонентами вибухових сумішей, полягає в їхній досить низькій рівноважній концентрації в повітрі. Для ілюстрації цього у табл. 1.1 наводяться приблизні дані про тиск їх насиченої пари при нормальному атмосферному тиску та кімнатній температурі [3].

Таблиця 1.1 – Відомості про випаровування вибухових речовин

Тип ВР	Число ВР на трильйон молекул у повітрі	Число молекул ВР в 1 см ³ повітря	Кількість грамів ВР в 1 см ³ повітря
Нитроглицерин	10 ⁶	10 ¹³	10 ⁻⁹
Тротил (TNT)	10 ⁴	10 ¹¹	10 ⁻¹¹
Гексоген (RDX)	1	10 ⁸	10 ⁻¹⁴
EGDN	10 ⁸	10 ¹⁵	10 ⁻⁷

Як видно з таблиці, чутливість детекторів парів ВР має бути досить високою, тим більше, що промислові та бойові вироби з ВР виготовляються в упаковці та із застосуванням різних сполучних речовин, що суттєво ускладнює процес випаровування з них вибухової речовини.

Введення аналізованої проби в детектор ВР здійснюється або за рахунок всмоктування повітря від поверхні або з щілин об'єкта, що обстежується, або шляхом пред'явлення захоплених на пробовідбірник частинок або сорбованих парів ВР. Відбір парів та частинок ВР від контрольованого об'єкта проводиться повітряними насосами, що діють за принципом пілососу.

У портативних детекторі Pilot який зображений на рис. 1.4 цей вузол вбудований аналізатор і дає можливість оператору вільно маніпулювати їм. Конструкція повітряного пробовідбірника в приладі Pilot вирішена досить оригінально: вона створює смерчоподібний вихор, усередині якого утворюється трубка повітряного розрідження, що забезпечує умови для висмоктування проб повітря із щілин та важкодоступних місць контрольованого об'єкта [3].



Рисунок 1.4 – Портативний детектор Pilot

У стаціонарних та мобільних детекторах ВР, як уже зазначалося, взяття проби повітря для аналізу проводиться виносним ручним пробовідбірником з попередньою концентрацією речовини, що реєструється. В якості концентраторів використовуються вироби з розвиненою сорбуючою поверхнею: паперові фільтри,

сипучі матеріали, металеві спіралі, сітки тощо. нагрівання та у вигляді пари вдується в детектор.

Для взяття проб із різних поверхонь можна використовувати паперові фільтри та текстильні серветки. Деякі ручні пробовідбірники мають пристрої променевого нагрівання поверхні. завдяки чому зростає випаровування присутніх на ній слідових кількостей ВР та підвищується ефективність пробовідбору як у приладі EGIS який зображений на рис. 1.5.



Рисунок 1.5 – Детектор EGIS

У газохроматографічних приладах використовується відомий принцип поділу парових фракцій проби, що аналізується, при її русі в потоці газу-носія всередині капілярної колонки. Сорбент, що покриває внутрішні стінки колонки, забезпечує різну швидкість переміщення окремих компонент парогазової суміші, в результаті чого фази, що підлягають визначенню, з'являються на виході колонки в різний час.

Для виявлення застосовуються різні пристрої, найбільш поширеним з яких є детектор електронного захоплення (ДЕЗ). Він є двоелектродною камерою, в якій тече рівноважний струм, створений електронами, джерелом яких є бета-радіоактивні ізотопи нікель-63 або тритій. Молекули ВР, що мають велику спорідненість до електрона, при попаданні в камеру захоплюють електрони; при цьому зменшення електронної складової струму реєструється електрометричним підсилювачем. Виникає імпульс струму обробляється електронним блоком приладу.

Для управління процесом аналізу використовується вбудована мікро-ЕОМ. З метою підвищення ефективності аналізу використовується кілька колонок, або (як у приладі ЕКНО) моноблок, що складається із тисяч коротких паралельних капілярних колонок.

Застосовуються також інші методи реєстрації парової фази вибухових речовин. Дуже ефективним є хемілюмінесцентний метод, який використовується у приладі EGIS. Тут молекули ВР піддаються піролізу з утворенням закису азоту NO, яка, реагуючи з озоном O₃, що отримується в приладі, утворює збуджені молекули NO₂*; при переході в основний стан ці молекули випромінюють інфрачервоне випромінювання, що реєструється фотомножником. Весь процес аналізу від введення проби до отримання кінцевого результату займає трохи більше 30 секунд. Прилад добре зарекомендував себе в умовах масового контролю на вибухонебезпечність. Наприклад, випробування двох приладів, проведені в Німеччині службами безпеки, показали, що на 400 тис. аналізів рівень хибних тривог становив близько 0,03%. Цими приладами оснащені усі найбільші аеропорти Європи.

Високу чутливість має метод молекулярних ядер конденсації (МОЯК), застосований у приладі Едельвейс-4. В даному випадку іонізовані молекули ВР сприяють утворенню в реакційній камері аерозольних частинок, наявність яких реєструється зі зміни світлопропускання. Прилад має виносний ручний вихровий пробовідбірник з концентратором і променевим підігрівом обстежуваної поверхні. Час циклу аналізу після введення проби у прилад становить 120 секунд.

Слід зазначити, що газохроматографічні детектори пар і частинок ВР вимагають для роботи газів-носіїв, найчастіше з яких використовуються високочисті азот і аргон. Нерідко це є причиною скептичного ставлення користувачів до приладів цього класу, що побоюються залежності їх успішної експлуатації від наявності необхідного газу, особливо у віддалених місцях його виробництва районах. Найвигідніше в цьому відношенні виглядає EGIS, в якому газ-носії (водень) виробляється в самому приладі шляхом електрохімічного розкладання води.

Прилади, засновані на методі спектрометрії рухливості іонів в електричному полі (дрейфспектрометри), виконуються як портативному, так і в мобільному варіантах. Іонізовані молекули ВР (як правило, шляхом опромінення потоком бета-частинок слаборадіоактивних джерел тритію або нікелю-63) потрапляють у дрейф-камеру, де під дією електричного поля певної конфігурації переміщуються до колектора. Потрапляючи на нього, вони створюють імпульс струму в електричному ланцюзі, який посилюється та обробляється електронним блоком. Час дрейфу до колектора залежить від рухливості іонів та параметрів електричного поля, що й покладено в основу ідентифікації речовини, що аналізується. Відбір проби для аналізу здійснюється як безпосереднім засмоктуванням повітря, так і за допомогою виносного пробовідбірника. В останньому випадку як концентратор використовується паперовий фільтр, який сорбує пари ВР або затримує їх частки при прокачуванні через нього за допомогою турбінки повітря, або береться проба-мазок з контрольованого предмета. Потім фільтр поміщається десорбер приладу для термічного випаровування проби, пари якої надходять в аналітичний тракт [3].

Перші два прилади працюють майже в реальному масштабі часу (відгук на наявність у повітрі парів ВР не перевищує 12 секунд), час аналізу проби в двох інших становить 56 секунд (крім часу для відбору проби). Слід зазначити, що детектори IONSCAN та ITEMISER які зображані на рис. 1.6, 1.7 (як і газохроматографічний ЕКНО) здатні виявляти більшість наркотичних речовин за тією ж технологією [4].



Рисунок 1.6 – Детектор IONSCAN



Рисунок 1.7 – Детектор ITEMISER

1.2.3 Метод хімічного аналізу

Детектор парів ВР є приладом призначеним для виявлення парів ВР при аналізі проб повітря з поверхні та з внутрішнього об'єму негерметизованих об'єктів.

Детектор має пристрій вихрового пробовідбору, який створює закручений потік повітря, що забезпечує стабільний забір проби з відстані 50-80мм. Аналізоване повітря із зони обстеження надходить до аналізуючої головки ручного блоку приладу, іонізується тритієвим джерелом бета – випромінювання та проходить через камеру, де відбувається селекція іонів по рухливості, після чого вони потрапляють на колектор. Сигнал, отриманий з колектора іонів, посилюється та реєструється електронною схемою приладу. За наявності в досліджуваному об'єкті пари ВР прилад реагує світловим і звуковим сигналом тривоги. У табл. 1.2 наведено основні технічні характеристики детектора пари [5].

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики детектора пари

Технічні характеристики	
Типи ВР	Нітрогліцерин, ТЕН, тринітротолуол, гексоген
Мінімальна маса закладки ВР, що виявляється, г	30
Ймовірність виявлення ВР, %	95
Продуктивність контролю, Дм ³ /год	50
Максимальні розміри контрольованого об'єкта, мм	355x225x12,5

1.2.4 Метод лазерного аналізу

Одним із високочутливих та оперативних методів дистанційної діагностики органічних речовин в даний час є лазерне зондування, засноване на принципі диференціального поглинання та розсіювання (ДПР).

Результати досліджень свідчать, що основні коливально-обертальні смуги поглинання випромінювання легально застосовуваними ВР припадають на ближній та середній інфрачервоний (ІЧ) діапазон довжин хвиль (від 1 до 8 мкм). У зв'язку з цим роль плавно перебудовується ІЧ-параметричного лазера в даному діапазоні довжин хвиль неоцінено зростає. Крім того, спектри поглинання вибуховими речовинами, такими як триацетонатрипероксид (ТАТР), динітротолуол (DNT) являють собою вузькі смуги складної форми з напівшириною, що дорівнює кількох одиниць см⁻¹. Тому дистанційне дослідження спектрів поглинання потрібно проводити високомонохроматичним параметричним лазером з плавною та (або) дискретною перебудовою частоти випромінювання, спектральна ширина якого повинна бути меншою за спектральну ширину смуги поглинання детектованою молекулою [4].

Розробка методу детектування ВР за допомогою ІЧ-параметричного лазера являє собою комплексне завдання, що включає:

– теоретичні дослідження та аналіз експериментально вимірних параметрів спектральних смуг поглинання ($\lambda = 1 \div 8$ мкм) молекулами речовин, одержаних різними прямими способами, у тому числі біологічними та оптичними;

– розробку та створення перебудовуваного ІЧ – параметричного генератора світла (ПГС) у діапазоні довжин хвиль від 1,41 до 8,8 мкм, подальші дослідження та покращення просторово-часових та енергетичних характеристик ПГС [5].

Дослідження спектрів поглинання вибуховими речовинами можна проводити непрямим способом. Практично всі молекули ВР мають слабкі СО (вуглецеві) зв'язки, які за нормальних умов атмосфери руйнуються, а при перевищенні температури від 30 С° до 60 С° концентрація пари з деяких вибухових речовин збільшується майже на порядок. Обертальні спектри пар мають досить інтенсивні ізольовані лінії в діапазоні довжин хвиль від 1,4 мкм до 4,2 мкм, отже, їх можна ідентифікувати за допомогою ІЧ-ПГС, що працює в такому ж діапазоні.

У публікаціях наведено повідомлення про розробку, створення та випробування автоматизованого диференціального лазерного комплексу (рис. 1.8) на основі параметричного генератора світла, що перебудовується у ближній та середній інфрачервоній області спектру, для вимірювання малих концентрацій атмосферних газів.

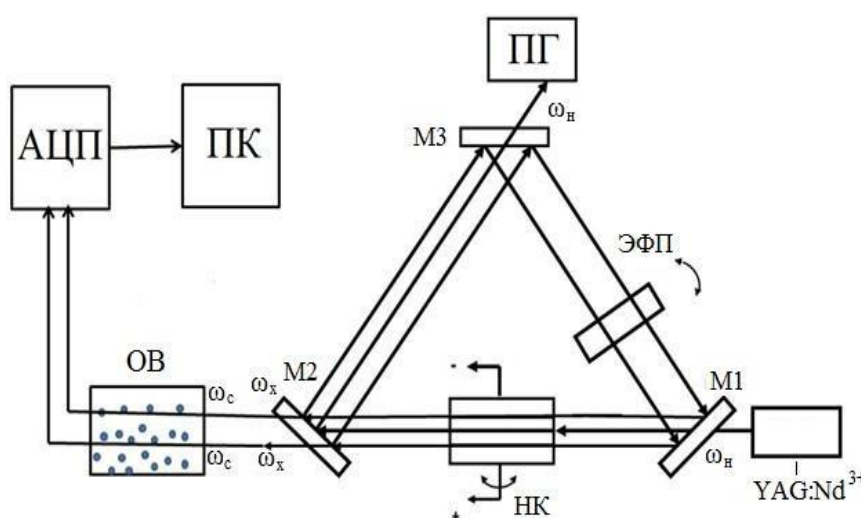


Рисунок 1.8 – Оптична схема експериментальної установки для дослідження структури, складу та концентрації вибухових речовин

На рис. 2.8 використані наступні позначення:

- YAG:Nd³⁺ – лазер накачування;
- НК – нелінійний кристал із LiNbO₃;
- М1, М2, М3 – дзеркала;
- ЕФП – стандарт Фабрі-Перо;
- ПГ – поглинач основного випромінювання;
- ω_c , ω_x , ω_n – сигнальна, неодружена та основна частоти лазерного випромінювання;
- ВВ – органічна речовина;
- АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
- ПК – персональний комп'ютер.

При проходженні імпульсного випромінювання параметричного лазера через кювету з вибуховою речовиною частина випромінювання поглинається молекулами цієї речовини. За допомогою плавної перебудови частоти випромінювання перший імпульс, що генерується лазером, встановлюється на максимум лінії поглинання молекулою ВР. Наступний імпульс параметричного лазера безпосередньо перебудовується на крило цієї лінії поглинання. Сигнали двох імпульсів реєструються фотодетектором та порівнюються в АЦП. Диференційне значення цих двох сигналів виводиться на монітор ПК у вигляді коливально-обертальних спектрів поглинання молекулами ВР.

У цій роботі наводяться результати обчислень інтенсивності та мінімальної енергії випромінювання, необхідних для детектування вибухових речовин: ТАТР та DNT розробленим автоматизованим диференціальним комплексом. Розрахунки виконані з урахуванням бази даних HITRAN [6].

На рис. 1.9, та рис. 1.10 наведено перерізи поглинання в інфрачервоній зоні спектру ВР ТАТР та DNT відповідно, на основі яких були визначені інтенсивність (I) та напівширина ($\Delta\nu_{\text{погл}}$) спектрів поглинання цими вибуховими речовинами.

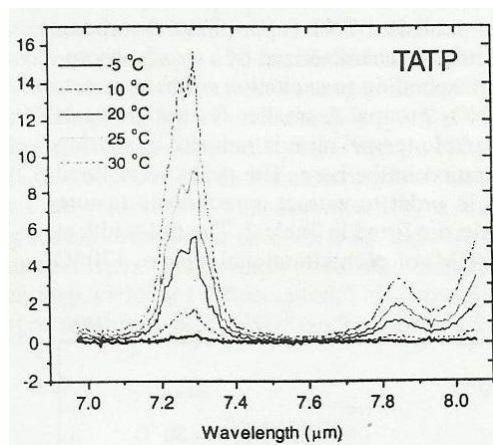


Рисунок 1.9 – Перетин поглинання TATP

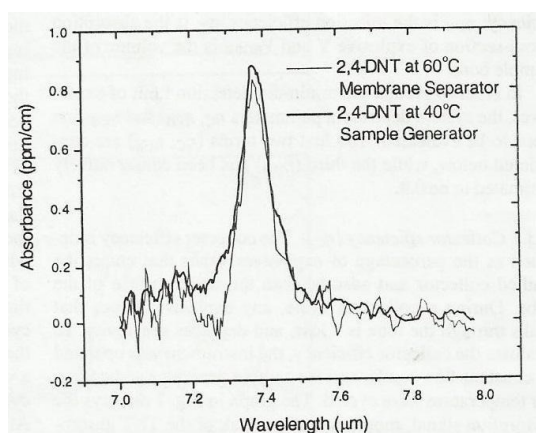


Рисунок 1.10 – Перетин поглинання DNT

Розвиток перерахованих напрямків дозволить більш ефективно шукати і нові підходи до створення комбінованих систем, заснованих на застосуванні ортогональних технологій.

1.2.5 Методи пошуку за непрямими ознаками

До ознак вибухонебезпечних приладів ставляться: наявність характерних металевих і пластмасових деталей, напівпровідникових приладів (діодів, транзисторів, інтегральних мікросхем) підричних пристроїв, провідних ліній, антен, певна форма корпусу (циліндр, паралелепіпед) тощо [6].

Історія розвитку засобів пошуку вибухонебезпечних речовин та вибухонебезпечних приладів склалася так, що в даний час найбільшого розвитку отримали засоби, робота яких заснована саме на виявленні цих ознак. Найбільш

широкою номенклатурою представлені металошукачі (металодетектори, індукційні міношукачі), перші зразки яких були створені у 30-х роках минулого століття. Вони призначені для виявлення вибухонебезпечних предметів за наявності металевих корпусів чи досить масивних (більше 3-5 г) деталей детонатора. Функціонування металошукачів засноване або на гармонійному методі, що дозволяє виявити металеві об'єкти за рахунок вимірювання параметрів наведеного в них сигналу (фаза і амплітуда), що збуджується гармонічним струмом, або на методі перехідних процесів, що дозволяє виявити металеве тіло по згасаючому в ньому вторинному імпульсу.

Переносні індукційні металошукачі зазвичай складаються з датчика та блоку обробки сигналу із системою індикації, конструктивне розміщених на штанзі. Живлення приладів здійснюється від акумуляторних батарей напругою 6-12 В [8]. Основним недоліком використання металошукачів є те, що людина повинна знаходитися в безпосередній близькості від неї, що ускладнює розмінування території, оскільки вибухонебезпечний пристрій може детонувати.

Також до непрямих методів ставитися візуальне виявлення, при тому, що сапер знає як виглядає вибухонебезпечний пристрій.

1.3 Висновки до розділу

У першому розділі було проаналізовано сучасні методи виявлення вибухонебезпечних предметів. Такі методи як газового аналізу, хімічного аналізу, лазерного аналізу та непрямого аналізу.

Було з'ясовано, що газовий метод не підходить для робота, так як всі компоненти, які потрібні для коректної роботи, дуже громіздкі.

Лазерний метод вимагає чисте середовище без частинок пилу для більш точного виявлення вибухонебезпечних ознак.

Тому я вибрав метод пошуку за непрямыми ознаками, такими як електрична проникність і зовнішній вигляд. Для виявлення вибухонебезпечної предметів буде використовуватися камера на роботі, яка позначатиме вибухонебезпечний предмет.

2 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ ПІДСИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧЕНИХ ПРЕДМЕТІВ

2.1 Алгоритми роботи програми

З блок-схемами роботи програм можна ознайомитися на рис. 2.1-2.4.



Рисунок 2.1 – Блок-схема алгоритму створення xml-файлу для розпізнавання вибухонебезпечених предметів методом Хаара



Рисунок 2.2 – Блок-схема алгоритму навчання нейронної мережі для розпізнавання вибухонебезпечених предметів за допомогою нейронної мережі

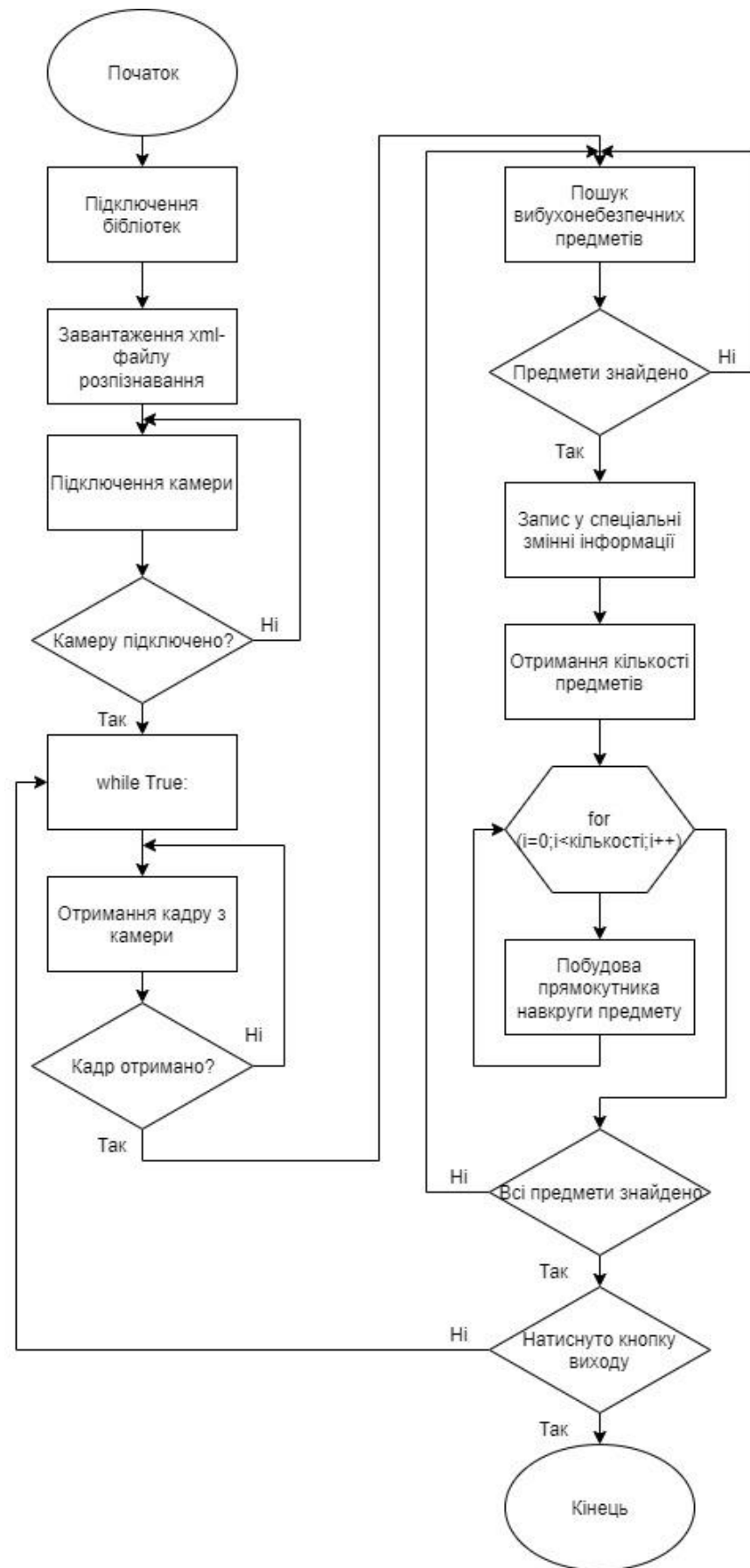


Рисунок 2.3 – Блок-схема алгоритму розпізнавання вибухонебезпечених предметів методом Хаара

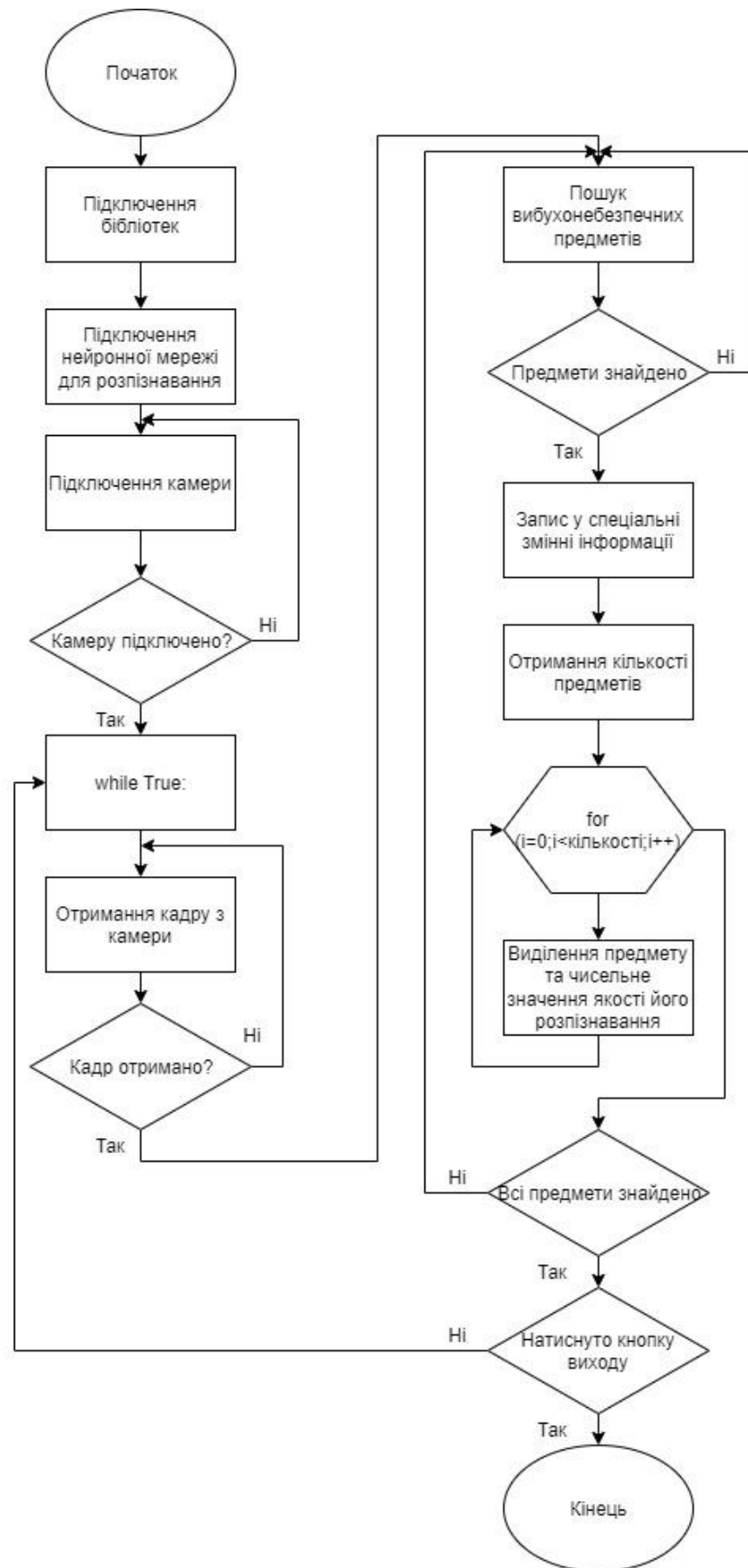


Рисунок 2.4 – Блок-схема алгоритму розпізнавання вибухонебезпечених предметів за допомогою нейронної мережі

2.2 Основні етапи створення xml-файлу класифікатора Хаара

Для виділення області інтересу використовується наступний алгоритм, який працює на основі перетворення Хаара. Спочатку, класифікатор (cascade of boosted classifiers working with haar-like features) навчається на кількох сотнях видів зразка конкретного вибухонебезпечного об'єкта, які є позитивними прикладами. Усі зображення повинні бути приведені до стандартного вигляду (за параметрами освітленості, положенням об'єкта та розміром). Також класифікатор повинні бути пред'явлені негативні зразки: довільні зображення того ж розміру, але не містять цей вибухонебезпечний предмет.

Після попереднього навчання класифікатора він може застосовуватися до галузі інтересу (того самого розміру, який був використаний при навчанні) у вхідному образі. Класифікатор приймає рішення 1 якщо область, з певною ймовірністю, є необхідним об'єктом, і 0 інакше. Принцип роботи класифікатора дозволяє застосувати його до об'єктів різного розміру без попереднього масштабування. Для цього процедура сканування має бути проведена кілька разів із різними ваговими коефіцієнтами.

Тобто, основні труднощі виникають через відсутність великої кількості позитивних зразків, тому якість розпізнавання може зменшуватись.

Навчання класифікаторів Хаара слід проводити кожному за конкретного об'єкта. В основі методики розробки лежить раніше згадуваний алгоритм adaptive boosting'a (адаптивного посилення) або скорочено AdaBoost, і складається вона з наступних етапів: формування вибірки, що навчається, створення позитивних зразків, навчання класифікатора і визначення його ефективності [10].

Алгоритм формування вибірки, що навчається:

- використовуючи відеокамеру зробити серію знімків, що містять об'єкт розпізнавання у різних положеннях на білому тлі;
- зберегти отримані зображення у папці, наприклад, image; зробити серію знімків різних варіантів фону. Також зберегти в папці, наприклад, bg;

- створити файл з описом розташування цільового об'єкта в кожному кадрі, для цього слід вказати назву папки, що містить зображення, назву знімка з розширенням, через пробіл кількість об'єктів, присутніх у кадрі та координати вікна, що містить об'єкт (image/1.jpg 1 256 93 340-180). Зберегти файл із розширенням dat;
- створити файл та перерахувати в ньому зображення, що містять фон (bg/frame1.jpg) та зберегти з розширенням dat;
- всі отримані файли, а також утиліти створюють amples і haartraining зберегти в окрему папку, наприклад, cascade.

Позитивні зразки створюються за допомогою утиліти createsamples. Набір позитивних зразків може бути створений з одного зображення предмета, так і з серії зображень на яких відзначені вікна, що містять цільовий об'єкт. З єдиного зображення шляхом випадкових перетворень (обертання, зміна кольору, приміщення на різне тло тощо) виходить великий набір зразків для навчання.

Набір параметрів утиліти представлений рис 3.1, значення параметрів задаються командному рядку (D:\ > Mines> createsamples). В основному є чотири функції, значення опцій яких можуть бути різними. Необхідно змінити такі параметри:

- <collection_file_name> ім'я файлу з описом серії зображень (для наведеного вище прикладу це файл info.dat);
- img <image_file_name> ім'я зображення, що містить цільовий об'єкт (наприклад, 1.jpg);
- vec <vec_file_name> ім'я вихідного файлу, що містить позитивні зразки для навчання (наприклад, samples.vec);
- bg <background_file_name> - ім'я файлу опису фону (negatives.dat).

Наприклад, командний рядок може виглядати так:

```
D:\ > Mines> createsamples -info info.dat -vec samples.vec -bg negatives.dat -num 1210 -w 24 -h 24.
```

```

Usage: createsamples
[-info <collection_file_name>]
[-img <image_file_name>]
[-vec <vec_file_name>]
[-bg <background_file_name>]
[-num <number_of_samples = 1000>]
[-bgcolor <background_color = 0>]
[-inv] [-randinv] [-bgthresh <background_color_threshold = 80>]
[-maxidev <max_intensity_deviation = 40>]
[-maxxangle <max_x_rotation_angle = 1.100000>]
[-maxyangle <max_y_rotation_angle = 1.100000>]
[-maxzangle <max_z_rotation_angle = 0.500000>]
[-show [<scale = 4.000000>]]
[-w <sample_width = 24>]
[-h <sample_height = 24>]

```

Рисунок 2.5 – Параметри утиліти createsamples

Набір позитивних зображень представлено на рис. 2.6, негативних – на рис. 2.7.

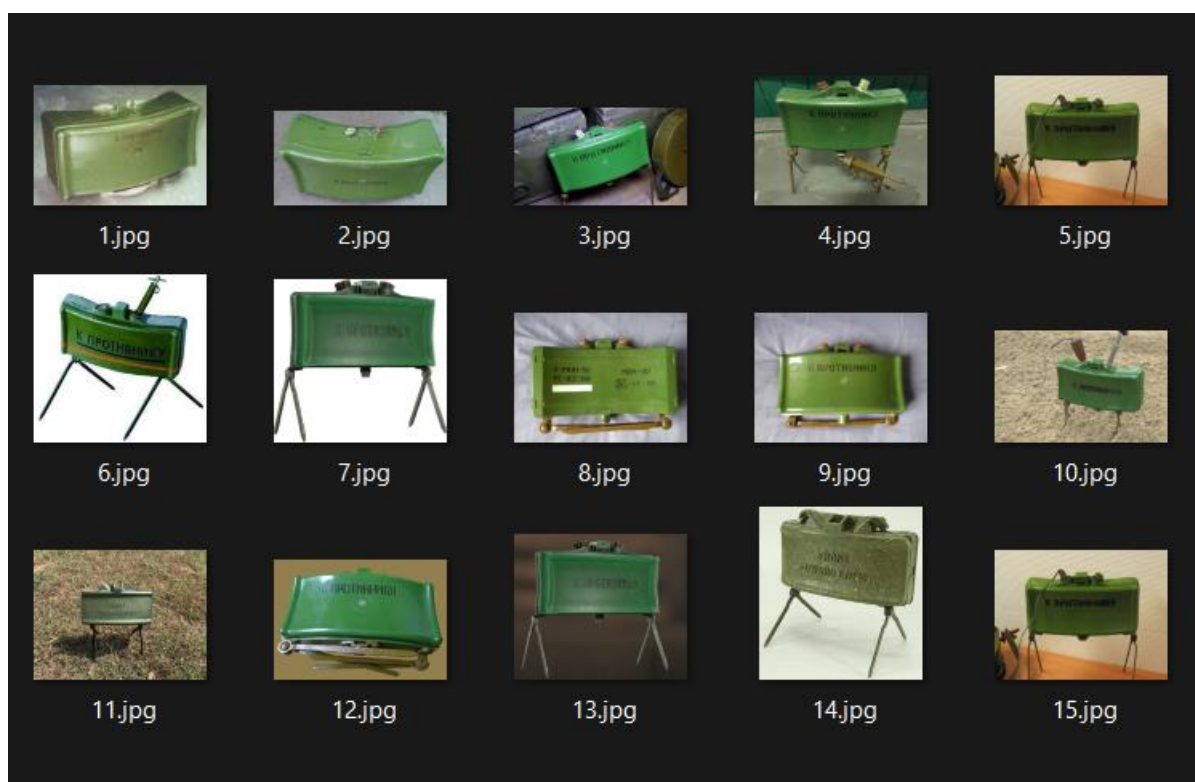


Рисунок 2.6 – Позитивні зразки

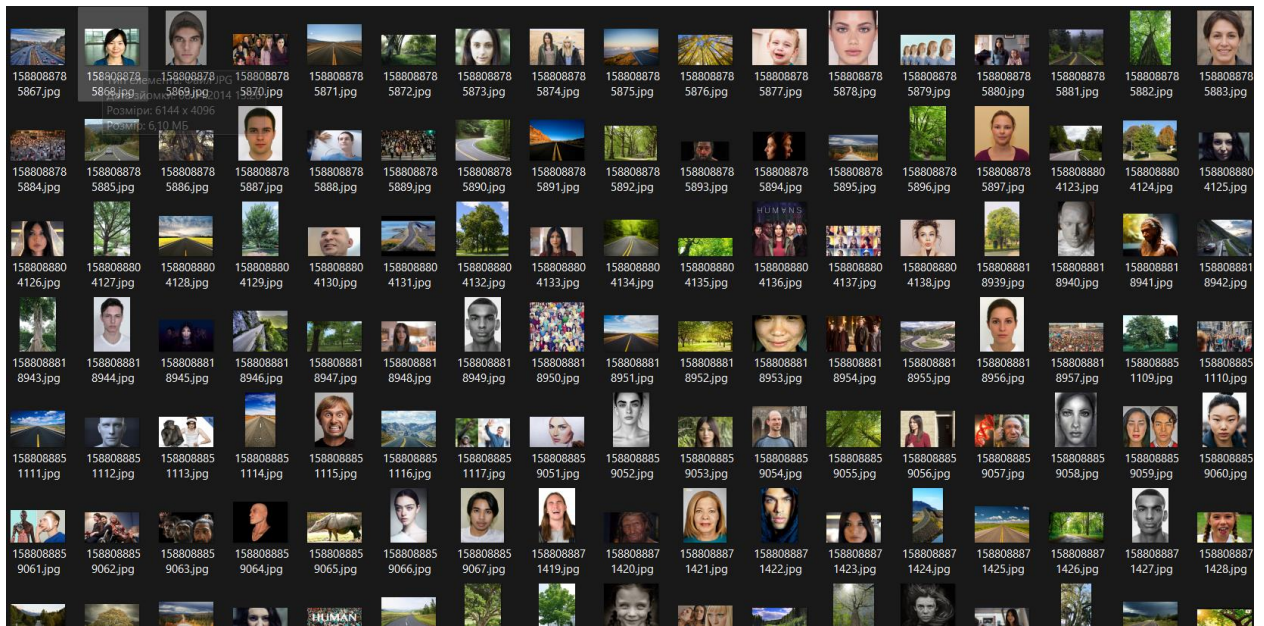


Рисунок 2.7 – Негативні зразки

Навчання класифікатора проводиться з використанням утиліти `haartraining()`.
 Параметри утиліти представлено рис. 2.8.

```
Usage: haartraining
-data <dir_name>
-vec <vec_file_name>
-bg <background_file_name>
[-npos <number_of_positive_samples = 2000>]
[-nneg <number_of_negative_samples = 2000>]
[-nstages <number_of_stages = 14>]
[-nsplits <number_of_splits = 1>]
[-mem <memory_in_MB = 200>]
[-sym (default)] [-nonsym]
[-minhitrate <min_hit_rate = 0.995000>]
[-maxfalsealarm <max_false_alarm_rate = 0.500000>]
[-weighttrimming <weight_trimming = 0.950000>]
[-eqw]
[-mode <BASIC (default) | CORE | ALL>]
[-w <sample_width = 24>]
[-h <sample_height = 24>]
[-bt <DAB | RAB | LB | GAB (default)>]
[-err <misclass (default) | gini | entropy>]
[-maxtreesplits <max_number_of_splits_in_tree_cascade = 0>]
[-minpos <min_number_of_positive_samples_per_cluster = 500>]
```

Рисунок 2.8 – Параметри утиліти haartraining

Нижче наводиться набір можливих аргументів командного рядка:

– `data <dir_name>` ім'я директорії, у якій буде збережено класифікатор (`data1`);

- `vec <vec_file_name>` ім'я вихідного файлу, що містить позитивні зразки для навчання (`vec1.cls`);
- `bg <background_file_name>` ім'я файлу з описом тла (`bg.dat`);
- `npos <number_of_positive_samples>`, – `nneg <number_of_negative_samples>` кількість позитивних/негативних зразків використовуваних під час навчання кожного рівня класифікатора. Розумні значення: `npos = 15` та `nneg = 119`;
- `nstages <number_of_stages>` кількість рівнів класифікатора для навчання (`nstage = 14`);
- `nsplits <number_of_splits>` визначає класифікатор, який буде використано. Якщо 1, тоді використовується простий усічений класифікатор, якщо 2 і більше використовується CART класифікатор з `number_of_splits` вузлами;
- `mem <memory_in_MB>` кількість доступної пам'яті МБ. Більше пам'яті – швидше процес навчання;
- `sym (default)`, – `nonsym` визначає, чи має цільовий об'єкт вертикальну осьову симетрію (за замовчуванням – так), наявність симетрії прискорює процес навчання;
- `minhitrate <min_hit_rate>` мінімальна частота влучень для кожного рівня класифікатора. Загальна частота влучень може бути приблизно визначена як `min_hit_rate_number_of_stages`;
- `maxfalsealarm <max_false_alarm_rate>` максимальний рівень хибних спрацьовувань кожного рівня класифікатора. Загальна частота помилкових спрацьовувань може бути приблизно визначена як `max_false_alarm_rate_number_of_stages`;
- `weighttrimming <weight_trimming>` параметр визначає, чи буде, і наскільки використовуватиметься підстроювання ваг. Рекомендоване значення близько 0,90;
- `w <sample_width>`, – `h <sample_height>` ширина та висота зразків, які використовуються під час навчання класифікатора.

Таким чином, командний рядок може бути поданий у наступному вигляді:

```
D:\ > Mines> haartraining -data haarcascade -vec samples.vec -bg negatives.dat -
nstages 20 -nsplits 2 - -npos 15 -nneg 119 -w 20 -h 20 -nonsym -mem 512 -mode ALL
```

Після закінчення навчання отримаємо xml-файл каскаду Хаара (рис. 2.9).

```
<?xml version="1.0"?>
<opencv_storage>
<cascade type_id="opencv-haar-classifier"><size>
  32 24</size>
  <stages>
    <_>
      <trees>
        <_>
          <_>
            <feature>
              <rects>
                <_>
                  24 6 8 14 -1.</_>
                <_>
                  28 6 4 14 2.</_></rects>
              <tilted>0</tilted></feature>
              <threshold>5.8131001889705658e-02</threshold>
              <left_val>-9.3495934959349591e-01</left_val>
              <right_val>1.</right_val></_></_>
          <_>
            <_>
              <feature>
                <rects>
                  <_>
                    0 2 8 16 -1.</_>
                  <_>
                    0 2 4 8 2.</_>
                  <_>
                    4 10 4 8 2.</_></rects>
                <tilted>0</tilted></feature>
                <threshold>-3.4234181046485901e-02</threshold>
                <left_val>8.6588492964445918e-01</left_val>
                <right_val>-8.6553384556076263e-01</right_val></_></_></trees>
            <stage_threshold>-6.9074422121047974e-02</stage_threshold>
          <parent>-1</parent>
          <next>-1</next></_>
        <_>
      <_>
    <_>
  <_>

```

Рисунок 2.9 – Фрагмент xml-файлу

Для створення програмного забезпечення використаємо мову Python.

Підключаємо бібліотеку комп'ютерного зору OpenCV:

```
import cv2.
```

Підключаємо розроблений каскад Хаара:

```
face_cascade =  
cv2.CascadeClassifier(r'C:\Users\Andrey\PycharmProjects\haar\cascade.xml').
```

Створюємо змінну для підключення камери з параметром 0 – камерою за замовчуванням:

```
cap = cv2.VideoCapture(0).
```

Перевіряємо, чи підключено камеру:

```
if not cap.isOpened():  
    print("Cannot open camera")  
    exit().
```

Отримаємо кадр з камери:

```
ret, frame = cap.read().
```

Перетворимо цей кадр у чорно-білий для кращого розпізнавання:

```
gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
```

Знайдемо вибухонебезпечні предмети з параметрами масштабування та кількості сусідів :

```
faces = face_cascade.detectMultiScale(gray, 1.1, 4).
```

В циклі кожен з вибухонебезпечних предметів буде вибілено прямокутником, відносно величини самого об'єкту:

```
for (x, y, w, h) in faces:
    cv2.rectangle(frame, (x, y), (x + w, y + h), (255, 0, 0), 2).
```

Якщо не можемо отримати кадр – виходимо з програми:

```
if not ret:
    print("Can't receive frame (stream end?). Exiting ...")
    break.
```

Показуємо кадр та при натисненні клавіші q виходимо з програми:

```
cv2.imshow('frame', frame)
if cv2.waitKey(1) == ord('q'):
    break.
```

Для того, щоб програма працювала з відео (тобто потоком кадрів), використано нескінченний цикл while:

```
while True.
```

І на останок потрібно звільнити пам'ять та знищити всі створені вікна:

```
cap.release()
cv2.destroyAllWindows().
```

2.3 Основні етапи створення нейронної мережі

Спочатку потрібно підключити бібліотеки для навчання нейронної мережі:

```
import os
```

```
import numpy as np
from sklearn.utils import shuffle
from sklearn.model_selection import train_test_split

import PreProcessing
import net
from python_patch_extractor import PatchExtractor

from keras.callbacks import ModelCheckpoint, EarlyStopping,
ReduceLROnPlateau
```

Далі створити змінні:

```
in_path = 'giuriati_2/20170621_deg0_HHVV.npy'
out_path = 'cnn_article'
architecture = 'Auto3D2'
ny = 3 # кількість суміжних B-сканів, які слід враховувати
data_augmentation = True
preprocessing = 'normalize'
patch_size = 64
patch_stride = 4
n_bsc = 5 # кількість B_сканів для навчання.
def parse_pp(string):
    return getattr(PreProcessing, string)

def parse_net(string):
    return getattr(net, string)

if not os.path.exists(out_path):
    os.makedirs(out_path)
```

```
field, campaign = in_path.split('/')
campaign, extension = campaign.split('.')
```

Потім завантажуюємо данні:

```
dataset = np.load('./datasets/'+str(in_path)).item()

train_bsc_idx = np.where(np.asarray(dataset['ground_truth']) == 0)[0][:n_bsc]
trainset = dataset['data'][train_bsc_idx]
trainset = np.moveaxis(trainset, np.argmax(trainset.shape), -1)
del dataset
```

Та витягуємо основну інформацію:

```
if patch_size is not None:
    patch_size = (patch_size, patch_size)
else:
    patch_size = trainset.shape[1:]

patch_size = patch_size + (ny,)
patch_stride = (patch_stride, patch_stride, 1)

pe = PatchExtractor.PatchExtractor(patch_size, stride=patch_stride)

train_patches = pe.extract(trainset)
# переформування
train_patches = train_patches.reshape((-1,) + patch_size)

# попередня обробка кожного патча
```

```
train_patches, min_tr, max_tr = PreProcessing.apply_transform(train_patches,
transform=parse_pp(preprocessing))
```

```
# Збільшення даних (за замовчуванням = True)
if data_augmentation:
    train_patches = np.concatenate([train_patches, np.flip(train_patches,
axis=2).copy()], axis=0)
```

```
train_patches = shuffle(train_patches)
```

```
# створюємо набори для навчання та перевірки
train_patches, val_patches, train_index, val_index = train_test_split(train_patches,
np.arange(train_patches.shape[0]),
test_size=0.5,
random_state=118
).
```

Розроблюємо архітектуру нейронної мережі (рис. 2.10):

```
sets = net.Settings()
patience = sets.patience
lr_factor = sets.lr_factor
batch_size = sets.batch_size
epochs = sets.epochs

autoencoder, encoder = parse_net(architecture)(patch_size)

out_name =
field+'_'+campaign+'_'+architecture+'_patch'+str(patch_size[0])+'_stride'+str(patch_strid
e[0])+'_bsc'+str(n_bsc)+'_ny'+str(ny)
```

```
lr_chkpt = ReduceLROnPlateau(monitor='val_loss',
                              factor=lr_factor,
                              patience=patience//2,
                              verbose=0,
                              mode='auto',
                              epsilon=0.0001,
                              cooldown=0,
                              min_lr=0)

save_chkpt = ModelCheckpoint(os.path.join(out_path, out_name+'.h5'),
                             monitor='val_loss',
                             verbose=1,
                             save_best_only=True,
                             save_weights_only=True,
                             mode='min')

stop_chkpt = EarlyStopping(monitor='val_loss',
                           patience=patience).
```

Layer (type)	Output Shape	Param #
g_in_0 (InputLayer)	(None, 64, 64, 3)	0
g_conv_0 (Conv2D)	(None, 64, 64, 16)	1744
g_conv_1 (Conv2D)	(None, 32, 32, 16)	6416
g_conv_2 (Conv2D)	(None, 16, 16, 16)	4112
g_conv_3 (Conv2D)	(None, 8, 8, 16)	2320
conv2d_1 (Conv2D)	(None, 4, 4, 16)	1040
encoder (Conv2D)	(None, 2, 2, 16)	272
conv2d_transpose_1 (Conv2DTr	(None, 4, 4, 16)	1040
g_deconv_0 (Conv2DTranspose)	(None, 8, 8, 16)	1040
g_deconv_1 (Conv2DTranspose)	(None, 16, 16, 16)	2320
g_deconv_2 (Conv2DTranspose)	(None, 32, 32, 16)	4112
g_deconv_3 (Conv2DTranspose)	(None, 64, 64, 16)	6416
g_deconv_4 (Conv2DTranspose)	(None, 64, 64, 3)	1731
Total params: 32,563		
Trainable params: 32,563		
Non-trainable params: 0		

Рисунок 2.10 – Параметри мережі

Проводимо навчання (рис. 2.11):

```

train = autoencoder.fit(train_patches, train_patches,
                        validation_data=(val_patches, val_patches),
                        batch_size=batch_size,
                        epochs=epochs,
                        verbose=0,
                        callbacks=[save_chkpt, stop_chkpt, lr_chkpt])
print("Training done!")

```

```

Epoch 00001: val_loss improved from inf to 0.02289, saving model to cnn_article/giuriati_2_20170621_deg0_HHVV_Auto3D2_patch64_stride4_bsc5_ny3.h5
Epoch 00002: val_loss improved from 0.02289 to 0.01759, saving model to cnn_article/giuriati_2_20170621_deg0_HHVV_Auto3D2_patch64_stride4_bsc5_ny3.h5
Epoch 00003: val_loss improved from 0.01759 to 0.01580, saving model to cnn_article/giuriati_2_20170621_deg0_HHVV_Auto3D2_patch64_stride4_bsc5_ny3.h5
Epoch 00004: val_loss improved from 0.01580 to 0.01499, saving model to cnn_article/giuriati_2_20170621_deg0_HHVV_Auto3D2_patch64_stride4_bsc5_ny3.h5
Epoch 00005: val_loss improved from 0.01499 to 0.01433, saving model to cnn_article/giuriati_2_20170621_deg0_HHVV_Auto3D2_patch64_stride4_bsc5_ny3.h5
Epoch 00006: val_loss improved from 0.01433 to 0.01394, saving model to cnn_article/giuriati_2_20170621_deg0_HHVV_Auto3D2_patch64_stride4_bsc5_ny3.h5
Epoch 00007: val_loss improved from 0.01394 to 0.01349, saving model to cnn_article/giuriati_2_20170621_deg0_HHVV_Auto3D2_patch64_stride4_bsc5_ny3.h5
Epoch 00008: val_loss improved from 0.01349 to 0.01310, saving model to cnn_article/giuriati_2_20170621_deg0_HHVV_Auto3D2_patch64_stride4_bsc5_ny3.h5
Epoch 00009: val_loss improved from 0.01310 to 0.01286, saving model to cnn_article/giuriati_2_20170621_deg0_HHVV_Auto3D2_patch64_stride4_bsc5_ny3.h5
Epoch 00010: val_loss improved from 0.01286 to 0.01269, saving model to cnn_article/giuriati_2_20170621_deg0_HHVV_Auto3D2_patch64_stride4_bsc5_ny3.h5
Epoch 00011: val_loss did not improve from 0.01269
Epoch 00012: val_loss improved from 0.01269 to 0.01247, saving model to cnn_article/giuriati_2_20170621_deg0_HHVV_Auto3D2_patch64_stride4_bsc5_ny3.h5
Epoch 00013: val_loss did not improve from 0.01247
Epoch 00014: val_loss improved from 0.01247 to 0.01239, saving model to cnn_article/giuriati_2_20170621_deg0_HHVV_Auto3D2_patch64_stride4_bsc5_ny3.h5
Epoch 00015: val_loss improved from 0.01239 to 0.01238, saving model to cnn_article/giuriati_2_20170621_deg0_HHVV_Auto3D2_patch64_stride4_bsc5_ny3.h5
Epoch 00016: val_loss improved from 0.01238 to 0.01231, saving model to cnn_article/giuriati_2_20170621_deg0_HHVV_Auto3D2_patch64_stride4_bsc5_ny3.h5
Epoch 00017: val_loss did not improve from 0.01231
Epoch 00018: val_loss improved from 0.01231 to 0.01226, saving model to cnn_article/giuriati_2_20170621_deg0_HHVV_Auto3D2_patch64_stride4_bsc5_ny3.h5
Epoch 00019: val_loss did not improve from 0.01226

```

Рисунок 2.11 – Навчання мережі

Робимо розгортання мережі:

```

from sklearn.metrics import roc_curve, roc_auc_score
from tqdm import tqdm

```

Завантажуємо дані:

```
# у цьому випадку набір даних для навчання збігається з тестуванням
```

```
train_path = in_path
```

```
dataset = np.load('./datasets/' + str(in_path)).item()
```

```
# попередня обробка
```

```
data = dataset['data']
```

```
# патч екстрактор
```

```
pe = PatchExtractor.PatchExtractor(patch_size, stride=patch_stride)
```

```

# фонові bscans для навчання
gt = np.asarray(dataset['ground_truth'])
del dataset

test_idx = np.arange(data.shape[0])
# перевіряємо, чи тестовий набір даних збігається з навчальним
if in_path == train_path:
    train_idx = np.where(gt == 0)[0][:n_bsc]
    test_idx = np.delete(test_idx, train_idx)
testset = data[test_idx]
gt = gt[test_idx]
del data
testset = np.moveaxis(testset, np.argmax(testset.shape), -1).

```

Завантажуємо архітектуру мережі:

```

autoencoder, encoder = parse_net(architecture)(patch_size)
autoencoder.load_weights(os.path.join(net_weights))

out_name =
field+'_'+campaign+'_'+architecture+'_patch'+str(patch_size[0])+'_stride'+str(patch_stride[0])+'_bsc'+str(n_bsc)+'_ny'+str(ny).

```

Та проводимо тестування, результат якого представлено на рис. 2.12:

```

patches = pe.extract(testset)
del testset
patchesIdx = patches.shape
patches_hat = autoencoder.predict(patches.reshape((-1,) + patch_size))

```

```

mseFeat = (encoder.predict(patches.reshape((-1, patch_size)) -
encoder.predict(patches_hat))**2
mseFeat_patches = np.zeros(patches_hat.shape) + np.mean(mseFeat,
axis=(1,2,3)).reshape((-1,1,1,1))
del patches
del patches_hat
del mseFeat
mseFeat_vol = pe.reconstruct(mseFeat_patches.reshape(patchesIdx))
del mseFeat_patches
mse_mask_max = np.max(mseFeat_vol, axis=(0, 1))
fpr_max, tpr_max, thresholds_max = roc_curve(gt, mse_mask_max)
roc_auc_max = roc_auc_score(gt, mse_mask_max)
print('best AUC = %0.2f' % roc_auc_max).

```

best AUC = 0.93

Рисунок 2.12 – Результат розпізнавання

Отже, результати розпізнавання мають достатньо великі показники.

В якості даних було використано файл з числовими значеннями вибухонебезпечних предметів (рис. 2.13).

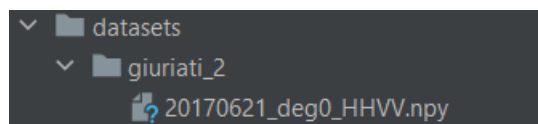


Рисунок 2.13 – Файл з даними для розпізнавання вибухонебезпечених предметів

2.4 Результати розпізнавання

Результати першого розпізнавання представлено на рис. 2.14.



Рисунок 2.14 – Результат першого розпізнавання

Результат другого розпізнавання представлено на рис. 2.15.

На жаль, через невелику кількість зразків для розпізнавання, розроблений класифікатор має не дуже високий ступінь розпізнавання, тому, для найкращого розпізнавання вибухонебезпечних предметів має бути близько 1000 одиниць позитивних зразків для кожного типу об'єкту (тих фотографій, що містять сам об'єкт розпізнавання).



Рисунок 2.15 – Другий приклад розпізнавання вибухонебезпечних об’єктів

2.5 Висновки до розділу

У другому розділі була описана розробка програмного модуля підсистемі ідентифікації вибухонебезпечних предметів. Розроблені такі блок схеми як:

- алгоритму створення xml-файлу для розпізнавання вибухонебезпечних предметів методом Хаара;
- алгоритму навчання нейронної мережі для розпізнавання вибухонебезпечних предметів за допомогою нейронної мережі;
- алгоритму розпізнавання вибухонебезпечних предметів методом Хаара.

Також було описано етапи розробки програмного модуля підсистемі ідентифікації вибухонебезпечних предметів.

Розроблений програмний модуль підсистемі ідентифікації вибухонебезпечних предметів може використовуватися на роботі з камерою та металошукачем, для поліпшення обладнання вибухонебезпечних предметів, для того щоб забезпечити і прискорити розмінування територій.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Планування

Перед проведенням експериментів необхідно провести інформаційний пошук матеріалів за проблемою, яка розглядається, сформулювати мету та їх кількість.

Мета експерименту – дослідження роботи існуючої та розробленої програм, порівняння результатів.

Проводитиметься експеримент у програмі Cascade Trainer GUI і порівнюватиметься з розробленою програмою.

Cascade Trainer GUI – це програма, яку можна використовувати для навчання, тестування та покращення моделей каскадних класифікаторів. Він використовує графічний інтерфейс для встановлення параметрів та спрощує використання інструментів OpenCV для навчання та тестування класифікаторів інтерфейс зображений на рисунку 3.1.

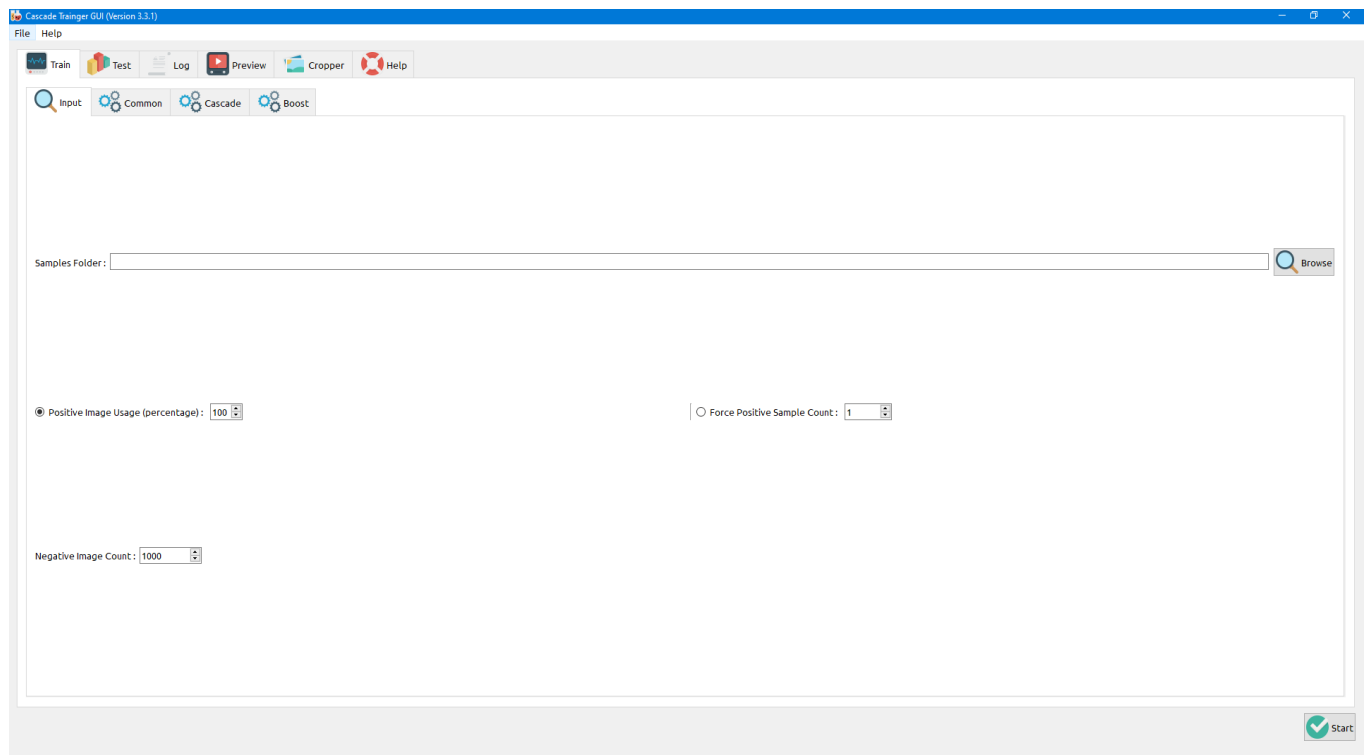


Рисунок 3.1 – Інтерфейс Cascade Trainer GUI

3.2 Експеримент в Cascade Trainer GUI

Для початку сортуємо зображення на позитивні та негативні. Теоретично негативними зображеннями може бути будь-яке зображення, яке не є позитивним, але на практиці негативні зображення повинні відповідати позитивним зображенням. Наприклад, використання зображень неба як негативних зображень.

Після цього вибираємо папку з відсортованими зображеннями та натискаємо старт. Після чого чекаємо поки що закінчиться процес. Кінець роботи зображений рисунком 3.2. Заходимо до папки з відсортованими зображеннями та знаходимо файл `cascade.xml`.

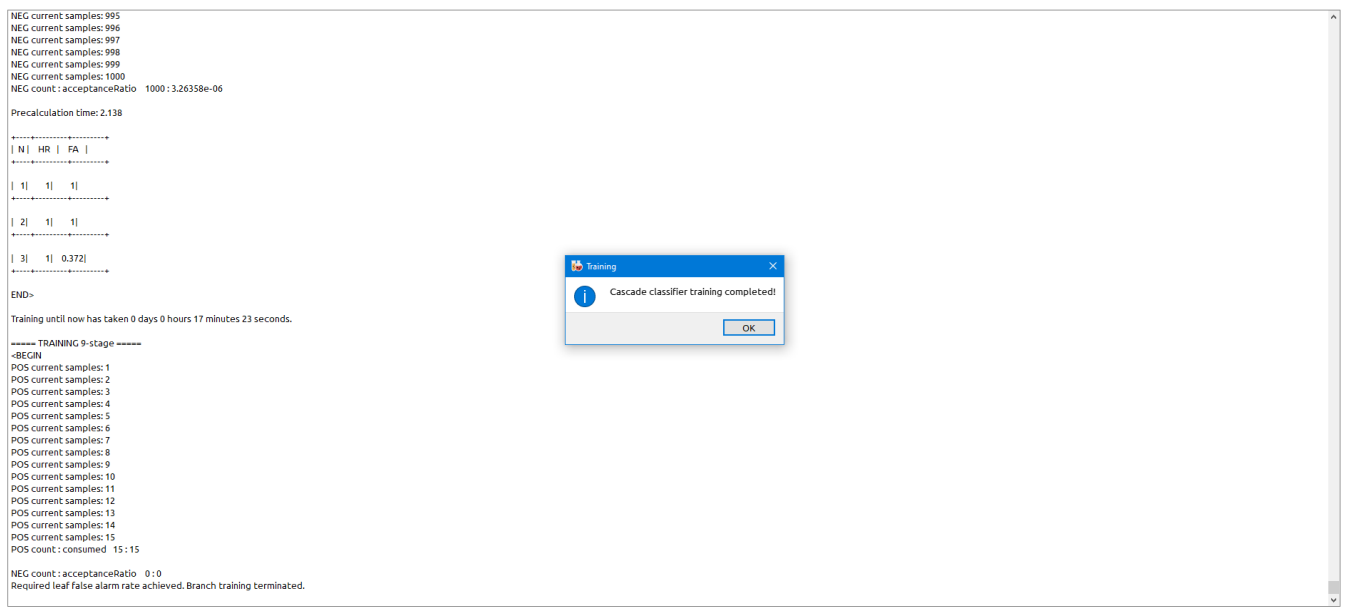


Рисунок 3.2 – Кінець роботи програми

Далі натискаємо на вкладку тест у програмі і завантажуюмо `cascade.xml` після цього вибираємо зображення на якому є позитивний об'єкт рисунок 3.3.

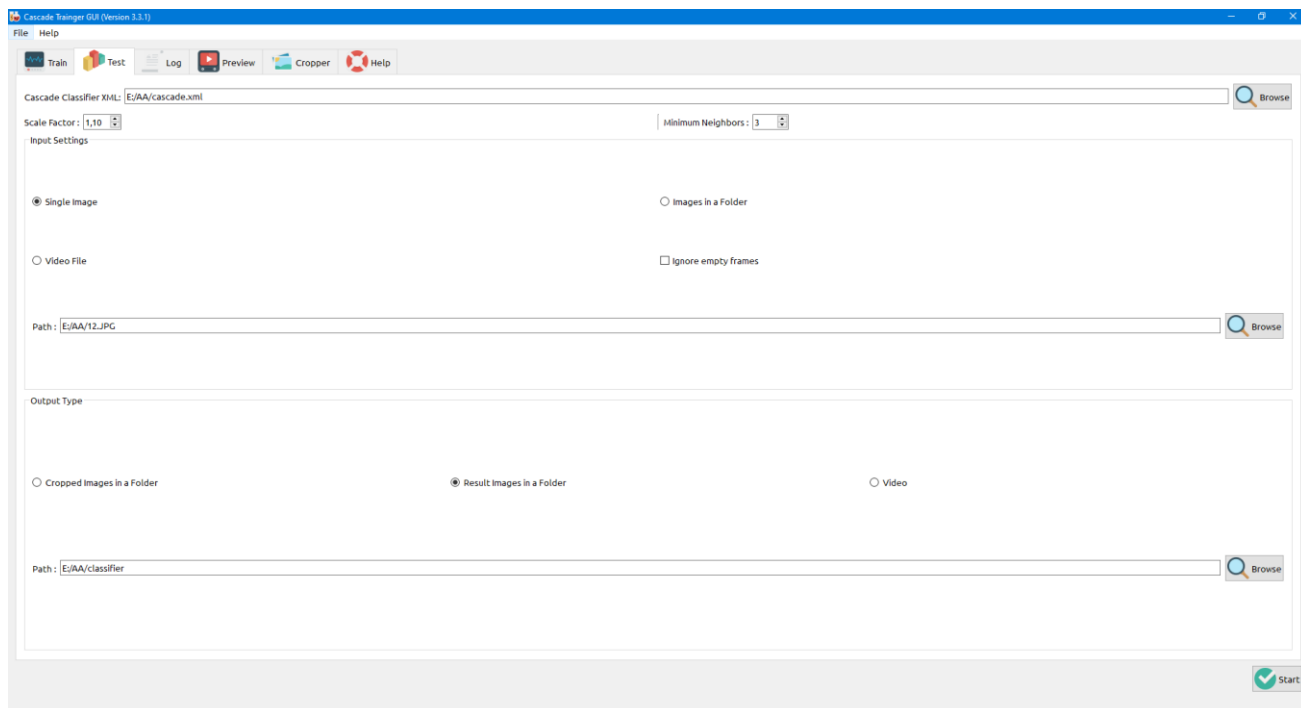


Рисунок 3.3 – Тест

Натискаємо старт та отримуємо результат обробки який зображений на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Результат експерименту

У наступному експерименті справам за таким же алгоритмом як у першому. Результат другого експерименту зображене на рисунку 3.5.

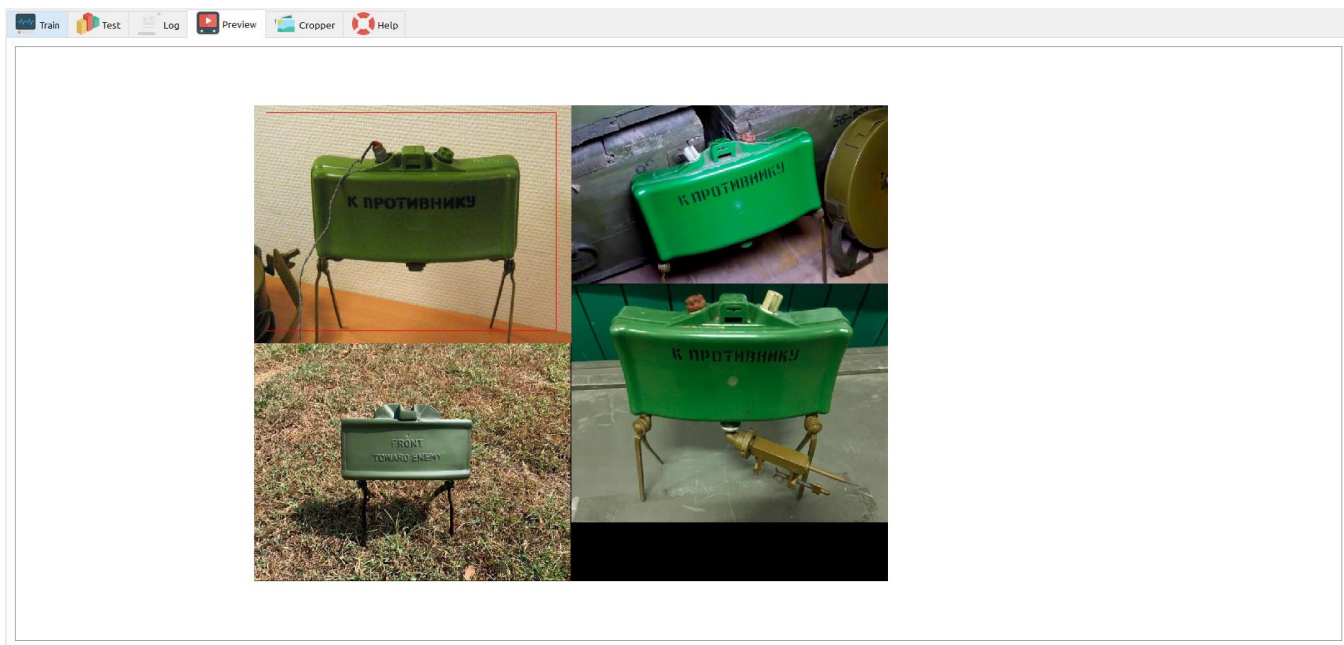


Рисунок 3.5 – Результат другого експерименту

З наведених експериментів видно що для того, щоб була більш точне обладнання, потрібно більше зображень для навчання нейромережі. На жаль, розроблений класифікатор має не дуже високий ступінь розпізнавання через малу кількість зразків для розпізнавання. Таким чином, для оптимального розпізнавання вибухових речовин необхідно приблизно 1000 одиниць позитивних зразків на тип об'єкта (зображення включно з самим об'єктом розпізнавання).

3.2 Висновки до розділу

У третьому розділі було проведено експерименти, які показали, що розроблений програмний модуль краще розпізнає вибухонебезпечні предмети. Так експерименти показали, що для кращої роботи нейромережі потрібно більше позитивних і негативних зображень.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Розробка програмного модуля підсистеми ідентифікації вибухонебезпечних предметів проводиться в спеціальному приміщенні. Воно має параметри: п'ять робочих місць; п'ять ПК (з рідкокристалічними моніторами). Електрична мережа приміщення має такі характеристики: трифазна чотирипровідна мережа напругою 380/220 В змінного струму, частота 50 Гц, з глухозаземленою нейтраллю.

Функціональна схема одного робочого місця представлена на рисунку 4.1.

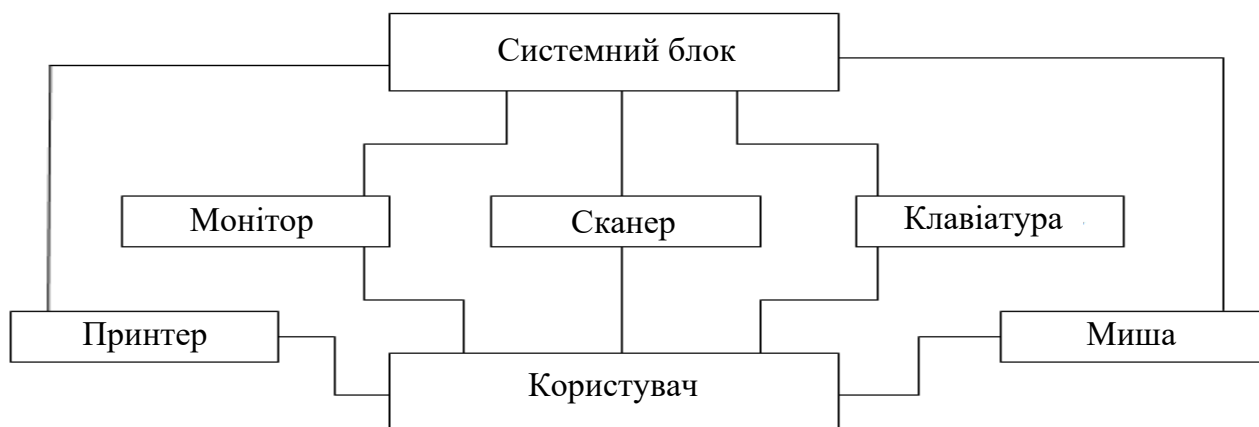


Рисунок 4.1 – Функціональна схема робочого місця [22]

Приміщення відділу для розробки програмного забезпечення відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки враження людей електричним струмом згідно з НПАОП 40.1-1.21-98, так як в ньому немає умов, які створюють підвищену або особливу небезпеку. У приміщенні знаходиться електрощит, на якому встановлено пристрій струмового захисту. Усі розетки мають застережливий напис «220 В». З робітниками проводяться інструктажі з охорони праці відповідно до НПАОП 0.00-4.12-05.

Згідно з вимогами НПАОП 0.00-4.12-05 необхідно проводити вступний, первинний на робочому місці, повторний, а при необхідності – позаплановий і цільовий інструктажі.

4.1 Фактори, що впливають на функціональний стан розробника

Надійність систем людина-комп'ютер визначається насамперед функціональним станом людини. Психофізіологічне та емоційне перенапруження, втома оператора можуть призвести до помилок в комп'ютеризованих системах управління і, як наслідок, до значних економічних втрат.

Згідно зі статистичними даними від 40 до 75 % аварій літаків зумовлено людським фактором. Відмови комп'ютеризованої системи керування рухом залізничного транспорту, на гірничо-збагачувальних комбінатах з вини операторів становлять понад 50 % їх загальної кількості, причому значна їх частина спричинена невідповідністю функціонального стану оператора складності виконуваної роботи [21].

Звичайно, менші наслідки мають помилки співробітників, які працюють з комп'ютерами у сфері адміністрування. Однак поганий функціональний стан користувачів комп'ютерів може призвести до небажаних наслідків (професійних та профзахворювань), а враховуючи стрімке зростання кількості комп'ютеризованих робочих місць, це також пов'язано зі значними соціально-економічними втратами.

Визначення та вивчення факторів, що впливають на функціональний стан користувачів комп'ютерів дозволить виділити основні причини виникнення станів напруженості, стомлення, стресу і здійснити відповідні профілактичні заходи.

Трудова діяльність користувачів комп'ютерів відбувається у певному виробничому середовищі, яке впливає на їх функціональний стан. Найбільш значні – фізичні фактори виробничого середовища, до яких належать електромагнітні хвилі різних частотних діапазонів, електростатичні поля, шум, параметри мікроклімату та ціла низка світлотехнічних показників. Вплив хімічних та, особливо, біологічних факторів виробничого середовища на користувачів комп'ютерів – значно менший. Фактори, що впливають на функціональний стан користувачів ПК подано на рис. 4.2.

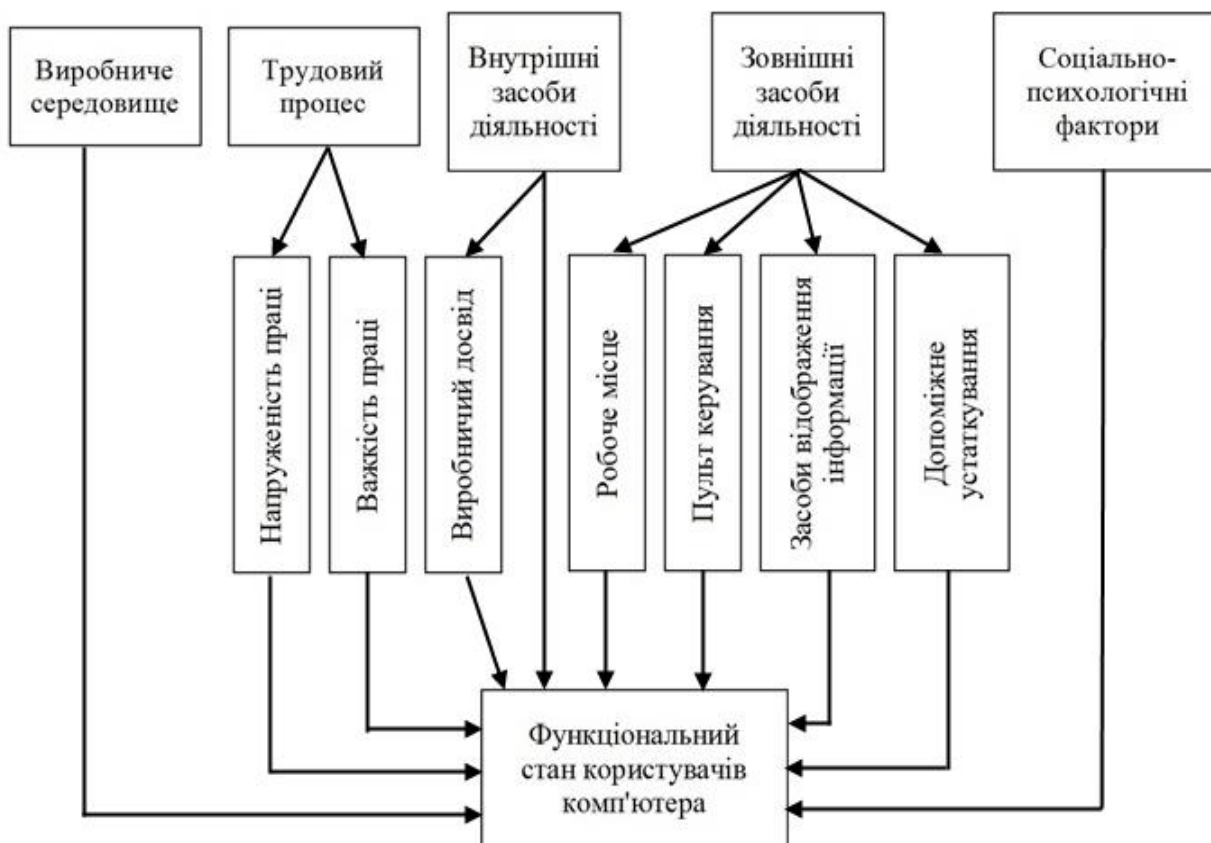


Рисунок. 4.2 – Схема впливу факторів на функціональний стан користувачів ПК

4.2 Вимоги до організації робочих місць

Робоче місце – це зона простору, що оснащена необхідним устаткуванням, де відбувається трудова діяльність одного працівника чи групи працівників.

Гігієнічні вимоги визначають умови життєдіяльності і працездатності людини у процесі взаємодії з технікою і середовищем; показниками є рівень освітлення, температура, вологість, шум, вібрація, токсичність, загазованість тощо.

Антропометричні вимоги визначають відповідність конструкцій техніки антропометричним характеристикам людини (зріст, розміри тіла та окремі рухові ланки). Показниками є раціональна робоча поза, оптимальні зони досягнення, раціональні трудові рухи.

Фізіологічні та психофізіологічні вимоги визначають відповідність техніки і середовища можливостям працівника щодо сприйняття, переробки інформації, прийняття і реалізації рішень.

Організація робочого місця передбачає:

- правильне розміщення робочого місця у виробничому приміщенні;
- вибір ергономічно обґрунтованого робочого положення, виробничих меблів з урахуванням антропометричних характеристик людини;
- раціональне компонування обладнання на робочих місцях;
- урахування характеру та особливостей трудової діяльності.

Загальні принципи організації робочого місця:

- на робочому місці не повинно бути нічого зайвого. Усі необхідні для роботи предмети мають бути поряд із працівником, але не заважати йому;
- ті предмети, якими користуються частіше, розташовуються ближче, ніж ті предмети, якими користуються рідше;
- предмети, які беруть лівою рукою, повинні бути зліва, а ті предмети, які беруть правою рукою — справа;
- якщо використовують обидві руки, то місце розташування пристосувань вибирається з урахуванням зручності захоплення його двома руками;
- робоче місце не повинно бути захаращене;
- організація робочого місця повинна забезпечувати необхідну оглядовість.

Організація робочого місця користувача комп'ютера повинна забезпечувати відповідність усіх елементів робочого місця та їх взаємного розташування ергономічним вимогам [23].

4.3 Вимоги до електробезпеки

Приміщення із робочими місцями користувачів комп'ютерів для забезпечення електробезпеки обладнання, а також для захисту від ураження електричним струмом самих користувачів ПК повинні мати достатні технічні засоби захисту відповідно до НПАОП (Нормативно-правові акти з охорони праці) 40.1-1.07-01 «Правила експлуатації електрозахисних засобів», НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної

експлуатації електроустановок споживачів», НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок».

З метою запобігання ушкодженням, що можуть статися через ураження електричним струмом, загоряння, коротке замикання тощо, розроблено загальний стандарт безпеки ІЕС 950. Загальним стандартом електробезпеки для країн Європейського Союзу є Cemark.

Під час проектування систем електропостачання, монтажу силового електрообладнання та електричного освітлення будівель та приміщень для ПЕОМ необхідно дотримуватись вимог вищеназваних нормативно-правових актів ЕОМ, периферійні пристрої ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ, інше устаткування (апарати управління, контрольно-вимірювальні прилади, світильники тощо), електропроводи та кабелі за виконанням та ступенем захисту мають відповідати класу зони за ПУЕ, мати апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів.

Під час монтажу та експлуатації ліній електромережі необхідно повністю унеможливити виникнення електричного джерела загоряння внаслідок короткого замикання та перевантаження проводів, обмежувати застосування проводів з легкозаймистою ізоляцією і, за можливості, перейти на негорючу ізоляцію.

Лінія електромережі для живлення ЕОМ, периферійних пристроїв ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ виконується як окрема групова трипровідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів.

Використання нульового робочого провідника як нульового захисного провідника забороняється. Нульовий захисний провід прокладається від стійки групового розподільчого щита, розподільчого пункту до розеток живлення. Не допускається підключення на щиті до одного контактного затискача нульового робочого та нульового захисного провідників. Площа перерізу нульового робочого та нульового захисного провідника в груповій трипровідній мережі повинна бути не менше площі перерізу фазового провідника.

Усі провідники повинні відповідати номінальним параметрам мережі та навантаження, умовам навколишнього середовища, умовам розподілу провідників, температурному режиму та типам апаратури захисту, вимогам ПУЕ (Правила улаштування електроустановок). У приміщенні, де одночасно експлуатується або обслуговується більше п'яти персональних ЕОМ, на помітному та доступному місці встановлюється аварійний резервний вимикач, який може повністю вимкнути електричне живлення приміщення, крім освітлення.

ПЕОМ, периферійні пристрої ПЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ повинні підключатися до електромережі тільки з допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення. Штепсельні з'єднання та електророзетки крім контактів фазового та нульового робочого провідників повинні мати спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Конструкція їх має бути такою, щоб приєднання нульового захисного провідника відбувалося раніше ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників. Порядок роз'єднання при відключенні має бути зворотним. Необхідно унеможливити з'єднання контактів фазових провідників з контактами нульового захисного провідника.

Неприпустимим є підключення ПЕОМ та периферійних пристроїв ПЕОМ до звичайної двопровідної електромережі, в тому числі – з використанням перехідних пристроїв.

Електромережі штепсельних з'єднань та електророзеток для живлення ПЕОМ, периферійних пристроїв слід виконувати за магістральною схемою, по 3...6 з'єднань або електророзеток в одному колі. Штепсельні з'єднання та електророзетки для напруги 12 В та 36 В за своєю конструкцією повинні відрізнятися від штепсельних з'єднань для напруги 127 В та 220 В і мають бути пофарбовані в колір, який візуально значно відрізняється від кольору штепсельних з'єднань, розрахованих на напругу 127 В та 220 В.

Індивідуальні та групові штепсельні з'єднання та електророзетки необхідно монтувати на негорючих або важкозаймистих пластинах з урахуванням вимог ПУЕ та Правил пожежної безпеки в Україні.

Електромережу штепсельних розеток для живлення ПЕОМ, периферійних пристроїв ПЕОМ при розташуванні їх уздовж стін приміщення прокладають по підлозі поряд зі стінами приміщення, як правило, в металевих трубах і гнучких металевих рукавах з відводами відповідно до затвердженого плану розміщення обладнання та технічних характеристик обладнання.

При розташуванні в приміщенні за його периметром до 5 ПЕОМ, використанні трипровідникового захищеного проводу або кабелю в оболонці з негорючого або важкозаймистого матеріалу дозволяється прокладання їх без металевих труб та гнучких металевих рукавів.

Електромережу штепсельних розеток для живлення ПЕОМ при розташуванні їх у центрі приміщення, прокладають у каналах або під знімною підлогою в металевих трубах або гнучких металевих рукавах. При цьому не дозволяється застосовувати провід і кабель в ізоляції з вулканізованої гуми та інші матеріали, що містять сірку. Відкрита прокладка кабелів під підлогою забороняється. Металеві труби та гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені. Заземлення повинно відповідати вимогам НПАОП 40.1-1.21-98.

Для підключення переносної електроапаратури застосовують гнучкі проводи в надійній ізоляції.

Тимчасова електропроводка від переносних приладів до джерел живлення виконується найкоротшим шляхом без заплутування проводів у конструкціях машин, приладів та меблях. Доточувати проводи можна тільки шляхом паяння з наступним старанним ізолюванням місць з'єднання.

Є неприпустимими:

– експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізолюваними провідниками;

– застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам ПВЕ до переносних електропроводок;

– застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;

– користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання;

– підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);

– використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів [24].

4.4 Висновки до розділу

У четвертому розділі було проаналізовано засоби охорони праці, які треба використовувати для безпеки. Також було проаналізовано фактори, що впливають на функціональний стан розробника, вимоги до організації робочих місць та вимоги до електробезпеки.

ВИСНОВКИ

У рамках кваліфікаційної магістерської роботи здійснено розробка програмного модулю підсистеми ідентифікації вибухонебезпечних предметів. Для вирішення поставлених завдань використовувалися методи системного аналізу, та сучасні інформаційні технології.

У першому розділі було проаналізовано сучасні методи виявлення вибухонебезпечних предметів. Такі методи як газового аналізу, хімічного аналізу, лазерного аналізу та непрямого аналізу.

У другому розділі була описана розробка програмного модуля підсистеми ідентифікації вибухонебезпечних предметів. Розроблені такі блок схеми як:

- алгоритму створення xml-файлу для розпізнавання вибухонебезпечних предметів методом Хаара;

- алгоритму навчання нейронної мережі для розпізнавання вибухонебезпечних предметів за допомогою нейронної мережі;

- алгоритму розпізнавання вибухонебезпечних предметів методом Хаара.

Також було описано етапи розробки програмного модуля підсистеми ідентифікації вибухонебезпечних предметів.

У третьому розділі було проведено експерименти, які показали, що розроблений програмний модуль краще розпізнає вибухонебезпечні предмети. Так експерименти показали, що для кращої роботи нейромережі потрібно більше позитивних і негативних зображень.

Розроблений програмний модуль підсистеми ідентифікації вибухонебезпечних предметів може використовуватися на роботі з камерою та металошукачем, для поліпшення обладнання вибухонебезпечних предметів, для того щоб забезпечити і прискорити розмінування територій.

За результатами досліджень опубліковано тези доповіді на форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології»

У четвертому розділі кваліфікаційній роботі було проаналізовано охорону праці. Були проаналізовані фактори, що впливають на функціональний стан розробника, вимоги до організації робочих місць та вимоги до електробезпеки.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Методичні вказівки до підготовки атестаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, О. В. Токарєва, Г. В. Пономарьова. – Харків: ХНУРЕ. – 2021. – 36 с.
2. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. – Введ. 2015-06-22. – К.: Держстандарт України, 2017. – 29 с.
3. lavanda // lavanda електронна версія. URL <http://lavanda-u.ua> (дата звернення 10.10.2022).
4. Ewing, R. G., Atkinson, D. A., Eiceman, G. & Ewing, G. A critical review of ion mobility spectrometry for the detection of explosives and explosive related compounds. *Talanta* 54, 2018. – 529p.
5. Paulter, N. G. Guide to the Technologies of Concealed Weapon and Contraband Imaging and Detection Vol. 602 (US Department of Justice, Office Justice Programs, National Institute of Justice, 2021. – 100p.
6. Grel T. Region of interest pooling explained. [deepsense.io](https://blog.deepsense.ai/region-of-interest-pooling-explained/) [Електронний ресурс] / Grel. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: 89 <https://blog.deepsense.ai/region-of-interest-pooling-explained/> (дата звернення 10.11.2022)
7. Jensen, W. A. Binomial reliability demonstration tests with dependent data. *Qual. Eng.* 27, 2018 – 500p.
8. Сергієнко А.С. Підсистема ідентифікації вибухонебезпечних предметів /А.С Сергієнко К. Л Хрустальов / IV форум «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» AERT-2022. – Харків, ХНУРЕ, 2022. С. 89-90.
9. Bradski, G. The OpenCV library, 2022. – .126p.
10. D.Foster. Generative Deep Learning: Teaching Machines to Paint, Write, Compose, and Play. O'Reilly Media, 2019, – 480 p.

11. Plain Python. Modern style of programming. Peter, 2019, – 480 p.
12. C.Bouveyron, G.Celeux, T.B.Murphy, A.E.Raftery. Model-Based Clustering and Classification for Data Science: With Applications in R. Cambridge University Press, Peter, 2019, – 430 p..
13. Rublee, E. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF. Computer Vision (ICCV), 2018. – p. 256-271
14. .Graesser, W.L.Keng. Foundations of Deep Reinforcement Learning: Theory and Practice in Python. Addison-Wesley Professional, Peter, 2019, – 200 p.
15. T.Beysolow II. Applied Reinforcement Learning with Python: With OpenAI Gym, Tensorflow, and Keras. Apress, 2021, – 500p.
16. I.Isaev, S.Burikov, T.Dolenko, K.Laptinskiy, S.Dolenko. Artificial Neural Networks for Diagnostics of Water-Ethanol Solutions by Raman Spectra. Studies in Computational Intelligence, 2019. – 500 p.
17. Zisserman A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition, 2019. – p. 25-28.
18. Graham B. Fractional Max Pooling [Електронний ресурс] / B. Graham. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://arxiv.org/abs/1412.6071> (дата звернення 27.11.2022)
19. Дзюндзюк Б.В., Іванов В.Г. Охорона праці. Збірник задач: навч. посібник. Харків: ХНУРЕ, 2006. – 236 с.
20. OpenCV Haar Cascades онлайн: електронна версія. URL: <https://pyimagesearch.com/2021/04/12/opencv-haar-cascades/>(дата звернення 19.12.2022).
21. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці. К., 2010 – 100с.
22. Labcenter Electronics - a leading developer of electronics CAD (schematic, simulation and PCB autorouting) software. // Proteus: електронна версія. URL: <http://www.labcenter.com/index.cfm2>. (дата звернення 19.12.2022).
23. Ергономічні вимоги до організації робочих місць // Навчальні матеріали онлайн: електронна версія. URL:

https://pidruchniki.com/14821111/bzhd/ergonomichni_vimogi_organizatsiyi_robochih_mists (дата звернення 19.12.2022).

24. НПАОП 0.00-1.31-99. Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин // ДНАОП: електронна версія. URL: https://dnaop.com/html/245_3.html (дата звернення 19.12.2022).