Центральноукраїнський національний технічний університет
Центр заочної та дистанційної освіти
Кафедра кібербезпеки та програмного забезпечення

”Допущено до захисту”
Завідувач кафедри кібербезпеки
та програмного забезпечення
д.т.н., професор
_____ Олексій СМІРНОВ
“____” _____ 2026 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему
“Дослідження та програмна реалізація системи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання”

Виконав здобувач вищої освіти
ІІ курсу, групи КН-25МЗ
ОПП «Комп’ютерні науки»
спеціальності F3 «Комп’ютерні науки»
_____ Швидка Д.С.
«____» _____ 2026 р.

Керівник проекту
кандидат технічних наук, доцент
_____ Марченко К.М.
«____» _____ 2026 р.

Нормоконтроль проекту
_____ Коваленко А.С.
«____» _____ 2026 р.

Рецензент _____
_____

Підписано КЕП
Центральноукраїнський національний технічний університет
Швидка Дарія Сергіївна
Сертифікат: 18DF2C9B93CEA2040400000083468E00F2FF7306
Дійсний з 19.11.2026 14:36:35 по 19.11.2027 14:36:34

Центральноукраїнський національний технічний університет

Центр *Заочної та дистанційної освіти*

Кафедра *Кібербезпеки та програмного забезпечення*

Рівень вищої освіти *магістр*

Галузь знань _F_____*"*Інформаційні технології*"*_____

Спеціальність F3 *"*Комп'ютерні науки*"*

Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма _*"*Комп'ютерні науки*"*_

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
д.т.н., проф.
_____ Олексій СМІРНОВ
« 1 » вересня 2026 року

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Швидкій Дарії Сергіївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Дослідження та програмна реалізація системи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання*

2. Керівник роботи *Марченко Костянтин Миколайович, кандидат технічних наук, доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу № 44-13 від 17.08.2026 року

3. Строк подання студентом роботи до захисту *2.12.2026 р.*

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи*: Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання*

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

1. Призначення та область використання.	*5. Впровадження системи в промислову експлуатацію*
2. Перегляд аналогічних існуючих систем.	*6. Наукова новизна.*
3. Опис і обґрунтування проектних рішень.	*7. Заходи з охорони праці та техніки безпеки.*
4. Етапи програмування системи.	*8. Висновки.*

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Наукова новизна	*1 аркуш*
Структурна схема системи	*1 аркуш*
Функціональна схема системи	*1 аркуш*
Діаграма процесів	*1 аркуш*
Блок-схема алгоритму роботи додатку	*2 аркуша*

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Марченко К.М., к.т.н., доцент	06.10.2026	16.11.2026

8. Дата видачі завдання « 1 » вересня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти	Строк виконання етапів випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти	Примітка
1.	Аналіз існуючих систем	10.10.2026 р.	
2.	Постановка задачі, оформлення ТЗ	15.10.2026 р.	
3.	Розробка моделі компонента	20.10.2026 р.	
4.	Розробка структур даних	25.10.2026 р.	
5.	Розробка алгоритмів системи	30.10.2026 р.	
6.	Програмування алгоритмів	10.11.2026 р.	
7.	Розрахунки з охорони праці та техніки безпеки	15.11.2026 р.	
8.	Оформлення ПЗ	17.11.2026 р.	
9.	Попередній захист роботи	2.12.2026 р.	

Дата видачі завдання
« 1 » вересня 2026 р.

Підпис керівника

_____ _____
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
« 1 » вересня 2026 р.

Підпис здобувача

_____ _____
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Швидка Д.С. Дослідження та програмна реалізація системи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання. ФЗ Комп'ютерні науки. Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький. 2026.

В даній випускній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

Об'єктом дослідження є процес комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

Предметом дослідження є методи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

Методи дослідження базуються на методах машинного навчання, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

Результат роботи – програмна реалізація системи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

Розроблено зручний інтерфейс користувача. Наведені інструкції по роботі з програмними засобами.

Програма може використовуватися на ПЕОМ з ОС Windows 10/11.

Програму розроблено в середовищі Python.

Ключові слова: комп'ютерні науки, інтелектуальний аналіз відеопотоків, моделі глибокого навчання.

ABSTRACT

Shvydka D.S. Research and Software Implementation of a System for Comprehensive Intelligent Analysis of Video Streams Using Deep Learning Models. F3 Computer Science. Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi. 2026.

In this final qualification thesis for the second (master's) level of higher education, software has been developed for a system designed for the comprehensive intelligent analysis of video streams using deep learning models.

The objective of this development is the research and software implementation of a system for the comprehensive intelligent analysis of video streams using deep learning models.

The object of the research is the process of comprehensive intelligent analysis of video streams using deep learning models.

The subject of the research consists of methods for the comprehensive intelligent analysis of video streams using deep learning models.

The research methodology is based on machine learning techniques, mathematical statistics, and software development practices.

The outcome of the work is a software implementation of a system for the comprehensive intelligent analysis of video streams using deep learning models.

During the development of the software model, an analysis of existing hardware and software tools was conducted. All components of the developed software are described in detail.

A user-friendly interface has been developed. Instructions for operating the software are provided.

The software is designed for use on personal computers running the Windows 10/11 operating system.

The software was developed using the Python environment.

Keywords: computer science, intelligent analysis of video streams, deep learning models

ВІДОМІСТЬ ПРОЕКТУ

		Текстові документи			
1	А4	Пояснювальна записка	84	–	
2	А4	Робоча програма	24	–	Додаток А
		Графічні документи			
3	А4	Наукова новизна	1	–	
4	А4	Структурна схема	1	–	
5	А4	Функціональна схема роботи системи	1	–	
6	А4	Діаграма взаємодії процесів	1	–	
7	А4	Блок-схема основної програми	1	–	
8	А4	Блок-схема роботи підпрограми	1	–	

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ 9
ВСТУП..... 10
1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ 12
1.1 Призначення системи..... 12
1.2 Область застосування 13
2 ПЕРЕГЛЯД АНАЛОГІЧНИХ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ 16
2.1 Огляд існуючих систем, технологій, архітектур та програмних рішень за профілем теми випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти..... 16
2.2 Обґрунтування вибору засобів для побудови системи та мови програмування 23
2.3 Розгорнута постановка завдання 24
3 ОПИС І ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ 25
3.1 Опис функціонування системи 25
3.2 Розробка структурної схеми..... 35
3.3 Розробка функціональної схеми 42
3.4 Розробка діаграми процесів 44
4 РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ. РОЗРАХУНКИ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ВІРНІСТЬ ПРОЕКТНИХ ТА ПРОГРАМНИХ РІШЕНЬ 46
4.1 Розробка блок-схем та опис алгоритмів функціонування системи 46
5 ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ В ПРОМИСЛОВУ ЕКСПЛУАТАЦІЮ..... 61
6 НАУКОВА НОВИЗНА 66

7 ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ 67
7.1 Вступ 67
7.2 Шкідливі і небезпечні фактори при роботі з комп’ютером 68
7.3 Аналіз санітарно-гігієнічних умов праці на робочому місці програміста ... 69
7.4 Розробка заходів з умов поліпшення охорони праці 72
7.5 Розрахункова частина 73
8 ОСНОВНІ ВИСНОВКИ 75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 77

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

АРП	–	автоматичне регулювання посилення
АТМ	–	автоматичний телевізійний моніторинг
ЕПТ	–	електронно-променева трубка
ІБ	–	інформаційна безпека
ІС	–	інформаційна система
НСД	–	несанкціонований доступ
ПЗ	–	програмне забезпечення
ПЗЗ	–	прилади із зарядовим зв'язком
СКД	–	системи контролю даних
СЦК	–	система централізованого керування
ТВЛ	–	телевізійні лінії
IP	–	Internet Protocol. Протокол міжмережної взаємодії
PIN-код	–	персональний ідентифікаційний код
TCP	–	Transmission Control Protocol. Протокол керування передачею (даних) Основний транспортний протокол у стеці протоколів TCP/IP. Встановлює зв'язок між двома ПК й організує обмін даними в дуплексному режимі
TCP/IP	–	Transmission Control Protocol/Internet Protocol. Стек протоколів, що забезпечують організацію зв'язку між комп'ютерами в мережі Інтернет

ВСТУП

Актуальність теми. Моделі відеоаналітики в реальному часі та глибокого навчання мають найбільш очікувані та прийняті варіанти використання для розумних міст та інтелектуального транспорту завдяки нещодавнім проривам у штучному інтелекті та Інтернеті речей. На противагу цьому, стандартні моделі комп'ютерного зору покладаються на плоскі потоки офлайн-даних і не мають аналітики в реальному часі. Нещодавній прорив у моделях глибокого навчання революціонізував спосіб обробки великого обсягу необроблених відео- та аудіоданих у комп'ютерному зорі за допомогою різних моделей глибокого навчання. Таким чином, ці моделі стали лідерами у використанні рішень відеоаналітики в багатьох галузях, включаючи ідентифікацію об'єктів, розпізнавання облич, спостереження, безпеку в розумних містах, розумні будинки та промисловий Інтернет речей. У цій магістерській роботі буде досліджено, як моделі глибокого навчання, периферійні обчислення та хмарні технології використовуються разом з моделлю комп'ютерного зору для вирішення проблем відеоаналітики в різних галузях.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

Для досягнення поставленої мети визначена програма дослідження, що складається з наступних завдань:

– Огляд існуючих систем комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

– Дослідження системи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

– Програмна реалізація системи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

Об’єктом дослідження є процес комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

Предметом дослідження є методи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

Методи дослідження базуються на методах машинного навчання, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

Наукова новизна отриманих результатів. У процесі рішення завдань, обумовлених цілями дослідження, отримані наступні результати:

– Удосконалено метод комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

– Розроблено вітчизняний продукт комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання, який має більш широкі можливості, на відміну від існуючих аналогів.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що розроблені алгоритми дозволяють успішно вирішувати задачі комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

Достовірність наукових результатів підтверджена теоретичними викладеннями, даними комп'ютерного моделювання, коректними дослідженнями параметрів на функціонуючій обчислювальній мережі, а також відповідністю отриманих результатів окремим результатам, наведеним у науковій літературі.

Робота апробована на LVIII науково-технічній конференції здобувачів вищої освіти «Наука-виробництву», основні положення випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти надруковані у статті збірника праць молодих науковців ЦНТУ, випуск №17.

Таким чином, виходячи з вищеперерахованого, дослідження та програмна реалізація системи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання, є актуальною задачею, яка потребує вирішення у даній випускній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ

1.1 Призначення системи

Машинне навчання у потоковому відео – це використання навчених моделей на кожному етапі конвеєра – кодування, вибір бітрейту, рекомендації, тегування контенту, модерація, субтитри та пошук – для зниження вартості доставки та збільшення часу перегляду. У потоковому додатку це проявляється у двох місцях: невидима оптимізація доставки (менші файли, менше ребуферів) та видимі функції продукту (що дивитися далі, субтитри, розділи, пошук).

Grand View Research оцінює світовий ринок потокового відео приблизно в 129 мільярдів доларів у 2025 році, а до 2030 року він сягне 416,8 мільярда доларів (приблизно 21,5% річних). Машинне навчання перейшло з пілотних програм до основного стеку поставок, пошуку та монетизації цього ринку.

Штучний інтелект більше не є побічним елементом. Netflix повідомляє, що 30% його потокового мовлення тепер здійснюється за допомогою AV1 (грудень 2025 року). У 2026 році темпи пришвидшилися: Альянс за відкриті медіа опублікував специфікацію AV2 1.0 у травні 2026 року, яка приблизно на 30% ефективніша за AV1 у прототипних тестах AOMedia; Mux відкрив Mux Robots (квітень 2026 року), розмістив робочі процеси ШІ для резюме, розділів, ключових моментів, модерації та перекладу субтитрів понад 50 мовами; а YouTube розширив автоматичне дублювання до 27 мов, і понад 6 мільйонів глядачів на день переглядають понад 10 хвилин дубльованого відео (дані за грудень 2025 року, оприлюднені YouTube у травні 2026 року). Питання для технічного директора потокового мовлення змістилося з «чи варто нам використовувати ШІ?» на «які три функції ШІ нам створити першими, а які купити?».

1.2 Область застосування

Відеоаналітика трансформує такі галузі, як виробництво, безпека, роздрібна торгівля, охорона здоров'я та транспорт. Автоматизуючи виявлення певних подій у режимі реального часу, відеоаналітика покращує прийняття рішень та операційну ефективність у цих секторах.

Відеоаналітику можна застосовувати до відео в реальному часі та записаних відео, що дозволяє організаціям отримувати аналітичну інформацію з минулих подій, а також здійснювати моніторинг у режимі реального часу.

Периферійні обчислення з відеоаналітикою ще більше покращують надання послуг та можливості для інновацій.

Безпека та відеоспостереження

Інтелектуальні технології дозволяють системам спостереження:

– Автоматично виявляйте загрози безпеці для покращення ситуаційної обізнаності завдяки аналітиці стану середовища спостереження в режимі реального часу.

– Використовуйте камери безпеки на базі штучного інтелекту, щоб надсилати проактивні сповіщення службам безпеки про потенційні загрози та швидше реагувати на інциденти.

– Зменште кількість хибних тривог.

Інтеграція відеоаналітики з існуючою інфраструктурою безпеки периметра дозволяє застосувати комплексний та проактивний підхід до спостереження на основі штучного інтелекту для забезпечення кращої безпеки. Однак системи відеоаналітики можуть бути складними для впровадження та інтеграції з існуючою інфраструктурою, тому це вимагає ретельного планування та досвіду.

Роздрібна торгівля

Відеоаналітика дозволяє роздрібним торговцям:

– Аналіз взаємодії з клієнтами.

– Оптимізуйте розміщення продукту на основі спостережуваної поведінки.

– Зрозумійте години пік для покупок та моделі пересування клієнтів.

– Підрахунок людей для надання операційної аналітики та покращення обслуговування клієнтів у роздрібній торгівлі.

– Контролюйте рівень заповненості торгових приміщень для забезпечення безпеки та оптимізації операцій.

Ці операційні висновки допомагають роздрібним торговцям покращити обслуговування клієнтів та ефективність маркетингу.

Відеоаналітика допомагає в управлінні чергами та надає інформацію для покращення політики оформлення замовлення, щоб покращити загальний досвід клієнтів. Відеоаналітика також оптимізує укомплектування персоналом, надаючи дані про години пік та трафік клієнтів.

Охорона здоров'я

У сфері охорони здоров'я відеоаналітика допомагає фахівцям контролювати рухи пацієнтів та виявляти аномалії. Інтеграція відеоаналітики з персональними медичними пристроями покращує моніторинг пацієнтів у режимі реального часу. Відеоаналітика особливо ефективна для моніторингу літніх пацієнтів та виявлення падінь у режимі реального часу для швидкого втручання та догляду. Відеоаналітика також допомагає в аналізі психічного здоров'я, використовуючи аналіз емоцій обличчя, щоб допомогти клініцистам оцінити стан пацієнтів.

Ця технологія забезпечує безпечне середовище в медичних закладах, виявляючи проблемних осіб та надсилаючи миттєві сповіщення про медичні події. Така система надає сповіщення в режимі реального часу та клінічну інформацію для підтримки численних потреб у сфері охорони здоров'я.

Транспорт

Відеоаналітика надає кількісну інформацію про дорожні умови, включаючи номери транспортних засобів та схеми руху, для підтримки управління дорожнім рухом. Системи автоматичного розпізнавання номерних

знаків (ALPR), що використовують відеоаналітику та OCR, можуть зчитувати та аналізувати номерні знаки без втручання людини. Вони використовуються для моніторингу дорожнього руху та правоохоронних заходів. Ця технологія допомагає забезпечувати дотримання правил дорожнього руху та ідентифікувати транспортні засоби, пов'язані з порушеннями. Відеоаналітика на базі штучного інтелекту також може сканувати номерні знаки для підрахунку транспортних засобів та прийняття рішень щодо управління дорожнім рухом. ALPR – це поширене застосування відеоаналітики для дорожнього руху та безпеки.

Сповіщення в режимі реального часу від відеоаналітики допомагають міським чиновникам швидко реагувати на проблеми з аналізом дорожнього руху, щоб підвищити безпеку та операційну ефективність. Відеоаналітика також може виявляти транспортні засоби, що рухаються в неправильному напрямку, щоб запобігти аваріям та підвищити безпеку дорожнього руху.

Розумні міста

Технологія відеоаналітики підтримує моніторинг та управління міською інфраструктурою в режимі реального часу в розумних містах. Впровадження відеоаналітики в розумних містах підвищує громадську безпеку та робить розподіл ресурсів ефективнішим. Аналітика виявлення натовпу запрограмована на виявлення людей та вимірювання щільності натовпу в полі зору камери, щоб створити безпечніше та ефективніше міське середовище.

Таким чином, виходячи з вищеперерахованого, дослідження та програмна реалізація системи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання, є актуальною задачею, яка потребує вирішення у даній випускній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти.

2 ПЕРЕГЛЯД АНАЛОГІЧНИХ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

2.1 Огляд існуючих систем, технологій, архітектур, програмних рішень за профілем теми випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

Аналіз відео за допомогою штучного інтелекту у 2026 році: як серверна платформа AvidBeam перетворює дані з камер на операційну аналітику

Мережева камера або IP-мережа та платформа відеоаналізу на основі штучного інтелекту – це не одне й те саме. Ця різниця має операційне значення, і вона є простішою, ніж здається в більшості технологічних оцінок. Мережева камера записує те, що відбувається. Платформа відеоаналізу на основі штучного інтелекту виявляє, що відбувається в режимі реального часу на кожному підключеному пристрої.

Мережева камера або IP-мережа та платформа відеоаналізу на основі штучного інтелекту – це не одне й те саме. Ця відмінність має значення з операційної точки зору, і вона є простішою, ніж здається в більшості технологічних оцінок.

Мережева камера записує те, що відбувається. Платформа відеоаналізу на основі штучного інтелекту виявляє, що відбувається в режимі реального часу на кожному підключеному каналі, не вимагаючи від людини перегляду потрібного екрана в потрібний момент. Відеозапис існує в обох випадках. Змінюється лише те, чи цей запис видає сигнал про виявлення, сповіщення та структурований запис у момент виникнення події, чи він зберігається, доки хтось його не перегляне після того, як щось пішло не так.

Серверна платформа відеоаналізу на базі штучного інтелекту від AvidBeam побудована на цій відмінності. П'ять інтегрованих пакетів продуктів, AvidGuard, AvidFace, AvidAuto, AvidSight та AvidGenAI, охоплюють виявлення

поведінкових загроз, перевірку особи, розвідку транспортних засобів, комерційну аналітику та розслідування природної мови по всій мережі камер. Все це працює на інфраструктурі, яка вже є в організаціях.

Що насправді робить ШІ для аналізу відео

Цей термін охоплює низку можливостей, які варто чітко розмежувати, оскільки операційна цінність кожної з них різна, а середовища, де кожна з них має найбільше значення, не однакові.

У своїй основі, ШІ для аналізу відео застосовує моделі комп'ютерного зору та алгоритми глибокого навчання до безперервних відеопотоків, витягуючи структуровані дані з того, що знімають камери. Це вилучення дає:

– Поведінкові виявлення, події, що фіксуються, коли особи, транспортні засоби або об'єкти в контрольованій зоні відхиляються від засвоєної базової поведінки для цієї області та часового вікна.

– Вихідні дані ідентифікації, біометричні зіставлення зі збереженими базами даних ідентифікації, генерування рішень щодо доступу, сповіщення списку спостереження та записи про переміщення в зоні без ручної перевірки облікових даних.

– Розвідка транспортних засобів, зчитування номерних знаків, класифікація транспортних засобів, перехресне посилання на списки спостереження та дані про дорожній рух, отримані з кожного транспортного засобу, що проїжджає через контрольовану точку.

– Дані про заповненість та потік, просторовий інтелект, що охоплює переміщення людей у середовищі, де вони проживають та де зростає щільність населення, що актуально для роздрібної торгівлі, банківської справи та організації заходів.

– Перевірка відповідності, автоматичне підтвердження дотримання протоколів безпеки, правил доступу та обмежень зон без необхідності присутності керівника в кожній контрольованій точці.

Те, що відрізняє ШІ для аналізу відео від виявлення руху або базового сповіщення про зміну пікселів, – це рівень вивченого інтелекту. Система

спрацьовує не на рух. Вона спрацьовує на значення, поведінку, яка відхиляється від встановленої норми для цього конкретного місця, цього конкретного часу доби та цього конкретного операційного контексту.

Серверна архітектура платформи AvidBeam

Архітектура – це та область, де платформи відеоаналізу на основі штучного інтелекту найбільш різко розходяться на операційному рівні, і де вибір має найдовготриваліші наслідки для якості виявлення, масштабованості та загальної вартості.

Вбудована в камеру та периферійна аналітика обробляє відео локально на кожному пристрої. Така архітектура накладає жорсткі обмеження: моделі виявлення, які можуть працювати, обмежені обчислювальними можливостями, які може запропонувати кожна камера, що означає зниження точності в умовах низької освітленості, несприятливих погодних умов, часткових перекриттів та сценах з високою щільністю багатьох об'єктів. Оновлення можливостей виявлення вимагає змін мікропрограмного забезпечення в окремих точках камери по всій мережі.

Платформа AvidBeam виконує весь відеоаналіз за допомогою штучного інтелекту на централізованих серверах. Операційні наслідки:

– Складні поведінкові моделі та багатопотоковий аналіз працюють з однаковим рівнем точності на 10 або 500 камерах, оскільки обчислювальна потужність не прив'язана до апаратного забезпечення окремої камери.

– Можливості виявлення оновлюються за допомогою програмного забезпечення на кожній підключеній камері одночасно, без розгортання прошивки для кожного пристрою окремо.

– Будь-яка ONVIF-сумісна камера, яка вже підключена до мережі, передає дані безпосередньо на рівень аналізу штучного інтелекту без заміни обладнання.

– Повна мережа камер може запитуватися як єдиний набір даних, міжсайтовий судово-медичний пошук, централізовані сповіщення та єдине управління працюють з одного інтерфейсу.

– Моделі розгортання: локальні, приватні, публічні або гібридні – це вибір конфігурації, що базується на вимогах до управління даними, а не на обмеженні, що накладаються платформою.

Базова інфраструктура має мінімум 2 ГБ оперативної пам'яті та одне віртуальне ядро з частотою щонайменше 2,4 ГГц на кожну камеру, з підтримкою кількох конфігурацій графічних процесорів для розгортання з вищою щільністю. Інтеграція VMS охоплює платформи Milestone, NetworkOptix та Genetec.

П'ять пакетів відеоаналізу зі штучним інтелектом від AvidBeam

Платформа AvidBeam структурована навколо п'яти пакетів продуктів, кожен з яких орієнтований на окремий операційний рівень. Вони працюють незалежно або в комбінації через один єдиний інтерфейс керування.

AvidGuard – Виявлення поведінкових загроз

AvidGuard – це те, де штучний інтелект AvidBeam для аналізу відео найбезпосередніше виявляється на рівні безпеки. Він встановлює базовий рівень поведінки для кожної контрольованої зони, меж периметра, коридорів доступу, зон обмеженого доступу та операційних зон, а також генерує сповіщення про активність, яка відхиляється від цього базового рівня, незалежно від того, чи було написано спеціальне правило для її виявлення.

Події виявлення поверхонь AvidGuard:

– Виявлення вторгнень через визначені межі зони, перш ніж особи досягнуть робочих або обмежених зон.

– Виявлення байдарки, відкаліброване відповідно до порогового часу перебування в певній зоні, виявляє загрози на етапі розвідки, а не після проникнення.

– Виявлення перехоплення інформації про кількох осіб, які входять під час однієї події авторизації, невидиме для систем бейджів без аналізу відео на основі штучного інтелекту.

– Сповіщення про щільність натовпу, коли розмір групи в контрольованій зоні перевищує налаштовані порогові значення.

– Виявлення предметів, залишених без нагляду, поблизу точок доступу

або критичної інфраструктури.

– Відповідність вимогам: перевірка в промислових та технічних зонах, каски, жилети, рукавички, захисні окуляри та взуття перевіряються безперервно протягом кожної зміни.

– Виявлення вогню та диму для раннього реагування на надзвичайні ситуації на об'єкті.

AvidFace – Перевірка особи та аналітика доступу

AvidFace керує рівнем ідентифікації платформи відеоаналізу на основі штучного інтелекту AvidBeam. Він підключається до існуючої мережі камер, централізовано обробляє дані про обличчя та забезпечує перевірку особи в режимі реального часу з точністю понад 90% у точках входу, незалежно від часткових перешкод для обличчя, таких як маски, окуляри та капелюхи, а також під різними кутами, що не спрямовані вперед. Окрім розпізнавання точок входу, AvidFace відстежує переміщення окремих осіб по зонах об'єкта за датою, часом та місцезнаходженням. Коли особа, авторизована для однієї зони, з'являється в обмеженій зоні без відповідної події доступу, платформа автоматично виявляє аномалію. Списки заборонених, дозволених та VIP-списки працюють паралельно, відповідне сповіщення спрацьовує в режимі реального часу в момент появи особи зі списку в будь-якій контрольованій точці по всій мережі.

AvidAuto – Розвідка транспортних засобів

AvidAuto охоплює управління транспортними засобами біля воріт, під'їзних шляхів та паркувальних зон за допомогою трьох інтегрованих продуктів. AB – Vehicle Analytics забезпечує розпізнавання номерних знаків з точністю понад 98% для арабських номерних знаків та понад 92% для англійських, з перехресним посиланням на списки спостереження біля воріт у режимі реального часу. AB – ITS охоплює виявлення порушень правил дорожнього руху, руху в неправильному напрямку, порушення правил руху на червоне світло, перестроювання, незаконного паркування, а також виявлення використання мобільних телефонів та ременів безпеки. AB-Smart Parking обробляє видимість зайнятих місць, виявлення подвійного паркування та

сповіщення про блокування в'їзду на паркувальних спорудах та в зонах очікування.

AvidSight – Комерційна та роздрібна аналітика

AvidSight застосовує відеоаналіз на основі рішень штучного інтелекту в комерційних середовищах, де операційна віддача вимірюється доходами та ефективністю обслуговування, а не показниками безпеки. Модуль AB-Retail генерує теплові карти, аналіз шляху клієнтів, показники часу перебування, управління заповнюваністю та прогнозування трафіку – все це з існуючої мережі камер без спеціалізованого обладнання для роздрібної торгівлі. Модуль AB-Smart Banking охоплює виявлення порушень правил банкоматів, моніторинг присутності співробітників, виявлення готівки без нагляду, забезпечення дотримання політики доступу до сховищ та підрахунок обслуговувань клієнтів у мережах філій.

AvidGenAI – шар дослідження природної мови

AvidGenAI – це модель мови візуального аналізу, яка перетворює відеоматеріали на текст природною мовою та дозволяє здійснювати двосторонні розмовні запити на повній аналітичній платформі. Оператор вводить запитання, система повертає результати з мітками часу, контекстом поведінкового виявлення, джерелами камер та даними про місцезнаходження. Розслідування після інциденту, яке раніше вимагало годин ручного перегляду відеозаписів у десятках каналів, перетворюється на запит тривалістю кілька хвилин. AvidGenAI також генерує звіти про ключові показники ефективності (KPI) та структуровані зведення аналітики на основі відеоспостережень, роблячи дані мережі камер доступними для операційних команд без спеціального персоналу з аналітики.

Стандартна інфраструктура камери проти AvidBeam

Стандартна інфраструктура камер створює відеозаписи. Штучний інтелект для аналізу відео AvidBeam створює виявлення, сповіщення, записи ідентифікації, розвідку транспортних засобів, комерційну аналітику та рівень розслідування з можливістю запитів для вже встановлених камер без оновлення обладнання.

Де відеоаналіз за допомогою штучного інтелекту забезпечує найчіткіші операційні переваги

Операційні вигоди розподіляються по-різному залежно від середовища, але основна логіка залишається незмінною: аналіз відео за допомогою штучного інтелекту дає найбільш вимірну віддачу там, де вартість пропущеного виявлення є найвищою, а ручний моніторинг на необхідному рівні покриття не є операційно життєздатним.

– Промислові та нафтогазові об'єкти, перевірка відповідності ЗІЗ та виявлення поведінки на периметрі в кількох виробничих зонах та змінах, без необхідності присутності керівників у кожній контрольованій точці.

– Урядові та високоохоронні установи, єдина перевірка особи та виявлення вторгнень у зони на всіх локаціях завдяки єдиному рівню управління списком спостереження, який оновлюється в режимі реального часу.

– Роздрібні мережі, аналіз поведінки клієнтів у різних локаціях; уніфіковані дані про заповненість та шляхи пересування по всіх магазинах, рішення щодо планування харчування, персоналу та мерчандайзингу.

– Банківські мережі, банкомати на рівні відділень, сховища та моніторинг відповідності послуг у великих масштабах без додаткового аудиторського персоналу.

– Масові події, щільність натовпу та масштабування поведінкового виявлення в кількох зонах одночасних подій. Також розпізнавання облич для банківі безперервне виявлення демографічних даних у всіх точках входу.

– Логістика та дистрибуція, LPR та охоплення списком спостереження за транспортними засобами масштабується до кожного виходу на кількох об'єктах. Виявлення транспортних засобів, що рухаються в неправильному напрямку, та зупинених транспортних засобів на під'їзних дорогах.

2.2 Обґрунтування вибору засобів для побудови системи та мови програмування

Для розробки програмних компонентів та інтеграції моделей глибокого навчання в систему комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків було обрано мову програмування Python. Вибір цього інструментарію зумовлений його провідною роллю в галузі штучного інтелекту, наявністю потужної екосистеми спеціалізованих бібліотек для обробки зображень і відео, а також високою продуктивністю прототипування. Python є високорівневою об'єктно-орієнтованою мовою загального призначення з простим синтаксисом, динамічною типізацією та інтерпретованим характером виконання.

У контексті розробки систем комплексного інтелектуального аналізу відеоданих ключовими перевагами Python є:

– Розвинена екосистема для машинного навчання та комп'ютерного зору: наявність провідних фреймворків глибокого навчання та бібліотек обробки зображень і відео (OpenCV-Python, NumPy, Pandas, Matplotlib тощо) дозволяє ефективно реалізовувати алгоритми детекції, трекінгу об'єктів, розпізнавання подій та аналізу просторово-часових характеристик відеопотоків.

– Гнучкість та масштабованність: об'єктно-орієнтована архітектура дозволяє структурувати складну логіку обробки великих масивів відеоданих у вигляді модулів і пакетів.

– Швидкість розробки та інтеграції: інтерпретованість мови та чіткий синтаксис значно скорочують час на написання, налагодження та оптимізацію алгоритмів аналізу.

Попри певні обмеження у швидкості виконання порівняно з компільованими мовами (такими як C/C++), завдяки використанню оптимізованих низькорівневих бібліотек-розширень та ефективних середовищ розробки (IDE, таких як PyCharm), Python забезпечує оптимальний баланс між продуктивністю обчислень і гнучкістю побудови складних інтелектуальних систем аналізу відеопотоків.

2.3 Розгорнута постановка завдання

Згідно з технічним завданням на випускну кваліфікаційну роботу за другим (магістерським) рівнем вищої освіти, реалізації підлягає програмне забезпечення, яке призначено для системи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

В процесі розробки випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти необхідно виконати наступний обсяг роботи:

а) провести аналіз існуючих систем-аналогів для виявлення їх позитивних і негативних якостей. Результати аналізу врахувати в подальших розробках;

б) вибрати та обґрунтувати методику побудови системи контролю роботи технологічного обладнання на виробництві в автоматизованому режимі. Розробити функціональну та структурну схеми системи;

в) розробити програмне забезпечення системи, що дозволить реалізувати поставлену технічним завданням задачу. Побудувати блок-схеми алгоритмів програми та підпрограми;

г) організувати інтерфейс користувача з метою формування та виводу на екран ЕОМ повідомлень про некоректні дії користувача та нестандартні ситуації в роботі технологічного обладнання;

д) розробити рекомендації по організаційних та методичних заходах, які забезпечать впровадження системи в промислову експлуатацію та її подальшу успішну експлуатацію;

е) провести розрахунки по визначенню економічної ефективності розробленої системи;

ж) розробити заходи по охороні праці при впровадженні та експлуатації системи, а також розробити заходи з цивільного захисту;

з) сформувати висновки про виконаний обсяг робіт та одержані результати.

3 ОПИС І ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

3.1 Опис функціонування системи

Маркетинг постачальників потокового відео зі штучним інтелектом перераховує понад 50 функцій. У реальних продуктах десять з них мають найбільшу вагу. Ми ранжуємо їх за впливом KPI на витрачений долар. Якщо ви все ще обираєте, які функції потрібно впровадити, наш посібник із функцій платформ потокового відео зі штучним інтелектом ранжує їх за вартістю або ризиком, який усуває кожна з них.

1. Кодування для кожного титру та кожної сцени. Оптимізуйте сходинку бітрейту для кожного ресурсу, а не для кожної платформи. Збереження 15–20% бітрейту в усьому каталозі.

2. Попередня обробка за допомогою штучного інтелекту (клас SimaBit). Перцептивний препроцесор перед кодером. Додає ще 20-35% стиснення поверх AV1 для кожного заголовка.

3. ABR на основі машинного навчання. Підкріплювальне навчання в стилі сита пам'яті або предиктори пропускної здатності в стилі Фугу, навчені на вашому власному трафіку, можуть перевершити BOLA/BBA на основі правил за ребуферизацією та якістю.

4. Рекомендації та персоналізація. Гібридне колаборативне + контентне + контекстне повторне ранжування. Забезпечує підвищення часу сеансу на 15-25%.

5. Розуміння сцен та метадані. Класифікація сцен, вилучення розділів, створення виділених фрагментів, автоматичні мініатюри. CTR мініатюр збільшено на 15-25%.

6. Модерація контенту в режимі реального часу. Виявлення NSFW, насильства, мови ворожнечі в користувацькому контенті та прямих трансляціях за менш ніж секунду. Не підлягає обговоренню для соціальних/користувацьких

платформ.

7. Субтитри, субтитри та дубляж. Штучний інтелект ASR з точністю слів приблизно 90-95% для чистого звуку, плюс штучний інтелект для дубляжу новими мовами.

8. Семантичний пошук відео. Мультимодальні вбудовування, що індексують наратив, об'єкти, настрої. Запити до 100 мс для мільйонів кліпів.

9. Динамічне вставлення реклами з урахуванням сцени. Розумне вставлення рекламних пауз у місцях природних переходів між сценами, таргетинг з урахуванням сцени. Підвищує eCPM на 12–20%.

10. Автоматичне редагування коротких кліпів. Автоматичне вирізання яскравих моментів у стилі OpusClip / Chopcast для поширення в соціальних мережах. Зменшує редакторські зусилля на 70–80%.

Кодування економіки – де ШІ фактично заощаджує гроші

Найбільшим фінансовим виграшем від штучного інтелекту в стрімінгу є рахунок за пропускну здатність. Кожен відсоток, зменшений середнім бітрейтом, відображається як вартість виходу у вашому рахунку-фактурі CDN та як менша кількість повторних буферизацій на вашій панелі QoE. Стек, який найкраще поєднується у 2026 році, – це AV1 як базовий кодек, кодування для кожного заголовка для сходів з урахуванням ресурсів та попередня обробка за допомогою штучного інтелекту перед кодером.

Перш ніж починати, порахуйте. Ці три кроки разом дають приблизно 60% зниження порівняно з H.264, або близько 40% для каталогу, який вже є на AV1. 1 ПБ на місяць через основну CDN за ціною приблизно $0,01–$0,03 за ГБ – це щомісячний рахунок у розмірі $10 000–$30 000, тому зниження на 40% заощаджує $4 000–$12 000 на місяць ($48 000–$144 000 на рік). Це окупає витрати на AV1 та роботу з кожним заголовком приблизно за 3–24 місяці при такому обсязі (див. таблицю); нижче приблизно 500 ТБ на місяць сама лише пропускна здатність рідко окупається, і причиною для цього є якість обслуговування (QoE) – Netflix зафіксував на 45% менше повторних буферів на AV1.

Адаптивний бітрейт – чому машинне навчання перевершує правила у 2026 році

ABR на основі правил (BOLA, Buffer-Based, пропускна здатність) був базовим методом у галузі протягом десятиліття. Він досі працює. Він також залишає питання якості обслуговування (QoE) під питанням: Pensieve MIT (SIGCOMM 2017) повідомив про середнє QoE на 12–25% вище, ніж найкращі схеми на основі правил у симуляції. Є один нюанс: дослідження Puffer Стенфордського університету «Навчання in situ» (NSDI 2020) представило ABR реальним користувачам і виявило, що Pensieve, навчений за допомогою симуляції, насправді гірше справлявся зі звичайним BBA, тоді як простіша модель, навчена in situ (Fugu), вийшла вперед. Висновок: ABR на основі машинного навчання перевершує правила, коли він навчається на ваших власних реальних трасуваннях, а не коли його взято безпосередньо з паперу.

Компроміс є операційним. ML ABR потребує розширеної телеметрії (RTT, втрати, пропускна здатність, стан буфера, клас пристрою), конвеєрів перенавчання та повернення до правил, коли модель працює недостатньо ефективно. Створюйте його самостійно, лише якщо вашим продуктом є потокове передавання, і у вас є >1 млн одночасних глядачів. Для всіх інших орендуйте його – Mux, Bitmovin та AWS IVS постачають добре налаштовані ABR-плеєри, тому ви повністю пропускаєте телеметрію та конвеєр перенавчання.

Розуміння змісту – сцени, розділи, мініатюри, яскраві моменти

Розпізнавання сцен за допомогою штучного інтелекту тепер працює в режимі реального часу з роздільною здатністю 720p–4K. Для каталогу VOD це означає, що кожен ресурс може містити розриви на розділи, автоматично вибрані мініатюри та попередньо обчислений ролик з найкращими моментами без участі редактора-людини. Дослідження випадків постачальників показують приріст клікабельності на рівні 15–25% для мініатюр, вибраних штучним інтелектом, та 12–20% eCPM, коли рекламні паузи розміщуються на природних переходах сцен, а не на фіксованих тайм-кодах. Розглядайте їх як цілі для A/B-

тестування у власному каталозі, а не як гарантії.

Для прямих трансляцій планка жорсткіша. Видобування найяскравіших моментів спортивних подій у реальному часі вимагає затримки менше 5 секунд від події до кліпу, що змушує вас використовувати графічний процесор для виведення даних. Magnifi, Chopcast та WSC Sports – це готові до продакшену сторонні розробники. Якщо ви спеціалізуєтесь на спорті або комерції в прямому ефірі, інтегруйте один із них, перш ніж писати власний.

Рекомендації – як заробити 80% часу перегляду

Netflix стверджує, що близько 80% контенту, який дивляться учасники, надходить з рекомендацій (Gomez-Uribe and Hunt, 2016). Помилка, якої припускається більшість команд, полягає в тому, що вони починають зі спільної фільтрації та зупиняються на цьому. Правильний стек на 2026 рік складається з трьох рівнів.

1. Колаборативна фільтрація. Подібність між користувачами та елементами. Вирішує проблему холодної домашньої сторінки. Матрична факторизація або щільне вбудовування з двома вежами є налаштуваннями за замовчуванням у продакшені.

2. Сигнали на основі контенту. Метадані, жанр, теги, візуальні вбудовування, аудіо вбудовування, вбудовування транскриптів. Вирішує проблему холодного запуску для нових найменувань та нових користувачів.

3. Контекстне переранжування. Час доби, пристрій, контекст сеансу, давность, обмеження різноманітності. Саме звідси фактично відбувається збільшення часу сеансу, коли перші два шари стають справними.

Векторні бази даних (Pinecone, Weaviate, Qdrant, PGVector) роблять контентний рівень дешевим для доставки у 2026 році – впроваджуються мультимодальні вбудовування від TwelveLabs, Google Gemini або OpenAI, надаються семантичні рекомендації та пошук. До 100 мільйонів користувачів це рішення «оренда-не-будівництво».

Штучний інтелект для прямих трансляцій – модерація, коментування, низька затримка

Прямі трансляції – це момент, коли функції штучного інтелекту перетворюються з приємних переваг на ставки за столом. Три функції тепер є обов'язковими для будь-якої доставки користувацького контенту, продуктів для соціальних мереж або живої комерції у 2026 році. Модерація контенту в режимі реального часу виявляє нецензурне насильство, насильство та мову ворожнечі за менш ніж секунду. Субтитри зі штучним інтелектом транслюються разом із трансляцією із затримкою 500 мс та точністю понад 95% за чіткого звуку. Динамічне виділення яскравих моментів вирізає моменти, гідні повтору, та переносить їх у соціальні мережі протягом хвилини після події.

Ще одна річ, яку приніс 2026 рік, – це зручні протоколи з низькою затримкою. Cloudflare відкрила безкоштовний ретранслятор Media over QUIC (MoQ) як технічний попередній перегляд у серпні 2025 року, а в липні 2026 року додала бета-API для налаштування ізольованих ретрансляцій на MoQ Transport draft-14 та draft-16, безкоштовний під час бета-тестування. MoQ забезпечує затримку між екранами менше секунди; сьогодні він підходить для інтерактивних прямих трансляцій (комерція, ставки, аукціони, другий екран), а не замінює HLS та його 6–30-секундну затримку оптом. Якщо ваш план включає прямий ефір, а ви ще не охопили пілотний проект MoQ, додайте його – ми детально розбираємо протокол у нашому детальному огляді Media over QUIC .

Доступність та локалізація зі швидкістю штучного інтелекту

Субтитри, субтитри та дубляж на базі штучного інтелекту перетнули межу від «близького до людського» до «запуску у продакшені» протягом 2024-2025 років. Deepgram Nova-3 транскрибує годину чистого аудіо менш ніж за 10 секунд і заявляє про коефіцієнт помилок слів ~5%, хоча незалежні тести показують ближче до 7-10%. За даними OpenAI gpt-4o-trancribe (березень 2025 року), рівень помилок нижче Whisper для шумного аудіо. Google Cloud Speech-to-Text та AWS Transcribe охоплюють понад 100 мов. У ЄС субтитри тепер також є елементом відповідності: з 28 червня 2025 року Європейський закон про

доступність вимагає від сервісів, які надають доступ до аудіовізуальних медіа, передавати субтитри, аудіоописи та розмовні субтитри повністю, синхронно, з контролем користувача над тим, як вони відображаються. Якщо субтитри є основним елементом вашого продукту, наша команда розробників перетворення мовлення на текст створює конвеєри субтитрів у реальному часі на Whisper та Deepgram, локально або в хмарі.

Дубляж за допомогою штучного інтелекту пройшов шлях від новинки до виробництва в одному вікні. CAMB.AI створив перший дубльований за допомогою штучного інтелекту коментар до європейського футбольного матчу – живий, виразний італійський коментар до Трофею чемпіонів 2026 року (ПСЖ проти Марселя). Що стосується авторів, автоматичне дублювання на YouTube тепер охоплює 27 мов, а дубльовані версії займають близько 75% середньої тривалості перегляду оригіналу (YouTube, травень 2026 р.). ElevenLabs, HeyGen та подібні постачальники пропонують дубляж з функцією «людина в циклі» для каталогів за ціною, що становить лише частину вартості студійного дубляжу; плануйте бюджет на рецензійний пропуск для носія мови для будь-чого преміум-класу.

Семантичний пошук відео – функція, яку користувачі запитуватимуть до 2027 року

«Покажи мені ціль за останні 20 хвилин». «Знайди сцену, де персонаж каже, що переїжджає до Парижа». «Вибери мені найкращі кумедні моменти з цього подкасту». Ці запити тепер реалістичні. TwelveLabs Marengo 3.0, Google Gemini та Amazon Nova Multimodal Embeddings (загалом доступні в Bedrock з жовтня 2025 року, відео сегментами до 30 секунд) створюють ембеддинги, що охоплюють розповідь, дії, настрій та аудіо, індексовані у векторній базі даних для пошуку менше ніж за 100 мс.

Більшість продуктів не потребуватимуть створення цього з нуля. Орендуйте модель вбудовування, передайте її через векторну базу даних, надайте кінцеву точку пошуку. Залиште індивідуальну роботу для випадків, коли словник предметної області незвичайний (спортивні вистави, медичні

процедури, переходи між діджеями), а загальні вбудовування працюють неефективно.

Матриця постачальників потокової передачі даних – хто який ШІ постачає

Поле постачальників у 2026 році розділилося на три табори. Платформи API, орієнтовані на розробників (Mux, Cloudflare Stream, api.video), постачають функції штучного інтелекту як частину продукту. Корпоративні медіа-пакети (Bitmovin, Brightcove, JW Player) пропонують глибокі доповнення штучного інтелекту для великих каталогів. Хмарні примітивні інструменти (AWS Elemental MediaConvert, AWS IVS, Google Cloud Transcoder API) надають найнижчі рівні будівельні блоки для команд, які хочуть зібрати свій власний конвеєр. Microsoft припинила підтримку Azure Media Services 30 червня 2024 року, тому будь-який стек на базі Azure тепер означає сторонній кодер та програвач.

Звертайтеся до Mux, коли: ви в першу чергу орієнтовані на розробника, постачаєте VOD + прямі трансляції, і вам потрібні метадані, субтитри та розділи на основі штучного інтелекту в єдиній API-поверхні.

Звертайтеся до Cloudflare Stream, коли: глобальна затримка на периферії та низька затримка в прямому ефірі є вашими головними проблемами, використовуючи окремі ретрансляції MoQ від Cloudflare як пілотний шлях.

Звертайтеся до Bitmovin, коли: ви великий OTT-провайдер з власними сходами, HDR-конвеєрами та вимогами до аналізу сцен.

Звертайтеся до самостійного хостингу, коли: ваш рахунок за CDN перевищує 50 тис. доларів США на місяць (вихідний трафік для кількох PB), має значення місцезнаходження даних або ваш конвеєр штучного інтелекту є продуктом.

Міні-кейс – аудіо ШІ Shazam для діджеїв від Franchise Record Pool

Один з проєктів, що демонструє, як виглядає штучний інтелект у потоковому аудіо у продакшені: Franchise Record Pool, заснований Funkmaster Flex, – це платформа для розповсюдження та аналізу музики для професійних

діджеїв. Вона пропонує розпізнавання музики в стилі Shazam, яке називає оригінал будь-якого реміксу, а також голосового помічника на основі штучного інтелекту, який створює сет-лист на основі простої англійської підказки («італійський поп 90-х, BPM 140») на основі каталогу з понад 720 000 ліцензованих треків від Sony, Universal та Virgin. Стек працює на OpenAI API, Whisper та Amazon Polly, і весь цикл знаходиться всередині програми, без необхідності виходити з кабіни діджея.

Уроки продукту безпосередньо переносяться на будь-яку збірку ШІ для потокового відео. Виберіть одну високоцінну функцію ШІ та зробіть її відмінною, замість того, щоб постачати десять посередніх функцій. Помістіть важкий висновок за чергу та розглядайте його як асинхронне збагачення контенту, а не як блокувальник під час завантаження. Забезпечте можливість заміни моделі ШІ – сучасні технології аудіо- та відеомоделей швидко розвиваються, а чиста абстракція заощаджує переписування кожні 12–18 місяців. Більше в нашій статті про бібліотеку треків ШІ FRP .

Дорожня карта впровадження – 14-тижневе впровадження штучного інтелекту

Більшість програм зі впровадження штучного інтелекту, які ми запускаємо на існуючому потоковому продукті, складаються з трьох паралельних робочих потоків протягом 12–16 тижнів. Кодування + CDN на одному треку, рекомендації + пошук контенту на другому, функції контентної аналітики (субтитри, розділи, модерація) на третьому.

Модель витрат – що насправді працює через потокове відео зі штучним інтелектом

Консервативні діапазони за допомогою агентського інжинірингу. Середні ринкові показники, як правило, вищі – для більших офшорних команд або агентств котирування накладних витрат на 30-60%.

Вартість виконання розподіляється між CDN, логічним висновком та сховищем. OTT-трафік зі швидкістю 1 ПБ/місяць, який переходить з ланцюжка даних лише з H.264 на AV1 + для кожного заголовка + попередня обробка ШІ,

падає приблизно до 400 ТБ вихідного трафіку, або $4 000–$12 000/місяць на CDN за ціною $0,01–$0,03 за ГБ, плюс $2 000–$8 000 на ASR та API для аналізу сцен, плюс $1 000–$5 000 на векторну базу даних для recsys. У такому масштабі API ШІ коштують так само, як і доставка, тому виправдайте кожну функцію ключовим показником ефективності утримання або прибутковості від реклами, який вона переносить, а не лише економією CDN.

Структура прийняття рішень – п'ять питань перед покупкою

Який ваш поточний рахунок за CDN? Менше ніж $10 тис./місяць → придбайте керованого постачальника, поки що не оптимізуйте кодування. Понад $50 тис./місяць → оптимізація кодування – це найшвидша рентабельність інвестицій у штучний інтелект, яку ви можете отримати.

VOD, прямий ефір чи і те, й інше? Чистий VOD може публікуватися на Mux або Bitmovin. Для прямих трансляцій потрібні AWS IVS, Cloudflare Stream або самостійно розміщений ingest. Обидва → збірка.

Каталог ліцензований чи користувацький контент? Ліцензовані каталоги потребують надійних метаданих та правил. Користувацький контент потребує модерації спочатку, а все інше – потім.

Наскільки критично важливою є низька затримка? Потрібно менше секунди (жива комерція, спорт, інтерактивні події) → MoQ або WebRTC + SFU. 2–5 с прийнятно → LL-HLS або LL-DASH. 6–30 с нормально (стандартний OTT) → HLS або DASH.

Чи є recsys продуктом чи функцією? Продукт → збірка (власні сигнали, ранжирування, цикл перенавчання). Функція → оренда (вбудовування двох веж + готовий переранжирування).

П'ять підводних каменів, які руйнують проекти потокового відео зі штучним інтелектом:

1. Розгляд функцій ШІ як одного робочого потоку. Кодування, recsys та контент-інтелект мають різних власників, різні потреби в даних та різні частоти випусків. Запуск їх як однієї команди призводить до реалізації всіх трьох із запізненням. Розділіть їх з першого дня.

2. Рекомендації щодо доставки без експериментального стенду. Якщо ви не можете провести A/B-тестування двох варіантів ранкера з 10% трафіком та зчитати показники приросту за час сесії зі статистичною достовірністю за тиждень, ви не можете ітерувати модель. Створіть експериментальний стенд перед моделлю.

3. Надмірне кодування за низьких обсягів. Тільки за смугою пропускання кодування кожного заголовка та попередня обробка за допомогою штучного інтелекту окупаються, коли ваш рахунок за CDN досягне приблизно 10 тисяч доларів на місяць (приблизно 500+ ТБ за оптовими цінами). Нижче цього порогу керований постачальник, такий як Mux, зі стандартними AV1-рейдингами є дешевшим загалом.

4. Немає резервного варіанту для збоїв виведення ШІ. Ваш постачальник ASR вимикається о 3-й ночі. Що відбувається з субтитрами в реальному часі? Модель recsys починає повертати NaN. Що відображає головна сторінка? Кожній функції ШІ потрібен резервний варіант на основі правил або кешований.

5. Ігнорування дрейфу моделі. Моделі Recsys занепадають. Моделі модерації пропускають новий сленг. Голоси дубляжу застарівають. Заплануйте щоквартальний цикл перенавчання та закладіть його в бюджет – у моделі витрат це входить до діапазону 15–25% річного обслуговування.

KPI – що вимірювати після впровадження ШІ

Ключові показники якості. Час запуску <1,5 с на P50, <4 с на P95. Коефіцієнт ребуферизації <0,5% від часу відтворення. VMAF >85 на рівні бітрейту, який фактично отримують користувачі. Точність субтитрів WER <10% для чистого звуку.

Ключові показники ефективності бізнесу. Середній час сеансу зріс на 15–25% після запуску recsys. CTR мініатюр зріс на 15–25% після вибору штучного інтелекту. eCPM зріс на 12–20% після реклами з урахуванням сцени. Щомісячна вартість CDN за годину потокового передавання знизилася на 30–40% після кодування стека.

Ключові показники ефективності (KPI) надійності. Доступність

відтворення: 99,95%. 99,9% на API recsys (з резервним варіантом). Угода про рівень обслуговування (SLA) для конвеєра ASR: 99,9%. Детектор дрейфу працює на кожній моделі з щотижневими оглядами.

Коли НЕ варто створювати функції ШІ власними силами

Три форми, де використання власного ШІ є неправильною відповіддю. По-перше, рахунок за CDN менше 5 тисяч доларів на місяць – оптимізація кодування не варта витрат на інженерію. По-друге, каталог менше 500 найменувань – recsys не дає вам нічого значущого; виграє редакційне кураторство. По-третє, команда без можливостей машинного навчання – будь-яка модель, яку ви розгорнете, буде дрейфувати швидше, ніж ви зможете її перенавчити. В усіх трьох випадках виберіть керованого постачальника, відправте продукт і поверніться до ШІ на наступному етапі масштабування.

3.2 Розробка структурної схеми

Відеоаналітика – це використання технологій для автоматизації процесів та отримання цінної інформації з відеоданих. Вона використовується в системах безпеки та операційних системах для прийняття кращих рішень та практичних покращень у різних сферах. Відеоаналітика також може використовуватися для аналізу історичних даних для глибшого розуміння тенденцій та закономірностей з плином часу. Інтелектуальний відеоаналіз – це вдосконалене застосування відеоаналітики, яке дозволяє автоматизувати аналіз контенту для підвищення безпеки та операційної ефективності.

Традиційні системи відеоспостереження еволюціонували з додаванням відеоаналітики на базі штучного інтелекту та традиційної відеоаналітики, що дозволило проводити розширений аналіз відео в режимі реального часу, а також виявляти закономірності та аномалії за допомогою камер відеоспостереження та системи спостереження.

Програмне забезпечення для відеоаналітики – це складна технологія, яка використовує інтелектуальні алгоритми для аналізу відеоконтенту.

Відеоаналітика працює за допомогою передових алгоритмів для обробки та інтерпретації відеопотоків, щоб витягти з відеоматеріалів корисну інформацію для сповіщень у режимі реального часу або аналізу після подій. Використовуючи штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання, ця технологія збирає важливу інформацію з відеоматеріалів для покращення бізнес-операцій. Вона робить це шляхом моніторингу в режимі реального часу, виявлення об'єктів та використання інструментів відеоаналітики. Аналіз включає атрибути, моделі руху та поведінку.

Також відома як аналіз відеоконтенту або інтелектуальна відеоаналітика, ця функція допомагає компаніям оптимізувати безпеку, виробництво, управління паркуванням та обслуговування клієнтів.

Системи відеоаналітики використовують алгоритми машинного навчання, підмножину штучного інтелекту, для аналізу відеопотоків та відеоданих. Ці алгоритми покращують виявлення об'єктів, розпізнаючи невеликі відмінності між об'єктами у відео. Обробка відеопотоків допомагає алгоритмам ідентифікувати конкретні подразники на зображеннях, які вони захоплюють. Це дозволяє їм знаходити інформацію про незвичайні відмінності та відрізняти звичайну діяльність від нестандартної.

Такий розширений аналіз дозволяє приймати проактивні рішення та здійснювати моніторинг у режимі реального часу.

Функції відеоаналітики

Відеоаналітика автоматично аналізує відеозаписи для отримання інформації, що дозволяє покращити рішення щодо безпеки за допомогою сповіщень про інциденти в режимі реального часу. Функції включають розпізнавання облич, сповіщення правоохоронних органів про відомих правопорушників та неавторизованих осіб, а також алгоритми, що розпізнають такі атрибути клієнтів, як стать та вік. Розпізнавання облич використовується для виявлення людських облич у відеоконтенті та порівняння їх зі збереженими базами даних для подальшого підвищення безпеки.

Ці можливості роблять відеоаналітику важливою для операційної ефективності та безпеки в усіх галузях промисловості.

Основні технології у відеоаналітиці

Основні технології у відеоаналітиці поєднують штучний інтелект та машинне навчання для трансформації моніторингу та покращення реагування на потенційні загрози. Ці технології включають алгоритми глибокого навчання, периферійну аналітику та гібридні хмарні системи, кожна з яких відіграє ключову роль у відеоаналітиці.

Алгоритми глибокого навчання

Глибоке навчання революціонізує системи аналізу відео, імітуючи людську поведінку та забезпечуючи складний автоматизований аналіз на основі моделей, а не програмної логіки. Ці алгоритми покращують виявлення об'єктів та розпізнавання дій, розпізнаючи складні закономірності для покращення аналізу відео в реальному часі. Глибоке навчання – це підмножина машинного навчання, яка використовує нейронні мережі для навчання на основі даних.

Моделі глибокого навчання та моделі машинного навчання класифікують дії в різних контекстах, роблячи відеоаналітику точнішою та ефективнішою.

Аналітика периферійних даних

Периферійна аналітика обробляє відео ближче до місця генерації даних, щоб оптимізувати ефективність та зменшити затримку. Обробляючи відеодані на пристрої, периферійна аналітика зменшує обсяг даних, які необхідно передавати мережею, що призводить до швидшого реагування та кращих можливостей аналізу в режимі реального часу.

Такий підхід також покращує конфіденційність і безпеку, зменшуючи передачу даних і мережевий трафік.

Гібридні хмарні системи

Гібридні хмарні системи у відеоаналітиці дозволяють організаціям балансувати локальну обробку та хмарне сховище для управління ресурсами. Вони використовують периферійну обробку для простого розпізнавання об'єктів

на пристрої та завантажують у хмару лише відповідні відеоматеріали для глибшого аналізу.

Такий підхід пропонує розширені можливості штучного інтелекту, простоту керування та масштабованість, що дозволяє створювати ефективні системи керування відео та проводити детальний аналіз.

Розширені методи відеоаналітики зі штучним інтелектом

З розвитком технології відеоаналітики на основі штучного інтелекту, вона може робити набагато більше, ніж просто виконувати базове виявлення. Сучасні системи тепер можуть забезпечити краще розуміння того, що відбувається в сцені, включаючи інтерпретацію поведінки та потенційних ризиків.

Такі передові методи, як відстеження об'єктів, виявлення руху та аудіоаналітика, відіграють ключову роль у покращенні рішень відеоаналітики.

Відстеження об'єктів

Відстеження об'єктів призначене для моніторингу наявності, руху та поведінки певних предметів з плином часу – будь то посилки, що переміщуються складом, люди, що рухаються магазином, чи транспортні засоби, що наближаються до перехрестя. Відстежуючи об'єкти в різних кадрах, відстеження надає вам контекст, який саме лише виявлення не може надати. Такі речі, як напрямок, швидкість або незвичайна активність.

Сучасні системи використовують розширені функції відстеження, такі як повторна ідентифікація (ReID **),** що базується на вбудовуванні зовнішнього вигляду, для забезпечення послідовної ідентифікації навіть тоді, коли об'єкти залишають та знову входять у кадр або з'являються за різних умов освітлення. Це підвищує довгострокову точність та надійність відстеження.

Щоб пришвидшити розробку, багато рішень для відеоаналітики використовують попередньо навчені моделі, такі як YOLOv7, які забезпечують високопродуктивне виявлення об'єктів "з коробки". Ці моделі є чудовою основою, яку можна точно налаштувати для вашого середовища або доручити скорочення часу розробки та підвищення загальної точності.

Виявлення руху

Алгоритми виявлення руху аналізують послідовності відеокадрів, щоб виявити зміни та моделі руху, завдяки чому системи можуть розрізняти нормальну активність та потенційні загрози. Окрім простого виявлення руху, сучасна аналітика може бачити, що рухається і як, тому ви можете ідентифікувати такі події, як порушення правил дорожнього руху, порушення периметра або ранні попередження про небезпеку, такі як полум'я чи дим.

Завдяки автоматичному виявленню просторових та часових подій, відеоаналітика надає вам видимість у режимі реального часу для швидшого прийняття рішень. Це посилює безпеку та допомагає оптимізувати операції, зменшити кількість хибних тривог та зрозуміти тенденції активності у вашому середовищі.

Аудіоаналітика

Розумна аудіоаналітика виходить за рамки того, що може бачити камера, інтерпретуючи звуки навколишнього середовища. Ці системи можуть виявляти ознаки лиха або небезпеки, такі як підвищені голоси, розбите скло, постріли або певні ключові слова, та запускати сповіщення без шкоди для конфіденційності особистої інформації.

Виявляючи загрозливі або незвичайні звуки в режимі реального часу, аудіоаналітика підвищує ефективність ваших систем безпеки . Це означає швидший час реагування, більш проактивне управління інцидентами та кращу загальну безпеку в кампусах, торгових приміщеннях та громадських місцях.

Рішення для відеоаналітики

Впровадження рішень для відеоаналітики на основі штучного інтелекту вимагає врахування таких факторів, як порівняння індивідуальних та готових рішень. Правильна платформа відеоаналітики скорочує час і ресурси, необхідні для аналізу даних безпеки, для швидшого реагування та підвищення операційної ефективності. Хоча початкові витрати на розробку систем відеоаналітики можуть бути високими, це часто призводить до довгострокової економії коштів завдяки оптимізації операцій та зменшенню ручного втручання.

Вибір правильної платформи для відеоаналітики

Простота використання та інтеграція з існуючими системами є ключовими факторами при виборі платформи відеоаналітики. Компанії часто розробляють власні системи комп'ютерного зору, щоб задовольнити бізнес-вимоги щодо інтеграції, гнучкості, продуктивності та економічної ефективності.

Зручна платформа дає негайні переваги та плавніше впровадження.

Індивідуальні рішення проти готових рішень

Готові рішення розроблені для поширених застосувань, але можуть мати обмежені можливості налаштування та вимагати додаткової адаптації для задоволення конкретних потреб. Індивідуальні рішення для відеоаналітики можна адаптувати до унікальних бізнес-вимог, щоб підвищити операційну ефективність та надати конкретну аналітику, яку стандартні рішення не можуть надати.

Використання існуючих бібліотек для відеоаналітики може допомогти у створенні користувацьких рішень для додавання таких функцій, як відстеження об'єктів або відстеження пози .

Етичні міркування

Етичні міркування гарантують, що програми відеоаналітики поважають права особистості та конфіденційність. Захист особистих даних є ключовим, тому під час моніторингу потоків спостереження слід вибирати рішення, які не збирають особисту інформацію. Системи штучного інтелекту автоматизують забезпечення дотримання політик та створюють журнали аудиту, щоб допомогти установам дотримуватися правил конфіденційності, таких як FERPA, без ручного втручання.

Майбутнє відеоаналітики

Майбутнє відеоаналітики світле, оскільки досягнення штучного інтелекту та машинного навчання мають покращити процес прийняття рішень у різних галузях. Майбутні тенденції включають інтеграцію штучного інтелекту та відеоаналітики, обробку даних у режимі реального часу та пристрої Інтернету речей.

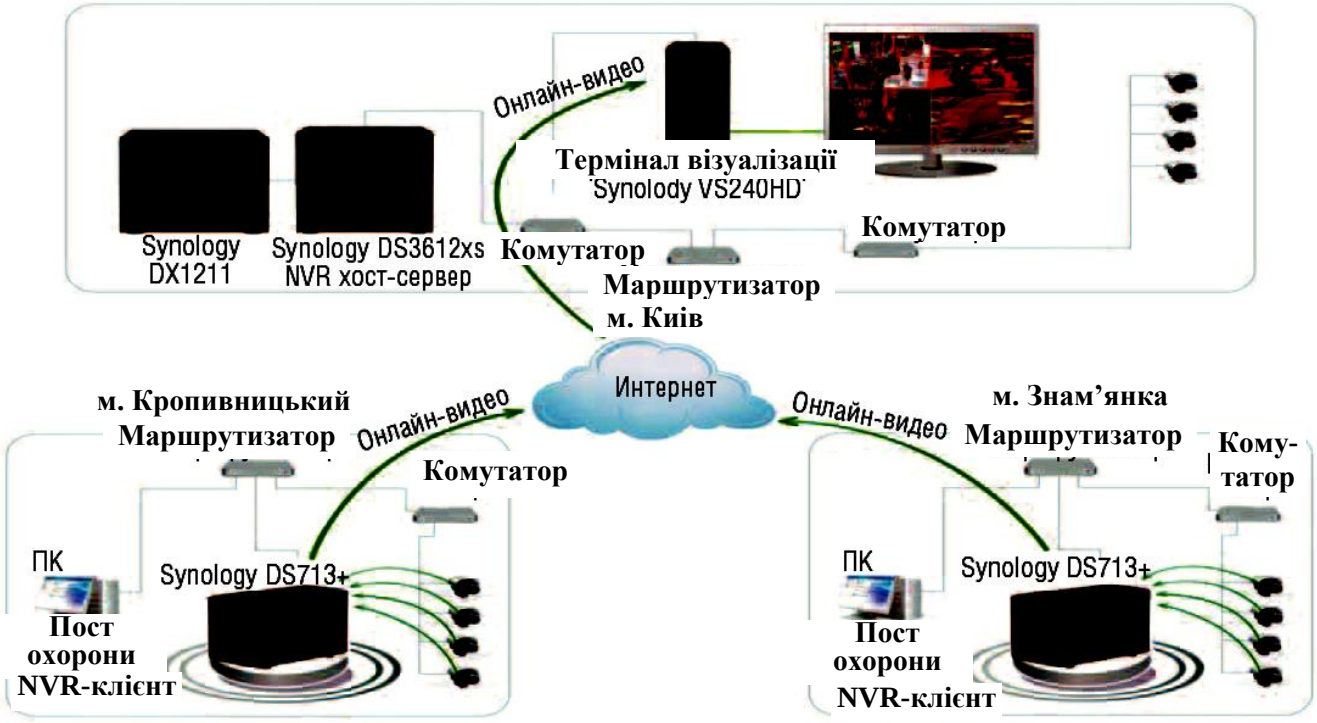

Рисунок 3.1 – Структурна схема системи

Штучний інтелект та машинне навчання

Технологія штучного інтелекту значно покращить ситуаційну обізнаність та операційну ефективність програмного забезпечення для відеоаналітики. Перспективи ще кращі, оскільки штучний інтелект та машинне навчання призведуть до розумнішої, більш адаптивної та проактивної відеоаналітики.

Значний відсоток підприємств вже впровадив інструменти на базі штучного інтелекту, що ілюструє зростаючу важливість цих технологій.

Пристрої Інтернету речей

Майбутня відеоаналітика використовуватиме дані з підключених пристроїв Інтернету речей для кращої ситуаційної обізнаності. Зростання популярності пристроїв Інтернету речей збільшить обсяг даних, доступних для відеоаналітики, і дозволить більш автономно налаштовувати фізичну інфраструктуру на основі аналізу даних.

Спрощені інтерфейси користувача

Майбутні інтерфейси відеоаналітики будуть зосереджені на спрощенні використання. Найновіші тенденції підкреслюватимуть простоту та доступність, щоб допомогти користувачам краще взаємодіяти та працювати ефективніше. Гарний користувацький досвід є важливим у розробці відеоаналітики для забезпечення безперебійної роботи.

3.3 Розробка функціональної схеми

На рисунку 3.2 наведено функціональну схему розробленої системи. Архітектура комплексу орієнтована на забезпечення високоефективного моніторингу, обробки й аналізу відеопотоків та включає такі базові функціональні модулі:

– Моніторинг: підтримує підключення до 32 відеокамер із можливістю їх відображення на одному або розділених моніторах. Застосування режиму overlay забезпечує виведення зображення з аналоговою якістю, а також підтримує цифрове збільшення у 2, 4, 8 і 16 разів та функцію голосового супроводу подій.

– Запис і компресія даних: стиснення відеопотоків реалізується за допомогою алгоритму Motion-Wavelet, що дозволяє адаптувати розмір кадру залежно від роздільної здатності, кольоровості, ступеня стиску та деталізації, досягаючи бітрейту в межах від 2 до 80 Кб/с. Передбачено режими постійного запису, активації за детекцією руху, за командою, а також функції попереднього запису (pre-recording) і дозапису для кожної камери.

– Детекція руху та аналіз подій: забезпечує відстеження рухомих об'єктів із високою стійкістю до перешкод, емпіричним настроюванням за розміром і контрастністю, незалежним конфігуруванням зон детекції, візуальним виділенням контурів та динамічним перерозподілом обчислювальних ресурсів для тривожних каналів.

– Відтворення та робота з архівом: підтримує одночасний перегляд відеоархіву паралельно із записом, індексацію даних під час запуску системи для

прискореного пошуку за датою й часом, відображення добової щільності запису, покадрове відворотне та прямолінійне програвання (зі швидкістю до 25 кадрів за секунду), а також експорт фрагментів у формат AVI через спеціалізовану утиліту зовнішнього декодування.

– Вбудований вебсервер (WEB Server): надає віддалений доступ через веббраузер для моніторингу камер, перегляду відеоархівів і керування режимами охорони.

– Аудіореєстрація: забезпечує введення аналогових сигналів із зовнішніх джерел (мікрофонів, телефонних ліній) у синхронному або незалежному від відео режимі, що підвищує якість контролю в зонах підвищеної відповідальності (переговорні кімнати, службові приміщення).

– Мережевий доступ та розподілені робочі місця: реалізує клієнт-серверну взаємодію за допомогою мережевого режиму, що дозволяє організувати віддалені пости охорони, адміністраторів чи керівного складу з повним або обмеженим набором прав керування та перегляду зафіксованих подій.

– Керування поворотними пристроями (PTZ): інтегровані інструменти безпосереднього позиціонування та панорамування камер із робочого місця оператора.

– Обробка зовнішніх датчиків та інтеграція: модуль контролю охоронної й пожежної сигналізації з можливістю автоматичного запуску виконавчих пристроїв (сирен, систем оповіщення).

– Спеціалізовані маніпулятори (джойстики): заміна стандартних пристроїв введення спеціалізованим маніпулятором для запобігання несанкціонованому втручанню операторів у роботу операційної системи чи програмного забезпечення.

Розроблена система відеоспостереження та інтелектуального аналізу забезпечує:

– високу якість відтворення та надійність збереження відеоматеріалів;

– миттєвий пошук і доступ до відеоархівів за часом, датою та камерою;

– можливість масштабування та цифрового збільшення кадрів;

– інтеграцію з іншими комп'ютерними комплексами безпеки;

– ефективну трансляцію архівів каналами зв'язку (включно з мережею Інтернет) та автоматичне надсилання тривожних сповіщень через *SMS* та електронну пошту.

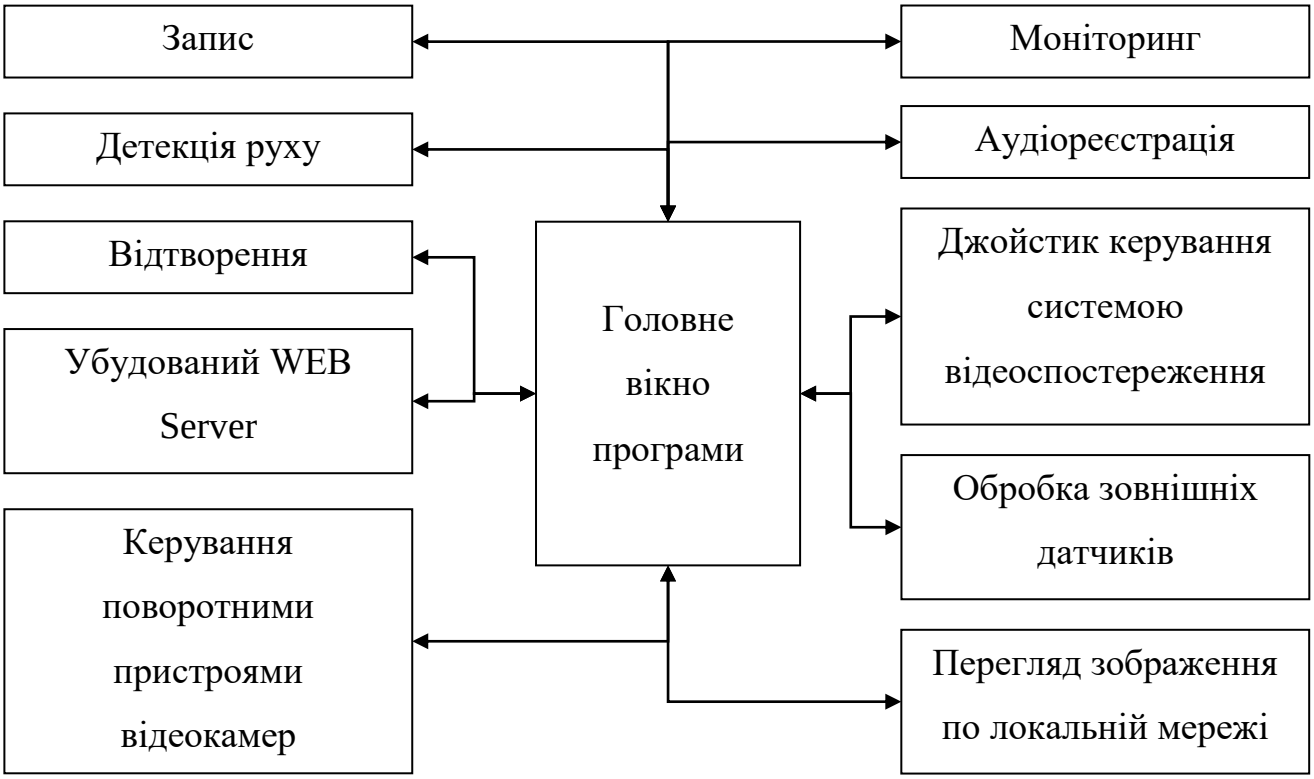

Рисунок 3.2 – Функціональна схема системи

Розглянувши усі блоки функціональної схеми перейдемо до розгляду діаграми взаємодії процесів, які відбуваються у системі.

3.4 Розробка діаграми процесів

Діаграма процесів розроблюваної системи наведено на рисунку 3.3. Її детальний аналіз дозволяє простежити характер взаємодії внутрішніх компонентів та маршрутизацію інформаційних потоків у межах комплексної системи інтелектуального аналізу відеопотоків. У процесі проєктування

застосовується модель графічного представлення потоків даних (Data Flow Diagram, DFD), яка наочно відображає рух, трансформацію та збереження інформації (зокрема, необроблених відеокадрів, потоків метаданих, результатів роботи моделей глибокого навчання та сповіщень про події).

Діаграми взаємодії процесів є фундаментальним інструментом структурного проєктування для візуалізації обробки даних. Традиційно розробка розпочинається з побудови контекстної діаграми потоків даних, яка ілюструє загальну взаємодію розроблюваної системи аналізу відеопотоків зі зовнішнім середовищем (операторами, джерелами відеосигналу, сховищами архівів та зовнішніми сервісами сповіщень). У подальшому ця модель деталізується шляхом поетапної декомпозиції процесів і потоків даних з метою повної та всебічної демонстрації архітектури комплексу, що створюється.

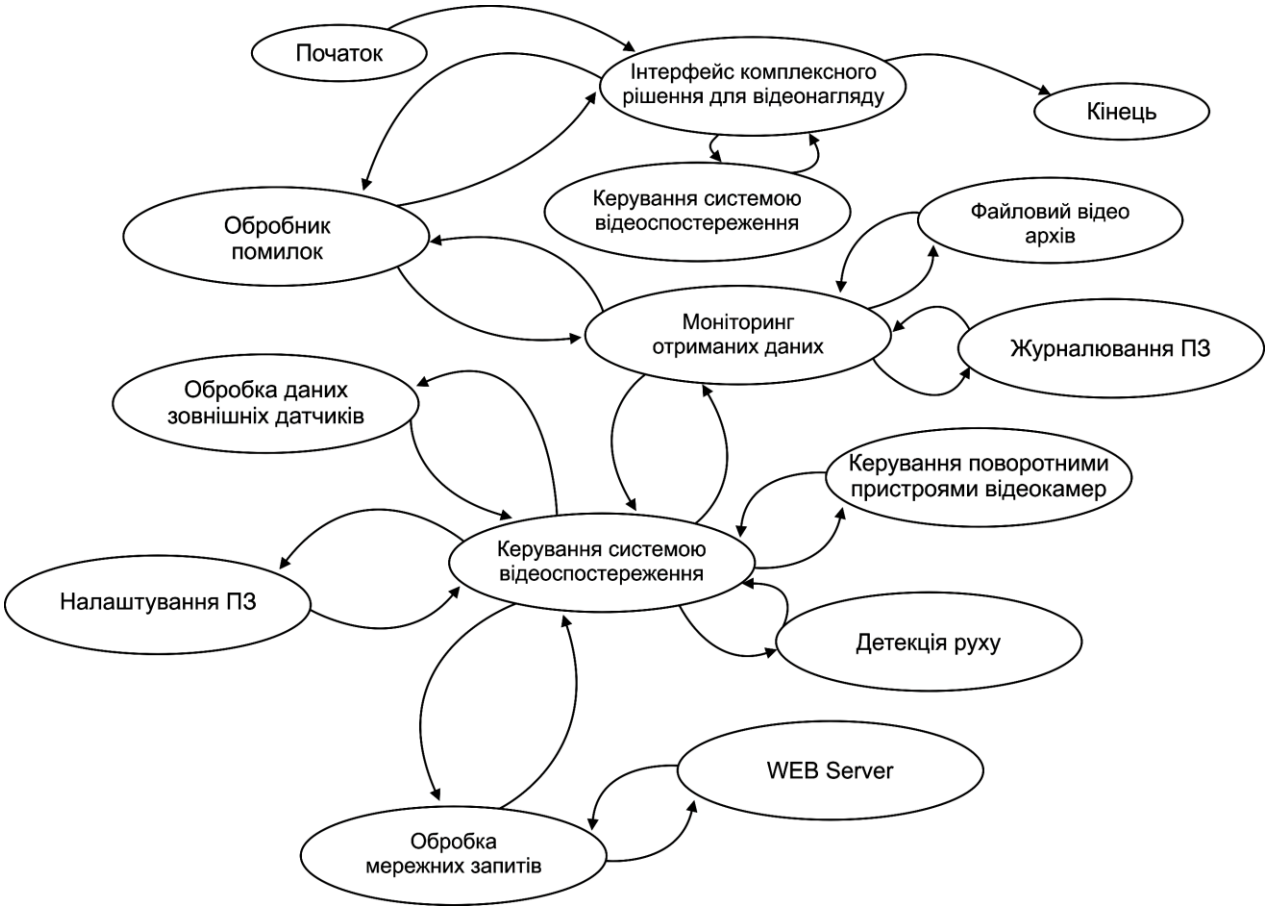

Рисунок 3.3 – Діаграма взаємодії процесів

4 РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ. РОЗРАХУНКИ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

4.1 Блок-схеми та опис алгоритмів функціонування системи

Алгоритмічне забезпечення системи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків призначене для автоматизованого отримання, оброблення та інтерпретації візуальної інформації з декількох джерел відеоданих. Основним завданням є виявлення об’єктів, визначення їхнього просторового розташування, відстеження переміщень та розпізнавання подій на основі моделей глибокого навчання. Комплексний характер аналізу передбачає поєднання результатів декількох алгоритмів комп’ютерного зору.

Це дозволяє переходити від оброблення окремих кадрів до дослідження часових залежностей і формування структурованих повідомлень про спостережувані ситуації. Проєктне рішення орієнтоване на використання потокового конвеєра, який забезпечує приймання відео, нейромережевий інференс, аналіз траєкторій та збереження отриманих результатів.

Загальний порядок виконання програмних операцій відображено на рисунку 4.1, де представлено основну блок-схему функціонування системи.

Оброблення починається з підключення джерела відеосигналу та перевірки доступності потоку. Після отримання відеокадрів виконується декодування та попереднє перетворення зображень.

Підготовлені кадри надходять до модуля нейромережевого аналізу, який визначає об’єкти та їхні характеристики. Далі результати передаються до компонента відстеження. Він встановлює відповідність між об’єктами на послідовних кадрах і формує траєкторії переміщення. На основі отриманих просторово-часових даних виконується розпізнавання визначених подій.

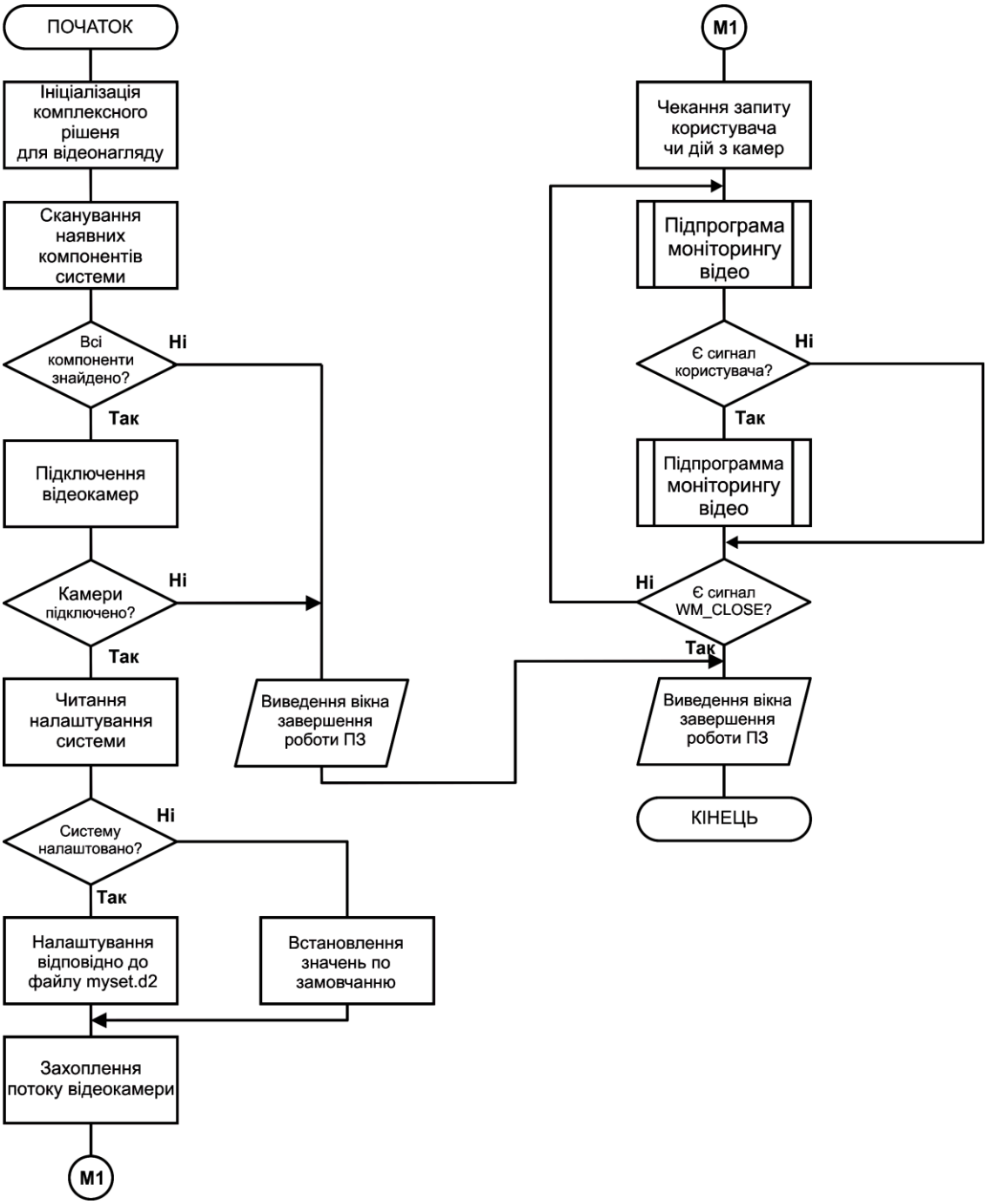

Рисунок 4.1 – Блок-схема основної програми

Після перевірки умов спрацювання формується аналітичний запис, який може використовуватися для відображення результатів або надсилання відповідного сповіщення.

Для забезпечення функціональної незалежності компонентів доцільно застосовувати модульну архітектуру. Підсистема приймання відео відповідає за підключення камер і декодування потоків. Компонент попереднього оброблення

виконує масштабування, нормалізацію та перетворення кольорового представлення. Модуль глибокого навчання здійснює детекцію або класифікацію. Підсистема відстеження підтримує ідентифікатори об’єктів у межах відповідного відеопотоку. Аналітичний компонент формує події на основі траєкторій, просторових зон і часових умов. Окремі програмні засоби забезпечують зберігання метаданих, керування налаштуваннями та доступ користувача до результатів.

Важливою особливістю потокового аналізу є необхідність оброблення інформації в умовах обмеженого часу. На відміну від звичайного аналізу відеофайлів, система повинна враховувати швидкість надходження кадрів і допустиму затримку формування результату.

Якщо інтенсивність обчислень перевищує продуктивність обладнання, у черзі можуть накопичуватися застарілі кадри. У такій ситуації необхідно визначити політику керування навантаженням. Вона може передбачати зменшення частоти аналізу, використання компактнішої моделі або контрольоване пропускання частини кадрів. Вибір відповідної стратегії залежить від вимог конкретного сценарію.

Послідовність роботи підпрограми аналізу поведінки об’єктів доцільно представити окремим алгоритмом на рисунку 4.2. На вході підпрограма отримує результати детекції, ідентифікатори відстежуваних об’єктів та часові позначки кадрів. Після перевірки коректності даних виконується оновлення траєкторій. Далі визначається положення об’єктів відносно контрольованих областей. Для кожної активної траєкторії перевіряються задані просторові та часові умови. Якщо вони виконані, створюється кандидат на реєстрацію події. Після застосування правил усунення повторних спрацювань результат передається до підсистеми обліку інцидентів.

Архітектура повинна передбачати можливість одночасної роботи з декількома відеоджерелами. Для цього кожному потоку призначається унікальний ідентифікатор. Отримані кадри, результати детекції та об’єктні траєкторії повинні зберігати належність до відповідної камери. Ідентифікатори відстеження,

сформовані незалежними алгоритмами, не можна автоматично використовувати як глобальні ідентифікатори фізичних об’єктів.

Для встановлення відповідності між різними камерами потрібні додаткові методи зіставлення, які враховують зовнішній вигляд, час і просторову конфігурацію системи.

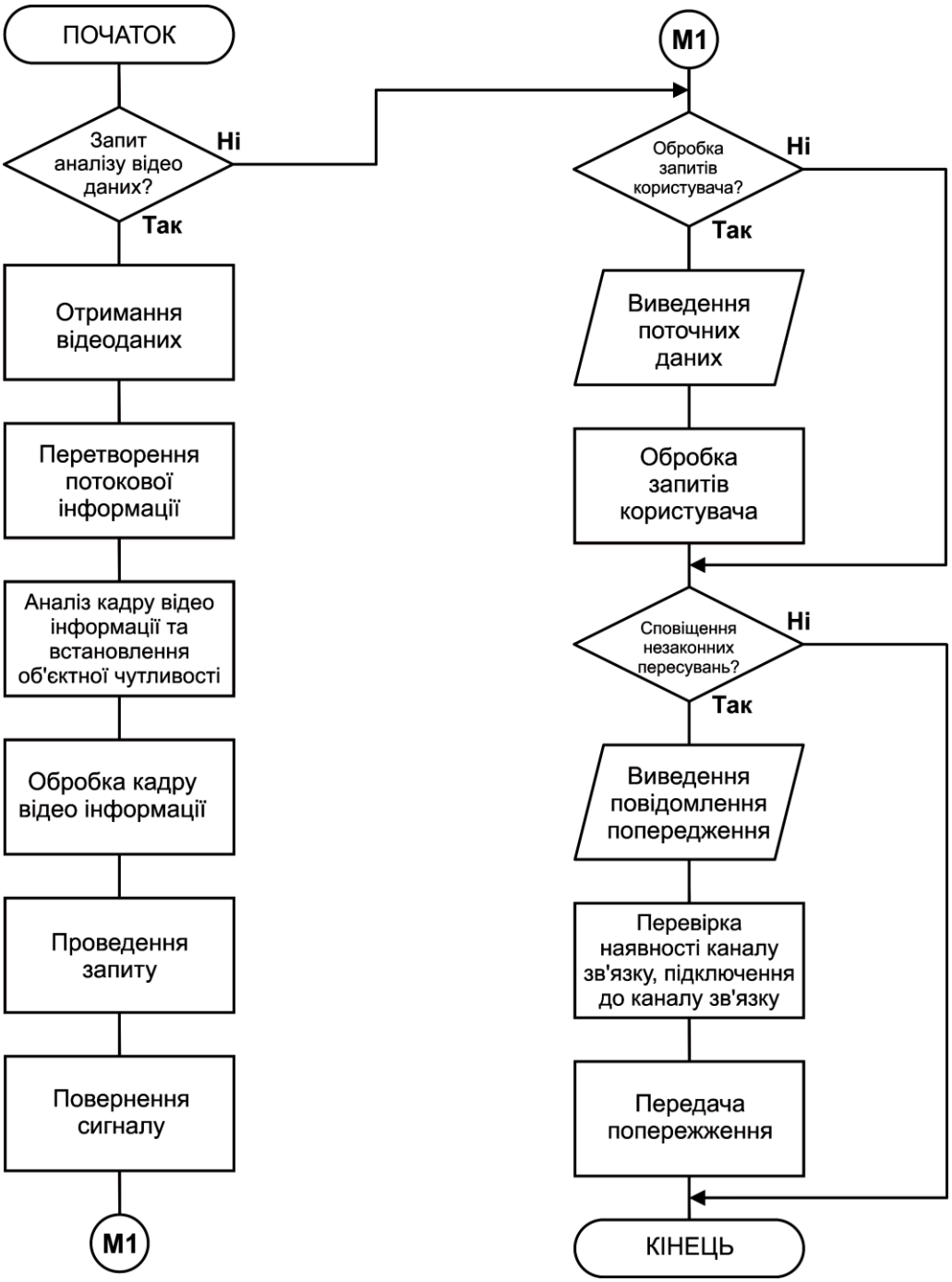

Рисунок 4.2 – Блок-схема роботи підпрограми

Для побудови нейромережевої підсистеми можуть використовуватися сучасні архітектури детекції об’єктів, зокрема моделі сімейства YOLO. Такі моделі формують координати обмежувальних прямокутників, класи та відповідні оцінки впевненості. Як альтернативні рішення можуть розглядатися Faster R-CNN або DETR. Вибір залежить від необхідної точності, підтримуваних класів, продуктивності обчислювального обладнання та доступності навчальних даних. Конкретна модель не повинна вважатися фактично використаною без підтвердження відповідною програмною реалізацією.

Для відстеження виявлених об’єктів можливе використання алгоритмів SORT, DeepSORT або ByteTrack. Їхня спільна задача полягає у встановленні відповідності між результатами детекції на послідовних кадрах. При цьому застосовуються різні механізми прогнозування положення, зіставлення об’єктів і використання додаткових ознак. Наприклад, ByteTrack передбачає залучення детекцій із нижчими оцінками впевненості для відновлення траєкторій, які могли бути втрачені через часткове перекриття об’єктів. Це не означає гарантованої відсутності помилок ідентифікації.

Окрему роль відіграє часова аналітика. Результат детекції на одному кадрі не завжди дозволяє зробити обґрунтований висновок про характер події. Наприклад, наявність людини біля входу не підтверджує факт проникнення. Для такого висновку необхідно враховувати послідовність переміщень, перетин контрольованої межі, стан доступу та інші доступні дані. Тому алгоритми формування подій повинні спиратися на підтверджені візуальні ознаки й формалізовані правила, а не на довільну інтерпретацію окремих зображень.

Для підтримання коректності аналізу необхідно розмежовувати первинні відеодані, результати нейромережевих обчислень та сформовані аналітичні висновки. Первинний потік містить послідовність кадрів. Результат детекції характеризує об’єкти, які модель визначила на конкретному кадрі. Траєкторія містить часову послідовність положень одного відстежуваного об’єкта. Аналітична подія формується лише після виконання встановлених умов. Такий

поділ дозволяє перевіряти причини спрацювання та досліджувати помилки окремих компонентів.

Архітектурна реалізація багатопотокового відеоаналізу

Для забезпечення незалежної обробки джерел доцільно сформувати окремі логічні конвеєри приймання відеоданих. Кожний конвеєр повинен підтримувати стан підключення, параметри декодування та поточну позицію оброблення.

Вхідними даними є мережеві адреси камер або шляхи до відеофайлів. Після перевірки конфігурації створюється відповідний приймач. Він відповідає за отримання закодованих даних та їхнє передавання декодеру.

Для зменшення обчислювальних витрат можливе об’єднання кадрів із різних потоків у пакет для нейромережевого інференсу. При цьому кожний кадр повинен супроводжуватися ідентифікатором джерела та часовою позначкою. Після обчислення результати повертаються до відповідних компонентів відстеження.

Засоби пакетної обробки, зокрема nvstreammux у NVIDIA DeepStream, дозволяють формувати пакети кадрів із декількох джерел. Практична доцільність такого механізму залежить від використовуваної апаратної платформи та відповідного програмного конвеєра.

Результатом є архітектура, яка підтримує паралельне приймання відео з можливістю спільного використання обчислювальних ресурсів.

Організація приймання та декодування відеопотоків

Підключення відеоджерел може здійснюватися через RTSP, локальні файли або інші підтримувані інтерфейси. Для мережевих камер доцільно розглядати RTSP, який використовується для керування потоковими сеансами.

Вхідними параметрами є адреса джерела, спосіб автентифікації та конфігурація транспортного з’єднання. На початковому етапі перевіряється коректність адреси. Далі виконується встановлення сеансу та отримання характеристик потоку.

Після підключення визначаються кодек, роздільна здатність і доступні часові характеристики. Для декодування H.264 або H.265 можуть використовуватися FFmpeg чи GStreamer.

RTSP може передавати медіадані через RTP із використанням UDP або TCP відповідно до конфігурації. Вибір транспортного механізму впливає на характер втрат, повторного передавання та затримок.

Після декодування формується кадр у визначеному форматі. Для подальшого нейромережевого аналізу можуть використовуватися RGB або інші представлення, які відповідають вимогам моделі.

Якщо з'єднання переривається, приймач повинен перейти до стану відновлення. Повторні спроби підключення необхідно виконувати з обмеженням частоти. Під час відновлення слід перевірити актуальність часових позначок і скинути стан відстеження, якщо безперервність траєкторій більше не може бути гарантована.

Розроблення механізму часової синхронізації кадрів

Для достовірної багатопотокової аналітики важливо правильно інтерпретувати часові характеристики отриманих кадрів.

Кожне джерело може формувати власні часові позначки. Вони залежать від конфігурації камери, системного годинника та параметрів передавання відео. Тому час отримання кадру сервером не завжди збігається з часом його фактичного формування.

На початковому етапі необхідно визначити, які часові характеристики доступні від джерела. Для потоку можуть використовуватися PTS, DTS або відповідні часові дані транспортного рівня.

PTS визначає час представлення відповідного кадру. DTS характеризує порядок декодування. Їхні значення не слід безпосередньо вважати універсальним календарним часом.

Для аналізу подій у межах одного потоку достатньо узгодженої часової шкали. Для зіставлення подій різних камер необхідно забезпечити синхронізацію їхніх годинників або визначити допустиму похибку.

За наявності відповідної підтримки можуть застосовуватися NTP чи інші механізми синхронізації.

Якщо достовірність часових позначок не підтверджена, міжкамерні події повинні отримувати відповідний статус невизначеності.

Проєктне рішення щодо підготовки кадрів до глибокого навчання

Нейромережеві моделі очікують вхідні дані визначеної структури. Тому декодовані відеокадри необхідно перетворювати відповідно до параметрів обраної моделі.

На першому етапі виконується перевірка розмірів і формату зображення. Далі за потреби здійснюється перетворення колірного простору та зміна роздільної здатності.

Для збереження пропорцій може застосовуватися масштабування із заповненням вільних областей. Такий підхід часто використовується в системах детекції.

Після масштабування необхідно зберігати коефіцієнти перетворення й параметри заповнення. Вони потрібні для відновлення координат виявлених об’єктів у просторі початкового кадру.

Наступним етапом є нормалізація значень пікселів. Вона повинна відповідати вимогам навчання конкретної моделі.

Далі формується вхідний тензор. Його розмірність і порядок каналів визначаються використовуваною архітектурою.

Результатом є підготовлений кадр із супровідними параметрами, необхідними для подальшої інтерпретації вихідних даних.

Обґрунтування використання моделей детекції об’єктів

Детекція є базовою операцією для більшості сценаріїв комплексного аналізу. Вона забезпечує визначення просторових областей, у яких розташовані об’єкти встановлених категорій.

Вхідними даними є підготовлений відеокадр. Після запуску моделі формується набір передбачень. Кожне передбачення може містити координати обмежувального прямокутника, номер класу та оцінку впевненості.

На початковому етапі післяоброблення виконується перевірка правильності координат. Далі застосовується поріг впевненості та інші правила відбору.

Для моделей, які формують декілька перекривних передбачень одного об’єкта, може використовуватися Non-Maximum Suppression. Водночас необхідність цього етапу залежить від архітектури конкретного детектора.

Після відбору координати приводяться до початкової системи зображення.

Результатом є набір просторових областей із визначеними класами та оцінками впевненості.

Для практичного застосування необхідно враховувати, що детектор визначає лише класи, представлені під час його навчання. Виявлення спеціалізованих об’єктів може потребувати адаптації моделі.

Реалізація зіставлення об’єктів у послідовності кадрів

Після детекції необхідно визначити, які об’єкти на поточному кадрі відповідають раніше виявленим об’єктам.

Вхідними даними є результати поточної детекції та набір активних траєкторій.

На першому етапі для кожної траєкторії прогнозується очікуване положення. Для цього може використовуватися фільтр Калмана.

Далі обчислюється вартість зіставлення прогнозованих і фактичних областей. Вона може визначатися за IoU або додатковими ознаками.

Для розв’язання задачі призначення можливе використання угорського алгоритму. Він дозволяє знайти відповідність між наборами об’єктів за визначеною матрицею вартостей.

Після встановлення відповідності оновлюються траєкторії. Нові детекції, які не відповідають наявним записам, можуть ініціювати створення нових ідентифікаторів.

Якщо об’єкт тимчасово не визначено, його траєкторія може зберігатися протягом установленого інтервалу. Після перевищення цього інтервалу запис переходить до завершеного стану.

Результатом є набір траєкторій із часовою послідовністю положень об’єктів.

Особливості відновлення траєкторій за часткового перекриття

Під час оброблення відеопотоків об’єкти можуть частково перекривати один одного. У таких умовах оцінка впевненості детектора часто зменшується, а деякі області тимчасово не визначаються.

Для покращення безперервності відстеження може застосовуватися підхід ByteTrack, запропонований Zhang та співавторами у 2022 році.

Його особливістю є використання двоетапного зіставлення. Спочатку активні траєкторії зіставляються з детекціями, які мають високі оцінки впевненості. Далі частина незавершених зіставлень може уточнюватися за допомогою детекцій із нижчими оцінками.

Такий підхід дозволяє використовувати додаткову інформацію, яка могла бути втрачена під час жорсткого відбору передбачень.

Водночас використання низьковпевнених детекцій збільшує потребу в контролі помилкових відповідностей. За складних умов можуть виникати зміни ідентифікаторів, фрагментація траєкторій і помилкове продовження руху.

Тому параметри відстеження необхідно визначати відповідно до характеристик відеосцен і використовуваної моделі детекції.

Результатом є механізм підтримання траєкторій за умов часткового перекриття об’єктів.

Реалізація багатомодельної обробки відеоданих

Комплексний аналіз може потребувати використання декількох моделей глибокого навчання. Їх доцільно організовувати у вигляді послідовного або умовного обчислювального конвеєра.

Первинна модель виконує детекцію об’єктів. Після отримання результатів система визначає, чи потрібне додаткове оброблення.

Наприклад, для встановлених класів може запускатися окрема модель визначення атрибутів. Вона отримує не весь кадр, а відповідну область зображення.

Для аналізу положення тіла людини може використовуватися модель оцінювання ключових точок. Для визначення виду рухової активності потрібен компонент, який аналізує часову послідовність таких ознак.

Необхідно уникати запуску всіх моделей для кожного кадру без перевірки необхідності. Це може суттєво збільшувати навантаження.

Для кожної моделі доцільно визначити відповідні умови активації, допустиму затримку та перелік підтримуваних класів.

Результатом є багатомодельний конвеєр, у якому ресурси використовуються відповідно до характеру візуальної задачі.

Особливості розпізнавання дій на основі часових послідовностей

Розпізнавання дій відрізняється від звичайної класифікації зображень. Для встановлення характеру руху необхідно враховувати інформацію з декількох послідовних кадрів.

Вхідними даними можуть бути короткі відеофрагменти, послідовності ключових точок або ознаки відстежуваних об’єктів.

Для оброблення можуть застосовуватися тривимірні згорткові мережі, часові трансформери або інші архітектури, навчені на відповідних класах активності.

На першому етапі формується часовий фрагмент визначеної тривалості. Далі виконується приведення його характеристик до формату моделі.

Після інференсу отримуються оцінки підтримуваних класів дій. Результат може уточнюватися шляхом агрегування передбачень із сусідніх часових вікон.

Важливо враховувати, що класифікатор визначає візуальні ознаки дії, а не наміри людини. Наприклад, активний рух не повинен автоматично інтерпретуватися як агресивна поведінка.

Для спеціалізованих сценаріїв необхідно сформувати відповідний навчальний набір і провести перевірку якості розпізнавання.

Результатом є часова класифікація в межах визначених можливостей моделі.

Інтелектуальна оцінка складених відеоподій

Після формування просторових і часових характеристик необхідно визначити, чи відповідає їхня сукупність установленому сценарію.

Вхідними даними є результати детекції, стан траєкторії, події перетину ліній та оцінки поведінкових моделей.

Для кожного сценарію формується відповідна логічна умова. Наприклад, подія тривалого перебування потребує підтвердження належності об’єкта до визначеної зони та перевищення часової межі.

Окремо можна враховувати достовірність детекцій. Для цього використовується агрегована оцінка з послідовності спостережень.

Загальний показник пріоритету події може визначатися за формулою

$$R_i = w_c C_i + w_t T_i + w_s S_i,$$

де (C_i) відображає впевненість візуального аналізу, (T_i) характеризує виконання часових умов, а (S_i) визначає значущість конкретного сценарію.

Перед об’єднанням значення необхідно привести до узгодженого діапазону. Вагові коефіцієнти встановлюються відповідно до результатів експериментального оцінювання.

Отриманий показник не слід автоматично трактувати як імовірність небезпечної події. Він є допоміжною оцінкою для ранжування аналітичних повідомлень.

Програмна реалізація аналізу перебування об’єктів у зоні

Для демонстрації роботи просторово-часового аналізу можна використати приклад програмної реалізації мовою Python. Підпрограма отримує результати зовнішнього трекера та визначає тривалість перебування об’єкта в контрольованій області.

Кожне спостереження містить ідентифікатор камери, ідентифікатор траєкторії, часову позначку та координати обмежувального прямокутника. Для визначення положення використовується середина нижньої сторони прямокутника.

Наведений код є ілюстративним. Він не виконує детекцію та нейромережеве відстеження, а демонструє подальшу обробку їхніх результатів.

```
from dataclasses import dataclass
from collections import defaultdict
from math import isfinite
@dataclass(frozen=True)
class TrackObservation:
    # Ідентифікатори відеопотоку та траєкторії
    camera_id: str
    track_id: int
    # Час кадру в узгодженій часовій шкалі, секунди
    timestamp: float
    # Клас об'єкта та впевненість детектора
    object_class: str
    confidence: float
    # Координати прямокутника x1, y1, x2, y2
    bbox: tuple[float, float, float, float]
def inside_polygon(point, polygon):
    """Визначення належності точки до багатокутника."""
    x, y = point
    inside = False
   for i in range(len(polygon)):
        x1, y1 = polygon[i]
        x2, y2 = polygon[(i + 1) % len(polygon)]
        # Перевіряємо перетин горизонтального променя
        if (y1 > y) != (y2 > y):
            x_intersection = (
                x1 + (y - y1) * (x2 - x1) / (y2 - y1)
            )
            if x < x_intersection:
                inside = not inside
    return inside

class ZoneDwellAnalyzer:
    def __init__(self, zones, dwell_seconds=5.0,
                 max_gap_seconds=2.0):
        # Багатокутники окремо для кожної камери
        self.zones = zones
        # Мінімальний час для реєстрації події
        self.dwell_seconds = dwell_seconds
        # Допустима перерва в послідовності спостережень
        self.max_gap_seconds = max_gap_seconds
        # Поточний стан траєкторій
        self.states = {}
    def process(self, obs: TrackObservation):
        """Аналіз перебування об'єкта у контрольованій зоні."""
        if not obs.camera_id or not obs.object_class:
            return None
        if obs.camera_id not in self.zones:
            return None
        if not isfinite(obs.timestamp):
            return None
        if not isfinite(obs.confidence):
            return None
        if not 0.0 <= obs.confidence <= 1.0:
            return None
        x1, y1, x2, y2 = obs.bbox
        # Перевіряємо координати виявленого об'єкта
        if not all(isfinite(v) for v in obs.bbox):
            return None
        if x2 <= x1 or y2 <= y1:
```

```
        return None
    # Аналізуємо тільки визначену категорію об'єктів
    if obs.object_class != "person":
        return None
    key = (obs.camera_id, obs.track_id)
   # Очищуємо застарілі стани лише поточної камери
    for stored_key, state in list(self.states.items()):
        if stored_key[0] != obs.camera_id:
            continue
       if obs.timestamp - state["last_seen"] > \
                self.max_gap_seconds:
            del self.states[stored_key]
    # Нижня центральна точка обмежувального прямокутника
    position = ((x1 + x2) / 2.0, y2)

    polygon = self.zones[obs.camera_id]

    # За межами зони облік перебування завершується
    if not inside_polygon(position, polygon):
        self.states.pop(key, None)
        return None

    state = self.states.get(key)

    if state is not None:
        # Не приймаємо кадри зі старішими часовими позначками
        if obs.timestamp < state["last_seen"]:
            return None

    if state is None:
        self.states[key] = {
            "entry_time": obs.timestamp,
            "last_seen": obs.timestamp,
            "reported": False
        }
        return None
    # Оновлюємо час останнього підтвердженого положення
    state["last_seen"] = obs.timestamp
    elapsed = obs.timestamp - state["entry_time"]
    # Повторно ту саму подію не формуємо
    if state["reported"]:
        return None
    if elapsed >= self.dwell_seconds:
        state["reported"] = True
        return {
            "event_type": "zone_dwell",
            "camera_id": obs.camera_id,
            "track_id": obs.track_id,
            "timestamp": obs.timestamp,
            "duration_seconds": round(elapsed, 3),
            "status": "CANDIDATE"
        }
    return None
```

У наведеному прикладі використовується структура TrackObservation, яка описує спостереження за об’єктом. Вона містить ідентифікатор відеопотоку, номер траєкторії та геометричні характеристики детекції.

Функція inside_polygon визначає належність контрольної точки до багатокутника. Для цього застосовується перевірка кількості перетинів горизонтального променя з його ребрами.

Клас ZoneDwellAnalyzer підтримує поточні стани об’єктів, які перебувають у визначених областях. Для кожної траєкторії зберігається час входу та останнього спостереження.

Якщо об’єкт виходить із зони, відповідний стан видаляється. За тривалої відсутності спостережень початок перебування також визначається повторно.

Після перевищення встановленого часу формується повідомлення zone_dwell. Для однієї безперервної траєкторії воно створюється лише один раз.

Необхідно враховувати, що приклад не вирішує проблему зміни ідентифікаторів трекера. Якщо система відстеження призначила тому самому об’єкту новий номер, попередній час перебування не буде автоматично відновлено.

Для складних сценаріїв також потрібні додаткові механізми часової синхронізації, геометричного гістерезису, керування версіями контрольованих областей та збереження стану після перезапуску.

Результатом наведеної процедури є формалізована аналітична подія, яку можна передати до загального компонента оброблення результатів.

5 МЕТОДИКА ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ В ПРОМИСЛОВУ ЕКСПЛУАТАЦІЮ

Програмне забезпечення системи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання призначене для автоматизованого виявлення об’єктів, відстеження їхніх переміщень та визначення подій на основі просторово-часових характеристик відеоданих.

Система передбачає оброблення інформації з декількох відеоджерел, виконання нейромережевого аналізу та формування структурованих результатів. Використання багатомодельного підходу дозволяє поєднувати детекцію об’єктів, аналіз траєкторій та розпізнавання визначених сценаріїв активності. Головне вікно програми показане на рисунку 5.1.

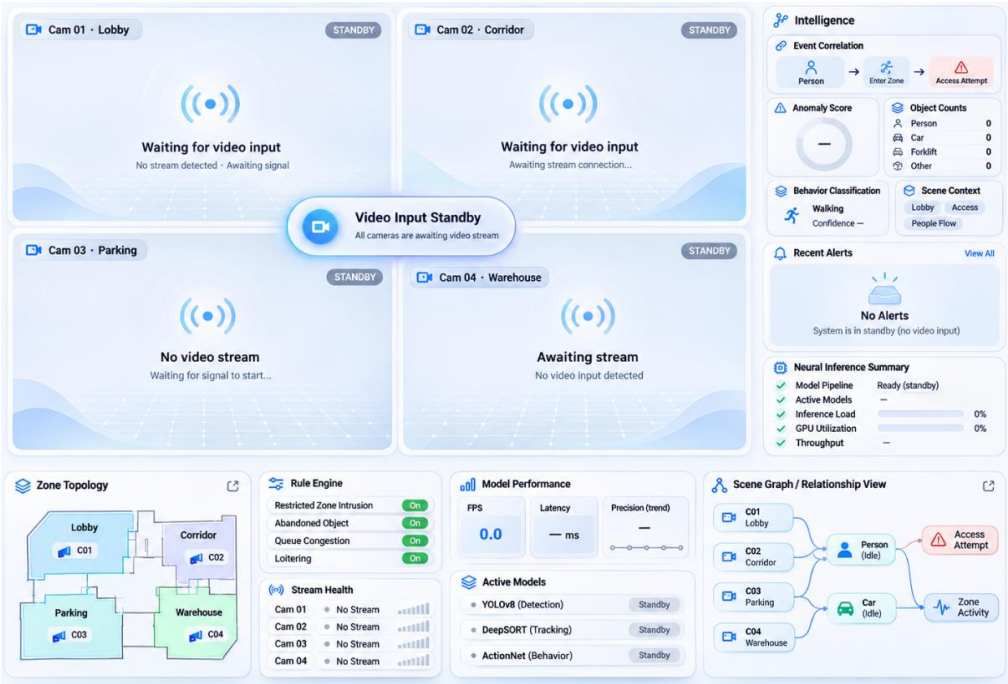

Рисунок 5.1 – Головне вікно розробленого ПЗ

Впровадження програмного комплексу передбачає підготовку обчислювального середовища, налаштування відеоджерел, завантаження моделей

глибокого навчання та запуск компонентів аналітичного оброблення. Функціональна структура включає підсистему приймання відео, модуль декодування кадрів, нейромережевий компонент, службу відстеження об’єктів та засоби формування аналітичних подій. Для збереження результатів може використовуватися окреме сховище метаданих і відеофрагментів.

Як можливе середовище виконання доцільно використовувати операційну систему Linux. Серверна частина може реалізовуватися мовою Python. Для оброблення зображень і виконання геометричних операцій можливе застосування OpenCV.

Робота з нейромережевими моделями може забезпечуватися засобами PyTorch. Для приймання та декодування відеопотоків можуть використовуватися FFmpeg або GStreamer. Остаточний склад програмних компонентів визначається фактичною реалізацією системи.

Вимоги до апаратного забезпечення залежать від кількості одночасних відеопотоків, роздільної здатності кадрів та складності нейромережевих моделей. Для виконання інтенсивних обчислень доцільно передбачити графічний прискорювач. За використання сумісного обладнання NVIDIA можуть застосовуватися CUDA та відповідні засоби апаратного прискорення. Обсяг відеопам’яті повинен забезпечувати розміщення моделей, вхідних тензорів і проміжних результатів. Для невеликої кількості потоків можливе виконання на центральному процесорі за умови прийнятної продуктивності.

Підготовка програмного середовища починається зі встановлення інтерпретатора Python та необхідних залежностей. Для ізоляції бібліотек доцільно створити окреме віртуальне середовище. Після встановлення перевіряється можливість імпорту компонентів комп’ютерного зору та запуску тестового нейромережевого обчислення. Якщо використовується GPU, необхідно перевірити сумісність драйверів, обчислювального середовища та вибраної версії бібліотеки глибокого навчання.

Для ідентифікації розробленого програмного забезпечення передбачається відображення відомостей про його автора. Відповідна інформація

використовується для документування програмного продукту та організації подальшого технічного супроводження. Авторські дані системи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання представлені на рисунку 5.2.

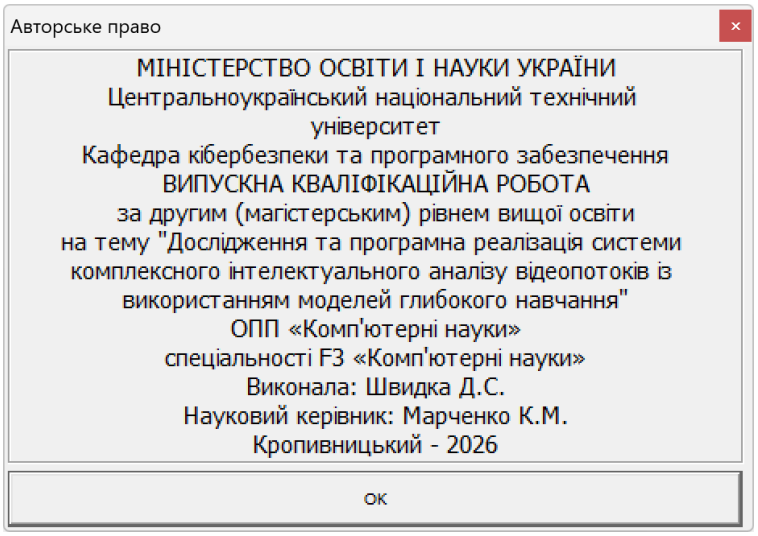

Рисунок 5.2 – Шаблонізована форма авторського права

Наступним етапом є підготовка моделей детекції. Для кожної моделі визначаються шлях до файлу ваг, підтримувані класи об’єктів, розмір вхідного тензора та параметри післяоброблення. Як можливий варіант може використовуватися модель сімейства YOLO. Перед експлуатацією необхідно перевірити завантаження моделі, правильність виконання інференсу та відповідність вихідних даних очікуваному формату. Окремо встановлюються пороги впевненості та параметри відбору детекцій.

Для відстеження об’єктів може використовуватися ByteTrack, DeepSORT або інший сумісний алгоритм. Під час налаштування визначаються пороги зіставлення детекцій, допустима тривалість втрати об’єкта та правила створення нових траєкторій. Особливу увагу необхідно приділити розмежуванню ідентифікаторів між відеопотоками. Ідентифікатор об’єкта повинен

інтерпретуватися в межах відповідної камери, якщо не реалізовано окремий механізм міжкамерного зіставлення.

Підключення відеоджерел виконується після підготовки аналітичного середовища. Для мережевих камер може використовуватися RTSP. Необхідно визначити адреси підключення, параметри автентифікації та характеристики відеопотоків. Після встановлення з'єднання перевіряються доступність кадрів, правильність декодування та фактична частота їхнього надходження. Для кожного джерела реєструється унікальний ідентифікатор, який використовується під час подальшого аналізу.

Важливим етапом є налаштування параметрів оброблення. Для кожного відеопотоку визначаються робоча роздільна здатність, частота нейромережевого аналізу та допустима затримка. Якщо обчислювальна продуктивність недостатня, може застосовуватися контрольоване пропускання кадрів або пакетний інференс. Такі зміни необхідно перевіряти експериментально, оскільки вони можуть впливати на повноту виявлення короткочасних подій.

Після підключення камер виконується налаштування просторової аналітики. Для відповідних відеосцен визначаються контрольовані області, віртуальні лінії та часові обмеження. Координати зон повинні відповідати системі координат початкових кадрів. Якщо змінюється роздільна здатність або положення камери, необхідно перевірити актуальність установлених областей. Окремо задаються правила формування подій входу, виходу, перетину лінії та тривалого перебування об'єкта.

Для зберігання аналітичних результатів як можливий варіант може використовуватися PostgreSQL. У сховищі передбачається облік камер, конфігурацій моделей, характеристик контрольованих областей та сформованих подій. Для кожного запису необхідно зберігати ідентифікатор відеоджерела, часову позначку, тип події та її поточний статус. Якщо система підтримує збереження відеофрагментів, необхідно налаштувати відповідне файлове або об'єктне сховище.

Рекомендована послідовність запуску передбачає початкову перевірку доступності сховища даних і відеоджерел. Далі активується компонент приймання та декодування потоків. Після цього завантажуються нейромережеві моделі й ініціалізуються алгоритми відстеження. Наступним етапом запускається служба просторово-часового аналізу. Завершується підготовка запуском користувацького інтерфейсу та перевіркою передавання результатів між компонентами.

Первинну перевірку працездатності доцільно проводити на контрольованому відеофайлі. Спочатку перевіряється правильність декодування кадрів. Далі виконується детекція об’єктів і контролюється відповідність координат виявлених областей початковому зображенню. Після активації трекера перевіряється збереження ідентифікаторів об’єктів на послідовних кадрах. Результати повинні правильно зіставлятися з відповідним джерелом відеоданих.

Окремо необхідно перевірити механізм формування подій. Для цього використовуються відеопослідовності з відомими переміщеннями об’єктів. Перевіряється визначення входу до контрольованої області, перетину віртуальної лінії та перевищення встановленого часу перебування. Для кожного сценарію порівнюються очікувані й отримані результати. Додатково контролюється відсутність необґрунтованого дублювання подій.

Після функціонального тестування виконується перевірка багатопотокового режиму. Кількість одночасних джерел поступово збільшується. Для кожної конфігурації необхідно вимірювати фактичну частоту оброблення кадрів, затримку інференсу та використання оперативної й графічної пам’яті. Отримані показники дозволяють визначити допустиме навантаження для обраного обладнання. Кількісні результати повинні встановлюватися за фактичними вимірюваннями.

6 НАУКОВА НОВИЗНА

У випускній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

Об'єктом дослідження є процес комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

Предметом дослідження є методи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

Методи дослідження базуються на методах машинного навчання, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

Наукова новизна отриманих результатів. У процесі рішення завдань, обумовлених цілями дослідження, отримані наступні результати:

– Удосконалено метод комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

– Розроблено вітчизняний продукт комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання, який має більш широкі можливості, на відміну від існуючих аналогів.

7 ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

7.1 Вступ

Наявний в даний час в нашій країні комплекс розроблених організаційних заходів та технічних засобів захисту, накопичений передовий досвід роботи ряду обчислювальних центрів показує, що є можливість домогтися значно більших успіхів у справі усунення впливу на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Проте стан умов праці та його безпеки в ряді обчислювальних центрів (ОЦ) та підприємств ще не задовольняють сучасним вимогам. Оператори ЕОМ, оператори підготовці даних, програмісти та інші працівники ОЦ та підприємств ще стикаються з впливом таких фізично небезпечних і шкідливих виробничих факторів, як підвищений рівень шуму, підвищена температура зовнішнього середовища, відсутність або недостатня освітленість робочої зони, електричний струм, статична електрика і інші.

Багато працівників ОЦ та підприємств пов'язані з впливом таких психофізичних факторів, як розумова перенапруга, перенапруження зорових і слухових аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження. Вплив зазначених несприятливих факторів призводить до зниження працездатності, викликане розвиваються втомою. Поява і розвиток втоми пов'язане зі змінами, які виникають під час роботи в центральній нервовій системі, з гальмівними процесами в корі головного мозку. Наприклад сильний шум викликає труднощі з розпізнаванням колірних сигналів, знижує швидкість сприйняття кольору, гостроту зору, зорову адаптацію, порушує сприйняття візуальної інформації, зменшує на 5-12% продуктивність праці. Тривала дія шуму з рівнем звукового тиску 90 дБ знижує продуктивність праці на 30 – 60%.

Медичні обстеження працівників ОЦ та підприємств показали, що крім зниження продуктивності праці високі рівні шуму призводять до погіршення слуху. Тривале перебування людини в зоні комбінованого впливу різних

несприятливих факторів може призвести до професійного захворювання. Аналіз травматизму серед працівників ВЦ показує, що в основному нещасні випадки відбуваються від впливу фізично небезпечних виробничих факторів при заправці носія інформації на обертовий барабан при знятому кожусі, під час співробітниками невластивих їм робіт. На другому місці випадки, пов'язані з дією електричного струму.

7.2 Шкідливі і небезпечні фактори при роботі з комп'ютером

Електронно-обчислювальна машина (ЕОМ) та інше обладнання є джерелами небезпеки ураження електричним струмом. Так як робота програміста характеризується істотним зоровим навантаженням, то вимагає належного освітлення. У приміщенні, в якому працюють програмісти необхідно створити належний мікроклімат, праметри якого регламентуються, Державними санітарними правилами і нормами, зокрема ДСанПіН 3.3.2.007-97.

При роботі з використанням ЕОМ відзначають наступні небезпечні та шкідливі фактори:

– ризик виникнення надзвичайних ситуацій природного або штучного характеру на об'єкті або території.

– ризик виникнення пожежі;

– негативний вплив на органи зору людини;

– ризики ураження електричним струмом;

– недостатня, або надмірна освітленість робочого місця;

– електромагнітні (у тому числі високочастотні) випромінювання (коливання);

– несприятливі мікрокліматичні умови;

– нервово-емоційна напруженість праці;

– інтелектуальні навантаження;

– монотонність праці;

– невідповідність ергономічних показників робочого місця діючим вимогам;

– шум;

– статичні навантаження на кістково-м’язовий апарат;

7.3 Аналіз санітарно-гігієнічних умов праці на робочому місці програміста

Розглянемо умови праці у приміщенні, в якому працюють програмісти. Геометричні розміри приміщення наведено у таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Розміри приміщення

Найменування	Значення, м
Ширина	5
Довжина	5,95
Висота	2,8

Таблиця 7.2 – Площа та обсяг приміщення, на одного працюючого*

Геометрична характеристика	Одиниця виміру	Нормативне значення*	Фактичне значення
Площа, S	$м^2$	не менше 6.0	7,4
Об'єм, V	$м^3$	не менше 20.0	20,8

* Згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 (Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин).

У зазначеному приміщенні працюють четверо людей. За даними, які наведено у табл. 7.1, та табл. 7.2, можна зробити висновок, що площа та об’єм приміщення у розрахунку на одно робоче місце програміста не відповідають нормативним вимогам ДСанПіН 3.3.2-007-98 «Державні санітарні правила і

норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [5], але відповідають нормативним вимогам Наказу Міністерства соціальної політики України № 207, від 14.02.2018 «Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [5] та НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин»). Таним чином можна зробити висновок, що санітарно-гігієнічні умови праці на робочому місці програміста відповідають вимогам.

Температура повітря в приміщенні визначається впливом температури зовнішнього повітря і тепловою енергією, яка виділяється всередині приміщення. Джерелами виділення теплоти в даному приміщенні є електроустаткування, освітлювальні прилади, а також люди. У світлий час доби джерелом надлишкового тепла є сонячна радіація. Згідно Постанови № 42 від 01.12.1999 Головного державного санітарного лікаря України, робота, виконувана в даному приміщенні, відноситься до категорії Іа. В цьому випадку людина витрачає енергії до 120 ккал у годину. Вологість повітря в приміщенні визначається впливом багатьох факторів, серед яких: вологість атмосферного повітря, виділення вологи людьми (при диханні та випарами з поверхні шкіри).

Мікроклімат повітряного середовища в приміщенні характеризується запиленістю та загазованістю повітря. Мікроклімат приміщення визначається діючим на організм людини поєднанням, вологості, температури, швидкості руху повітря та інтенсивності теплового випромінювання. Аналіз мікроклімату складається з визначення зазначених вище факторів і порівняння результатів із встановленими нормами.

У таблиці 7.3 наведено оптимальні та фактичні значення параметрів мікроклімату як для категорії ваги робіт Іа, так і розглянутого приміщення. У приміщеннях, де встановлено ЕОМ, рекомендується застосування тільки оптимальних значень показників мікроклімату.

Проведений аналіз показує, що показники мікроклімату в приміщенні відповідають установленим нормам. Штучне опалення застосовується у холодний період року.

Таблиця 7.3 – Оптимальні і фактичні значення параметрів мікроклімату

Пора року	Оптимальні для Іа			Фактичні		
	Температура, °С	Воло-гість,%	Швидкість повітря, м/с	Температура °С	Воло-гість,%	Швидкість повітря, м/с
Холодна	22-24	40-60	0,1	22-23	40-55	0,1
Тепла	23-25	50-70	0,1	24-25	50-65	0,11

В літню пору застосовується кондиціонер.

Для боротьби з пилом робляться регулярні провітрювання та вологі прибирання приміщенні.

У приміщенні знаходяться наступні джерела шуму: принтер HP 1100, електродвигуни вентиляторів ЕОМ.

Одним з найважливіших факторів, які впливають на ефективність трудової діяльності людини, та попереджають травматизм і професійні захворювання програмістів є освітлення на робочому місці.

З 2019 року діють Державні будівельні норми України “Природне і штучне освітлення” – ДБН В.2.5-28:2018 [1], у яких прописані вимоги до використання всіх освітлювальних приладів, у тому числі світлодіодних.

Працю працівника, який постійно працює за комп’ютером, згідно ДБН В.2.5-28:2018 [1], можна віднести до роботи з малою точністю (найменший розмір об'єкта розрізнення від 1 до 5 мм) V-го розряду зорової роботи, з великою контрастністю об'єкта розрізнення (символів на екрані дисплея), з темним тлом (під розряд зорової роботи В). Приміщення можна віднести до 1-ої групи приміщень, у яких проводиться розрізнення об'єктів зорової роботи при фіксованому напрямку лінії зору того, що працює на робочу поверхню. Для такого типу приміщень і розряду зорової роботи нормоване значення коефіцієнту

природної освітленості (КПО) робочої поверхні (при поєднаному, спільному освітленні), повинен становити не більше 1,5%, освітленість при штучному висвітленні повинна становити 300 Лк. [1], Крім того все поле зору повинне бути освітлено достатньо рівномірно – це основна гігієнічна вимога. Оскільки яскраве світло на ділянці периферійного зору значно збільшує напруженість очей і, як наслідок, призводить до їх швидкої стомлюваності, ступінь освітлення приміщення і яскравість екрану комп'ютера повинні бути приблизно однаковими.

7.4 Розробка заходів з умов поліпшення охорони праці

Згідно аналізу умов праці в розглянутому приміщенні, ми одержали наступні результати:

– розмірі приміщення, у розрахунку на одному працюючого, відповідають нормативам;

– мікроклімат відповідає нормативному значенню;

– акустичні умови роботи не перевищують нормативних значень;

Таким чином, можна припустити, що основною причиною можливого зниження працездатності програміста є психофізіологічний фактор, тому основна пропозиція буде така: дотримання позитивної психологічної атмосфери в колективі та регламентованого режиму праці та відпочинку, організація робочого місця з урахуванням ергономічних вимог.

Рекомендовані заходи: регулярні періодичні наочні огляди персоналом шляхів для евакуації людей із приміщення, відповідно до плану евакуації (який повинен розташовуватись на видному місці у приміщенні), включення до колективного договору мінімально можливого вмісту аптечок з обов’язковою наявністю масок-клапанів, або іншого спорядження для штучного дихання. Регулярна періодична перевірка параметрів заземлення та занулення (вимірювання опору ланцюга).

Регулярна наочне знайомство персоналу із шляхами для евакуації людей із приміщення відповідно до плану евакуації, забезпечення розподільних щитів

спеціальними розетками з заземлюючими контактами; організація заземлення всіх приладів і пристроїв, які працюють при напрузі вище 36 В.

Так як при ураженні електричним струмом у людини може статися фібриляція шлуночків серця, в організації бажано мати дефібрилятор і підготовлений персонал для роботи з ним.

7.5 Розрахункова частина

Проведемо розрахунок штучного освітлення за методом коефіцієнту використання світлового потоку для приміщення ширина якого складає 5 м, довжина – 5,95 м, висота – 2,8 м.

У зазначеному приміщенні працює 4 людей.

Для того, щоб визначити потрібну кількість світильників, які повинні забезпечити нормований рівень освітленості, визначимо світловий потік, що падає на робочу поверхню за формулою [1]:

$$F = E \cdot S \cdot K \cdot Z/n,$$

де:

F – світловий потік, що розраховується, Лм;

Е – нормована мінімальна освітленість, Лк; Е = 300 Лк;

S – площа освітлюваного приміщення (у нашому випадку S=5 х 5,95 = 29,7 м^2);

К – коефіцієнт запасу, що враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення світильників у процесі експлуатації (його значення залежить від типу приміщення і характеру робіт, що проводяться в ньому, в нашому випадку К = 1,5);

Z – відношення середньої освітленості до мінімальної (зазвичай приймається рівним 1.1... 1.2, в нашому випадку Z = 1,1);

n – коефіцієнт використання світлового потоку, (відношення світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп, обчислюється в долях одиниці; залежить від характеристик світильника, розмірів

приміщення, забарвлення стін і стелі, що характеризуються коефіцієнтами відбиття від стін ($\rho_{стін.}$) і стелі ($\rho_{стелі}$), значення коефіцієнтів дорівнюють $\rho_{стін}$ = 50% і $\rho_{стелі}$ = 50%.

Обчислимо індекс приміщення за формулою:

$$i = S/(h\cdot (A+B)),$$

де:

S – площа приміщення, S = 29,7 м2;

h – розрахункова висота підвісу, h = 3 м (співпадає з висотою стелі, оскільки лампи освітлення закріплюються на стелі);

A – ширина приміщення, A = 5 м;

B – довжина приміщення, B = 5,95 м.

Підставимо всі значення у формулу та визначимо індекс приміщення:

$$i=1,4.$$

Знаючи індекс приміщення, за знаходимо n = 0,29 (з табличних даних коефіцієнтів використання світлового потоку (n) світильників з відповідним типом лампам) [8]. Підставимо всі значення у формулу, визначимо світловий потік: F=64027 Лм.

Для розрахунку будемо використовувати світлодіодні стельові панелі Призма-72 6400К, світловий потік яких $F_л$ = 7200 Лм.

Число ламп визначається за формулою:

$$N=F/F_л$$

де:

F – світловий потік,

$F_л$ – світловий потік однієї лампи.

Підставимо всі значення у формулу та визначимо індекс приміщення:

$$N= 64027 / 7200=8,8 \text{ шт.}$$

Приймаємо необхідну кількість світлодіодних світильників 9 шт.

Дотримання всіх необхідних умов праці не лише сприяє збереженню здоров’я працівників, а також підвищує ефективність виробництва в цілому.

8 ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

Програмне забезпечення, створене в результаті виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти, призначено для системи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

В межах України в недостатній мірі представлені вітчизняні розробки в цій області.

У випускній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач:

– Був проведений огляд існуючих систем комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

– Досліджена система комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

– На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання.

Проведено аналіз предметної галузі в ході якого були виявлені об'єкти, взаємодія яких носить істотний характер для функціональної діяльності предметної галузі, і їхні основні характеристики; побудована алгоритм і вибраний середовище розробки.

Розроблене програмне забезпечення має простий, дружній та зручний інтерфейс користувача, що забезпечує легкість у освоєнні роботи програмного продукту, зручність у використанні, і не потребує особливих спеціальних знань.

При створені програмного забезпечення було використано об'єктно-орієнтований підхід, що відповідає сучасним тенденціям у галузі розробки комерційних програмних систем.

Програма реалізована на мові високого рівня Python. Дана мова програмування дозволяє найбільш ефективно обробляти дані. Це дозволило мінімізувати строк розробки програмного забезпечення, і, як слід, зменшити витрати на його розробку. Запропоноване програмне забезпечення ділиться на загальне програмне забезпечення, що поставляється із засобами обчислювальної техніки й спеціальне програмне забезпечення, що спеціально розроблене для даної конкретної системи й включає програми, що реалізують її функції.

Програма призначена для виконання під управлінням багатозадачної операційної системи Windows 10/11.

Даються необхідні рекомендації з установки розробленого програмного забезпечення.

В цілому створене програмне забезпечення підтверджує правильність використаних проектних рішень та повністю відповідає вимогам технічного завдання. Створене програмне забезпечення має потенційну можливість для подальшого вдосконалення і застосування у різних галузях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Швидка Д.С. Дослідження та програмна реалізація системи комплексного інтелектуального аналізу відеопотоків із використанням моделей глибокого навчання // Збірник праць молодих науковців ЦНТУ. – Вип. 17. – Кропивницький: ЦНТУ, 2027.

2. Ranjan Parekh. Fundamentals of Image, Audio, and Video Processing Using MATLAB®With Applications to Pattern Recognition. CRC Press. 2021. 406 p.

3. Alasdair McAndrew. A Computational Introduction to Digital Image Processing. Chapman & Hall. 2021. 560 p.

4. Михайло Пічугін, Іван Канкін, Володимир Воротніков Комп'ютерна графіка. Навчальний посібник / Центр навчальної літератури 346 с. 2019р.

5. Маценко В.Г. Комп’ютерна графіка: Навчальний посібник. – Чернівці: Рута, 2009 – 343 с.

6. Інженерна комп’ютерна графіка: підручник / В.В. Проців [та ін.] / М-во освіти і науки України, Нац. гірн. унт-т. – Дніпро: НГУ, 2017. – 247 с.

7. Проців В.В. Прикладна комп'ютерна графіка [Текст]: Навч. посібник / В.В. Проців, К.А. Зіборов, К.М. Бас, Г.К. Ванжа; М-во освіти і наук, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2016. – 187 с.

8. Kopf, Johannes and Lischinski, Dani. Depixelizing Pixel Art (англ.) // ACM Trans. Graph. – 2011. – Vol. 30, no. 4. – P. 99:1--99:8.

9. Giachetti, Andrea and Asuni, Nicola. Real-Time Artifact-Free Image Upscaling (англ.) // Trans. Img. Proc.. – 2011. – Vol. 20, no. 10. – P. 2760—2768.

10. Богаченко, С., Смірнов, О., Буравченко, К., Смірнова, Т., Конопліцька-Слободенюк, О., Якименко, Н., Смірнов, С. «Обмеження ресурсів мобільних та edge-платформ при розробці програмного забезпечення для реалізації та оптимізації моделей машинного навчання». *Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка»*, 2026, т. 2 № 34, С. 677-686.

11. Смірнов, О., Ткачук, Р., Козірова, Н., Константинова, Л., Конопліцька-Слободенюк, О., Якименко, Н., Смірнов, С.. «Дослідження застосування векторних баз даних у генеративному штучному інтелекті». *Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка»*, 2026, Том 1 № 33, 667-682.

12. Смірнов О., Заріцкий В., Буравченко К., Конопліцька-Слободенюк О., Константинова Л., Якименко Н., Смірнов С. «Оптимізація розпізнавання облич за допомогою CUDA прискореної бібліотеки dlib». *Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка»*, 2026, Том 4, № 32, С. 573-582.

13. Kuznetsov, O., Frontoni, E., Kryvinska, N., Chevardin, V., Smirnov, O. «Wireless Network Encryption Stream Ciphers, Computational Modeling, and Security Analysis». *Computational Modeling and Simulation of Advanced Wireless Communication Systems*, 2024, pp. 379–402.

14. Kuznetsov, O., Frontoni, E., Kryvinska, N., Smirnov, O., Imoize, G.L. «Computational Modeling of Enhanced Spread Spectrum Codes for Asynchronous Wireless Communication». *Computational Modeling and Simulation of Advanced Wireless Communication Systems*, 2024, pp. 403–447

15. Смірнова Т.В., Конопліцька-Слободенюк О.К., Буравченко К.О., Смірнов С.А., Кравчук О.В., Козірова Н.Л., Смірнов О.А. «Дослідження технологій забезпечення кібербезпеки хмарних сервісів IaaS, PaaS та SaaS». *Кібербезпека: освіта, наука, техніка.* 2024. №4(24), С. 6-27.

16. Батрак О., Смірнова Т., Гнатюк В., Одарченко Р., Смірнов О. «Дослідження показників ефективності функціонування та перспектив розвитку систем IP-телефонії». *Підводні технології,* 2024, № 13, с. 28-35.

17. Al-Mudhafar Aqeel, A.M., Smirnova, T., Buravchenko, K., Smirnov, O. «The method of assessing and improving the user experience of subscribers in software-configured networks based on the use of machine learning». *Advanced Information Systems*, 2023, 7(2), pp. 49-56.

18. Smirnov, O., Sydorenko, V., Aleksander, M., Zhyharevych, O., Yenchev,

S. «Simulation of the cloud IoT-based monitoring system for critical infrastructures». *CEUR Workshop Proceedings,* Volume 3530, 2023, pp. 256-265.

19. Smirnov, O., Odarchenko, R., Smirnova, T., Bondar, S., Volosheniuk, D. «Optimal Structure Construction of Private 5G Network for the Needs of Enterprises». Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, 2023, 178, pp. 208–223.

20. Аль-Мудхафар Акіл Абдулхуссейн М., Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Смірнов О.А. «Метод оцінки та підвищення користувальницького досвіду абонентів в програмно-конфігурованих мережах на основі використання машинного навчання». *Сучасні інформаційні системи,* 2023, том 7, № 2, С. 49-56.

21. Smirnov, O., Neskorodieva, T., Fedorov, E., Rudakov, K., Neskorodieva, A. «Method Detection Audit Data Anomalies on Basis Restricted Cauchy Machine» CEUR Workshop Proceedings, Volume 3187, 2022,

22. Smirnov O., Smirnova T., Anas M. Al-Oraiqat, Drieiev O., Polishchuk L., Sheroz Khan, Yassin M. Y. Hasan, Aladdein M. Amro, Hazim S. AlRawashdeh «Method for Determining Treated Metal Surface Quality Using Computer Vision Technology». Sensors (Basel, Switzerland) Volume 22, Issue 16, 6223, 2022.

23. Smirnov O., Kuznetsov A., Kryvinska N., Kiian A., Kuznetsova K. «Full Non-Binary Constant-Weight Codes». SN Computer Science, Vol 2, 337, 2021. https://doi.org/10.1007/s42979-021-00739-w

24. Smirnov O., Kuznetsov A., Zhora V., Onikiychuk A., Pieshkova O. «Hiding Messages in Audio Files Using Direct Spread Spectrum». 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2021, Cracow, Poland, 22-25 September 2021. P. 414-418.

25. Smirnov O., Kuznetsov A., Lokotkova I., Kuznetsova T., Florov S., Lebid O. «Using Orthogonal Signals to Hide Information in Images». 4 IEEE International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT) – 2021, Lviv, Ukraine, September 21-25, 2021. P. 255-260.

26. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Potii, O., Poluyanenko, N., Stelnyk, I., Mialkovsky, D. «Combining and filtering functions in the framework of nonlinear-feedback shift register». International Journal of Computing; 2020, Volume 19, Issue 2 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2020. – P. 247-256.

27. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». CEUR Workshop Proceedings. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.

28. Smirnov O., Alimseitova Zh., Adranova A., Akhmetov B., Lakhno V., Zhilkishbayeva G. «Models and algorithms for ensuring functional stability and cybersecurity of virtual cloud resources». Journal of theoretical and applied information technology Vol.98. No 21, 2020, P. 3334-3346.

29. Smirnov O., Kuznetsov A., Kovalchuk D., Kuznetsova T. «New technique for data hiding in cover images using adaptively generated pseudorandom sequences». CEUR Workshop Proceedings Volume 2654, 2020, Pages 1-14.

30. Smirnov O., Kuznetsov A., Onikiychuk A., Makushenko T., Anisimova O., Arischenko A. «Adaptive pseudo-random sequence generation for spread spectrum image steganography». 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 161-165.

31. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Cherep A., Kanabekova M., Chepurko I. «Testing of code-based pseudorandom number generators for post-quantum application». 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 172-177.

32. Smirnov O., Kuznetsov A., Pushkar'ov A., Serhiienko R., Babenko V., Kuznetsova T., «Representation of Cascade Codes in the Frequency Domain». In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 48. Springer, Cham. 2021. pp 557-587.

33. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Polishchuk, Y., Brzhanov, R.,

Aleksander, M. «Method of fractal traffic generation by a model of generator on the graph». CEUR Workshop Proceedings Volume 2616, 2020, Pages 366-379.

34. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Simakhin, V., Bondar, S., Odarchenko, R. «Managing multifractal properties of the binary sequence generated with the Markov chains», CEUR Workshop Proceedings Volume 2608, 2020, Pages 633-645.

35. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Gorbacheva, L., Babenko, V., «Hiding data in images using a pseudo-random sequence», CEUR Workshop Proceedings Volume 2608, 2020, Pages 646-660.

36. Zhurakovskyi, B., Tsopa, N., Batrak, Y., Odarchenko, R., Smirnova, T «Comparative analysis of modern formats of lossy audio compression». Workshop Proceedings, 2020, 2654, стр. 315-327.

37. Smirnov O. Kuznetsov A., Zaicenko Yu., Pastukhov M., Oleshko O., Kuznetsova K., «Formation of Discrete Signals with Special Correlation Properties». International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019; Odessa; Ukraine; 9-13 September 2019. P.22-28.

38. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kolovanova, I., Kuznetsova, T., «Noise immunity of the algebraic geometric codes». International Journal of Computing; 2019, Volume 18, Issue 4 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2019. – P. 393-407.

39. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Reshetniak, O., Ivko, N., Katkova, T., Kuznetsova, T., «Generators of Pseudorandom Sequence with Multilevel Function of Correlation». 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019 . P.517-522.

40. Smirnov, O., Krasnobayev, V., Yanko, A., Kuznetsova, T. «Methods of nulling numbers in the system of residual classes». CEUR Workshop Proceedings, Vol 2588, P. 90-106, 2019.

41. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Averchev, A., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., «Formation of Pseudorandom Sequences with Special Correlation

Properties», 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT -2019/ Lviv, Ukraine, 2-6 July, 2019, P. 395-399.

42. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kavun, S., Babenko, B., Nakisko, O., Kuznetsova, K., «Malware Correlation Monitoring in Computer Networks of Promising Smart Grids», 2019 IEEE 6th International Conference On Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS), Kyiv, Ukraine April 17-19, 2019 P. 347-352.

43. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., Prokopovych-Tkachenko, D., «Discrete Signals with Special Correlation Properties», CEUR Workshop Proceedings Volume 2353, CEUR Workshop Proceedings 2019, Pages 618-629.

44. Smirnov A.A., Kuznetsov A.A., Danilenko D.A., Berezovsky A., «The statistical analysis of a network traffic for the intrusion detection and prevention systems», Telecommunications and Radio Engineering. – Volume 74, Issue 1. – Begel House Inc. – 2015. – P. 61-78.

45. Smirnov O., Kuznetsov A., Kovalchuk D., Kuznetsova T. «New Technique for Hiding Data in Cover Images Using Adaptively Generated Pseudorandom Sequences». CEUR Workshop Proceedings Volume 2732, 2020, Pages 214-227.

46. Т.В. Смірнова, О.М. Дрєєв, О.А. Смірнов «Хмарна інформаційна система оцінювання шорсткості з використанням дискретного частотного аналізу макрофотографій». IV міжнародна науково-практична конференція "Інформаційна безпека та комп'ютерні технології", м. Кропивницький. 15-16 квітня 2021р. – Кропивницький: ЦНТУ. – 2021. – С. 30.

47. О.А. Смірнов, П.С. Усік, «дослідження перспектив використання технологічних рішень в мережах 5g» у Кібербезпека та інформаційні технології: монографія. – Х. : ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2020.С. 122-135.

48. О.А.Смірнов, Т.В.Смірнова, Л.І. Поліщук, К.О. Буравченко, А.О.Макевнін, «Дослідження хмарних технологій як сервісів», Кібербезпека: освіта, наука, техніка. № 3(7). С. 43-62. 2020.

49. Смірнов О.А., Дрєєва Г.М., Дрєєв О.М., Смірнова Т.В. «Фрактальний аналіз генератора самоподібного трафіку на основі ланцюга Маркова». Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. № 2(33). с. 161-172, 2019.

50. О. Смірнов, Є. Деменко, О. Онікійчук, А. Арищенко, Л. Горбачова, «Формування псевдовипадкових послідовностей для приховування даних в зображеннях» Комп'ютерні науки та кібербезпека. № 4. С. 30-37. 2019.

51. Смірнов О.А., Конопліцька-Слободенюк О.К., Смірнов С.А., Буравченко К.О., Смірнова Т.В. Поліщук Л.І. Проектування комп'ютерних систем та мереж. Навчальний посібник – Кропивницький: вид. Лисенко В.Ф. 2019. – 264 с.

52. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kuznetsova., K. Synthesis of Discrete Signals with Improved Correlation Properties. Монографія: In.: ISCI'2019: Information Security in Critical Infrastructures. Collective monograph. Edited by Ivan D. Gorbenko and Alexandr A. Kuznetsov, ASC Academic Publishing, USA, 2019, pp. 281-299. – ISBN: 978-0-9989826-8-7 (Hardback), ISBN: 978-0-9989826-9-4 (Ebook).

53. Смірнов О.А., Дрєєва Г.М. Метод генерування фрактального трафіку за допомогою моделі генератора на графі. Монографія: Інформаційна безпека та інформаційні технології : монографія / за заг. ред. В. С. Пономаренка. – Х. : Вид. Рожко С.Г. 2019. С. 123-139

54. Дрєєва Г.М., Смірнов О.А., Дрєєв О.М. Метод генерування фрактальноподібної числової послідовності на основі скінченного автомату для моделювання трафіку у мережі. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. № 1(32). с. 173-183, 2019.

55. Смірнов О.А., Кавун С.В., Коваленко О.В., Дрєєв О.М. Мережні інформаційні технології. Навчальний посібник – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2016. – 159 с.

56. Смірнов О.А., Смірнов С.А. Дідик А.К., Дрєєв О.М. Моделі системи нейромережевих експертів безпечної маршрутизації у хмарних антивірусних

системах. Збірник наукових праць "Системи обробки інформації". – Випуск 3 (140). – Х.: ХУПС – 2016. – С. 36-39.

57. Смірнов О.А., Кавун С.В., Коваленко О.В., Доренський О.П., Дрєєв О.М., Вялкова В.І. Комп’ютерні мережі. Навчальний посібник – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2016. – 233 с.

58. Смірнов О.А., Дрєєв О.М. Порівняння бітових щільностей при використанні різних методів кодування інформації. Збірник наукових праць "Системи обробки інформації". – Випуск 2 (118). т.2. – Х.: ХУПС – 2014. – С. 64-67

59. Смірнов О.А., Дрєєв О.М. Порівняння бітових щільностей при використанні різних методів кодування інформації. Збірник тез VI міжнародної науково-практичної конференції “Проблеми та перспективи розвитку ІТ-індустрії”. м. Харків. 17-18 квітня 2014р. – Харків: ХНЄУ. – 2014. – С. 240.