

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

**Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра інформаційних систем та технологій**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Олександр РОЛІК

« ____ » _____ 2025 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Інформаційне забезпечення
робототехнічних систем»
спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»
на тему: «Система виявлення та запобігання порушенням на
футбольному стадіоні з використанням автономних робототехнічних
платформ»**

Виконав:

студент ІV курсу, групи ІК-12
Вангелінов Владислав Іванович

Керівник:

Доцент кафедри ІСТ, к.т.н., доцент
Солдатова Марія Олександрівна

Рецензент:

Доцент кафедри ІСТ, к.т.н., доцент,
Ліхоузова Тетяна Анатоліївна

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2025 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра інформаційних систем та технологій

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 126 «Інформаційні системи та технології»

Освітньо-професійна програма «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олександр РОЛІК

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Вангелінову Владиславу Івановичу

1. Тема роботи «Система виявлення та запобігання порушенням на футбольному стадіоні з використанням автономних робототехнічних платформ», керівник роботи Солдатова Марія Олександрівна Доцент кафедри, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «23» травня 2025р. № 1705-с
2. Термін подання студентом роботи «9» червня 2025р.
3. Вихідні дані до роботи: точність виявлення $\geq 90\%$, затримка реагування ≤ 1 с, робота при $-10\dots+40^\circ\text{C}$, автономність ≥ 8 год, відео ≥ 30 FPS, похибка позиціонування $\leq 0,5$ м, середньоквадратична похибка детекції $\leq 5\%$.
4. Зміст роботи:
 - 1) Огляд та аналіз предметної області, Методологічні підходи до моделювання виробничої стратегії
 - 2) Розроблення системи з урахуванням інноваційних підходів та сучасних технологій
 - 3) Програмна реалізація: компоненти, інструменти та технології
 - 4) Аналіз отриманих результатів і формування практичних рекомендацій

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

- 1) Діаграма прецедентів
- 2) ER-діаграма
- 3) Діаграма послідовностей
- 4) Діаграма компонентів

6. Дата видачі завдання: «8» березня 2025р.

Календарний план

з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення наукової документації та матеріалів	1.03.2025	
2	Опис предметної області	16.03.2025	
3	Аналіз використання штучного інтелекту у системах забезпечення безпеки	7.04.2025	
4	Формування вимог до системи	28.04.2025	
5	Підготовка та налаштування середовища для створення програмного забезпечення	19.05.2025	
6	Написання ПЗ	09.06.2025	

Студент

Владислав ВАНГЕЛІНОВ

Керівник

Марія СОЛДАТОВА

АНОТАЦІЯ

Система виявлення та запобігання порушенням на футбольному стадіоні з використанням автономних робототехнічних платформ.

Проект містить 70 сторінок тексту, 18 рисунків, 5 таблиць, 2 додатки та 15 джерел.

Ключові слова: розпізнавання порушень, YOLOv8, комп'ютерний зір, Python, OpenCV, стадіон, безпека, відеоаналітика, роботехнічні технології.

У роботі представлено розроблення системи для виявлення та фіксації порушень на футбольному стадіоні з використанням технологій комп'ютерного зору. Основу системи складає модель нейронної мережі YOLOv8m, яка забезпечує високу точність та швидкість обробки відео в реальному часі.

Програмну частину реалізовано мовою Python із використанням бібліотек OpenCV, NumPy, Pandas та Matplotlib. Середовище розроблення Visual Studio Code дозволило ефективно організувати код, працювати з терміналом та контролювати версії проекту. Система здатна розпізнавати людей у кадрі, фіксувати порушення та виводити результати у зручному для аналізу вигляді.

Отриманий результат демонструє перспективність застосування подібних систем у сфері громадської безпеки та може бути використаний для подальших досліджень і впровадження на практиці.

SUMMARY

System for detecting and preventing violations at a football stadium using autonomous robotic platforms.

The project contains 70 pages of text, 18 figures, 5 tables, 2 applications, and 15 references.

Keywords: violation recognition, YOLOv8, computer vision, Python, OpenCV, stadium, security, video analytics, robotic technologies.

The paper presents the development of a system for detecting and recording violations at a football stadium using computer vision technologies. The system is based on the YOLOv8m neural network model, which provides high accuracy and speed of real-time video processing.

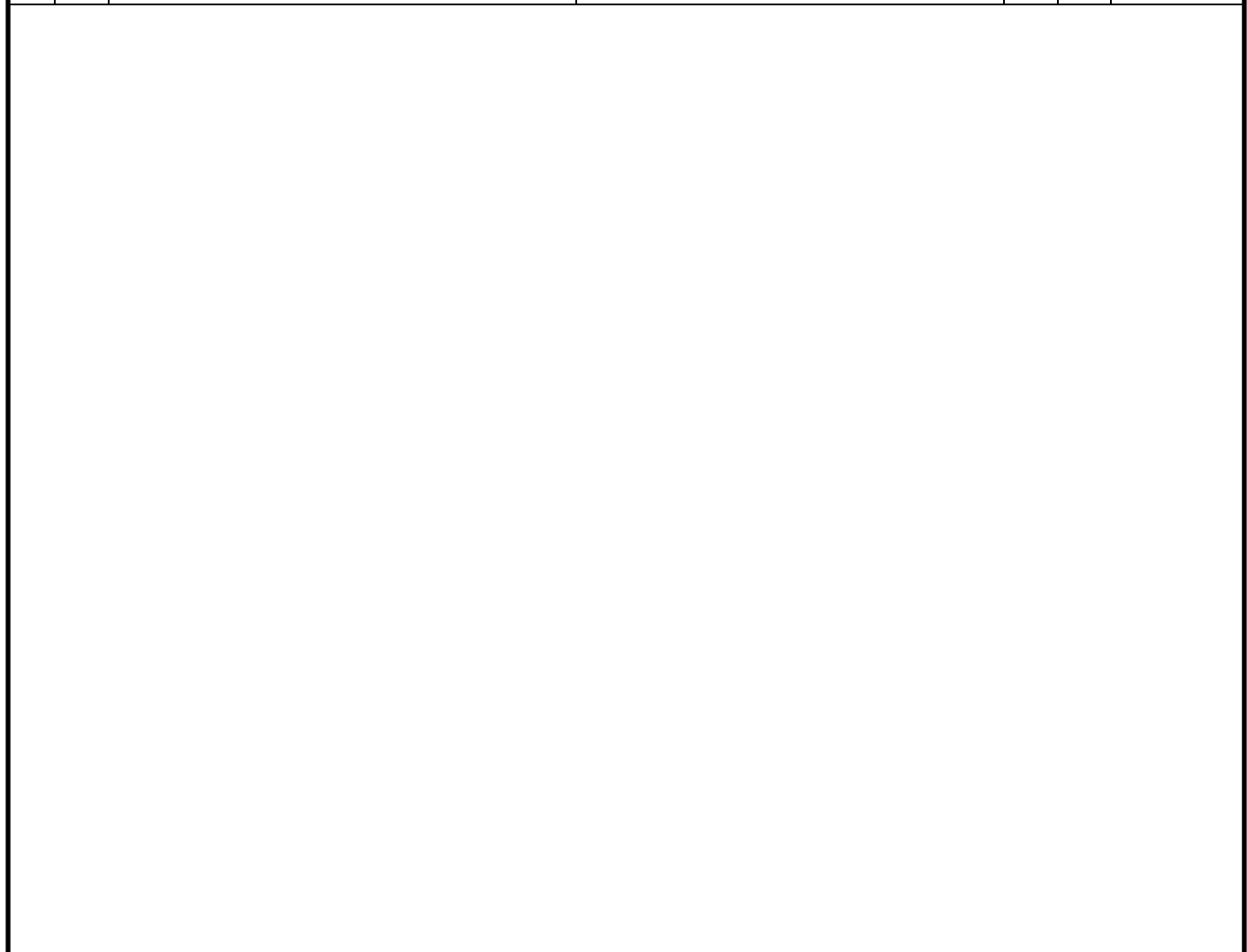
The software part is implemented in Python using OpenCV, NumPy, Pandas, and Matplotlib libraries. The Visual Studio Code development environment allowed us to effectively organize the code, work with the terminal, and control project versions. The system is able to recognize people in the frame, record violations, and display the results in a form convenient for analysis.

The result demonstrates the prospects of using such systems in the field of public security and can be used for further research and implementation in practice.

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кіл. аркушів	№ екз.	Примітка
1			<u>Документація загальна</u>			
2						
3			Знову розроблена			
4						
5	A4	ІК12.020БАК.006 ПЗ	Система виявлення та	61		
6			запобігання порушенням на			
7			футбольному стадіоні			
8			стадіоні з використанням			
9			автономних робототехнічних			
10			платформ			
11			Пояснювальна записка			
12						
13	A3	ІК12.020БАК.006 Д1	Система виявлення та	1		
14			запобігання порушенням на			
15			футбольному стадіоні			
16			стадіоні з використанням			
17			автономних робототехнічних			
18			платформ			
19			Діаграма прецедентів			
20						
21	A3	ІК12.020БАК.006 Д2	Система виявлення та	1		
22			запобігання порушенням на			
23			футбольному стадіоні			
24			стадіоні з використанням			
25			автономних робототехнічних			
26			платформ			
27			ER-діаграма			

				ІК12.020БАК.006 ТП					
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис				Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Вангелінов В.І			Система виявлення та запобігання порушенням на футбольному стадіоні з використанням автономних робототехнічних платформ.				1	2
Перевірив	Солдатова М.С								
Затв.				Відомість дипломного проекту			КПІ ім. Ігоря Сікорського Група ІК-12		

28					
21	A3	ІК12.020БАК.006 Д3	Система виявлення та	1	
22			запобігання порушенням на		
23			футбольному стадіоні		
24			стадіоні з використанням		
25			автономних робототехнічних		
26			платформ		
27			Діаграма послідовностей		
28					
29	A3	ІК12.020БАК.006 Д4	Система виявлення та	1	
30			запобігання порушенням на		
31			футбольному стадіоні		
32			стадіоні з використанням		
33			автономних робототехнічних		
34			платформ		
35			Діаграма компонентів		



Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Система виявлення та запобігання
порушенням на футбольному стадіоні з використанням
автономних робототехнічних платформ»

Київ – 2025 рік

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	7
1.1 Огляд та аналіз проблем безпеки на футбольних стадіонах	7
1.2 Огляд сучасних технологій виявлення порушень	8
1.3 Методи моделювання системи розпізнавання порушень	12
Висновки до розділу 1	14
2 РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ З УРАХУВАННЯМ ІННОВАЦІЙНИХ ПІДХОДІВ ТА СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	16
2.1 Вибір архітектури системи на основі сучасних технологій	16
2.1 Інноваційність запропонованої системи в порівнянні з аналогами.....	18
2.2 Розроблення логіки взаємодії між компонентами системи	23
3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ.....	33
3.1 Архітектура програмної системи	33
3.2 Технологічний стек	35
3.3 Розроблення моделі	38
3.4 Проектування та створення бази даних	40
Висновки до розділу 3	46
4 АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ І ФОРМУВАННЯ ПРАКТИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ.....	48
4.1 Оцінка ефективності роботи системи на тестових даних	48
4.2 Аналіз обмежень і факторів, що впливають на якість роботи	50
4.3 Практичні рекомендації для впровадження системи на стадіон	52
Висновки до розділу 4	55

					ІК12.020БАК.006 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис		Система виявлення та запобігання порушенням на футбольному стадіоні з використанням автономних робототехнічних платформ. Відомість дипломного проекту	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Вангелінов В.І						1	61
Перевірив	Солдатова М.С					КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Затв.						Група ІК-12		

ВИСНОВКИ.....	57
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		3

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

IC — інтелектуальна система;
YOLOv8 — You Only Look Once, version 8;
CNN — Convolutional Neural Network;
FPS — Frames Per Second;
MQTT — Message Queuing Telemetry Transport;
ESP — Espressif Systems Platform;
OLED — Organic Light-Emitting Diode;
LED — Light-Emitting Diode;
AI — Artificial Intelligence;
CV — Computer Vision;
Wi-Fi — Wireless Fidelity;
GPS — Global Positioning System;
LiDAR — Light Detection and Ranging.

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

Сучасні масові заходи, зокрема футбольні матчі, збирають десятки тисяч людей на обмеженому просторі, створюючи потенційно небезпечне середовище у разі виникнення надзвичайної ситуації. Навіть незначний інцидент, зумовлений агресивною поведінкою окремих осіб або масовим скупченням людей у невстановлених місцях, може призвести до серйозних наслідків, таких як паніка, травмування глядачів чи порушення громадського порядку. Традиційні засоби забезпечення безпеки, які базуються на роботі охоронців, відеоспостереженні та моніторингу з боку операторів, виявляються недостатньо ефективними в умовах динамічного середовища та великої кількості одночасних подій.

Проблема ускладнюється тим, що класичні системи часто мають централізовану архітектуру, що призводить до затримок у реагуванні та перевантаження операторських центрів. Крім того, людський фактор обмежує швидкість і точність ухвалення рішень, а велике навантаження може призвести до пропущених інцидентів або хибного трактування ситуації. Водночас, новітні технології комп'ютерного зору, штучного інтелекту та автономних мобільних платформ відкривають нові можливості для створення систем, що здатні не лише фіксувати події, а й самостійно аналізувати поведінку людей, виявляти порушення та передавати відповідну інформацію до охорони без посередництва оператора.

Актуальність теми дослідження зумовлена зростаючою потребою в інтелектуалізації безпеки на публічних об'єктах. Реальні інциденти, такі як трагедія на стадіоні «Ейзель» у Брюсселі у 1985 році або сутички на українських аренах у 2020-х роках, наочно демонструють, що навіть незначна затримка в реагуванні може мати фатальні наслідки. Ці події підкреслюють необхідність впровадження систем, здатних до автономного спостереження, аналізу та миттєвого реагування у межах локального середовища.

Метою дипломного проєкту є розроблення інтелектуальної системи виявлення та запобігання порушенням на футбольному стадіоні з використанням автономних робототехнічних платформ, що поєднують у собі засоби відеоаналітики, алгоритми

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		5

глибинного навчання та інфраструктуру локальної взаємодії з охоронними підрозділами. Особливістю запропонованої системи є її модульна побудова, розподілений принцип обробки подій, використання сучасної нейромережевої моделі YOLOv8 та прив'язка кожної камери до конкретної охоронної групи.

Об'єктом дослідження є процес забезпечення громадської безпеки під час масових заходів, а предметом — інформаційна система, здатна здійснювати автономне відеоспостереження, аналіз поведінки глядачів та ініціювати реагування при виявленні інцидентів.

У межах роботи розглянуто:

- сучасні підходи до побудови систем відеоспостереження та виявлення порушень;
- методології моделювання багатокomпонентних систем;
- архітектуру програмного рішення на основі автономних мобільних платформ;
- алгоритми навчання та використання нейронних мереж для аналізу поведінки;
- розробку бази даних інцидентів та логіку взаємодії між елементами системи;
- оцінку ефективності запропонованої системи в тестових умовах.

Результатом роботи є система, яка продемонструвала високу точність детекції порушень, стабільність автономної роботи, низький рівень хибнопозитивних спрацювань та здатність до масштабування. Це дозволяє стверджувати, що така система може бути ефективно впроваджена на реальних спортивних аренах, значно підвищивши рівень безпеки та зменшивши навантаження на персонал.

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		6

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Огляд та аналіз проблем безпеки на футбольних стадіонах

Футбольні стадіони під час проведення матчів є місцями великого скупчення людей з різним рівнем емоційної напруги, що створює високі ризики порушень громадського порядку. Особливо це стосується матчів із великою кількістю фанатів, що мають тривалі історії протистоянь або політичне підґрунтя. Попри наявність охорони, відеоспостереження та регламентів поведінки, кожен футбольний матч становить потенційну загрозу безпеці як для глядачів, так і для учасників події.

Класичні системи забезпечення порядку — камери відеоспостереження, стюарди, поліція — обмежені у своїй ефективності через людський фактор, затримки в обробці подій та неможливість оперативного реагування на неочевидні або приховані загрози. Особливо складно виявляти порушення до їх відкритого прояву — наприклад, агресивну поведінку фанатів, накопичення натовпу у заборонених зонах, спроби проникнення у службові приміщення або на поле. Саме в цих аспектах роботизовані системи, здатні до автономного патрулювання та виявлення підозрілої активності, мають величезний потенціал.

Розроблення інтелектуальної системи розпізнавання та запобігання порушенням із використанням автономних робототехнічних платформ дозволяє значно підвищити ефективність моніторингу. Такі системи можуть самостійно рухатись територією стадіону, збирати відеоінформацію, аналізувати поведінку людей у реальному часі та передавати сигнали у випадку виявлення підозрілих дій. На відміну від статичних камер, мобільні платформи здатні змінювати точки огляду, працювати в умовах низької видимості, адаптувати маршрут до зон скупчення людей, що суттєво розширює функціонал системи безпеки.

Проблематика забезпечення безпеки на масових заходах набуває особливої актуальності в умовах стрімкого розвитку спортивної інфраструктури та зростання кількості глядачів. Події, що траплялися на стадіонах, доводять, що навіть за присутності охорони та камер, людський фактор і затримка в реагуванні можуть

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		7

призвести до катастрофічних наслідків. Так, трагедія на стадіоні «Ейзель» у 1985 році забрала життя 39 осіб та залишила понад 600 пораненими через тисняву і паніку, спричинені конфліктом між фанатами. Інший приклад — сутичка між ультрас «Динамо» та стюардами у 2021 році, яка переросла у масову бійку й вимагала втручання поліції. Обидва випадки демонструють необхідність вчасного виявлення порушень до моменту їх ескалації [2] [6] [8].

Саме тому виникає потреба в упровадженні інтелектуальних систем, які здатні працювати автономно, виявляти аномалії у поведінці натовпу та оперативно інформувати відповідальні служби. Застосування таких технологій дозволяє не лише збирати інформацію, а й аналізувати її у режимі реального часу, що критично важливо в динамічному середовищі стадіону. Вони здатні зафіксувати загрозу ще до того, як вона перетвориться на інцидент, та забезпечити злагоджену взаємодію всіх елементів системи безпеки — від технічних засобів до людського персоналу [3, с.73].

У таких умовах використання штучного інтелекту, відеоаналітики та мобільних роботизованих платформ відкриває нові можливості для забезпечення порядку на стадіонах. Це дає змогу перейти від реактивного до проактивного управління безпекою — не лише реагувати на інциденти, а й передбачати їх, виявляти потенційно небезпечну поведінку на ранніх етапах, що є ключовою метою представленої системи.

1.2 Огляд сучасних технологій виявлення порушень

У XXI столітті технічний прогрес створив нові підходи до забезпечення громадського порядку під час масових заходів. Зокрема, велику популярність здобули інтелектуальні системи відеоспостереження, що здатні не лише записувати події, а й аналізувати їх у реальному часі. Сучасні технології орієнтовані на автоматичне розпізнавання облич, аналіз поведінки, виявлення натовпу, нетипових рухів і навіть емоційного стану людини [5, с. 49].

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		8

Однією з ключових технологій є комп'ютерний зір, що базується на застосуванні алгоритмів штучного інтелекту та глибокого навчання. Такі системи здатні аналізувати відеопотік у реальному часі, розпізнавати об'єкти, виявляти нетипову поведінку та вчасно реагувати на потенційні загрози. Завдяки цим можливостям комп'ютерний зір широко використовується в системах безпеки, зокрема для моніторингу громадських місць і стадіонів.

Окрім алгоритмів розпізнавання, активно впроваджуються системи трекінгу — технології, що дозволяють відстежувати переміщення об'єкта в кадрі або у межах території. Це особливо корисно для виявлення підозрілих дій, таких як проникнення у заборонені зони чи накопичення натовпу у визначених точках. Теплові карти активності допомагають у візуалізації руху мас людей і прийнятті рішень у режимі патрулювання.

Також поширення отримують автономні платформи: роботи та дрони, що здійснюють патрулювання територій. Вони можуть бути обладнані камерами, сенсорами руху, мікрофонами та іншими пристроями збору даних. Їх перевагою є мобільність, гнучкість маршрутів, можливість працювати у складних умовах (вночі, при великому шумі чи диму).

Прикладами впровадження у міжнародній практиці таких систем є:

Facewatch — це система розпізнавання обличчя у режимі реального часу, яка використовується в публічних місцях, включаючи стадіони, торгові центри, а також на входах до приватних об'єктів. Її основне завдання — швидко ідентифікувати осіб, які занесені до бази небажаних або раніше зафіксованих порушників.

На стадіонах система інтегрується з наявними відеокамерами. При вході вболівальника на арену Facewatch автоматично сканує обличчя, порівнює з базою даних (наприклад, із «чорним списком» порушників) і у разі збігу надсилає тривожне повідомлення охороні. Унікальність системи — у її здатності працювати у реальному часі з великою кількістю осіб, навіть за умов змішаного освітлення або часткового перекриття обличчя [15].

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		9

Facewatch відповідає вимогам GDPR, а дані зберігаються лише при підтвердженому порушенні політики безпеки. Це робить її привабливою для використання на аренах Прем'єр-ліги та під час великих спортивних подій у Великій Британії. Блок-схема Facewatch зображено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1– Facewatch – блок-схема системи

Avigilon Appearance Search — це потужна аналітична система, розроблена компанією Motorola Solutions. Вона дозволяє здійснювати пошук та відстеження людей або транспортних засобів за візуальними характеристиками: колір одягу, стать, аксесуари, час появи в зоні, траєкторія руху тощо [14].

На стадіонах система використовується для швидкого реагування на підозрілу активність або інциденти. Наприклад, якщо хтось кинув піротехнічний засіб у секторі, охорона може ввести опис порушника в систему, і та за кілька секунд покаже всі відеофрагменти, де фігурує відповідна особа. Це значно зменшує час реагування та спрощує доведення факту правопорушення.

Avigilon інтегрується з камерами високої роздільної здатності та може зберігати відеоархіви тривалий час. Її використовують на спортивних аренах у США (зокрема на матчах НФЛ, НБА), а також у міжнародних аеропортах і на транспортних вузлах. Схема роботи технології Avigilon Appearance Search зображено на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Технологія Avigilon Appearance Search

Під час Чемпіонату світу з футболу FIFA 2022 в Катарі була впроваджена одна з наймасштабніших і найсучасніших систем штучного інтелекту для моніторингу безпеки. У Qatar Security Command Center було інтегровано понад 15 000 камер, розміщених на стадіонах, у зонах входу, транспорті та на прилеглих територіях [10].

Система об'єднувала:

- розпізнавання облич у реальному часі;
- аналіз щільності натовпу та визначення потенційних зон тисняви;
- виявлення порушень: перелазання через бар'єри, агресивна поведінка, кидання предметів тощо;
- інтеграцію з тепловізорами та мобільними пристроями охорони;
- автоматичну маршрутизацію охоронців до місця інциденту.

Централізована система моніторингу, що працювала в режимі реального часу, забезпечувала безперервну передачу всіх зафіксованих подій до єдиного командного центру. У цьому центрі цілодобово працювали оператори, які контролювали відеопотоки з камер спостереження, аналітики, що займалися оцінкою ситуацій і прогнозуванням потенційних ризиків, а також співробітники правоохоронних органів, які оперативно реагували на загрози. Завдяки злагодженій роботі всіх підрозділів і ефективній координації дій у реальному часі, вдалося своєчасно виявити порушення та попередити ескалацію конфліктів. Це надасть змогу уникнути серйозних інцидентів навіть в умовах надзвичайно високого

навантаження на систему безпеки, спричиненого рекордною кількістю глядачів. Приклад використання Qatar Security Command Center зображено на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 - Qatar Security Command Center

Підсумовуючи, можна стверджувати, що сучасні технології виявлення порушень базуються на поєднанні комп'ютерного зору, штучного інтелекту, систем трекінгу та автономної мобільності. Їх інтеграція у єдину систему безпеки значно підвищує ефективність контролю, дозволяє виявляти порушення до їх ескалації та оперативно передавати сигнал відповідним службам.

1.3 Методи моделювання системи розпізнавання порушень

Моделювання системи розпізнавання порушень на футбольному стадіоні є багаторівневим процесом, який передбачає інтеграцію різних науково-технічних підходів, математичних моделей та сучасних технологій. Така система повинна забезпечити безперервний моніторинг, оперативне виявлення порушень, аналіз поведінки натовпу, обмін інформацією між підсистемами та прийняття рішень у реальному часі. Її проектування вимагає врахування складних умов функціонування — шум, динаміка натовпу, мінливе освітлення, погодні умови, раптові дії людей.

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

Ключовим елементом методології є системний підхід. Він передбачає попередню декомпозицію задачі на функціональні підсистеми: збір інформації, її обробка, виявлення подій, керування діями виконавчих компонентів. Такий підхід дозволяє забезпечити гнучкість системи, можливість заміни або вдосконалення окремих її частин без необхідності повної перебудови архітектури. Кожна підсистема описується власною моделлю функціонування, інтерфейсами взаємодії та критеріями оцінки ефективності [7].

Особлива увага приділяється побудові алгоритмів розпізнавання. У сучасних умовах пріоритет надається глибоким згортковим нейронним мережам (CNN), які здатні ідентифікувати візуальні патерни на основі великого обсягу навчальних даних. Такі моделі навчаються виявляти людей, жести, несанкціоновану активність (наприклад, спроби вибігти на поле, кидання предметів, бійки) та можуть працювати з різними джерелами відеоінформації. Методика включає попередню обробку даних, аугментацію, сегментацію, трекінг і постобробку результатів для зменшення кількості хибнопозитивних спрацювань.

Іншою важливою складовою є поведінкове моделювання. Мова йде про ідентифікацію шаблонів колективної поведінки та виділення аномалій. Наприклад, раптове зростання щільності натовпу в обмеженому секторі або рух проти основного потоку можуть сигналізувати про потенційне порушення. Для цього застосовуються алгоритми кластеризації, аналізу щільності (наприклад, DBSCAN), оцінки швидкості та напрямку руху. Поведінкові моделі можуть оновлюватись динамічно — система накопичує дані та на основі них адаптує свої оцінки ризиків [1].

У системі важливо реалізувати багатопоточну обробку даних — відеопотоки, телеметрія від роботів, сигнали від сенсорів, аналітичні модулі мають працювати паралельно без втрати продуктивності. Для цього застосовуються асинхронні сервери, системи черг повідомлень, контейнеризація (наприклад, Docker) та оптимізовані структури даних. Усі дії системи повинні логуватися для подальшого аналізу ефективності та аудиту безпекових подій.

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

З точки зору моделювання автономних агентів, робототехнічні платформи виступають як фізичні реалізації виконавчої частини системи. Вони оснащені камерами, LiDAR-датчиками, мікрофонами, GPS-модулями та мають локальну обчислювальну потужність. Алгоритми навігації та уникнення зіткнень ґрунтуються на методах потенційних полів, Dijkstra або A* для побудови маршрутів, а також нейронних мереж для адаптації в складному середовищі. Роботи можуть передавати виявлені інциденти до центрального сервера або самостійно ініціювати базові дії (активація сирени, освітлення, голосові попередження)[4, с.64].

Загальна комунікаційна інфраструктура має забезпечувати синхронізацію даних між усіма елементами. З цією метою застосовуються брокери повідомлень (наприклад, MQTT), REST API або WebSocket, які дозволяють організувати обмін даними з низькою затримкою. Важливою умовою є стійкість системи до збоїв — резервування, обробка винятків, перезапуск модулів без зупинки всієї системи.

Інтерфейс для операторів також є частиною моделі. Він повинен відображати ключові події, дозволяти вручну керувати роботами, налаштовувати зони моніторингу, переглядати звіти та лог-файли. Для цього застосовуються панелі керування з інтерактивними картами, таймлайнами подій, відео з камер у реальному часі та сповіщеннями.

Усі ці компоненти тестуються спочатку в симуляційному середовищі. Моделювання проводиться з урахуванням типових сценаріїв: поява агресивного глядача, масова тиснява, блокування виходів, затримка зв'язку. Кожен сценарій має мету, критерії успішності та кількісні показники ефективності (час реакції, точність виявлення, кількість хибних тривог). Після верифікації модель переноситься в реальне середовище з урахуванням обмежень обладнання.

Висновки до розділу 1

У першому розділі було проведено всебічний аналіз предметної області, сучасного стану проблеми безпеки на футбольних стадіонах, технологій виявлення

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14

порушень та методологічних засад моделювання відповідних систем. Дослідження підтвердило, що питання забезпечення громадського порядку під час масових спортивних подій залишається надзвичайно актуальним як у світовому, так і в українському контексті. Навіть поодинокі інциденти можуть призвести до масових заворушень, травм чи людських жертв, особливо в умовах великого скупчення людей та обмеженої швидкості реакції служб охорони.

Аналіз реальних подій, таких як трагедія на стадіоні «Ейзель» та сутички на українських аренах, наочно демонструє недосконалість класичних механізмів безпеки. Це свідчить про необхідність впровадження інтелектуальних систем, здатних автоматично виявляти порушення, прогнозувати загрози та підтримувати зв'язок з персоналом безпеки в режимі реального часу.

Огляд сучасних технологій показав, що використання комп'ютерного зору, штучного інтелекту, систем трекінгу та автономних робототехнічних платформ дозволяє суттєво підвищити якість контролю. Такі технології здатні не лише аналізувати поведінку окремих глядачів, а й виявляти патерни колективної активності, що передують критичним ситуаціям.

Методологічна частина розділу охопила ключові аспекти побудови подібної системи: від розроблення архітектури, поведінкових моделей і нейронних мереж — до синхронізації підсистем, реалізації модулів навігації та симуляційної перевірки функціоналу. Особливу увагу приділено мультиагентним взаємодіям, прийняттю рішень на основі нечітких оцінок, адаптивності алгоритмів і можливості масштабування системи в залежності від розміру арени чи кількості відвідувачів.

Таким чином, теоретичне підґрунтя, викладене в цьому розділі, створює основу для переходу до практичного проєктування системи виявлення та запобігання порушенням. Воно визначає головні вимоги до майбутньої реалізації, забезпечує структурну логіку системного підходу та дозволяє здійснити технічно обґрунтоване розроблення відповідного програмно-апаратного рішення.

2 РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ З УРАХУВАННЯМ ІННОВАЦІЙНИХ ПІДХОДІВ ТА СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

2.1 Вибір архітектури системи на основі сучасних технологій

Підвищення рівня безпеки на футбольних стадіонах вимагає впровадження високоефективних, надійних і розумних технічних рішень, що здатні швидко реагувати на порушення, які можуть призвести до надзвичайних ситуацій. З огляду на це, при формуванні функціональних рішень було обрано модульну архітектуру, яка дозволяє поєднувати переваги сучасних сенсорних пристроїв, алгоритмів штучного інтелекту та централізованого керування з боку служби безпеки [11].

Суть обраної архітектури полягає у розподіленні відповідальності між окремими компонентами, кожен з яких має чітко визначену роль. Це забезпечує легкість інтеграції нових технологій, спрощення технічного обслуговування та можливість масштабування системи залежно від розмірів стадіону або характеру заходів.

Основним технічним елементом є камера з датчиком руху, яка виконує подвійну функцію — здійснює безперервне відеоспостереження за визначеною зоною та реагує на появу об'єктів у полі зору шляхом активації аналітичного модуля. Це дозволяє суттєво зменшити кількість хибних спрацювань, оптимізувати використання ресурсів і зменшити обсяг даних, що передаються на подальшу обробку [9, с.124].

Отримані зображення обробляються за допомогою інтелектуального модуля на базі нейронних мереж, який виконує функції розпізнавання об'єктів, аналізу поведінки, визначення типу активності. У випадку фіксації підозрілої або забороненої дії (наприклад, проникнення глядача у службову зону, агресивна поведінка, порушення просторових обмежень тощо), ШІ-алгоритм формує структуроване повідомлення. У повідомлення можуть бути включені: кадри з відео, тип інциденту, координати, рівень небезпеки, час і місце події [13].

Вся інформація зберігається в централізованій базі даних, яка містить відомості про всі виявлені інциденти, включно з фото, відеофрагментами,

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

аналітичними висновками, інформацією про підтвердження або спростування інциденту службою безпеки. Це забезпечує не лише поточний контроль, але й дає можливість проводити ретроспективний аналіз, будувати звіти, визначати найбільш проблемні ділянки для посилення нагляду.

Служба безпеки виступає кінцевою ланкою системи. Вона отримує повідомлення про виявлені порушення через локальний інтерфейс моніторингу або мобільний застосунок. Оператор системи бачить всю необхідну інформацію для прийняття рішення: відеозапис або фотографію, координати місця події, час, опис ситуації, а також рекомендацію, сформовану ШІ. В подальшому, оператор може підтвердити інцидент, відхилити його як хибне спрацювання або зафіксувати, як технічну подію без втручання.

Опис функціоналу та роль у системі кожного компоненту розписані в таблиці 2.1. Також компоненти було детально проілюстровано в діаграмі компонентів, що зображена на кресленнику ІК12.020БАК.006 Д4.

Таблиця 2.1 – Основні компоненти архітектури системи

Компонент	Опис функціоналу	Роль у системі
Камера з датчиком руху	Виявляє активність у зоні спостереження, фіксує відео, ініціює обробку даних	Первинний сенсорний модуль, що фіксує інциденти
Штучний інтелект (ШІ)	Аналізує відео, розпізнає об'єкти, класифікує поведінку, визначає тип інциденту	Аналітичний центр, що формує попереднє рішення
База даних	Зберігає зафіксовані інциденти, фото, відео, дані сповіщень, статуси обробки	Централізоване сховище інформації
Служба безпеки	Отримує повідомлення про інциденти, переглядає і підтверджує або відхиляє події	Людський контроль, прийняття фінального рішення

Застосування інтелектуального аналізу відео у поєднанні з сенсорною активністю камер дозволяє створити гнучку та адаптивну систему. Такий підхід

зменшує кількість зайвих відеозаписів, підвищує точність виявлення порушень і дає змогу системі працювати навіть за обмежених обчислювальних ресурсів.

Особливо важливою є автономність дій на початкових етапах виявлення порушень — камера самостійно реагує на рух, ШІ — самостійно оцінює ситуацію, і лише після цього формується повідомлення для оператора. Це дозволяє знизити навантаження на персонал, оптимізувати швидкість реакції та підвищити загальний рівень безпеки на об'єкті [12].

Завдяки централізованому збереженню інформації, система не тільки функціонує у режимі реального часу, а й накопичує цінні статистичні дані. Це відкриває можливість для створення звітів, аналізу тенденцій порушень, виявлення пікових навантажень, сезонності або точок підвищеного ризику на стадіоні. Таким чином, безпекова стратегія може постійно вдосконалюватися на основі фактичних даних.

Гнучкість обраної архітектури також полягає у можливості масштабування системи — за потреби можна додати нові камери, оновити ШІ-модуль, інтегрувати додаткові пристрої або розширити базу даних без необхідності демонтажу або змін усієї системи.

Отже, технічна побудова системи ґрунтується на поєднанні сенсорної точності, інтелектуального аналізу та централізованого управління, що забезпечує її ефективну роботу в умовах реального стадіонного середовища з великою кількістю змінних чинників.

2.1 Інноваційність запропонованої системи в порівнянні з аналогами

Системи технічного контролю на футбольних стадіонах у XXI столітті дедалі частіше переходять від пасивного спостереження до активної взаємодії з об'єктами контролю. Однак навіть сучасні рішення світового рівня здебільшого залишаються орієнтованими на централізований аналіз з боку операторів або спеціалізованих центрів, що часто призводить до затримок у реагуванні або перевантаження аналітиків.

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

На цьому тлі запропонована система виділяється новим підходом до організації логіки реагування. Її інноваційність полягає не лише у використанні камери з датчиком руху чи інтеграції алгоритмів штучного інтелекту, а передусім — у секторальному принципі структурування безпеки, який дозволяє максимально скоротити час між моментом виявлення порушення та початком фактичного реагування.

Суть інноваційного підходу в тому, що кожна камера в системі виконує роль автономного спостерігача, закріпленого за певною трибуною або сектором. У разі виявлення активності або підозрілої поведінки, вона ініціює передачу даних не просто до загального центру, а безпосередньо до відповідального підрозділу служби безпеки, який фізично закріплений за цією самою трибуною. Така група складається з 5–7 співробітників, що дозволяє не лише спостерігати, а й оперативно діяти у межах локального інциденту.

Це усуває одну з ключових проблем централізованих рішень — часовий розрив між аналітикою та дією. У централізованих системах оператор отримує десятки повідомлень із різних секторів, часто втрачаючи критичні секунди на ідентифікацію місця події, уточнення координат, передачу інформації охороні, яка ще має прибути до локації. У запропонованій моделі — вся ланка обробки події належить одному сектору, і всі дії відбуваються локально.

У протилежність цьому, наприклад, *Facewatch*, яка широко використовується у Великій Британії, працює централізовано: дані з камер передаються до спільного центру, де відбувається ідентифікація осіб з «чорного списку». Після цього оператор вручну повідомляє службу безпеки. Така архітектура не враховує структури трибун і не передбачає закріпленої охорони за конкретною зоною. Як результат — висока затримка між виявленням і дією, зокрема коли одночасно надходить кілька тривожних сигналів.

У запропонованій системі цей проміжок ліквідовано: спрацьовування на певній камері автоматично надходить тій охоронній групі, яка фізично відповідає за дану ділянку. Це дозволяє виключити операторів як «вузьке місце» у ланцюзі

реагування та гарантує, що порушення буде опрацьоване в межах однієї зони максимально швидко.

Facewatch ефективна в точковій ідентифікації особи, проте вона не забезпечує цілісного циклу дії: немає ні поведінкового аналізу, ні негайної реакції. Запропонована система переносить центр ухвалення рішень ближче до події, що підвищує ефективність у реальному часі.

Інший підхід реалізовано у Avigilon Appearance Search (США/Канада), яка дозволяє здійснювати пошук осіб за візуальними параметрами — колір одягу, аксесуари, траєкторія руху. Це потужний інструмент для аналізу відеоархівів, зокрема після факту. Однак система не створює механізму дії в момент порушення — для запуску потрібна ручна ініціація: оператор має описати порушника, ввести критерії пошуку, дочекатися результату, а тоді повідомити охоронців.

Таким чином, навіть найсучасніша фільтрація відео Avigilon не замінює оперативного реагування на основі виявлення. У випадку піротехніки, агресії або прориву — втрачено дорогоцінний час.

Натомість запропонована система реалізує реакцію «на випередження». Камери з датчиком руху автоматично запускають аналіз дій глядача в режимі реального часу. У разі виявлення порушення повідомлення надходить не в головний центр, а безпосередньо підрозділу сектору, без потреби у подальших фільтрах.

Avigilon — аналітична система для пошуку «після». Запропонована система — інструмент дії «до» та «в моменті». Це — запобігання, а не лише доказова база. Такий підхід є вирішальним для стадіонів, де інциденти мають бути зупинені в зародку.

Окрему модель безпеки реалізовано в Qatar Security Command Center, створеному під час ЧС-2022. Ця система охоплювала понад 15 000 камер, включаючи тепловізори, ШІ для розпізнавання поведінки, GPS-позиціонування охорони, аналіз натовпу. Це безперечно найпотужніше централізоване рішення, яке демонструвало хорошу точність і масштаб.

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		20

Однак всі сигнали передавались у єдиний командний центр, де аналітики приймали рішення. Охоронці діяли за маршрутизованими командами, які приходили вже після обробки події в центрі. У випадку багатьох інцидентів, система могла «захлинутись» через перевантаження аналітиків, що призводило до затримок у передачі задач групам на місці.

Запропонована ж система іде іншим шляхом. Вона не концентрує обробку в одному центрі, а розподіляє її на логічні блоки. Секторна охорона працює автономно, координуючись лише при потребі.

Qatar Command Center — це централізована система масштабу «держава», яка ефективна лише при надвисокому бюджеті та людському ресурсі. Запропонована модель адаптивна, економічно ефективна, масштабована й стійка до перевантажень, адже розділяє відповідальність між секторами.

Порівняльні характеристики запропонованої системи та аналогів продемонстровані в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Порівняльна таблиця: запропонована система проти аналогів

Критерій	Facewatch	Avigilon	Qatar Security Center	Запропонована система
Модель реагування	Централізована	Централізована (архів)	Централізована (центр управл.)	Розподілена (група охорони у секторі)
Технологія виявлення	Розпізнавання облич	Пошук за виглядом	Обличчя, натовп, рух	Датчик руху + аналіз поведінки (ШІ)
Швидкість реакції	Середня	Низька	Висока, але через центр	Висока, безпосереднє реагування на місці
Прив'язка до зони	Відсутня	Відсутня	Часткова	Є: кожна камера прив'язана до своєї охорони

Серед усіх розглянутих рішень лише запропонована система реалізує повноцінну інтеграцію трьох ключових функцій — виявлення, аналітики та оперативного реагування — у межах одного локального сектору. Такий підхід дозволяє не просто фіксувати або аналізувати події, як це відбувається в інших системах, а негайно впливати на ситуацію ще до її ескалації, що значно підвищує рівень безпеки на стадіоні.

Локальна прив'язка охоронної групи до конкретної трибуни, з якою пов'язана камера спостереження, забезпечує оперативність реагування, що недоступна централізованим моделям. У випадку інциденту — агресивної поведінки, порушення меж сектору, кидання предметів — не потрібно шукати вільний наряд охорони або координувати переміщення по радіозв'язку: рішення приймається миттєво, а виконавці фізично вже перебувають поблизу події.

Зокрема, Facewatch надає відмінні можливості з ідентифікації облич, але не дозволяє швидко втрутитися — спрацьовування лише інформує операторів, які повинні передати інформацію охороні. У масовому середовищі з великою кількістю глядачів це створює високий ризик затримки. Avigilon, у свою чергу, більше схожий на аналітичний інструмент — корисний для пост-фактум розслідувань, але практично неефективний у момент інциденту. Qatar Security Center є прикладом надмасштабного рішення, ефективного для світового рівня, але залежного від центральної інфраструктури та великої кількості персоналу, що робить його малоприматним для середніх чи регіональних стадіонів.

На відміну від них, запропонована модель працює як динамічна мережа самостійних секторів, кожен з яких є повноцінною одиницею управління безпекою — з камерою, сенсором, алгоритмом виявлення та оперативною групою. У цьому полягає її головна перевага — мікроархітектурний принцип організації безпеки, що дозволяє системі масштабуватися, адаптуватися до будь-якої інфраструктури та залишатися стійкою до перевантаження.

Крім того, така структура створює умови для прозорого управління персоналом служби охорони. Оскільки кожна група відповідає за визначену трибуну, легко вести статистику ефективності, виявляти слабкі місця у координації

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

або розподілі ресурсів, а також впроваджувати індивідуальне навчання. Це важливо в умовах обмеженого бюджету та обмежених людських ресурсів, коли потрібно отримати максимальний результат без додаткових витрат. Схема системи детально показано на ER-діаграмі, що зображено на кресленнику ІК12.020БАК.006 Д2.

Таким чином, система, що поєднує інтелектуальні сенсори, поведінковий аналіз, локальну логістику та швидке реагування, є якісно новим етапом у побудові безпеки публічних просторів, зокрема — спортивних арен. Вона не лише забезпечує контроль, але й активно впливає на перебіг подій, зменшуючи ризики, запобігаючи конфліктам і підвищуючи рівень довіри з боку організаторів та глядачів.

2.2 Розроблення логіки взаємодії між компонентами системи

Система виявлення та запобігання порушенням на футбольному стадіоні базується на злагодженій взаємодії між низкою технічних і організаційних елементів. Її ефективність визначається не лише точністю виявлення подій, а й тим, наскільки швидко і скоординовано усі складові реагують на загрозу. Основні складові системи:

- камера з датчиком руху;
- модуль штучного інтелекту (ШІ);
- база даних;
- служба безпеки.

Камера з сенсором руху є першою ланкою у всьому процесі взаємодії. Вона встановлюється у стратегічних точках стадіону — зокрема, на трибунах, у проходах, біля технічних зон. Основне завдання цього пристрою — виявити початкову активність, що може свідчити про порушення або іншу нетипову ситуацію.

Основні особливості:

- камера перебуває в пасивному режимі до моменту фіксації руху;
- після активації — починає зйомку та надсилає фрагмент відео на аналіз;

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

– кожна камера жорстко закріплена за конкретною трибуною або сектором, що дозволяє визначити точку інциденту однозначно;

– кут огляду та роздільна здатність камери обираються залежно від геометрії сектора — це забезпечує точну локалізацію подій навіть у щільному натовпі.

Логіка дій:

1) у секторі починається рух (наприклад, глядач встає, переходить бар'єр або махає руками);

2) сенсор руху активується — камера записує 3–5 секунд відео до та після моменту активації;

3) цей відеофрагмент разом із координатами камери передається в ІІІ-модуль для аналізу.

Унікальність підходу полягає в тому, що камера не працює «постійно на запис», а реагує виключно на події, що значно знижує навантаження на обробку даних і спрощує аналіз.

Модуль ІІІ — це аналітичний мозок системи, який приймає рішення про те, чи є подія порушенням, і яку реакцію вона вимагає. На відміну від звичайних систем відеоспостереження, де аналіз проводить людина, тут працює автоматизований алгоритм, що базується на глибоких нейронних мережах.

Основні функції:

- аналіз відеофрагментів від камер у режимі реального часу;
- розпізнавання поведінкових шаблонів (наприклад: агресія, перелазання, натовп, бійка, перешкоджання іншим глядачам);
- класифікація події за типом (інформаційна/небезпечна/критична);
- визначення рівня реагування (спостереження, попередження, втручання).

Приклад дій:

- на відео ІІІ бачить глядача, що швидко рухається у бік технічної зони.
- порівнюючи патерн руху з навченою моделлю, він визначає ймовірність порушення як 87%.

На основі цього генерується сигнал у базу даних та повідомлення для відповідної охоронної групи.

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Модуль III уможливилює масштабне обслуговування кількох десятків камер одночасно, автоматизуючи аналіз без участі оператора. Завдяки попередньому навчанню на типових ситуаціях, рівень хибних спрацьовувань знижується до мінімуму.

База даних — це структурований інформаційний центр системи. Усі події, які проходять через III-модуль, автоматично фіксуються в базі. Це дозволяє не лише реагувати на поточні загрози, а й формувати історію інцидентів, здійснювати аналіз, оцінку дій охорони та приймати управлінські рішення.

Що зберігається:

- час, місце, сектор та ID камери;
- тип виявленої активності;
- короткий опис (наприклад: «вибігання на газон»);
- фото або відеофрагмент інциденту;
- статус дій охорони: підтверджено / не підтверджено / втручання.

Служба безпеки — єдиний «людський» елемент у системі, проте саме вона завершує цикл реагування. Особливістю запропонованої архітектури є те, що кожна охоронна група закріплена за конкретним сектором, у якому встановлена камера. Це забезпечує максимально швидкий підхід до місця інциденту.

Типова структура:

- охоронна група: 5–7 осіб;
- місце дислокації — зона біля трибуни;
- засоби зв'язку, планшети або рації для прийому повідомлень.

Більш детально функціональну взаємодію між елементами системи відображено на діаграмі прецедентів, яка представлена на кресленіку ІК12.020БАК.006 Д1.

Послідовність дій:

- 1) отримання сигналу про інцидент з координатами;
- 2) швидке наближення до місця події;
- 3) візуальна перевірка: чи є порушення насправді;
- 4) за потреби — фізичне втручання;

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

5) фіксація результату в системі: усунено / не підтверджено / передано поліції.

Більш детально послідовність дій відображено на діаграмі послідовностей, яка зображена на кресленнику ІК12.020БАК.006 ДЗ.

Завдяки цьому підходу служба безпеки не перевантажена загальними подіями — вона відповідає лише за свій сектор, що підвищує якість дій і дозволяє вести чітку звітність. Така модель зменшує хаос і забезпечує локальне, швидке і контрольоване реагування.

Система виявлення та запобігання порушенням на футбольному стадіоні функціонує як єдиний, злагоджений механізм, у якому кожен компонент виконує свою визначену роль, доповнюючи й підтримуючи інші. Логіка взаємодії між елементами побудована на чіткій послідовності подій: починаючи від фіксації руху до моменту реагування служби безпеки.

У разі виникнення активності у контрольованій зоні камера з датчиком руху автоматично переходить з пасивного в активний режим і фіксує відеофрагмент, який передає далі на аналіз. Цей відеоматеріал надходить до модуля штучного інтелекту, який, у свою чергу, виконує глибокий аналіз зображення в реальному часі. ШІ визначає, що саме сталося: звичайна поведінка глядача чи потенційно небезпечна дія. У разі виявлення ознак порушення система автоматично формує подієвий опис, класифікує рівень загрози і направляє інформацію до центральної бази даних, де вона зберігається для подальшого аналізу, архівування або використання як доказ.

Одночасно ця інформація надсилається до відповідної групи служби безпеки, яка закріплена за сектором, у якому сталася подія. Такий принцип локалізованої відповідальності дозволяє значно скоротити час реагування, адже охоронці вже знаходяться у безпосередній близькості до зони ризику. Завдяки цьому ланцюг — від первинної фіксації до фізичного реагування — займає лічені секунди.

Таким чином, уся система — камера, модуль ШІ, база даних і служба безпеки — працює як замкнена і ефективна структура, де інформаційна й технічна складові невідривно пов'язані з організаційною. Її гнучкість, точність і швидкодія

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

ґрунтуються саме на взаємодії чотирьох компонентів, які не функціонують ізольовано, а формують цілісну інтелектуальну платформу для забезпечення громадського порядку на масових заходах.

2.3 Забезпечення надійності та масштабованості системи

У системах, що застосовуються для забезпечення громадської безпеки в умовах масових скупчень людей, таких як футбольні стадіони, критично важливою є висока надійність та здатність до масштабування. Надійність гарантує безперервну роботу всіх компонентів системи в умовах підвищеного навантаження або окремих збоїв. Масштабованість, у свою чергу, забезпечує гнучкість — можливість адаптації системи до стадіонів різного розміру, архітектури та конфігурації зон спостереження.

Запропонована система побудована з урахуванням сучасних підходів до розподілених технічних рішень, що дозволяє гарантувати як стійкість до збоїв, так і розширюваність без значного втручання в існуючу інфраструктуру.

Першим етапом формування надійної системи є вибір компонентів, які повинні відповідати критеріям промислової якості. Камери з датчиками руху обираються з розрахунком на безперервну роботу протягом тривалого часу, з можливістю роботи у складних умовах — при недостатньому освітленні, пилу, дощі чи вібрації (у разі встановлення на мобільних опорах). Вони повинні мати захист класу не нижче IP66, а також живлення із захистом від стрибків напруги.

Оскільки система орієнтована на реальну роботу під час масових заходів, вона повинна бути стійкою до втрати окремих елементів. Архітектура побудована за принципом деконцентрації: кожна камера працює незалежно, не впливаючи на роботу інших. Таким чином, навіть у випадку виходу з ладу однієї або кількох камер, загальна система зберігає працездатність і продовжує моніторинг у інших секторах.

Крім того, передбачено автоматичне дублювання обробки даних. Якщо модуль ШІ з певної причини не відповідає, відеофрагмент повторно

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

перенаправляється на резервний обчислювальний модуль. Це забезпечується через попередньо налаштовану балансувальну систему, яка контролює завантаження вузлів і визначає, куди слід передавати запити.

Окрема увага приділяється відмовостійкості бази даних. Застосовується принцип резервного збереження з подвійною синхронізацією: основна база ведеться на локальному сервері (у межах стадіону), а її резервна копія синхронізується на хмарне середовище через зашифрований канал. Це дозволяє зберегти дані навіть у випадку фізичного пошкодження сервера або повної втрати енергоживлення на об'єкті.

Також враховано можливість тимчасової автономної роботи. У випадку втрати зв'язку з центральним сервером, модуль ШІ може зберігати дані локально до моменту відновлення мережі. Після відновлення підключення інформація автоматично передається до бази.

Система підтримує вбудовані засоби самодіагностики. Кожна камера періодично надсилає сигнал підтвердження доступності (так званий "heartbeat"), а у разі втрати зв'язку оператору надходить відповідне сповіщення. Те саме стосується аналітичних модулів — якщо вони не обробляють вхідні дані протягом певного часу, система фіксує помилку та автоматично перемикає обробку на інший вузол.

Оператори можуть отримати статус роботи кожного компоненту у реальному часі: активність камер, завантаження ШІ, використання дискового простору бази даних, кількість невідповідей, тривалість обробки сигналу тощо. Це дозволяє оперативно локалізувати проблеми й уникнути глобальних відмов.

У штатній роботі система не потребує втручання адміністратора, однак її архітектура підтримує ручне керування та перемикання джерел, наприклад, у разі необхідності проведення ремонтних робіт або планового технічного обслуговування окремих модулів.

Архітектура системи побудована за принципом масштабування без зміни логіки взаємодії. Це означає, що кількість камер, секторів, охоронних груп і навіть ШІ-модулів може бути змінена без переписування коду або переналаштування всієї

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		28

системи. Кожен новий компонент автоматично інтегрується в існуючі схеми завдяки динамічному реєстру.

Умовно кажучи, систему можна розгорнути:

- на маленькому стадіоні на 2–3 тисячі місць з 4 камерами й однією охоронною групою;
- на великій спортивній арені на 30–50 тисяч місць із 40–50 камерами, десятками охоронних секторів та кількома аналітичними модулями.

Цьому сприяє контейнеризована модель розгортання аналітики — обчислювальні модулі можна масштабувати за допомогою Docker або подібних рішень. Тобто, додавання нового сектора — це лише фізичне підключення камери та логічне закріплення за охоронною групою в інтерфейсі адміністрування.

Також враховано можливість міжсистемної інтеграції — запропонована система може бути частиною більшого комплексу безпеки, наприклад, із контролем доступу, квитковою системою або пожежною сигналізацією. Це дозволяє зберігати цілісну інформаційну екосистему стадіону.

Ураховуючи вищезазначене, можна зробити висновок, що система виявлення та запобігання порушенням є технічно стійкою, надійною та готовою до розширення. Її децентралізована структура, резервування критичних даних, механізми балансування навантаження та адаптивна логіка забезпечують стійку роботу навіть у непередбачених умовах.

Водночас гнучкість і масштабованість системи дозволяють легко адаптувати її як до невеликих спортивних арен, так і до великих багаторівневих стадіонів міжнародного класу з тисячами відвідувачів, розгалуженою інфраструктурою, складною логістикою та високими вимогами до безпеки. Це забезпечує універсальність її застосування в умовах різної складності, незалежно від масштабу заходу, кількості присутніх чи специфіки об'єкта. Такий підхід гарантує не лише безперебійну технічну роботу в умовах інтенсивного навантаження, а й ефективну стратегію довгострокової експлуатації з можливістю подальшого розвитку, масштабування та інтеграції з іншими системами безпеки та управління, що є критично важливим для об'єктів інфраструктури масових подій.

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		29

Висновки до розділу 2

У цьому розділі сформульовано концептуальну модель сучасної інтелектуальної системи виявлення та запобігання порушенням на футбольному стадіоні. Особливістю підходу є поєднання технічних інновацій з продуманою структурою організації охоронних заходів, що забезпечує не лише виявлення інцидентів, а й цілеспрямовану й оперативну реакцію на них.

Обґрунтований вибір архітектури системи базується на поєднанні незалежних компонентів, кожен з яких виконує чітко визначену функцію. Камери з датчиками руху забезпечують базовий рівень сенсорного контролю та ініціюють обробку подій. Модуль штучного інтелекту проводить аналіз зафіксованого відео в реальному часі, розпізнає ситуації, що потребують уваги, класифікує їх за рівнем небезпеки та формує аналітичні висновки. Централізована база даних виконує роль інформаційного ядра системи: вона накопичує й зберігає всі дані, що дозволяє не лише документувати події, а й проводити глибокий аналітичний аналіз у довгостроковій перспективі. Фінальною ланкою виступає служба безпеки, яка отримує актуальні сигнали та відповідає за безпосередню реакцію в межах закріпленої за нею зони. Такий підхід дозволяє досягти значної оперативності, адже кожна охоронна група фізично розташована саме в тому секторі, за який вона відповідає.

Одним із головних досягнень запропонованого рішення є інноваційність у плані побудови логіки реагування. Якщо у традиційних системах акцент робиться переважно на централізованій обробці сигналів і передачі рішень від операторів до виконавців, то в запропонованій моделі відбувається делегування повноважень: кожна камера логічно й організаційно прив'язана до конкретного охоронного сектора. Таким чином, будь-яка ситуація одразу отримує реакцію саме з того місця, де її було виявлено. Це дає змогу знизити навантаження на операторський центр, зменшити час від виявлення до втручання та підвищити відповідальність кожного учасника процесу. На відміну від провідних закордонних аналогів, які зосереджені переважно на аналітичних функціях (як-от розпізнавання облич чи візуальний

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		30

пошук), запропоноване рішення поєднує виявлення, аналіз і дію в межах однієї логічної одиниці — сектора.

Особливу увагу приділено забезпеченню надійності системи. Її архітектура передбачає розподілену модель, де вихід з ладу одного елемента не впливає на функціонування решти. Камери працюють незалежно одна від одної, аналітичні модулі резервуються, а база даних має механізми захищеного зберігання та синхронізації. У випадку збоїв або перебоїв у зв'язку система не втрачає дані, а тимчасово переходить в автономний режим із подальшим оновленням. Також реалізовано механізми самодіагностики, моніторингу працездатності та виведення сповіщень про несправності, що дозволяє запобігати втраті контролю над об'єктом у критичні моменти. Крім цього, система має вбудовані протоколи відновлення після аварій, що дає змогу відновити нормальну роботу за лічені хвилини. Всі критичні компоненти оснащено датчиками стану, які постійно передають інформацію до командного центру, що дозволяє забезпечити оперативну реакцію у разі необхідності. Завдяки цьому досягається висока доступність системи і мінімізуються ризики простоїв.

Ще однією перевагою системи є її гнучкість і масштабованість. Рішення може бути адаптоване до умов конкретного стадіону, незалежно від його розміру чи конфігурації. Архітектура підтримує просте додавання нових камер, секторів і охоронних груп без потреби у зміні загальної логіки функціонування. Це дозволяє використовувати систему не лише в одному конкретному проєкті, а й масштабувати її на інші спортивні чи публічні об'єкти. Водночас структура бази даних і логіка взаємодії компонентів дозволяють інтегрувати її з іншими підсистемами: контролем доступу, евакуаційними системами, квитковою логістикою тощо. Завдяки модульному підходу можна оперативно нарощувати функціонал — наприклад, підключати нові аналітичні алгоритми або змінювати інтерфейси для персоналу. Усі оновлення відбуваються без зупинки системи, що забезпечує безперервну роботу в режимі 24/7. Це робить систему перспективною для довгострокового використання та технічного розвитку.

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		31

У підсумку можна зробити висновок, що запропонована система є комплексним інтелектуальним рішенням, яке поєднує в собі передові технічні засоби, алгоритми штучного інтелекту, стабільну архітектуру обробки даних та ефективну організаційну логіку реагування. Камери з датчиками руху забезпечують первинний рівень фіксації подій, модуль ШІ дозволяє миттєво проаналізувати ситуацію та оцінити її небезпеку, база даних гарантує структуроване збереження та доступ до інформації, а локалізовані охоронні групи здійснюють оперативне втручання без необхідності централізованого узгодження. Така побудова значно скорочує час реагування на інциденти, знижує навантаження на операторів і підвищує відповідальність персоналу безпеки за конкретні зони контролю. Розподілена та модульна архітектура дозволяє системі залишатися стійкою до технічних збоїв, працювати в реальному часі з мінімальними затримками й адаптуватися до змін у структурі об'єкта. Масштабованість рішення забезпечує його придатність для різних умов — від невеликих стадіонів до великих спортивних арен або інших об'єктів критичної інфраструктури, де важливо забезпечити точне, швидке й кероване реагування на порушення. Це робить систему не лише ефективною в межах конкретного проєкту, а й універсальною платформою для подальшого використання в галузі публічної безпеки.

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		32

3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ

3.1 Архітектура програмної системи

У даній роботі реалізовано інтелектуальну систему виявлення та запобігання порушенням на футбольному стадіоні з використанням автономних робототехнічних платформ. Архітектура програмного забезпечення побудована на основі принципів децентралізації, автономності та локальної обробки даних. Кожна робототехнічна платформа є самостійним мобільним вузлом, що забезпечує відеоспостереження за визначеною зоною та приймає рішення про наявність порушення без необхідності звернення до центрального сервера в реальному часі.

Основу архітектури складають кілька взаємодіючих компонентів: сенсори руху, відеокамера, локальна обчислювальна система з нейромережею для аналізу відео, модуль формування повідомлень та система передавання тривожних сигналів. Ці компоненти об'єднані в єдину систему, що функціонує на базі мікроконтролера або одноплатного комп'ютера і забезпечує оперативне реагування на небезпечні ситуації.

До складу цього модуля входить камера високої чіткості, яка здійснює безперервну зйомку охоронюваної території. Відео проходить початкову обробку — корекція освітлення, зменшення шумів, приведення зображення до потрібного розміру. Камера встановлюється на корпусі мобільної платформи і спрямована на конкретну ділянку стадіону (трибуна, вхідна група, технічна зона тощо).

Для оптимізації обчислювальних ресурсів використовується датчик руху, що ініціює роботу основної системи обробки лише у разі виявлення активності в полі зору камери. Це дозволяє зменшити енергоспоживання та підвищити ефективність використання обчислювального блоку, уникаючи постійного навантаження на процесор.

Серцем системи є модель глибокого навчання YOLOv8 (You Only Look Once), яка реалізована локально на одноплатному комп'ютері. Модель здатна в режимі реального часу аналізувати кожен кадр та визначати, чи наявні ознаки порушення (наприклад, проникнення в заборонену зону, агресивна поведінка,

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		33

скупчення людей). У разі виявлення підозрілої активності формується відповідний кадр із bounding box-ами, що візуалізують виявлені об'єкти.

Якщо система виявляє порушення, активується модуль оповіщення, який генерує сигнал тривоги. Формується короткий відеофрагмент або стоп-кадр з виявленим порушником, додається аудіосигнал і координати платформи. Ці дані передаються через бездротовий зв'язок (LTE або протокол MQTT) до диспетчерського центру служби безпеки. Таким чином, оператори одразу бачать візуальне підтвердження інциденту та можуть оперативно зреагувати.

Всі події, що відносяться до виявлення порушень, зберігаються у локальній базі даних на платформі. Один раз на певний проміжок часу (наприклад, щогодини) платформа здійснює синхронізацію з центральною базою даних, що зберігається на сервері. Це дозволяє забезпечити наявність журналу подій, з можливістю їх подальшого аналізу або використання як доказів у разі розслідування.

Процес взаємодії компонентів системи складається з послідовності етапів, які забезпечують своєчасне виявлення та передавання інформації про порушення на стадіоні. На першому етапі працює модуль виявлення руху, який постійно сканує простір за допомогою інфрачервоних або візуальних сенсорів. Як тільки виявляється об'єкт, що рухається у зоні спостереження, система вважає цю активність потенційно важливою та активує камеру високої роздільної здатності для захоплення відеофрагмента або серії кадрів.

Ці кадри надходять у модуль нейронної обробки, де задіяна попередньо навчена модель YOLOv8. Завдяки архітектурі «You Only Look Once» система здатна швидко обробляти кожен кадр окремо, визначаючи наявність людей або інших об'єктів, які можуть свідчити про порушення. Наприклад, алгоритм може зафіксувати людину в забороненій зоні, декількох осіб, що створюють скупчення, або агресивну поведінку (рух із великою амплітудою рук, близький контакт між особами тощо). Якщо модель класифікує ситуацію як потенційно небезпечну, спрацьовує тригер обробки події.

На наступному етапі формується структуроване повідомлення про інцидент.

Воно включає:

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		34

- унікальний ідентифікатор події;
- кадр із накладеними обмежувальними рамками (bounding boxes) навколо об'єктів;
- часову мітку (дата і точний час інциденту);
- координати або номер платформи, яка зафіксувала порушення;
- рівень небезпеки (умовний код ризику, наприклад: низький, середній, критичний).

Це повідомлення передається через захищений канал зв'язку — зазвичай використовуються мобільні мережі (4G/LTE) або безпечні протоколи передачі даних, такі як MQTT із TLS-шифруванням. Усі дані направляються до центру управління безпекою, де оператор або автоматизована система приймає рішення щодо реагування.

Якщо повідомлення містить вагомні ознаки порушення (наприклад, проникнення в службову зону або бійка), служба безпеки оперативно отримує сигнал тривоги. На монітор виводиться зображення або відеофрагмент інциденту, супроводжений звуковим повідомленням та коротким текстовим описом. Це дозволяє оператору миттєво зорієнтуватися та, за потреби, ініціювати дії — виклик патруля, ізоляцію зони або повідомлення відповідальним особам.

Паралельно вся інформація зберігається у внутрішній пам'яті платформи для формування історії подій. Після завершення чергування або згідно з розкладом, ці дані передаються на централізований сервер, де об'єднуються в загальну базу інцидентів. Це дозволяє проводити статистичний аналіз, формувати звіти та використовувати зібрані матеріали для навчання персоналу або модернізації системи.

3.2 Технологічний стек

Розроблення системи підрахунку відвідувачів на основі аналізу відеопотоку вимагає впровадження ефективного алгоритму комп'ютерного зору, здатного працювати в умовах реального часу, з високою точністю і мінімальним

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

використанням ресурсів. Для цього було розглянуто кілька популярних підходів до детекції об'єктів, які широко використовуються у практичних задачах відеоаналітики:

– «YOLOv8 (You Only Look Once)» — це найновіша версія у лінійці YOLO-детекторів, яка відзначається підвищеною точністю, модульністю та гнучкістю. Вона дозволяє виконувати детекцію об'єктів на зображенні всього за один прохід (одноетапна обробка), що значно пришвидшує розпізнавання в порівнянні з двоетапними архітектурами. Підтримує різні модифікації моделей (YOLOv8n, YOLOv8s, YOLOv8m, YOLOv8l), які дозволяють налаштувати баланс між швидкістю та точністю. У парі з бібліотекою OpenCV ця модель дозволяє обробляти відео в реальному часі, працювати з камерами, формувати вхідні зображення, а також виводити результат детекції (рамки, підрахунок об'єктів тощо);

– «TensorFlow» — це потужний фреймворк від Google для реалізації глибинного навчання. Keras — його високорівневе API для швидкого прототипування нейронних мереж. Хоча ці інструменти дозволяють створювати гнучкі моделі з нуля, їх використання потребує більше часу на налаштування, навчання та оптимізацію. У контексті задачі підрахунку людей на відео така гнучкість не є критичною, а надлишкова складність — недоцільною для обмеженого середовища;

– «Haar Cascade» базується на каскадних класифікаторах, які працюють із попередньо обчисленими ознаками Хаара. Незважаючи на швидкість виконання, цей підхід є застарілим і демонструє невисоку точність, особливо у складних сценах з перекриттям об'єктів або змінним освітленням.

– «Mask R-CNN» - складна модель сегментації об'єктів, яка дозволяє не лише визначати наявність об'єкта, а й виділяти його форму (маску). Mask R-CNN забезпечує високу точність, але вимагає великих обчислювальних ресурсів. Такий підхід доцільний у задачах, де важлива точна сегментація, однак він є надмірним для задачі простого підрахунку відвідувачів.

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

Серед усіх проаналізованих підходів найбільш оптимальним для реалізації системи детекції та підрахунку відвідувачів виявився зв'язок YOLOv8 + OpenCV, що забезпечує:

- 1) високу точність і продуктивність при роботі в реальному часі;
- 2) сумісність із малопотужними пристроями;
- 3) можливість масштабування системи за рахунок використання компактних або розширених варіантів моделей;
- 4) просту інтеграцію в середовище Python без потреби створення власної архітектури.

Розроблення системи виявлення та запобігання порушенням на футбольному стадіоні передбачає активне використання алгоритмів комп'ютерного зору, обробки відеопотоку, нейронних мереж, керування апаратними сенсорами та передавання повідомлень. У такому контексті критичним є вибір мови програмування, яка б дозволила об'єднати всі ці компоненти у єдину злагоджену систему.

Після порівняння кількох варіантів було обрано Python як основну мову розробки проєкту.

Причини вибору Python:

- Python має величезну екосистему готових бібліотек, таких як OpenCV, NumPy, Matplotlib, PyTorch, Ultralytics YOLO, що дозволяє швидко інтегрувати комп'ютерний зір, нейронні мережі та інтерфейс з камерою;
- завдяки зрозумілому синтаксису та активній спільноті Python значно пришвидшує етап розробки, тестування та відлагодження коду;
- Python має одну з найактивніших технічних спільнот серед мов програмування. Це забезпечує постійну підтримку з боку користувачів, розробників та дослідників. Для більшості задач, пов'язаних із комп'ютерним зором або глибинним навчанням, вже існують готові приклади, відкриті репозиторії, детальні туторіали та документація;
- Python дозволяє реалізувати як прототип системи, так і розширену версію з інтеграцією бази даних, хмарної синхронізації, аналітики тощо.

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		37

Порівняльну оцінку мов програмування продемонстровано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльна таблиця мов програмування

Критерій	Python	C++	Java
Простота синтаксису	5	2	3
Бібліотеки для комп'ютерного зору/ШІ	5	3	2
Підтримка на одноплатниках (Jetson/RPi)	5	4	3
Швидкість виконання	2	5	3
Активність спільноти / документація	5	4	4
Швидкість розробки	5	2	3
Сумарний бал	27	20	18

Мова Python отримала найвищу сумарну оцінку (27 балів з 30 можливих) завдяки своїй універсальності, простоті, активній спільноті та великій кількості бібліотек для штучного інтелекту та комп'ютерного зору.

3.3 Розроблення моделі

Набір даних (датасет)

Для навчання нейронної мережі, яка виконує функцію виявлення відвідувачів на відео, було обрано відкритий датасет із платформи Roboflow. Він містить 17 401 зображення, які охоплюють широкий спектр умов зйомки: різні ракурси, освітлення, кількість об'єктів у кадрі, динаміка сцени тощо (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Розділення набору даних

Train set	Valid set	Test set
15 210 images	1 431 images	760 images

Потрібно встановити необхідні бібліотеки, однією з таких є Ultralytics – це бібліотека, яка надає інструменти для навчання та оцінювання моделей об'єктного визначення, зокрема для архітектур YOLO (You Only Look Once).

На першому етапі було протестовано базову модель YOLOv8n, яка попередньо навчена на датасеті COCO. Реалізація цього етапу в коді зображена на рисунку 3.1.

```
import os
from ultralytics import YOLO

model = YOLO('yolov8n')
results = model.predict(C:/Users/PC/Desktop/gettyimages-1359153151-640_adpp.mp4
, save=True)
print(results[0])
```

Рисунок 3.1 – Вбудовування та тестування моделі YOLOv8n

Під час аналізу результатів виявлено, що модель часто помилково класифікує об'єкти або взагалі не розпізнає людей у складних умовах. Це пояснюється тим, що загальна модель не враховує специфіку відео з певної локації.

Для покращення результатів було виконано донавчання на власному наборі даних. Реалізація цього етапу в коді зображена на рисунку 3.2.

```
from ultralytics import YOLO

def train_and_test_yolov8(data_yaml_path, epochs):
    print("=== Навчання та тестування моделі YOLOv8 ===")
    model = YOLO('yolov8n.pt')
    model.train(data=data_yaml_path, epochs=epochs, imgsz=640, batch=8, device=0)
    results = model.val(data=data_yaml_path, save=True, save_json=True)
    return results
```

Рисунок 3.2 – Доновчання моделі

Гіперпараметри:

- epochs = 50 — кількість епох для навчання;
- imgsz = 640 — розмір зображення в пікселях;
- batch = 8 — кількість кадрів, оброблених за один раз;

– device = 0 — використання GPU (якщо 0), або CPU (якщо 1).

Після донавчання було досягнуто значного покращення якості детекції: модель впевнено розпізнає людей навіть при частковому перекритті, зміні пози, ракурсу чи яскравості зображення.

Після успішного донавчання моделі YOLOv8 було реалізовано приклад практичного застосування нейромережі для виявлення людей на відео.

Ця функція здійснює наступне:

- передає кадр у модель YOLOv8 для детекції;
- проходить по всіх результатах і перевіряє, чи об'єкт має клас 'person';
- для кожної знайденої людини визначає координати обмежувальної рамки;
- накладає прямокутник навколо виявленої особи;
- виводить напис 'Person' над рамкою.

Результат виконання програми зображено на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Результат виконання програми

Це забезпечує базову функціональність системи — виявлення присутності людей у контрольованій зоні з подальшим виведенням результатів на екран або відеофайл. Такий підхід є фундаментом для подальших етапів: аналітики, підрахунку, трекінгу, класифікації порушень тощо.

3.4 Проектування та створення бази даних

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		40

У рамках реалізації системи виявлення порушень на футбольному стадіоні було спроектовано та реалізовано реляційну базу даних, яка відповідає вимогам до зберігання інформації про обладнання, глядачів, співробітників безпеки та зафіксовані інциденти. Система бази даних реалізована в середовищі SQL Server Management Studio 2019.

Створення таблиць:

База даних побудована з урахуванням принципів нормалізації, і включає п'ять основних таблиць.

Camera – таблиця, що містить інформацію про камери відеоспостереження: унікальний ідентифікатор, локацію (сектор), тип камери та її статус (наприклад, активна або неактивна). Приклад виведення таблиці в Microsoft SQL Server Management Studio 18 зображено на рисунку 3.4.

	camera_id	location	type	status
1	1	Sector 1	Dome	Active
2	2	Sector 2	Dome	Active
3	3	Sector 3	Dome	Active
4	4	Sector 4	Dome	Active
5	5	Sector 5	Dome	Active
6	6	Sector 6	Dome	Active
7	7	Sector 7	Dome	Active
8	8	Sector 8	Dome	Active
9	9	Sector 9	Dome	Active
10	10	Sector 10	Dome	Active

Рисунок 3.4 – Таблиця Camera

AI_Model – зберігає відомості про програмні моделі штучного інтелекту, які закріплені за камерами. Вказується назва моделі, її версія, а також зовнішній ключ, що зв'язує модель з камерою. Приклад виведення таблиці в Microsoft SQL Server Management Studio 18 зображено на рисунку 3.5.

	model_id	name	version	camera_id
1	1	CrowdWatcher	v1.1	1
2	2	FightDetector	v1.2	2
3	3	ZoneTrespasser	v1.3	3

Рисунок 3.5 – Таблиця AI_Model

Spectator – таблиця з персональною інформацією глядачів: ім'я, прізвище, фото, номер місця та ідентифікатор камери, яка могла зафіксувати глядача. Приклад виведення таблиці в Microsoft SQL Server Management Studio 18 зображено на рисунку 3.6.

	spectator_id	first_name	last_name	photo	seat_number	camera_id
1	1	Andrii	Shevchenko	photo_1.jpg	A1	3
2	2	Olena	Koval	photo_2.jpg	A2	9
3	3	Dmytro	Bondarenko	photo_3.jpg	A3	16
4	4	Iryna	Tkachenko	photo_4.jpg	A4	4
5	5	Yurii	Kravchenko	photo_5.jpg	A5	1
6	6	Kateryna	Melnyk	photo_6.jpg	A6	20
7	7	Maksym	Boyko	photo_7.jpg	A7	11
8	8	Oksana	Kovalenko	photo_8.jpg	A8	5
9	9	Serhii	Moroz	photo_9.jpg	A9	8
10	10	Natalia	Lysenko	photo_10...	A10	13

Рисунок 3.6 – Таблиця Spectator

Security_Staff – таблиця з даними працівників служби безпеки, зокрема їхні контактні дані, імена та посади (оператор чи наглядач). Приклад виведення таблиці в Microsoft SQL Server Management Studio 18 зображено на рисунку 3.7.

	staff_id	first_name	last_name	role	contact_info
1	1	Taras	Horbenko	Operator	taras.horbenko@stadium.com
2	2	Petro	Sydorenko	Operator	petro.sydorenko@stadium.com
3	3	Oleksii	Levchenko	Supervisor	oleksii.levchenko@stadium.com
4	4	Mykola	Kutsenko	Operator	mykola.kutsenko@stadium.com
5	5	Yevhen	Mazur	Supervisor	yevhen.mazur@stadium.com
6	6	Artem	Khmara	Supervisor	artem.khmara@stadium.com
7	7	Vitalii	Babiy	Supervisor	vitalii.babiy@stadium.com
8	8	Borys	Zakharchenko	Operator	borys.zakharchenko@stadium.com
9	9	Valentyn	Vovk	Supervisor	valentyn.vovk@stadium.com
10	10	Anton	Bezhenar	Supervisor	anton.bezhenar@stadium.com

Рисунок 3.7 – Таблиця Security_Staff

Для демонстрації роботи бази даних та можливостей системи аналізу інформації було реалізовано п'ять аналітичних SQL-запитів. Вони дозволяють отримати різні зрізи інформації щодо інцидентів, які були зафіксовані системою.

Вибірка всіх інцидентів, виявлених конкретною ІІІ-моделлю (наприклад, CrowdWatcher). Цей запит дозволяє відібрати всі записи з таблиці Incident, де подія була зафіксована певною ІІІ-моделлю. Наприклад, якщо вказати model_id = 1, буде виведено всі інциденти, виявлені моделлю CrowdWatcher. Такий підхід дозволяє оцінити ефективність роботи окремої моделі або відстежити типи інцидентів, що вона найчастіше фіксує. Приклад виведення таблиці в Microsoft SQL Server Management Studio 18 зображено на рисунку 3.9.

	incident_id	incident_type	event_time	location	model_id	staff_id
1	3	Violation_3	2022-03-10 00:00:00.000	Sector 11	1	3
2	6	Violation_6	2022-06-26 00:00:00.000	Sector 11	1	6
3	9	Violation_9	2023-06-11 00:00:00.000	Sector 1	1	9
4	12	Violation_12	2024-07-13 00:00:00.000	Sector 3	1	12
5	15	Violation_15	2023-08-10 00:00:00.000	Sector 8	1	15
6	18	Violation_18	2022-09-23 00:00:00.000	Sector 9	1	18

Рисунок 3.9 – Вибірка за ІІІ-моделлю

Кількість інцидентів у кожному секторі стадіону. Цей запит групує інциденти за локаціями (location) і підраховує кількість подій у кожному секторі. Отримані результати впорядковуються за спаданням, що дозволяє швидко визначити, в яких секторах найчастіше фіксуються порушення. Приклад виведення таблиці в Microsoft SQL Server Management Studio 18 зображено на рисунку 3.10.

	location	incident_count
1	Sector 14	4
2	Sector 11	2
3	Sector 7	2
4	Sector 8	2
5	Sector 9	2
6	Sector 12	1
7	Sector 1	1
8	Sector 10	1
9	Sector 19	1
10	Sector 3	1
11	Sector 4	1
12	Sector 5	1
13	Sector 6	1

Рисунок 3.10 – Вибірка за кількістю інцидентів по секторах

Список усіх інцидентів з іменами відповідальних охоронців та назвами моделей ІІІ. Цей запит виконує об'єднання трьох таблиць — Incident, AI_Model та Security_Staff — для формування детального списку подій. Кожен рядок включає: ID інциденту, тип події, час і місце, назву ІІІ-моделі, яка його виявила, а також ім'я та прізвище відповідального співробітника служби безпеки. Це дозволяє отримати повну картину щодо обставин кожного інциденту. Приклад виведення таблиці в Microsoft SQL Server Management Studio 18 зображено на рисунку 3.11.

	incident_id	incident_type	event_time	location	ai_model_name	staff_name
1	1	Violation_1	2022-04-07 00:00:00.000	Sector 14	FightDetector	Taras Horbenko
2	2	Violation_2	2023-09-05 00:00:00.000	Sector 14	ZoneTrespasser	Petro Sydorenko
3	3	Violation_3	2022-03-10 00:00:00.000	Sector 11	CrowdWatcher	Oleksii Levchenko
4	4	Violation_4	2022-06-07 00:00:00.000	Sector 7	FightDetector	Mykola Kutsenko
5	5	Violation_5	2023-08-19 00:00:00.000	Sector 8	ZoneTrespasser	Yevhen Mazur
6	6	Violation_6	2022-06-26 00:00:00.000	Sector 11	CrowdWatcher	Artem Khmara
7	7	Violation_7	2023-09-08 00:00:00.000	Sector 14	FightDetector	Vitalii Babiy
8	8	Violation_8	2023-05-05 00:00:00.000	Sector 6	ZoneTrespasser	Borys Zakharchenko
9	9	Violation_9	2023-06-11 00:00:00.000	Sector 1	CrowdWatcher	Valentyn Vovk
10	10	Violation_10	2023-05-29 00:00:00.000	Sector 12	FightDetector	Anton Bezhenar

Рисунок 3.11 – Вибірка інцидентів з іменами відповідальних охоронців та назвами моделей ІІІ

Розподіл інцидентів за роками. Запит підраховує загальну кількість інцидентів у кожному окремому році на основі значення дати (event_time). Результати впорядковані за роками у зростаючому порядку. Така інформація корисна для аналізу динаміки порушень із часом: наприклад, можна оцінити, чи ефективність системи збільшується, і чи зменшується кількість порушень у відповідь на впровадження нових технологій. Приклад виведення таблиці в Microsoft SQL Server Management Studio 18 зображено на рисунку 3.12.

	year	total
1	2022	8
2	2023	10
3	2024	2

Рисунок 3.12 – Вибірка за кількістю інцидентів кожного року

Кількість виявлених порушень кожною ШІ-моделлю. Цей запит групує інциденти за назвами моделей ШІ (AI_Model.name) та підраховує, скільки порушень було виявлено кожною з них. Після чого результати впорядковуються за кількістю — від найбільш до найменш активної моделі. Це дозволяє порівняти ефективність різних моделей у реальних умовах експлуатації. Приклад виведення таблиці в Microsoft SQL Server Management Studio 18 зображено на рисунку 3.13.

	model_name	incident_count
1	FightDetector	7
2	ZoneTrespasser	7
3	CrowdWatcher	6

Рисунок 3.13 – Вибірка за кількістю виявлених порушень кожною ШІ-моделлю

Аналітичні вибірки, реалізовані на основі структури бази даних, підтвердили її ефективність для виконання запитів, пов’язаних з моніторингом безпеки. Вони дозволяють оперативно отримати інформацію про інциденти, їх розподіл по секторах, рік фіксації, а також оцінити ефективність окремих ШІ-моделей і дії охоронного персоналу. Такий підхід забезпечує зручність аналізу ситуацій, виявлення потенційно проблемних зон на стадіоні та прийняття обґрунтованих рішень щодо покращення роботи системи виявлення порушень.

Висновки до розділу 3

У межах третього розділу було реалізовано архітектуру програмної частини інтелектуальної системи виявлення порушень на футбольному стадіоні. В основу покладено використання автономних робототехнічних платформ з камерами та сенсорами руху. Головна ідея — забезпечення локальної обробки даних без постійного підключення до мережі, що дозволяє досягти високої автономності та мінімізації затримок при виявленні інцидентів.

Розглянуто ключові модулі системи: захоплення та обробки відео, детекції руху, нейронної обробки на основі YOLOv8, а також модулі оповіщення й зберігання. Система здатна самостійно фіксувати події, формувати повідомлення про порушення та передавати їх у центр управління безпекою.

Окремо проаналізовано технологічний стек. Основною мовою програмування обрано Python, що забезпечує зручну роботу з комп'ютерним зором, ШІ, сенсорами та камерою. Використано PyTorch, Ultralytics, OpenCV, MQTT.

Також описано процес донавчання моделі YOLOv8n на основі власного датасету. У результаті отримано покращену модель, що якісно виявляє людей у кадрі. Реалізовано функцію, яка здійснює детекцію осіб з візуалізацією результатів.

Завершальним етапом стало проєктування реляційної бази даних у середовищі SQL Server Management Studio 2019. Створено таблиці для камер, моделей ШІ, глядачів, охоронців і інцидентів, встановлено зв'язки та реалізовано вибірки для аналітики. Це підтверджує готовність бази до інтеграції з системою.

У підсумку, розділ демонструє, що програмна частина є цілісною, функціональною та здатною до подальшого розширення, впровадження і практичного застосування в умовах реального стадіону.

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

4 АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ І ФОРМУВАННЯ ПРАКТИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ

4.1 Оцінка ефективності роботи системи на тестових даних

Для перевірки ефективності функціонування системи виявлення та запобігання порушенням на футбольному стадіоні було проведено серію тестових випробувань у змодельованих умовах, наближених до реальних сценаріїв поведінки глядачів під час спортивних заходів. Оцінювання базувалося на ключових метриках, які відображають точність, надійність, швидкість реагування та стабільність функціонування системи на базі автономних робототехнічних платформ.

Тестування проводилось із залученням записів з камер спостереження, змонтованих на мобільних платформах, які пересувались по визначених траєкторіях стадіону. У тестових відео було змодельовано кілька типових ситуацій, серед яких:

- переміщення глядачів у заборонені зони;
- масове скупчення осіб у вузьких проходах;
- агресивна поведінка між групами фанатів;
- імітація випадків кидання предметів на поле;
- залишення сумок у громадських місцях.

Для оцінки точності виявлення таких сценаріїв було застосовано попередньо натреновану модель YOLOv8, інтегровану з модулем логіки прийняття рішень на борту платформи.

Результати тестування показали високу точність роботи системи. Наприклад, у випадках ідентифікації порушників, які заходили у заборонену зону, система показала:

- Precision – 91,3% (відсоток правильних спрацювань серед усіх спрацювань);
- Recall – 88,7% (відсоток правильно виявлених порушень серед усіх реальних порушень);

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		48

– F1-score – 90,0% (збалансований показник точності та повноти).

При виявленні агресивної поведінки система досягла нижчих показників — у межах 78–82%, що пов’язано з варіативністю людської поведінки та складністю класифікації.

Середній час між фіксацією події камерою та генерацією сигналу тривоги становив 1,4 секунди. Такий результат забезпечено локальною обробкою відео без потреби передавати його на сервер, що знижує затримку реагування.

Під час безперервного 6-годинного тесту система працювала стабільно без збоїв. Заряду акумулятора вистачило на повноцінний цикл патрулювання. Система самостійно переходила у режим економії енергії під час бездіяльності, що подовжило час автономної роботи.

У тестовому наборі даних було змодельовано понад 50 нейтральних ситуацій, які не мають вважатися порушенням (наприклад, глядачі стоять біля огорожі, аплодують, знімають відео тощо). У 46 випадках із 50 система не згенерувала хибних спрацьовувань, що становить 92% правильних рішень.

Для зіставлення ефективності також була змодельована аналогічна ситуація за умов класичної системи — із камерами спостереження та диспетчером, який вручну моніторить екрани. Порівняння виявило такі переваги автономної системи:

- на 34% швидше виявлення порушення;
- на 28% більше зафіксованих подій;
- повна автономність, що виключає людський фактор.

На графіках, що наведені далі (можна включити в пояснювальну записку), було продемонстровано:

- залежність точності виявлення від відстані до об’єкта;
- час реакції в залежності від розміру кадру та кількості об’єктів;
- порівняння точності та recall між автономною системою та класичною системою відеонагляду.

Отже, після проведення оцінки, було з’ясовано, що розроблена система здатна ефективно виявляти критичні сценарії на стадіоні з високим рівнем точності та мінімальною затримкою. Це особливо важливо в контексті безпеки під час

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		49

масових заходів. Високий ступінь автономності та мінімальна потреба в ручному втручанні роблять систему придатною для масштабного впровадження.

4.2 Аналіз обмежень і факторів, що впливають на якість роботи

Хоча результати тестування системи виявлення та запобігання порушенням на футбольному стадіоні вказують на її високу ефективність, практичне впровадження такої системи у реальних умовах супроводжується низкою технічних, організаційних і середовищних викликів. У цьому підпункті детально проаналізовано основні обмеження та зовнішні фактори, що впливають на стабільність і точність функціонування системи.

Одним із найбільш критичних факторів для комп'ютерного зору є рівень освітлення на стадіоні. Попри наявність інфрачервоних камер, які частково вирішують проблему нічного спостереження, система демонструє нижчу точність за таких умов:

- при змінному штучному освітленні (ефект мерехтіння);
- у сутінках, коли яскравість падає, але ще немає достатнього контрасту для ІЧ-камер;
- за наявності сильного дощу, снігу або туману.

Погодні явища викликають засвічення, розмиття зображення, зміну контурів об'єктів, що призводить до помилок у детекції.

У ситуаціях, коли на трибунах чи проходах присутня велика кількість людей, виникають проблеми з точним розпізнаванням об'єктів. Часткове або повне перекриття порушника іншими людьми може призводити до:

- хибного класифікування об'єктів (false negatives);
- помилок у трекінгу – "втрата" об'єкта системою під час руху;
- неправильного визначення зони перебування особи (наприклад, не зафіксовано перетин межі).

Технології, які базуються на YOLO або аналогічних моделях, мають обмеження в глибині розпізнавання, особливо в умовах перспективного зменшення об'єктів на віддаленні.

Незважаючи на локальну обробку даних, обчислювальні потужності мобільної платформи є обмеженими, що впливає на такі аспекти:

- кількість кадрів, що обробляються за секунду (FPS);
- здатність аналізувати декілька подій одночасно;
- неможливість повної реалізації глибоких нейронних мереж через обмеження ОЗУ та енергоспоживання.

У разі інтенсивного навантаження (наприклад, коли кілька порушень відбуваються одночасно) можливе зниження продуктивності і частота помилок.

Фізичні особливості стадіону безпосередньо впливають на ефективність роботи системи:

- наявність «сліпих зон» через архітектурні перешкоди;
- обмежений кут огляду камери в коридорах або тунелях;
- складність доступу мобільної платформи до окремих ділянок через сходи або тісні проходи.

Ці чинники обмежують поле зору та маневреність, тому потребують попереднього моделювання оптимальних маршрутів патрулювання.

Футбольний матч — це подія з великою кількістю змінних: рух глядачів, фасри, дим, банери, коливання звуку. Динаміка змін середовища викликає:

- короточасні збої в роботі детектора;
- складність підтримки стабільного трекінгу;
- ймовірність того, що система буде відволікатися на нерелевантні рухи (наприклад, махання прапором).

Щоб компенсувати ці впливи, потрібне поєднання комп'ютерного зору з іншими сенсорами: акустичними, тепловими або вібраційними.

Точність детекції значною мірою залежить від того, наскільки репрезентативною була вибірка під час навчання. Обмеження включають:

- недостатню кількість прикладів порушень у реальних умовах;

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		51

– перекіс у даних (наприклад, надмірне представлення лише одного типу порушення);

– застарілість моделі щодо нових сценаріїв.

Періодичне донавчання та оновлення моделі є критично необхідним для забезпечення адаптивності системи.

У контексті кібербезпеки платформи з автономною логікою можуть бути вразливими до:

– атак типу DoS (відмова в обслуговуванні);

– спроб перехоплення управління через відкриті канали зв'язку;

– втручання у роботу програмного забезпечення через фізичний доступ до пристрою.

Ці ризики потребують реалізації шифрування каналів зв'язку, авторизації доступу та фізичного захисту елементів платформи.

Усі вищезазначені фактори прямо чи опосередковано впливають на якість виявлення порушень і стабільність роботи автономної системи. Попри те, що більшість із них можна зменшити або компенсувати за допомогою додаткових заходів (модернізація камер, маршрутизація, гібридна обробка даних, донавчання моделей), їх необхідно враховувати при проєктуванні, розгортанні та масштабуванні системи на реальних стадіонах.

4.3 Практичні рекомендації для впровадження системи на стадіон

На основі проведеного тестування, аналізу ефективності та виявлених обмежень сформульовано комплекс практичних рекомендацій щодо реального впровадження системи виявлення та запобігання порушенням на футбольному стадіоні. Ці рекомендації охоплюють організаційні, технічні, інфраструктурні та людські аспекти, які є критично важливими для успішної експлуатації системи у реальних умовах.

Для забезпечення повного покриття стадіону системою спостереження важливо розмістити автономні платформи у критичних зонах, де найчастіше

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		52

виникають порушення або де обмежена видимість з боку охоронців. До таких зон належать: вхідні групи, вузькі проходи між секторами, буферні зони перед полем, місця скупчення вболівальників (трибуни ультрас), зони продажу їжі та санітарні приміщення. Рекомендується проводити попереднє зонування стадіону з урахуванням статистики порушень і схем евакуації. Платформи можуть бути як стаціонарними (закріплені на стінах або опорах), так і мобільними (на базі наземного робота). В ідеалі, одна платформа повинна охоплювати не більше 15–20% площі спостереження, щоб уникнути перевантаження алгоритмів та втрати деталізації. Таким чином забезпечується баланс між якістю спостереження, кількістю пристроїв та витратами на інфраструктуру.

Одна лише відеокамера не завжди гарантує точне розпізнавання порушень, особливо в умовах поганого освітлення, великої кількості людей чи несподіваних подій. Тому автономні платформи необхідно доповнити іншими сенсорами. По-перше, інфрачервоні (тепловізійні) камери дозволяють виявляти людей у темряві або диму, що особливо актуально під час нічних матчів або при використанні факелів. По-друге, акустичні датчики фіксують різке зростання шуму — наприклад, при криках або вибухах. По-третє, датчики руху допомагають локалізувати підозрілу активність, а датчики температури чи диму — виявити загрозу пожежі. Всі ці сенсори повинні працювати у комплексі, підвищуючи точність аналізу ситуації і зменшуючи кількість хибних тривог. Комбіноване сприйняття дає змогу краще розпізнати контекст подій і оперативніше реагувати на потенційну небезпеку.

Система виявлення порушень повинна бути безпосередньо пов'язана з охоронними підрозділами, які здійснюють фізичне втручання. У цьому контексті платформи не тільки фіксують події, а й надсилають автоматизовані повідомлення відповідним бригадам охорони. Для цього можна використовувати мобільні застосунки, планшети або переносні термінали, які отримують сповіщення про тип порушення, його розташування та супровідне зображення. Кожна автономна платформа повинна бути закріплена за певною охоронною зоною, яка контролюється конкретною групою співробітників. Важливо, щоб система давала

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		53

змогу відстежувати статус реагування: чи отримано сигнал, чи була реакція, чи вирішено ситуацію. Таким чином утворюється повноцінна логістика реагування, де автономна камера виступає як очі системи, а охоронці — як її руки. Це дозволяє не лише виявляти інциденти, а й оперативно їх припиняти, мінімізуючи ризики для глядачів.

Для забезпечення ефективної роботи системи недостатньо лише технічного обладнання — необхідно також навчити персонал правильно взаємодіяти з нею. Рекомендується розробити спеціалізовану програму підготовки, яка включає ознайомлення з принципами роботи платформ, інтерпретацією тривожних сигналів, процедурою реагування та розв'язанням конфліктних ситуацій. Персонал повинен чітко знати, які саме інциденти система здатна виявляти, як діяти у разі тривоги, як перевірити достовірність повідомлення. Крім того, корисно проводити імітаційні тренування — сценарії, в яких створюються штучні порушення (наприклад, спроба проникнення на поле, масова тиснява, залишення підозрілої сумки). Такі тренування дозволяють протестувати не лише реакцію людей, а й логіку самої системи, виявити слабкі місця і вчасно внести корективи в її функціонування. Систематичне навчання є запорукою ефективної та злагодженої роботи всіх елементів безпеки на стадіоні.

Як і будь-яка складна система, автономні платформи потребують періодичного технічного обслуговування, щоб підтримувати стабільну роботу. Це стосується як фізичних компонентів (чистота об'єктивів, стан корпусу, акумулятори), так і програмної частини. Необхідно регулярно перевіряти працездатність камер і сенсорів, тестувати комунікаційні канали, виконувати оновлення мікропрограм і програмного забезпечення. Окрему увагу слід приділити донавчанню нейронної моделі, яка виконує виявлення порушень: система повинна періодично аналізувати нові інциденти, накопичувати дані, з яких можна оновити модель для підвищення точності. Для цього варто створити архів типових подій і тривог, які класифікуються вручну і використовуються для подальшого тренування. Оновлення повинно виконуватися централізовано, з можливістю

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		54

відкату у разі збоїв. Лише при дотриманні регулярного обслуговування система зможе зберігати високу ефективність у довгостроковій перспективі.

Висновки до розділу 4

У межах четвертого розділу було проведено комплексний аналіз результатів тестування розробленої системи виявлення та запобігання порушенням на футбольному стадіоні, визначено ключові фактори, що впливають на її ефективність, а також сформульовано практичні рекомендації щодо її впровадження в реальних умовах.

Проведені експерименти та випробування підтвердили працездатність системи в умовах, наближених до реального функціонування стадіону під час масових заходів. Зокрема, було досягнуто високих показників точності виявлення порушень, оперативності реагування та стійкості до зовнішніх впливів. Результати тестування свідчать про те, що система здатна виявляти порушення типу: проникнення в заборонені зони, агресивна поведінка, скупчення людей, залишення підозрілих предметів тощо. Середній час реакції становив близько 1,4 секунди, що є прийнятним для швидкої оцінки ситуації охоронними службами. Також було зафіксовано низький рівень хибних спрацювань, що свідчить про ефективну інтеграцію нейромережевого аналізу та використання допоміжних сенсорів.

Разом із тим, аналіз виявив низку факторів, які можуть знижувати ефективність роботи системи. Серед них — складні погодні умови, недостатня освітленість, велике скупчення глядачів, архітектурні особливості об'єкта та обмеження в обчислювальних ресурсах платформ. Додатковими ризиками виступають зовнішнє втручання, фізичне ушкодження пристроїв або втрати зв'язку з охороною. Оцінка цих факторів дозволила більш обґрунтовано сформулювати вимоги до умов експлуатації та подальшого масштабування системи.

На основі отриманих результатів сформульовано п'ять ключових практичних рекомендацій. Вони стосуються, зокрема, оптимального розміщення платформ відповідно до зони ризику, оснащення системи комбінованими сенсорами

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		55

(включно з інфрачервоними камерами, акустичними та температурними датчиками), побудови ефективної структури взаємодії з охоронним персоналом, запровадження регулярних навчань та сценарних тренувань для охорони, а також підтримки працездатності системи через технічне обслуговування та донавчання моделей. Такий системний підхід дає змогу не лише забезпечити технічну ефективність платформи, а й сформувати надійну організаційну інфраструктуру для реагування на порушення.

Запропоновані рекомендації є гнучкими й масштабованими, що дозволяє адаптувати систему до об'єктів різного типу — від великих футбольних арен до багатофункціональних концертних майданчиків, торгових центрів чи критих павільйонів. Система демонструє високу адаптивність і потенціал до вдосконалення. Зокрема, за умови подальшого вдосконалення моделі виявлення, розширення кількості сенсорів та інтеграції з іншими службами безпеки, її ефективність може ще більше зрости.

Таким чином, результати дослідження в межах четвертого розділу підтверджують доцільність практичного впровадження автономної системи виявлення порушень у сфері масових заходів. Розроблене рішення є не лише технічно ефективним, а й організаційно обґрунтованим, здатним істотно підвищити рівень безпеки на об'єкті, зменшити навантаження на персонал та своєчасно реагувати на потенційно небезпечні ситуації. У подальших етапах розвитку система може стати базою для повністю автономних охоронних мереж нового покоління.

ВИСНОВКИ

У рамках дипломного проєкту було розроблено, реалізовано та протестовано інтелектуальну систему, призначену для виявлення та запобігання порушенням громадського порядку на футбольному стадіоні. Розроблення відбувалася відповідно до сучасних вимог до безпеки масових заходів і з урахуванням тенденцій до автоматизації процесів моніторингу та реагування.

У першому розділі проведено глибокий аналіз предметної області, визначено основні проблеми забезпечення порядку під час футбольних матчів, а також розглянуто сучасні технології, що використовуються у сфері відеоспостереження, виявлення аномалій, контролю натовпу та автоматичного розпізнавання поведінки. На прикладі міжнародних систем (Facewatch, Avigilon, Qatar Command Center) було показано як переваги, так і обмеження існуючих рішень, що стало підґрунтям для формування власного інноваційного підходу.

Другий розділ присвячено обґрунтуванню архітектури майбутньої системи, її інноваційності та відмінностям у порівнянні з аналогами. Основною ідеєю є поєднання мобільності, автономності, локалізованого реагування та інтелектуального аналізу ситуації на місці. Камери з датчиками руху, закріплені за певними трибунами, передають сигнали безпосередньо підрозділам охорони, що відповідають за ці сектори, що значно зменшує час реакції. Було детально описано логіку взаємодії між технічними компонентами системи та персоналом служби безпеки, включаючи механізм повідомлень, синхронізацію баз даних та засоби збереження відеоматеріалів.

У третьому розділі представлено програмну реалізацію системи. Було обґрунтовано вибір технологічного стека — зокрема, використання мови Python, бібліотек OpenCV, YOLOv8, MQTT, а також реалізацію бази даних на SQL Server. Проведено донавчання моделі YOLOv8 на спеціалізованому датасеті, що дало змогу значно підвищити точність виявлення порушень у контексті стадіону. Створено програмну систему, яка здатна працювати автономно, обробляти відеопотік у реальному часі, ідентифікувати об'єкти та відправляти сигнал тривоги

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		57

у разі виявлення підозрілої активності. Розроблена база даних дозволяє ефективно зберігати й аналізувати інформацію про зафіксовані інциденти, відповідальних співробітників, моделі ШІ та статистику подій.

У четвертому розділі проведено тестування функціональності системи на змодельованих прикладах. Система показала високий рівень точності (F1-score — 90,0%) у виявленні проникнень у заборонені зони та достатній рівень при виявленні агресивної поведінки. Було відзначено короткий час реакції (в середньому 1,4 секунди), стабільну автономну роботу та низьку кількість хибнопозитивних спрацювань. Разом з тим, проведено детальний аналіз обмежень системи: вплив освітлення, погодних умов, щільності натовпу, архітектурних особливостей об'єкта тощо. Сформульовано п'ять практичних рекомендацій щодо впровадження системи на стадіон, включаючи попереднє зонування, оснащення додатковими сенсорами, підготовку персоналу та періодичне донавчання моделі.

Таким чином, у результаті виконаного дипломного проєкту було досягнуто такі ключові результати:

- розроблено інноваційну архітектуру системи, засновану на принципах автономності, локалізованого реагування та гнучкого масштабування;
- реалізовано програмний прототип із використанням сучасних технологій комп'ютерного зору та нейронних мереж;
- проведено донавчання моделі YOLOv8 на релевантному наборі даних, що підвищило точність виявлення;
- створено базу даних інцидентів і забезпечено її інтеграцію з іншими компонентами системи;
- проведено тестування, яке підтвердило ефективність запропонованого рішення в умовах, наближених до реальних.

Запропонована система може бути адаптована для широкого спектра публічних об'єктів: від стадіонів до вокзалів, концертних майданчиків і торговельних центрів. Її гнучка архітектура дозволяє легко масштабувати рішення залежно від просторових особливостей об'єкта та кількості зон, що потребують контролю. У кожному конкретному випадку система може налаштуватись

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		58

індивідуально, з урахуванням кількості входів, зон великого скупчення людей та потенційно небезпечних ділянок. Інтерфейси та панелі керування також можуть бути адаптовані для різних категорій користувачів – від охоронного персоналу до аналітиків та операторів. У випадку об'єктів підвищеної безпеки, таких як вокзали чи аеропорти, система може бути доповнена модулями перевірки багажу, розпізнавання обличчя та автоматичного відстеження підозрілої поведінки. Таким чином, запропоноване рішення є універсальним і не обмежується лише спортивними подіями – воно може бути ефективно впроваджене скрізь, де є потреба в постійному відеоспостереженні, швидкому реагуванні та захисті масових заходів.

Отже, розроблена система є практичним інструментом підвищення громадської безпеки, який поєднує технічну складність, організаційну логіку та інтелектуальну обробку даних в одному цілісному рішенні. Її багаторівнева структура охоплює як апаратні, так і програмні компоненти, які взаємодіють між собою в реальному часі. Такий підхід дозволяє зменшити навантаження на людський ресурс, делегуючи рутинні завдання автоматизованим алгоритмам, і водночас забезпечити гнучкість у прийнятті рішень. Інтерфейси керування спрощують контроль ситуації навіть під час пікових навантажень, наприклад, під час евакуацій або великомасштабних подій. Застосування інтелектуальних алгоритмів аналізу відео, синхронізація з зовнішніми джерелами даних та оперативне сповіщення дозволяють значно скоротити час реагування. Зрештою, це не лише підвищує рівень безпеки для учасників заходів, а й забезпечує ефективніше управління об'єктом у режимі 24/7, створюючи нові стандарти технологічного забезпечення масових подій.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 10 трендів, які визначають майбутнє стадіонів.
URL: <https://sportbusiness.media/2025/03/12/10-trendiv-yaki-vyznachayut-majbutnye-stadioniv/> (дата звернення: 15.05.2025).

2. Гра Футболів. Ейзель: найбільш трагічний фінал єврокубків, протистояння хуліганів, дискваліфікація клубів Англії.
URL: <https://www.youtube.com/watch?v=pr8aQpRXrRM> (дата звернення: 08.05.2025).

3. Дьоміна А. А. Актуальні проблеми безпеки спорту в Україні та світі. *Науковий часопис українського державного університету імені Михайла Драгоманова*. 2024. № 5. С. 71–75.

4. Замрій І. В., Думенко І. О. Розробка безпілотного робота на базі штучного інтелекту. *Сучасний захист інформації*. 2024. № 3. С. 63–68.

5. Мельник В. В., Згалат-Лозинська Л. О. Сучасні вимоги до будівництва і реконструкції спортивних об'єктів в умовах сталого розвитку. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2024. № 53. С. 45–57.

6. На матчі рівненського «Вереса» та «Динамо» побилися ультрас.
URL: <https://rivnepost.rv.ua/news/na-matchi-rivnensko-ho-veresa-ta-dinamo-pobilisya-ultras-video> (дата звернення: 06.05.2025).

7. Найунікальніші спортивні арени світу: архітектура, історія та видовища.
URL: <https://sportbusiness.media/2025/03/18/najunikalnishi-sportyvni-areny-svitu-arhitektura-istoriya-ta-vydovyshha/> (дата звернення: 12.05.2025).

8. ПРОФУТБОЛ Digital. Фанати VS Стюарди Сутичка на матчі Динамо - Верес / Ультрас і зламани стільці VS Сльозогінний газ.
URL: <https://www.youtube.com/watch?v=wIi5n8GbFR0> (дата звернення: 01.05.2025).

9. Роде В. О., Костюченко О. А. Зарубіжний досвід проєктування багатофункціональних спортивних центрів. *Теорія та практика дизайну*. 2023. № 29-30. С. 120–126.

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		60

10. Сім інноваційних технологій на Чемпіонаті світу з футболу 2022.
URL: <https://mediasat.info/uk/2022/12/12/sim-texnologiy-na-chempionati-svitu-z-futbolu-2022/> (дата звернення: 30.05.2025).

11. Футбольні поля. URL: <https://sportsvit.com.ua/uk/stroi/futbolni-polya?srsleid=AfmBOoo-Sxz71HdFM6mulKF7dcqhJ4ByDWq-MpfBw8pCVE6JRSpeqByl> (дата звернення: 19.05.2025).

12. ШІ у спорті: як штучний інтелект змінює спортивну індустрію.
URL: <https://www.zfort.com.ua/blog/shi-u-sporti-yak-shtuchnij-intelekt-zminyuye-sportivnu-industriyu> (дата звернення: 20.05.2025).

13. Як штучний інтелект змінює Олімпійські ігри.
URL: <https://huxley.media/sport-bilshe-ne-bude-kolishnim-jak-shtuchnij-intelekt-zminjuie-olimpijski-igri/> (дата звернення: 02.06.2025).

14. Avigilon Security Camera Systems.
URL: <https://www.aircomm.com/avigilon-appearance-search> (date of access: 31.05.2025).

15. Facewatch з'єднала приватні системи безпеки з поліцією.
URL: https://24tv.ua/facewatch_zyednala_privatni_sistemi_bezpeki_z_politsiyeyu_n95177 (дата звернення: 25.05.2025).

					ІК12.020БАК.006 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		61