

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем

ПІДГРЕБЛЯ Руслан Васильович

Автоматизована система відеоспостереження підземного паркінгу /

Automated underground parking video surveillance system

Спеціальність: 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи АКІТ-41

Р.В. Підгребля

Науковий керівник

к.е.н., доцент А.М. Шевчук

Кваліфікаційну роботу допущено

до захисту:

«_____» _____ 2026р.

Завідувач кафедри

_____ А.І. Сегін

Тернопіль 2026

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"

Спеціальність: 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри СКС

А.І.Сегін

“ ____ ” _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Підгреблі Руслану Васильовичу

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Автоматизована система відеоспостереження
підземного паркінгу / Automated underground parking video surveillance system.

Керівник роботи: к.е.н., доцент Шевчук А.М.

затверджені наказом по університету від «1» грудня 2025 р. № 894.

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи: 25.05.2026р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Особливості побудови автоматизованих систем відеоспостереження.

2. Способи керування спеціалізованим обладнанням та PTZ-
камерами.

3. Технічні засоби автоматизації об'єкта управління.

4. Синтез та моделювання цифрової системи управління в ковзному режимі дл
систем стабілізації та наведення поворотних PTZ-камер.

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Аналіз складової та технічних засобів автоматизованої системи
відеоспостереження паркінгів житлових комплексів.

2. Реалізація структури автоматизованої системи відеоспостереження паркінгів
та обґрунтування вибору технічних засобів реалізації запропонованої
системи.

3. Розробка структури цифрової системи керування комплексом технічних
засобів.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

1. Структурна та функціональна схеми автоматизованої системи
відеоспостереження підземних паркінгів.

2. Блок-схема алгоритму роботи автоматизованої системи відеоспостереження
паркінгів житлових комплексів.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Шевчук А.М.		
2	Шевчук А.М.		
3	Шевчук А.М.		

7. Дата видачі завдання 1 грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування	12.2025р. – 01.2026р.	
2	Специфікація вибору технічних засобів автоматизації	02.2026р. – 03.2026р.	
3	Розрахунок системи автоматичного регулювання	04.2026р. – 05.2026р.	

Студент

(підпис)

Підгребля Р.В.

Керівник роботи

(підпис)

к.е.н., доцент Шевчук А.М.

АНОТАЦІЯ

Підгребля Р.В. Автоматизована система відеоспостереження підземного паркінгу. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка, освітньо-професійна (наукова) програма - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2026.

У роботі досліджено системи автоматичного відеоспостереження паркінгів, проаналізовано загальні характеристики та складові таких систем, визначено функціональні, структурні та архітектурні особливості систем, що забезпечують якісну та надійну фіксацію нештатних ситуацій. Проведена специфікація вибору технічних засобів автоматизації і управління основними апаратно-програмними засобами автоматизованої системи, проаналізовано технічну базу системи відеоспостереження та обґрунтовано вибір технічних засобів реалізації. Розроблено структурну та функціональну схеми, а також проведено синтез та моделювання цифрових системи з стабілізацією і наведенням поворотних PTZ-камер.

ABSTRACT

Pidgreblya R.V. Automated underground parking video surveillance system. - Manuscript.

Research for the degree of Bachelor in specialty 174 Automation, computer-integrated technologies and robotics, educational and professional (scientific) program - Automation and computer-integrated technologies. – Western Ukrainian National University, Ternopil, 2026.

The work investigates automatic video surveillance systems for parking lots, analyzes the general characteristics and components of such systems, determines the functional, structural and architectural features of the systems that ensure high-quality and reliable recording of emergency situations. The specification of the choice of technical means of automation and control of the main hardware and software of the automated system is carried out, the technical base of the video surveillance system is analyzed and the choice of technical means of implementation is justified. A structural and functional diagram is developed, and a synthesis and modeling of digital systems with stabilization and guidance of rotating PTZ cameras is carried out.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	8
1.1 Огляд основних функціональних можливостей та різновиду автоматизованих систем відеоспостереження	8
1.2 Аналіз базових та функціональних елементів систем відеонагляду	13
1.3 Компоновка сучасної автоматизованої системи відеоспостереження для об'єктів закритого типу	22
2. СПЕЦИФІКАЦІЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	27
2.1 Реалізація структури та функціональної схеми автоматизованої системи відеоспостереження підземного паркінгу	27
2.2 Розробка алгоритму роботи та функціонування системи відеонагляду підземного паркінгу	34
2.3 Обґрунтування вибору апаратно-технічних засобів автоматизації запропонованої системи	39
3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ	48
3.1 Синтез цифрової системи управління в ковзному режимі для систем стабілізації та наведення поворотних PTZ-камер	48
3.2 Моделювання цифрової системи управління та похибки відпрацювання задаючого впливу стабілізації і наведення поворотних PTZ-камер	58
ВИСНОВКИ	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		<i>Підгребля Р.В.</i>			Автоматизована система відеоспостереження підземного паркінгу / Automated underground parking video surveillance system	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		<i>Шевчук А.М.</i>					4	69
Консульт.		<i>Шевчук А.М.</i>				ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		
Н. Контр.		<i>Заставний О.М.</i>						
Затверд.		<i>Сегін А.І.</i>						

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасних умовах швидкого розвитку міської інфраструктури та збільшення кількості транспортних засобів особливої актуальності набуває питання забезпечення безпеки підземних паркінгів житлових комплексів, торговельно-розважальних центрів, офісних та промислових об'єктів. Підземні паркінги є об'єктами закритого типу з підвищеним рівнем ризику виникнення несанкціонованого доступу, крадіжок транспортних засобів, пошкодження майна, пожежонебезпечних ситуацій та інших надзвичайних подій. У зв'язку з цим виникає необхідність створення сучасних автоматизованих систем відеоспостереження, здатних забезпечити цілодобовий моніторинг території, оперативне реагування на небезпечні ситуації та високий рівень контролю за об'єктом.

Важливим фактором актуальності є також необхідність інтеграції систем відеоспостереження з іншими автоматизованими системами безпеки. Сучасні комплекси безпеки передбачають взаємодію відеоспостереження із системами контролю доступу, пожежною сигналізацією, вентиляцією, аварійним освітленням та диспетчеризацією. Така інтеграція дозволяє створити єдиний інформаційний простір управління об'єктом та значно підвищити ефективність реагування на аварійні ситуації.

Особливо актуальним є використання поворотних PTZ-камер із системами автоматичного стабілізування та наведення. Високі вимоги до точності позиціонування камер, стабільності відеозображення та швидкодії систем управління потребують застосування сучасних методів цифрового управління, зокрема алгоритмів ковзного режиму та елементів штучного інтелекту. Використання таких технологій дозволяє забезпечити високу точність супроводу об'єктів, мінімізувати похибки наведення та підвищити надійність функціонування системи в умовах реальної експлуатації.

Таким чином, розробка автоматизованої системи відеоспостереження підземного паркінгу є актуальним науково-технічним завданням,

					ДП.АКТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

спрямованим на підвищення рівня безпеки, надійності та ефективності функціонування сучасних об'єктів інфраструктури. Використання цифрових систем управління, інтелектуальної відеоаналітики та сучасних ІР-технологій дозволяє створити високоефективну систему моніторингу, здатну забезпечити стабільну роботу в складних умовах експлуатації та відповідати сучасним вимогам автоматизації та інформаційної безпеки.

Мета кваліфікаційної роботи. У представленій кваліфікаційній роботі проаналізовано автоматизовані системи відеоспостереження паркінгів житлових комплексів та представлено структуру запропонованої системи і функціональне представлення основних вузлів управління, а також проведено вибір технічних засобів автоматизації (ТЗА) безпосередньо на об'єкті керування. Основними задачами розробки автоматизованої системи відеоспостереження з використанням інтегрованих програмно-технічних засобів та логічних рішень на базі промислових контролерів, що є на сьогоднішній день невід'ємним елементом для автоматизованих систем керування.

Основними задачами кваліфікаційної роботи є:

- аналіз автоматизованих систем відеоспостереження та базових функціональних елементів;
- розробка структури автоматизованої системи відеоспостереження підземного паркінгу та функціональне представлення основних вузлів управління;
- обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації;
- розробка алгоритму роботи та функціонування системи відеонагляду підземного паркінгу;
- синтез цифрової системи управління в ковзному режимі для систем стабілізації та наведення поворотних PTZ-камер;
- моделювання цифрової системи управління та похибки відпрацювання задаючого впливу стабілізації і наведення поворотних PTZ-камер.

					ДП.АКТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Автоматизована система відеоспостереження підземного паркінгу є актуальною розробкою та вирішенням нагальним проблем сучасних житлових комплексів. Рішенням задач автоматизації в побуті є симбіоз сучасних програмно-технічних засобів автоматизації з новими алгоритмами та математичними методами у сучасному «smart city».

Предметом дослідження є процеси автоматичної фіксації порушень та аварійних ситуацій на підземній парковці автоматизованою системою відеоспостереження.

Об'єктом дослідження є автоматизована система відеоспостереження та фото фіксації порушень на паркінгах житлових комплексів.

Методи дослідження – аналіз та огляд актуальних електронних ресурсів і літературних джерел, порівняльний аналіз конкуренто спроможних розробок в промислово-енергетичному секторі.

Практичне значення одержаних результатів. Основане на тому, що запропоновані методи та технічні рішення по проектуванні та розрахунку систем відеоспостереження, які мають практичні можливості підвищити їх надійність та ефективність в рази.

Апробація. ІВАНЧИШИНА Д., БОГДАНОВИЧ С., ПІДГРЕБЛЯ Р., ПРОЦЬОК А. Особливості функціонування автоматизованих систем безпеки на основі газоаналізаторів у складі промислового устаткування / Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ - 2026), Тернопіль, 2026. С.159-164.

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1 Огляд основних функціональних можливостей та різновиду автоматизованих систем відеоспостереження

Автоматизовані системи відеоспостереження підземного паркінгу є важливою складовою сучасних комплексів безпеки житлових, адміністративних, торговельно-розважальних та промислових об'єктів. Їх основне призначення полягає у забезпеченні постійного контролю за транспортними засобами, безпекою персоналу та відвідувачів, а також у запобіганні несанкціонованому доступу, крадіжкам, актам вандалізму та аварійним ситуаціям.

Особливістю підземних паркінгів є складні умови експлуатації систем відеоспостереження (рисунок 1.1). До них належать недостатній рівень освітлення, наявність пилу, вологи, вихлопних газів, обмежений простір, велика кількість бетонних конструкцій та значні електромагнітні завади. У зв'язку з цим до обладнання систем відеоспостереження висуваються підвищені вимоги щодо надійності, стійкості до зовнішніх впливів та високої якості обробки відеосигналів.



Рисунок 1.1 – Особливості організації систем відео реєстрації підземних паркінгів

					ДП.АКТТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Сучасні автоматизовані системи відеоспостереження інтегруються з іншими підсистемами безпеки, зокрема такими як [1]:

- системи контролю та управління доступом (СКУД);
- системи пожежної сигналізації;
- охоронною сигналізацією;
- системи автоматизації вентиляції (системи клімат контролю);
- системи диспетчеризації будівлі;
- системи розпізнавання автомобільних номерів.

Комплексна інтеграція дозволяє створити єдине інформаційне середовище управління безпекою об'єкта. Залежно від принципу побудови та способу передачі інформації автоматизовані системи відеоспостереження поділяються на кілька основних типів, а саме це: аналогові системи відеоспостереження, IP – системи відеоспостереження, гібридні системи відеоспостереження.

Аналогові системи є одним із перших типів систем відеоконтролю. Передача відеосигналу в них здійснюється у вигляді аналогового електричного сигналу через коаксіальний кабель. До складу аналогової системи входять: аналогові відеокамери, відеореєстратор DVR, блоки живлення, кабельна мережа, монітори оператора.

Перевагами аналогових систем є: невисока вартість, простота монтажу, мінімальні вимоги до мережевої інфраструктури. Недоліками ж таких систем є: обмежена роздільна здатність, нижча якість зображення, складність масштабування, обмежені можливості інтелектуального аналізу відео. На сьогодні аналогові системи поступово витісняються цифровими рішеннями.

IP-системи є найпоширенішим типом сучасних систем відеоспостереження. Передача відеоданих здійснюється цифровими каналами зв'язку через локальну комп'ютерну мережу Ethernet. Основними елементами IP-систем є: IP-камери, мережеві комутатори, сервер відеоспостереження, мережевий відеореєстратор NVR, системи зберігання даних, програмне забезпечення моніторингу.

					ДП.АКТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основними перевагами ІР-систем є: висока роздільна здатність відео, можливість віддаленого доступу, інтеграція з іншими системами, підтримка відеоаналітики, масштабованість, підтримка хмарних технологій. Недоліками ІР-систем є: вища вартість, складність налаштування, потреба у стабільній мережевій інфраструктурі [2]. ІР-системи є найефективнішими для підземних паркінгів великої площі.

Гібридні системи поєднують аналогові та ІР-компоненти. Вони використовуються переважно під час модернізації існуючих систем. У таких системах можуть одночасно використовуватись: аналогові камери, ІР-камери, гібридні відеореєстратори, комбіновані мережеві рішення. Перевагою є можливість поступового переходу до цифрових технологій без повної заміни обладнання.

Автоматизовані системи відеоспостереження підземного паркінгу виконують широкий спектр функцій, спрямованих на забезпечення безпеки та контролю об'єкта. Перш за все це візуальний контроль території. Основною функцією системи є неперервний контроль:

- в'їздів та виїздів;
- зон паркування;
- пішохідних проходів;
- ліфтових холів;
- аварійних виходів;
- технічних приміщень.

Диспетчер системи має можливість в режимі реального часу отримувати відеоінформацію із всіх зон об'єкта. Реєстрацію та архівування відеоданих автоматизована система робить автоматично на відео сервер, а також у хмару, в залежності від внутрішніх налаштувань. Система забезпечує: запис відео, зберігання архіву, пошук фрагментів, резервне копіювання інформації. Термін зберігання архіву залежить від вимог безпеки та обсягу накопичувачів і може становити від кількох діб до кількох місяців.

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розпізнавання автомобільних номерів одна з головних функцій автоматизованої системи. Сучасні системи підтримують технологію ANPR (Automatic Number Plate Recognition), яка дозволяє: автоматично розпізнавати номерні знаки, вести журнал в'їзду та виїзду, контролювати доступ транспорту, автоматизувати оплату паркування. Така функція широко використовується в комерційних та корпоративних паркінгах.

Інтелектуальна відео аналітика входить в комплекс функціональних можливостей відеосистеми. Системи відеоаналітики дозволяють автоматично виявляти: рух у заборонених зонах, залишені предмети, скупчення людей, дим чи вогонь, несанкціоноване проникнення, підозрілу поведінку. Використання штучного інтелекту значно підвищує ефективність роботи служби безпеки.

Інтеграція із системами безпеки та СКУД створює додаткові можливості для оператора або диспетчера. Автоматизовані системи відеоспостереження можуть взаємодіяти з: системами контролю доступу, пожежною сигналізацією, системами клімат-контролю, системами диспетчерського управління. Наприклад, у разі пожежі система може автоматично: відобразити зону загоряння, увімкнути аварійний запис, передати сигнал оператору, активувати вентиляцію для димовидалення.

До складу автоматизованої системи відеоспостереження входить наступні базові компоненти: різномісцеві відеокамери, відеореєстратори, відеосервери та програмне забезпечення (ПЗ), мережеве обладнання, робоче місце оператора-диспетчера.

Структурна схема системи відеоспостереження підземного паркінгу має багаторівневу організацію (рисунок 1.2). Типова структура включає [3]:

- польовий рівень (відеокамери, сенсори руху, пристрої контролю доступу);
- комунікаційний рівень (кабельні лінії, мережеві комутатори, маршрутизатори);
- серверний рівень (сервери обробки, відеореєстратори, бази даних);

					ДП.АКТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- диспетчерський рівень (автоматизоване робоче місце оператора, програмне забезпечення моніторингу, системи оповіщення).

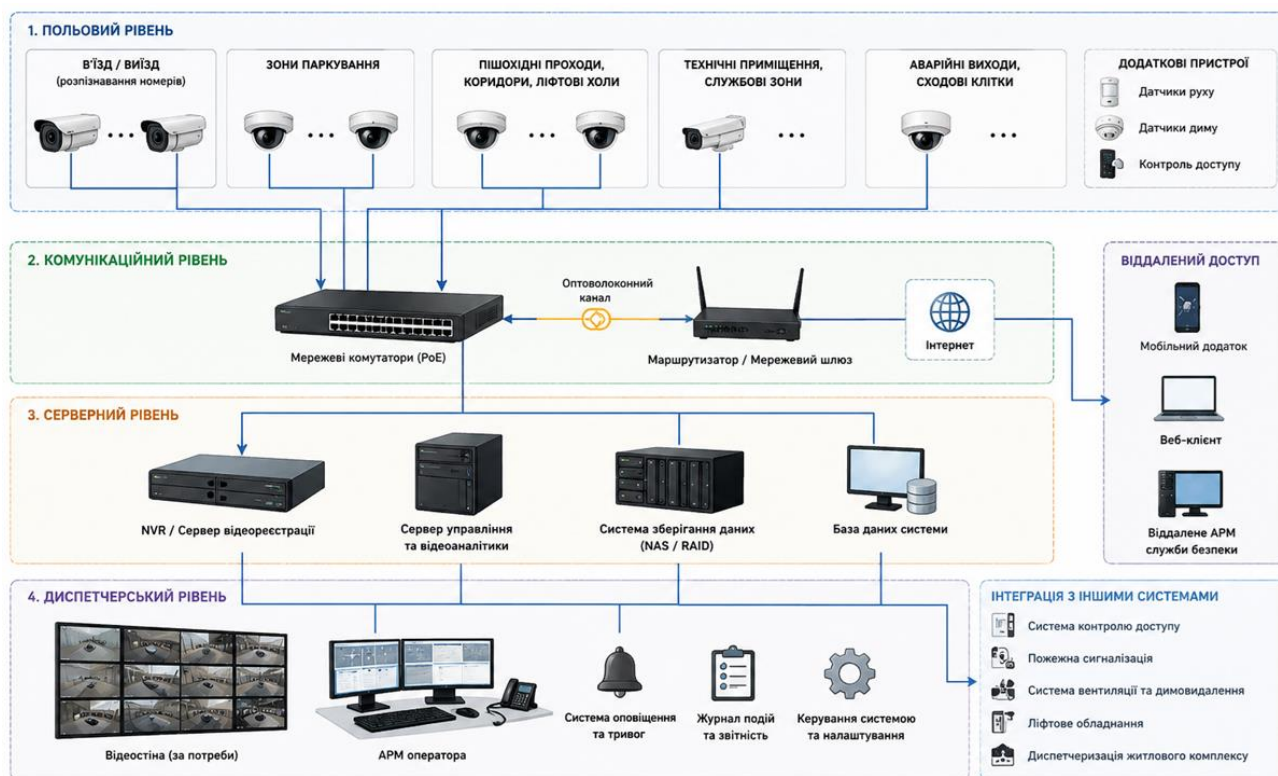


Рисунок 1.2 – Узагальнена структура автоматизованої системи відеоспостереження

Передача інформації між рівнями здійснюється за допомогою локальної мережі Ethernet або оптоволоконних каналів. Прикладами самих масових систем відеоспостереження є розробки провідних світових виробників, таких як: Hikvision, Dahua Technology, Bosch, Axis Communications.

До основних переваг автоматизованих систем відеоспостереження відносять функціонал, що забезпечує: підвищення рівня безпеки, зменшення ризику крадіжок, контроль доступу до транспорту, оперативне реагування на аварійні ситуації, автоматизацію роботи служби охорони, накопичення доказової бази, підвищення ефективності експлуатації паркінгу.

Відповідно недоліками та проблемами впровадження є: висока вартість сучасного обладнання, потреба у професійному монтажі, складність

налаштування мережі, значний обсяг відеоданих, необхідність резервного живлення, ризики кібербезпеки IP-систем. Особливо важливим є захист системи від несанкціонованого доступу, вірусних (хакерських) атак та втрати архівних даних.

Перспективами розвитку автоматизованих систем відеоспостереження є: використання штучного інтелекту, впровадження хмарних технологій, розвиток нейромережевої відео аналітики, автоматизація керування паркінгом, інтеграція з концепцією Smart City, застосування тепловізійного контролю, використання бездротових технологій. У майбутньому системи відеоспостереження стануть повністю інтегрованими інтелектуальними комплексами безпеки з можливістю автономного прийняття рішень в режимі реального часу.

Автоматизовані системи відеоспостереження підземного паркінгу є важливим елементом сучасних комплексів безпеки та управління інфраструктурою об'єкта. Їх використання дозволяє забезпечити неперервний контроль території об'єкта, підвищити рівень захисту транспортних засобів та персоналу, а також автоматизувати процеси моніторингу та реагування на надзвичайні ситуації. Найбільш ефективними є сучасні IP-системи, які підтримують інтелектуальну відеоаналітику, віддалене управління та інтеграцію з іншими підсистемами безпеки. Важливу роль у роботі систем відіграють високоякісні відеокамери, серверне обладнання, мережеві технології та ПЗ. Подальший розвиток систем відеоспостереження пов'язаний із впровадженням штучного інтелекту, хмарних сервісів та технологій автоматизованого аналізу відеоданих.

1.2 Аналіз базових та функціональних елементів систем відеонагляду

Відеокамери є основним функціональним елементом будь-якої системи відеоспостереження. Саме вони здійснюють формування відеозображення контрольованої зони та передачу інформації до пристроїв обробки, реєстрації

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та зберігання даних. Сучасні відеокамери використовують у системах охоранного відеоспостереження, промислової автоматизації, транспортної інфраструктури, банківських установах, торговельних центрах, житлових комплексах, підземних паркінгах та об'єктах критичної інфраструктури.

Основною функцією відеокамери є перетворення оптичного зображення на цифровий або аналоговий електричний сигнал для подальшої передачі та обробки (рисунок 1.3) [4]. Якість роботи системи відеоспостереження значною мірою визначається характеристиками встановлених відеокамер. Сучасні камери відеоспостереження характеризуються: високою роздільною здатністю, підтримкою цифрової передачі даних, можливістю нічного бачення, інтеграцією зі штучним інтелектом, підтримкою відеоаналітики, високою стійкістю до зовнішніх впливів.

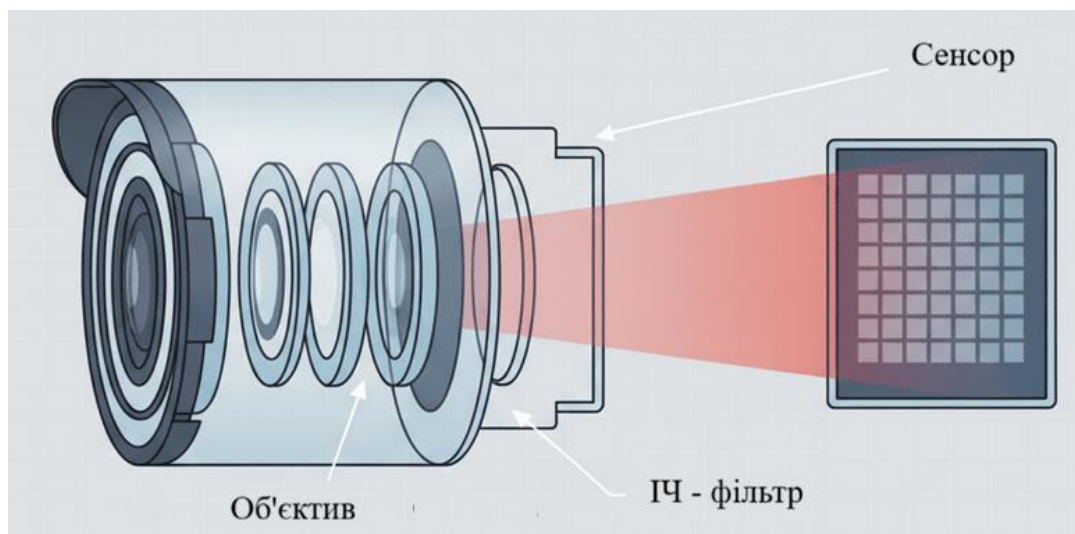


Рисунок 1.3 – Загальна будова камер відеоспостереження

У сучасних автоматизованих системах безпеки відеокамери не лише здійснюють запис відео, а й виконують функції інтелектуального аналізу подій, автоматичного розпізнавання об'єктів та формування тривожних повідомлень.

Відеокамери класифікують за різними ознаками, а саме за [5]: способом передачі сигналу, конструктивним виконанням, функціональним

призначенням, умовами експлуатації, типом сенсора, методом обробки сигналу.

Аналогові відеокамери формують аналоговий відеосигнал, що передається коаксіальним кабелем до відеореєстратора (рисунок 1.4). До основних стандартів аналогового відеоспостереження належать: CVBS, AHD, HD-TVI, HD-CVI.



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд аналогової камери відеоспостереження

Основними перевагами аналогових камер є низька вартість, простота монтажу, стабільність передачі сигналу і невисокі вимоги до обладнання. Відповідно до недоліків можна віднести: обмежену роздільну здатність, меншу функціональність, складність масштабування, обмежені можливості відеоаналітики. На сьогодні аналогові камери використовують переважно в невеликих або бюджетних системах.

IP-камери є найсучаснішим типом відеокамер (рисунок 1.5). Передача інформації здійснюється через мережу Ethernet у цифровому форматі. До основних компонентів IP-камери належать: CMOS чи CCD-матриця, процесор обробки зображення, мережевий модуль, система стиснення відео, програмне забезпечення. Перевагами IP-камер є: висока роздільна здатність, підтримка Full HD, 4K та 8K, віддалений доступ, інтеграція з мережею Internet, підтримка PoE, відео аналітика, висока масштабованість. Відповідно недоліками є: вища вартість, залежність від мережевої інфраструктури, потреба у кіберзахисті. IP-камери широко застосовуються у сучасних автоматизованих системах безпеки.

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд IP – камери

Купольні камери мають напівсферичний корпус та використовуються переважно у приміщеннях (рисунок 1.6). Основні особливості таких камер: компактність, антивандальне виконання, широкий кут огляду, естетичний зовнішній вигляд. Основна сфера застосування: торгові центри, офіси, житлові комплекси, підземні паркінги, коридори та холі.



Рисунок 1.6 – Загальний вигляд купольних камер відеоспостережень

Циліндричні камери мають видовжений корпус і переважно використовуються для зовнішнього відеоспостереження. Основними особливостями є: велика дальність спостереження, ефективне інфрачервоне підсвічування, висока стійкість до кліматичних умов. Сфери застосування це: периметрачна охорона, контроль в'їздів, автостоянки, транспортні об'єкти.

PTZ-камери підтримують поворот, нахил та оптичне масштабування (рисунок 1.7). Оператор може дистанційно змінювати напрямок огляду та

					ДП.АКТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

масштаб зображення. Основними перевагами є: велика зона контролю, автоматичне стеження, висока деталізація. До недоліків можна віднести - висока вартість та складність налаштування. PTZ-камери широко використовують на великих об'єктах та в системах міського відеоспостереження.



Рисунок 1.7 – Загальний вигляд PTZ-камери

Тепловізійні камери формують зображення на основі теплового випромінювання об'єктів [6]. Основними перевагами є: робота у повній темряві, виявлення людей та транспорту, стійкість до туману та диму. До недоліків можна віднести високу вартість та меншу деталізацію зображення. В основному використовуються на критичних об'єктах у системах охорони периметра та на промислових підприємствах.



Рисунок 1.8 – Загальний вигляд тепловізійної камери

					ДП.АКТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Панорамні камери та fisheye-камери забезпечують огляд 180° або 360°. Основними перевагами таким камер є: контроль великих площ, мінімізація кількості камер, цифрове розгортання зображення. До недоліків можна віднести: складність обробки відео та викривлення зображення по краях. Масове застосування знайшла у: торговельні зали, паркінги, складські приміщення, вокзали.



Рисунок 1.9 – Загальний вигляд панорамної (fisheye-камери) камери

Сучасні камери відеоспостереження є високотехнологічними електронними пристроями, призначеними для отримання, обробки, передачі та збереження відеоінформації з контрольованих об'єктів або територій. Вони широко використовуються у системах безпеки житлових комплексів, промислових підприємств, транспортної інфраструктури, торговельних центрів, підземних паркінгів та об'єктів критичної інфраструктури. Основним принципом роботи камери відеоспостереження є перетворення світлового потоку, що надходить через об'єктив, у цифровий або аналоговий електричний сигнал для подальшої передачі до відеореєстратора, сервера або автоматизованого робочого місця оператора.

Робота сучасної відеокамери починається з формування оптичного зображення. Світло від об'єкта спостереження проходить через систему лінз об'єктива та проектується на світлочутливу матрицю. У сучасних системах найчастіше використовуються CMOS-матриці, які характеризуються високою швидкістю обробки інформації, низьким енергоспоживанням та високою якістю зображення. Раніше також широко застосовувались CCD-

					ДП.АКТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матриці, які забезпечували кращу деталізацію та нижчий рівень шумів, однак через вищу вартість та складність виробництва сьогодні вони використовуються значно рідше.

Після потрапляння світла на матрицю відбувається фотоелектричне перетворення світлової енергії в електричні сигнали. Отримані сигнали надходять до цифрового процесора обробки зображення, який виконує корекцію яскравості, контрастності, кольорового балансу, шумозаглушення та стиснення відеоданих. Для передачі відеоінформації сучасні IP-камери використовують цифрові мережеві протоколи Ethernet, що дозволяє інтегрувати камери у локальні комп'ютерні мережі та забезпечувати віддалений доступ через Internet [7].

Однією з важливих особливостей сучасних камер відеоспостереження є підтримка роботи в умовах недостатнього освітлення. Для цього застосовуються інфрачервоні світлодіоди, які формують невидиме для людського ока ІЧ-підсвічування. У нічному режимі камера автоматично переходить у чорно-білий режим зйомки, що дозволяє отримувати чітке зображення навіть у повній темряві. Дальність такого підсвічування залежить від потужності ІЧ-світлодіодів і може становити від кількох метрів до сотень метрів.

Важливою особливістю сучасних камер є використання технології WDR (Wide Dynamic Range), яка дозволяє компенсувати різкі перепади освітлення. Це особливо актуально для зон в'їзду та виїзду, де одночасно присутні яскраве зовнішнє освітлення та затемнені внутрішні ділянки приміщення. Завдяки WDR камера формує збалансоване зображення без засвічених або затемнених ділянок.

Сучасні відеокамери також підтримують функції інтелектуальної відеоаналітики. Вбудовані алгоритми штучного інтелекту дозволяють автоматично виявляти рух, розпізнавати обличчя людей, автомобільні номерні знаки, контролювати периметр, визначати залишені предмети та

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

аналізувати поведінку об'єктів. Це значно підвищує ефективність систем безпеки та дозволяє мінімізувати вплив людського фактора.

Для забезпечення надійної роботи в складних умовах експлуатації корпуси сучасних камер виготовляються у пиловологозахищеному та антивандальному виконанні. Камери для зовнішнього встановлення мають високий ступінь захисту IP66 або IP67 та здатні працювати у широкому температурному діапазоні. У підземних паркінгах, промислових приміщеннях та на транспортних об'єктах це є важливою умовою стабільної роботи обладнання.

Таким чином, сучасні камери відеоспостереження є складними інтелектуальними пристроями, що поєднують оптичні, електронні та програмні технології. Їх використання дозволяє забезпечити високий рівень безпеки, автоматизувати процеси моніторингу та оперативно реагувати на потенційні загрози. Подальший розвиток камер відеоспостереження пов'язаний із впровадженням штучного інтелекту, нейромережевої обробки відео, хмарних технологій та підвищенням рівня кіберзахисту систем.

Перспективи розвитку сучасних камер відеоспостереження безпосередньо пов'язані з впровадженням технологій штучного інтелекту, Edge AI, надвисокої деталізації зображення та підвищенням рівня кібербезпеки. Сучасні системи безпеки поступово переходять від звичайного відеозапису до інтелектуального автоматизованого аналізу подій у режимі реального часу. Це дозволяє значно підвищити ефективність моніторингу, скоротити навантаження на операторів та мінімізувати вплив людського фактора.

Одним із найважливіших напрямків розвитку є використання штучного інтелекту (Artificial Intelligence, AI). AI-алгоритми дозволяють камерам автоматично аналізувати відеопотоки та виявляти потенційно небезпечні ситуації без участі оператора. Сучасні системи вже здатні розпізнавати обличчя людей, автомобільні номерні знаки, класифікувати об'єкти, визначати напрямок руху, виявляти залишені предмети або несанкціоноване

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проникнення в контрольовану зону. У перспективі штучний інтелект забезпечуватиме ще більш складний аналіз поведінки людей та прогнозування потенційних загроз на основі накопичених даних і нейромережевих алгоритмів. Це особливо актуально для систем безпеки великих житлових комплексів, транспортної інфраструктури, аеропортів та об'єктів критичної інфраструктури.

Важливим перспективним напрямком є технологія Edge AI. Її основна особливість полягає в тому, що обробка відеоданих виконується безпосередньо у самій камері або локальному пристрої, без передачі великого обсягу інформації на центральний сервер. Це дозволяє значно зменшити навантаження на мережу, скоротити затримки передачі даних та підвищити швидкість реагування системи. Камери з Edge AI можуть самостійно виконувати відеоаналітику, формувати тривожні повідомлення та передавати лише важливі події, а не весь відеопотік. У майбутньому такі системи стануть основою інтелектуальних автономних комплексів відеоспостереження.

Ще одним перспективним напрямком розвитку є використання камер надвисокої роздільної здатності 8K. Такі камери забезпечують надзвичайно високу деталізацію зображення, що дозволяє розпізнавати дрібні об'єкти, номери автомобілів та обличчя людей на значній відстані. Висока роздільна здатність особливо важлива для систем відеоспостереження великих територій, підземних паркінгів, стадіонів, вокзалів та міських систем Smart City. Крім того, камери 8K дозволяють цифрове масштабування без суттєвої втрати якості зображення. Основними проблемами впровадження таких камер наразі залишаються значні обсяги відеоданих, високі вимоги до серверного обладнання та пропускної здатності мережі. Проте розвиток технологій стиснення відео та систем зберігання поступово вирішує ці проблеми.

Окрему увагу сьогодні приділяють кібербезпеці систем відеоспостереження. Оскільки сучасні IP-камери підключаються до

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

локальних мереж та Internet, вони можуть ставати об'єктами кібератак [9]. Несанкціонований доступ до камер може призвести до витоку конфіденційної інформації, втрати відеоархівів або повного порушення роботи системи безпеки. Саме тому перспективними напрямками розвитку є впровадження шифрування відеопотоків, багаторівневої автентифікації користувачів, захищених мережевих протоколів та систем автоматичного виявлення кіберзагроз. У майбутньому виробники камер дедалі більше інтегруватимуть механізми кіберзахисту безпосередньо в апаратне та програмне забезпечення відеокамер.

Таким чином, розвиток камер відеоспостереження спрямований на створення інтелектуальних автономних систем із високою деталізацією відео, швидкою локальною обробкою даних та надійним кіберзахистом. Використання AI, Edge AI, камер 8K та сучасних засобів захисту інформації дозволить значно підвищити ефективність систем безпеки та забезпечити їх стабільну роботу в умовах постійного зростання вимог до автоматизації та інформаційної безпеки.

1.3 Компонівка сучасної автоматизованої системи відеоспостереження для об'єктів закритого типу

Сучасна автоматизована система відеоспостереження є багаторівневим програмно-апаратним комплексом, призначеним для неперервного контролю об'єкта, збору, обробки, передачі, аналізу та зберігання відеоінформації. Компонування такої системи формується залежно від функціонального призначення об'єкта, його площі, кількості контрольованих зон, рівня безпеки та умов експлуатації (рисунк 1.10). Основною метою побудови системи є забезпечення максимального рівня безпеки, оперативного реагування на надзвичайні ситуації та автоматизації процесів моніторингу.

Типове компонування сучасної автоматизованої системи відеоспостереження включає кілька основних рівнів: польовий,

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

комунікаційний, серверний та диспетчерський. На польовому рівні розміщуються відеокамери, сенсори руху, пристрої контролю доступу та інші периферійні елементи системи. Саме цей рівень забезпечує первинне отримання інформації про стан контролюваного об'єкта. В залежності від умов експлуатації можуть використовуватися купольні, циліндричні, PTZ-камери, тепловізійні або панорамні відеокамери з підтримкою інтелектуальної відео аналітики [9, 10].



Рисунок 1.10 – Компоновка сучасної автоматизованої системи відеоспостереження

Комунікаційний рівень забезпечує передачу відеоданих між елементами системи за допомогою локальної мережі Ethernet, оптоволоконних каналів зв'язку або бездротових технологій. До складу цього рівня входять мережеві комутатори, маршрутизатори, PoE-обладнання, мережеві шлюзи та засоби резервування каналів зв'язку. У сучасних IP-

системах передача інформації здійснюється у цифровому форматі, що дозволяє інтегрувати систему відеоспостереження з іншими автоматизованими комплексами безпеки.

Серверний рівень включає мережеві відеореєстратори (NVR), сервери відеоаналітики, системи архівування та бази даних (рисунок 1.11). На цьому рівні здійснюється обробка відеопотоків, збереження архівів, розпізнавання облич або автомобільних номерів, а також формування тривожних повідомлень. Для забезпечення неперервної роботи використовуються RAID-масиви, резервні джерела живлення та системи дублювання інформації.



Рисунок 1.11 – Загальний вигляд відео реєстратора серверного рівня

Диспетчерський рівень представлений автоматизованими робочими місцями операторів, відеостінами, програмним забезпеченням моніторингу та системами оповіщення. Оператор отримує можливість в режимі реального часу контролювати стан об'єкта, переглядати архіви, керувати камерами та реагувати на тривожні події. У сучасних системах також широко використовуються мобільні додатки та web-інтерфейси для віддаленого доступу.

Особливо складною є організація роботи автоматизованих систем відеоспостереження на об'єктах закритого типу. До таких об'єктів належать підземні паркінги, промислові підприємства, склади, банківські установи, режимні об'єкти та логістичні комплекси. Складність роботи системи обумовлюється наявністю великої кількості приміщень, складними умовами освітлення, обмеженим простором, високим рівнем електромагнітних завад,

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідністю цілодобового моніторингу та підвищеними вимогами до безпеки.

Наприклад, у підземних паркінгах система повинна стабільно працювати в умовах низької освітленості, пилу, підвищеної вологості та наявності вихлопних газів. На промислових об'єктах додатково виникає необхідність контролю технологічних процесів, зон підвищеної небезпеки та роботи персоналу. Крім цього, на об'єктах закритого типу особливо важливо забезпечити безперервність роботи системи навіть у разі аварійного відключення живлення чи пошкодження окремих елементів мережі.

У зв'язку з цим виникає необхідність використання спеціалізованого обладнання. Для складних умов експлуатації застосовуються відеокамери з високим ступенем пиловологозахисту IP66/IP67, антивандальним корпусом та розширеним температурним діапазоном роботи. Для контролю зон із недостатнім освітленням використовують камери з інфрачервоним підсвічуванням, технологіями WDR, Starlight або DarkFighter. На великих територіях ефективними є PTZ-камери з автоматичним стеженням та тепловізійні камери для роботи у повній темряві чи задимлених приміщеннях.

Використання спеціалізованого серверного обладнання також є необхідною умовою функціонування сучасної системи. Висока роздільна здатність камер, застосування AI-аналітики та неперервний запис відео створюють значне навантаження на мережу та системи зберігання даних. Саме тому використовуються потужні сервери обробки відео, RAID-масиви, мережеві сховища NAS та резервовані канали зв'язку.

Крім того, сучасні системи потребують впровадження засобів кібербезпеки, оскільки IP-камери та сервери підключаються до локальних мереж та Internet. Для захисту інформації використовуються шифрування відеопотоків, багаторівнева аутентифікація, захищені протоколи передачі даних та система контролю доступу до обладнання.

					ДП.АКТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, сучасна автоматизована система відеоспостереження є складним багатофункціональним комплексом, ефективність якого залежить від правильної компоновки, використання спеціалізованого обладнання та інтеграції сучасних технологій відеоаналітики, автоматизації та кіберзахисту. Саме застосування професійних технічних засобів дозволяє забезпечити надійну та безперервну роботу системи на об'єктах закритого типу з підвищеними вимогами безпеки.

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. СПЕЦИФІКАЦІЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Реалізація структури та функціональної схеми автоматизованої системи відеоспостереження підземного паркінгу

Автоматизована система відеоспостереження підземного паркінгу є багатофункціональним програмно-апаратним комплексом, призначеним для забезпечення цілодобового контролю території, підвищення рівня безпеки транспортних засобів та людей, а також автоматизації процесів моніторингу та реагування на потенційно небезпечні ситуації. Робота системи базується на неперервному отриманні відеоінформації, її передачі каналами зв'язку, обробці серверним обладнанням та відображенні оператору в режимі реального часу. Відповідно до представленої структурної схеми на рисунку 2.1 система має багаторівневу організацію, що включає польовий, комунікаційний, серверний та диспетчерський рівні, а також підсистеми інтеграції та віддаленого доступу.

Основу роботи системи формує польовий рівень, на якому розташовані відеокамери та периферійні пристрої. Контроль в'їзду та виїзду з підземного паркінгу здійснюється за допомогою IP-камер із функцією автоматичного розпізнавання автомобільних номерів (ANPR) [10]. Камери фіксують номерні знаки транспортних засобів, здійснюють контроль переміщення автомобілів та передають інформацію до серверів обробки даних. Одночасно система може взаємодіяти зі шлагбаумами або системою контролю доступу для автоматичного відкриття проїзду до авторизованого (виділеного) місця під транспортний засіб.

У зонах паркування встановлюються купольні або панорамні IP-камери, які забезпечують безперервний контроль паркомісць, дорожніх проїздів та прилеглої території. Завдяки широкому куту огляду та високій роздільній здатності камер оператор отримує детальне відеозображення всіх контрольованих ділянок. Для загального огляду великих зон використовують

					ДП.АКТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

PTZ-камери з функцією дистанційного повороту, нахилу та оптичного збільшення. Такі камери дозволяють оператору швидко змінювати напрямок спостереження та деталізувати окремі ділянки об'єкта.

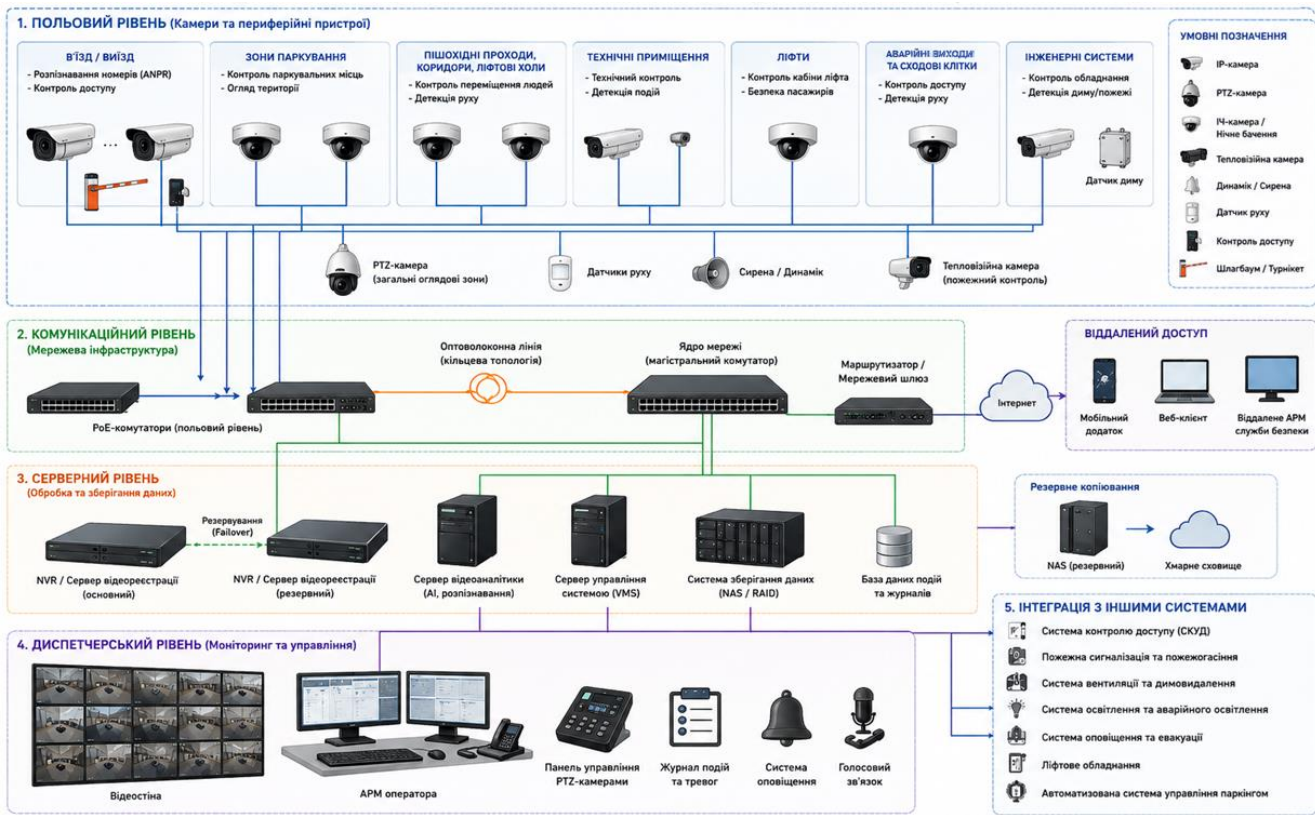


Рисунок 2.1 – Запропонована структурна схема автоматизованої системи відеоспостереження підземного паркінгу

У пішохідних проходах, ліфтових холах, аварійних виходах та технічних приміщеннях встановлюються камери внутрішнього спостереження, які забезпечують контроль переміщення людей та виявлення несанкціонованого доступу. Додатково система може використовувати сенсори руху, диму або відчинення дверей, сигнали від яких надходять до серверного обладнання та автоматично формують тривожні повідомлення.

Оскільки підземний паркінг характеризується недостатнім рівнем освітлення, підвищеною вологістю та наявністю вихлопних газів, в системі застосовуються спеціалізовані камери з інфрачервоним підсвічуванням, технологіями WDR та високим ступенем пиловологозахисту. Для додаткового контролю пожежної безпеки можуть використовуватися

тепловізійні камери, здатні виявляти перегрів обладнання або ознаки займання навіть у повній темряві та задимлених приміщеннях.

Передача інформації між усіма елементами системи здійснюється на комунікаційному рівні. Відеопотоки від камер надходять через мережеві PoE-комутатори, які забезпечують одночасно передачу даних та живлення камер по кабелю Ethernet [11]. Для зв'язку між окремими сегментами системи використовуються оптоволоконні лінії зв'язку, що забезпечують високу швидкість передачі інформації та стійкість до електромагнітних завад. Центральним елементом комунікаційного рівня є магістральний комутатор та мережевий шлюз, через які здійснюється взаємодія серверного обладнання, диспетчерських станцій та віддалених користувачів.

Серверний рівень виконує основні функції обробки та зберігання інформації. Відеосигнали від камер надходять до мережевих відеореєстраторів (NVR), де здійснюється запис та архівування відеоданих. Для забезпечення надійності системи використовуються основний та резервний сервери відеореєстрації, між якими реалізується механізм резервування Failover. У разі виходу з ладу основного сервера система автоматично переключається на резервний сервер без втрати інформації.

Обробка відеоаналітики виконується спеціалізованими серверами штучного інтелекту. На цьому етапі система може здійснювати розпізнавання номерних знаків, аналіз поведінки об'єктів, детекцію руху, контроль периметра та формування тривожних сигналів. Всі дані зберігаються на RAID-масивах або мережевих сховищах NAS, що забезпечують великий обсяг пам'яті та високу надійність архівування інформації. Додатково реалізується резервне копіювання відеоархіву з використанням хмарного сховища.

На диспетчерському рівні розміщується автоматизоване робоче місце оператора. Інформація з камер виводиться на монітори або відеостіни в режимі реального часу. Оператор здійснює моніторинг території, управління PTZ-камерами, перегляд архівів та реагування на тривожні повідомлення. У

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

разі виявлення небезпечної ситуації система автоматично формує сигнал тривоги, активує звукове оповіщення та записує відповідний фрагмент відео в журнал подій.

Важливою особливістю роботи системи є її інтеграція з іншими автоматизованими комплексами безпеки. Система відеоспостереження може взаємодіяти з пожежною сигналізацією, системами вентиляції та димовидалення, контролем доступу, аварійним освітленням та диспетчеризацією житлового комплексу. Наприклад, у разі пожежі система автоматично переводить камери в режим аварійного запису, що відображає небезпечну ділянку оператору та активує відповідні системи евакуації.

Крім локального управління, система підтримує функцію віддаленого доступу через Internet. За допомогою web-клієнта або мобільного додатка служба безпеки може отримати доступ до відеоархівів та відеопотоків із будь-якого місця. Це значно підвищує оперативність реагування та зручність експлуатації системи.

Таким чином, автоматизована система відеоспостереження підземного паркінгу є складним інтегрованим комплексом, який забезпечує неперервний контроль об'єкта, автоматизацію процесів безпеки та підвищення ефективності роботи служби охорони. Використання сучасних IP-камер, відеоаналітики, серверних технологій та інтегрованих систем управління дозволяє забезпечити високий рівень надійності, функціональності та безпеки підземного паркінгу житлового комплексу.

Автоматизована система відеоспостереження підземного паркінгу, побудована відповідно до представленої функціональної схеми, що на рисунку 2.2, має низку специфічних та неординарних особливостей функціонування, які відрізняють її від звичайних систем охоронного відео контролю [12]. Ці особливості пов'язані не лише з процесом спостереження, а й із комплексною інтеграцією системи в загальну інфраструктуру безпеки та автоматизації житлового комплексу.

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Однією з важливих особливостей є функціонування системи в режимі адаптивного інтелектуального моніторингу. На відміну від класичних систем, сучасна система не просто записує відеопотоки, а виконує постійний аналіз ситуації на паркінгу. Вбудовані алгоритми AI можуть адаптувати чутливість виявлення руху залежно від часу доби, рівня освітленості або інтенсивності транспортного потоку. Наприклад, у нічний час система автоматично підвищує рівень контролю малорухомих зон та активує пріоритетний аналіз пішохідних проходів та аварійних виходів.

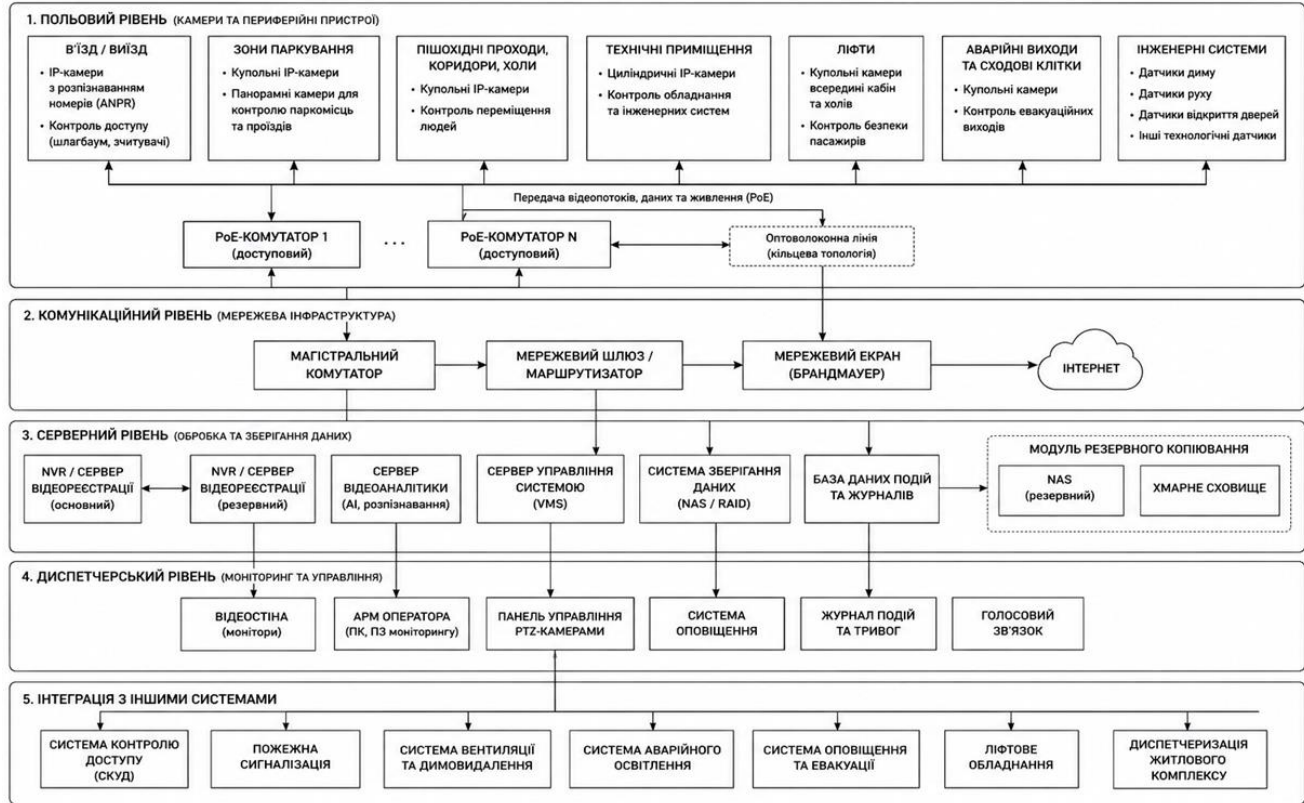


Рисунок 2.2 – Функціональна схема автоматизованої системи відеоспостереження підземного паркінгу

Ще однією особливістю є динамічний перерозподіл навантаження між серверами відеоаналітики та системами архівування. У разі пікового навантаження – наприклад, у години масового заїзду чи виїзду транспорту – система може автоматично змінювати пріоритети обробки відеоданих. При цьому критично важливі потоки з камер в'їзду, зон евакуації або технічних приміщень обробляються з максимальною деталізацією, тоді як менш важливі

ділянки переводяться в режим оптимізованого запису для зменшення навантаження на серверну інфраструктуру.

Особливістю системи є наявність інтелектуальної кореляції подій між різними підсистемами безпеки. Наприклад, при спрацюванні пожежної сигналізації система автоматично змінює логіку роботи камер: збільшується частота запису, активуються PTZ-камери для автоматичного наведення в зону тривоги, а відеопотоки виводяться на пріоритетні диспетчерські монітори. Одночасно формується журнал подій із прив'язкою відеоархіву до конкретної тривожної ситуації.

Досить неординарною функцією є використання прогнозованої відеоаналітики. Система здатна аналізувати типові маршрути руху автомобілів та пішоходів та виявляти аномальні ситуації. Наприклад, тривожний сигнал може формуватися не тільки в разі проникнення сторонньої особи, а й у разі нетипової поведінки транспортного засобу: тривалого перебування у технічній зоні, хаотичного руху чи зупинки в забороненому місці.

У представленій схемі важливу роль відіграє функція резервування та самовідновлення системи. У разі відмови одного з вузлів мережі або сервера відеореєстрації система автоматично перенаправляє потоки даних через резервні канали без втрати відеоархіву. Подібна архітектура є особливо важливою для підземних паркінгів, оскільки навіть короткочасна втрата контролю може створити критичні ризики безпеці.

Специфічною особливістю є також інтеграція системи відеоспостереження з інженерними системами зведення. Наприклад, дані з камер можуть використовуватися для автоматичного керування вентиляцією паркінгу. У разі виявлення підвищеної інтенсивності руху транспорту чи скупчення автомобілів система може передавати сигнали на підвищення продуктивності вентиляційного обладнання. Аналогічно система здатна взаємодіяти з аварійним освітленням, автоматично підсилюючи освітлення в зонах тривоги чи евакуації.

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окремою функціональною особливістю є кіберфізичний характер системи. Сучасні IP-камери та сервери не лише передають відео, а фактично виступають інтелектуальними мережевими вузлами [13]. Це дозволяє реалізувати централізоване оновлення програмного забезпечення, дистанційну діагностику обладнання та автоматичний контроль технічного стану камер. Система може самостійно виявляти втрату зв'язку, погіршення якості зображення, перекриття об'єктива чи спробу фізичного втручання.

Неординарною особливістю є також багаторівнева система пріоритетів доступу до відеоінформації. Залежно від рівня авторизації різні категорії користувачів можуть отримувати доступ лише до визначених зон паркінгу або окремих функцій системи. Це особливо актуально для великих житлових комплексів, де одночасно працюють служби охорони, диспетчери, технічний персонал та адміністрація.

Крім того, сучасна система може використовувати елементи Edge AI – локальної обробки відео безпосередньо у камерах. Це дозволяє виконувати первинний аналіз подій ще на рівні польового обладнання, зменшуючи навантаження на сервери та мережу передачі даних. Наприклад, камера може самостійно визначати факт проникнення людини у службову зону та передавати до сервера вже сформований тривожний сигнал замість постійного потоку необробленого відео.

Таким чином, автоматизована система відеоспостереження підземного паркінгу є не просто комплексом відеокамер, а інтелектуальною багаторівневою кіберфізичною системою, здатною до адаптивного функціонування, самодіагностики, прогнозованого аналізу подій та глибокої інтеграції з іншими системами безпеки та автоматизації будови. Саме ці особливості забезпечують високий рівень надійності, ефективності та автономності роботи сучасних систем відеоспостереження.

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розробка алгоритму роботи та функціонування системи відеонагляду підземного паркінгу

Автоматизована система відеоспостереження підземного паркінгу є багаторівневим інтегрованим комплексом, робота якого спрямована на забезпечення постійного моніторингу території, виявлення потенційно небезпечних ситуацій, накопичення відеоархіву та взаємодію з іншими системами безпеки житлового комплексу. Представлений алгоритм роботи системи описує послідовність функціонування її основних рівнів та логіку обробки інформації від моменту отримання відеосигналів до формування тривожних повідомлень та передачі команд виконавчим системам (рисунок 2.3) [14].

Робота системи починається на польовому рівні, де розташовані ІР-камери, сенсори та допоміжні периферійні пристрої. На початковому етапі після подачі живлення виконується автоматична ініціалізація обладнання. Система проводитиме перевірку працездатності камер, доступності мережевих каналів, стану сенсорів та коректності підключення периферійних пристроїв. Після завершення тестування система переходить до режиму постійного функціонування.

Відеокамери здійснюють неперервне формування відеопотоків із контрольованих зон підземного паркінгу. Камери в'їзду та виїзду додатково виконують розпізнавання автомобільних номерів, контроль шлагбаумів та фіксацію часу переміщення транспортних засобів. Камери зон паркування забезпечують загальний контроль розташування автомобілів та виявлення підозрілих подій. У коридорах, ліфтових холах та аварійних виходах виконується моніторинг переміщення людей та контроль евакуаційних маршрутів. Одночасно з отриманням відео система приймає сигнали від технологічних сенсорів - сенсори руху, диму, відкриття дверей або інших інженерних пристроїв. Усі сигнали надходять до локальних модулів попередньої обробки, де виконується первинний аналіз даних.

					ДП.АКТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

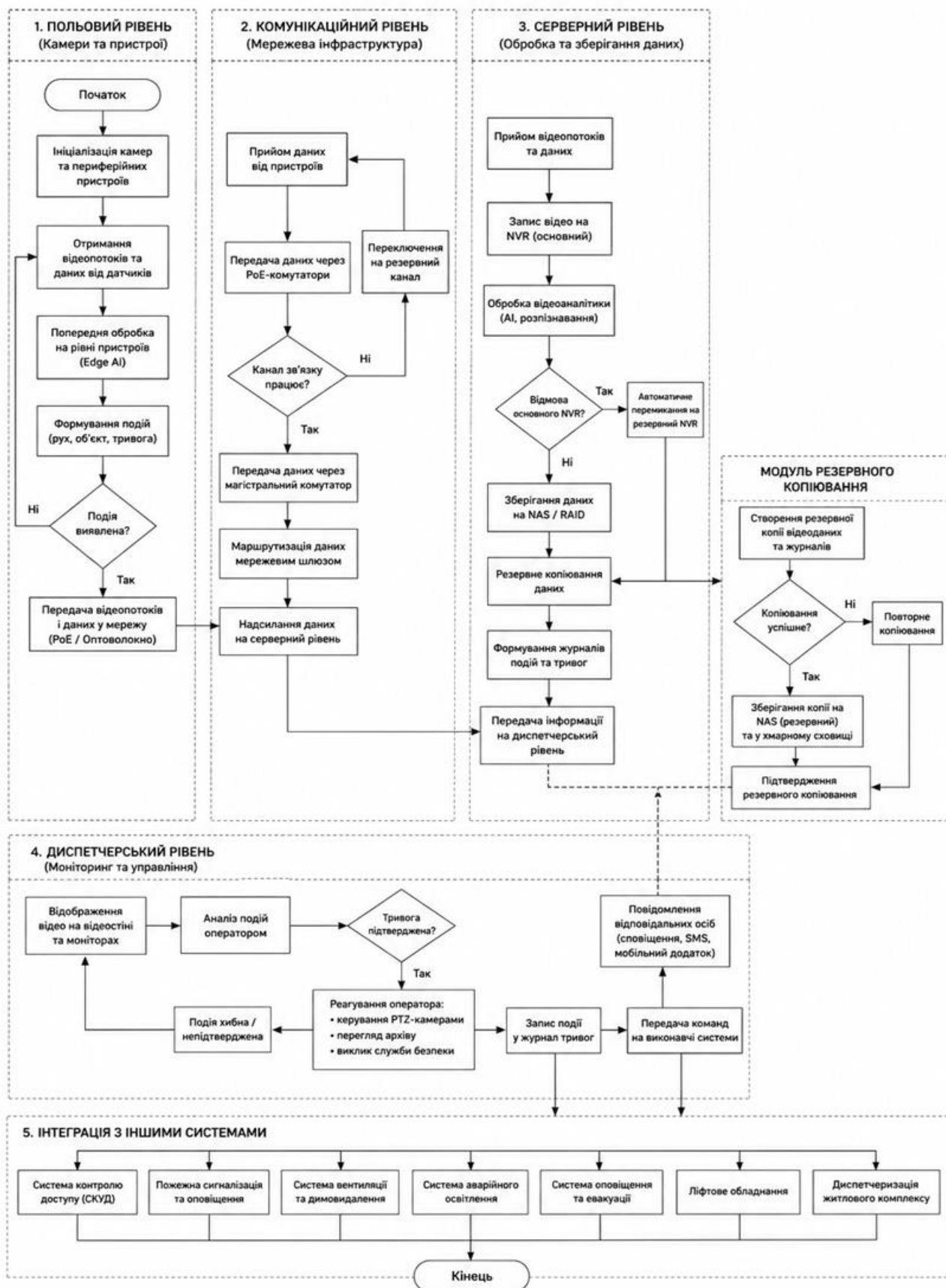


Рисунок 2.3 – Блок-схема алгоритму роботи автоматизованої системи відеоспостереження підземного паркінгу

На цьому етапі можуть застосовуватися технології Edge AI, що дозволяють виконувати базову відеоаналітику безпосередньо у камері чи локальному контролері. Наприклад, камера може самостійно виявляти рух, проникнення у заборонену зону чи нетипову поведінку об'єктів.

Після локальної обробки формується інформація про поточний стан системи та можливі події. Якщо ознаки тривожної ситуації не виявлені, система продовжує циклічний режим спостереження та передає відеопотоки на комунікаційний рівень. У разі виявлення підозрілої події автоматично формується тривожний сигнал із відповідною прив'язкою до конкретної камери та контрольованої зони.

Наступним етапом є передача інформації через мережеву інфраструктуру системи. Передача відеопотоків, телеметрії та службових даних виконується через PoE-комутатори та магістральну мережу Ethernet [15]. Одночасно мережеве обладнання забезпечує живлення IP-камер та контроль стану каналів зв'язку. У цьому алгоритмі передбачено постійний моніторинг працездатності мережевих каналів. Якщо система виявляє порушення зв'язку або перевантаження мережі, автоматично активується механізм переключення на резервний канал передачі даних.

Після проходження комунікаційного рівня інформація надходитиме на серверний рівень системи. На даному етапі відеопотоки приймаються мережевими відеореєстраторами (NVR), які здійснюють запис та архівування інформації. Запис відео може виконуватися в декількох режимах, а саме:

- неперервний запис;
- запис за розкладом;
- запис за подією;
- тривожний запис.

Паралельно із записом виконується обробка відео аналітичних потоків. Сервери AI-аналізу здійснюють розпізнавання номерних знаків, аналіз поведінки об'єктів, контроль зон доступу та детекцію небезпечних ситуацій.

					ДП.АКТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У разі виявлення аномалії система автоматично створює подію в журналі тривог та передає інформацію на диспетчерський рівень.

Однією з важливих складових алгоритму є забезпечення відмовостійкості системи. У разі відмови основного відеореєстратора чи серверного обладнання система автоматично активує резервний NVR-сервер. Завдяки механізму Failover робота системи продовжується без втрати відеоархіву та порушення моніторингу. Аналогічно функціонує система резервного копіювання даних [16].

У модулі резервного копіювання виконується автоматичне створення копій відеоархівів та журналів подій. Копіювання здійснюється на резервний NAS-сервер або хмарне сховище. Після завершення копіювання система перевіряє цілісність резервної копії. Якщо виявлено помилку копіювання або втрату даних, запускається процедура повторного резервування. Такий підхід забезпечує високий рівень захисту інформації та збереження архівів навіть у разі пошкодження основного обладнання.

На диспетчерському рівні виконується безпосередній моніторинг роботи системи оператором. Інформація від камер відображається на моніторах автоматизованого робочого місця чи відеостіні. Оператор отримує можливість у реальному часі контролювати ситуацію на паркінгу, переглядати архіви та керувати поворотними PTZ-камерами.

У разі виникнення тривожної події система формує повідомлення та передає його оператору. Оператор аналізує отриману інформацію та приймає рішення щодо подальших дій. Якщо тривога підтверджується, система автоматично записує подію в журнал тривог та передає команди виконавчим системам. Наприклад, може активуватись система оповіщення, аварійне освітлення або система контролю доступу. Додатково можуть надсилатись повідомлення відповідальним особам через мобільний додаток, SMS або електронну пошту.

					ДП.АКТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У разі помилкової тривоги оператор має можливість скасувати подію, після чого система повертається до стандартного режиму моніторингу. Усі дії оператора також фіксуються в журналі системи для подальшого аналізу.

Завершальним етапом алгоритму є взаємодія з іншими автоматизованими системами будови. Система відеоспостереження інтегрується із системою контролю доступу, пожежною сигналізацією, вентиляцією, димовидаленням, аварійним освітленням та диспетчеризацією житлового комплексу. У разі виникнення надзвичайної ситуації система може автоматично передавати сигнали керування на відповідні виконавчі пристрої.

Наприклад, при виявленні пожежі система відеоспостереження автоматично переводить камери в режим пріоритетного запису, активує систему евакуації та передає інформацію диспетчеру. У разі несанкціонованого проникнення система може заблокувати окремі зони доступу та передати тривожний сигнал службі охорони.

Важливою особливістю алгоритму є його циклічний характер. Усі процеси виконуються безперервно та автоматично повторюються в режимі реального часу. Система постійно здійснює контроль за працездатністю обладнання, станом мережі, цілісністю архівів та актуальністю резервних копій. У разі виникнення несправностей активуються механізми самодіагностики, резервування та автоматичного відновлення.

Таким чином, представлений алгоритм роботи автоматизованої системи відеоспостереження підземного паркінгу забезпечує комплексний багаторівневий контроль об'єкта, інтеграцію із системами безпеки та високу надійність функціонування. Використання сучасних ІР-технологій, серверної обробки, AI-аналітики та резервованої інфраструктури дозволяє ефективно забезпечувати безпеку транспортних засобів, персоналу та мешканців житлового комплексу навіть у складних умовах експлуатації підземного паркінгу.

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Обґрунтування вибору апаратно-технічних засобів автоматизації запропонованої системи

Автоматизована система відеоспостереження підземного паркінгу житлового комплексу повинна забезпечувати цілодобовий контроль території, надійне зберігання відеоархіву, високу якість відеозображення та інтеграцію з іншими системами безпеки. Особливістю підземного паркінгу є складні умови експлуатації: недостатнє освітлення, підвищена вологість, наявність пилу, вихлопних газів, значна площа об'єкта та необхідність безперервної роботи обладнання.

У зв'язку з цим при виборі апаратно-технічних засобів необхідно враховувати: надійність обладнання, підтримку IP-технологій, можливість роботи в умовах низького освітлення, підтримку відеоаналітики, відмовостійкість, масштабованість системи, підтримку резервування, сумісність із мережевою інфраструктурою, кіберзахист.

Для побудови системи необхідно використовувати сучасні IP-рішення, оскільки вони забезпечують високу якість відео, підтримку AI-аналітики та інтеграцію з автоматизованими системами управління будівлею.

Камери контролю в'їзду та виїзду базовий компонент даної автоматизованої системи. Для контролю в'їзду та виїзду транспортних засобів необхідно використовувати спеціалізовані камери з функцією автоматичного розпізнавання номерних знаків (ANPR/LPR). Доцільним є використання камери Hikvision DS-2CD7A26G0/P-IZHS (рисунок 2.4). Основними характеристиками Hikvision DS-2CD7A26G0/P-IZHS є [17]:

- роздільна здатність - 2 Мп;
- підтримка ANPR;
- швидкість розпізнавання до 120 км/год;
- моторизований об'єктив 8–32 мм;
- ІЧ-підсвічування до 50 м;
- технологія WDR 140 дБ;

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- клас захисту IP67;
- підтримка PoE;
- робоча температура від -40 °C до +60 °C.



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд камери відеоспостереження
Hikvision DS-2CD7A26G0/P-IZHS

Дана камера оптимально підходить для контролю транспортних потоків підземного паркінгу завдяки високій точності розпізнавання номерів навіть при недостатньому освітленні або засвіченні фарами автомобілів.

Для загального контролю зон паркування варто використовувати купольні IP-камери з широким кутом огляду та високою світлочутливістю. Рекомендоване обладнання під дану задачу - Dahua IPC-HDW5442TM-AS (рисунок 2.5). Основними характеристиками Dahua IPC-HDW5442TM-AS є:

- роздільна здатність - 4 Мп;
- CMOS-матриця 1/1.8";
- технологія Starlight;
- ІЧ-підсвічування до 50 м;
- WDR 120 дБ;
- AI-аналітика;
- H.265+;
- антивандальний захист IK10 і ступінь захисту IP67.

Камера забезпечує високу якість зображення при мінімальному освітленні, що є критично важливим для підземного паркінгу. Наявність AI-аналітики дозволяє виконувати детекцію руху та класифікацію об'єктів.

					ДП.АКТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд купольної IP-камери з широким кутом огляду
Dahua IPC-HDW5442TM-AS

Для контролю великих зон необхідно використовувати поворотні PTZ-камери. Для задач автоматизованої системи відеонагляду підземного паркінгу рекомендована модель Axis Q6135-LE (рисунок 2.6) [18].



Рисунок 2.6 – Загальний вигляд поворотної PTZ-камери Axis Q6135-LE

PTZ-камера дозволяє оператору оперативно контролювати великі площі та деталізувати окремі ділянки паркінгу. Основними характеристиками Axis Q6135-LE є:

- роздільна здатність - Full HD;
- 32-кратний оптичний zoom;
- лазерне фокусування;
- ІЧ-підсвічування до 250 м;

					ДП.АКТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

- автоматичне стеження;
- електронна стабілізація зображення;
- підтримка AI-аналітики.

Для передачі відеопотоків та живлення IP-камер доцільно використовувати PoE-комутатори. PoE-комутатор (Power over Ethernet) - це мережний пристрій, який одночасно передає дані та електроживлення на підключені пристрої по одному кабелю "вита пара". Це дозволяє підключати IP-камери, VoIP-телефони, точки доступу Wi-Fi і сенсори без необхідності встановлювати 220V розетки в місцях їх монтажу. Рекомендована модель для даної задачі - Cisco CBS350-24P-4G (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд PoE-комутатора Cisco CBS350-24P-4G

Основні характеристики Cisco CBS350-24P-4G є:

- 24 PoE-порти Gigabit Ethernet;
- бюджет PoE - 195 Вт;
- підтримка VLAN;
- Layer 3 routing;
- захист від перевантаження;
- підтримка резервування.

Комутатор забезпечує стабільну передачу відеоданих та одночасно живлення камер через Ethernet.

Для центральної мережевої інфраструктури необхідно використовувати високопродуктивний керований комутатор. Високопродуктивний керований комутатор — це мережевий пристрій рівня L2/L3, призначений для побудови

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

масштабованих корпоративних мереж, дата-центрів та систем із високими вимогами до пропускної здатності, безпеки та відмово стійкості [18-20]. На відміну від некерованих моделей, він забезпечує повний контроль над трафіком за допомогою протоколів VLAN, QoS, агрегації каналів та функцій моніторингу. Рекомендована модель для даної задачі MikroTik CRS354-48G-4S+2Q+RM (рисунок 2.8). Основними характеристиками MikroTik CRS354-48G-4S+2Q+RM є :

- 48 Gigabit Ethernet-портів;
- 4 SFP+ порти 10G;
- 2 QSFP+ порти 40G;
- підтримка VLAN;
- резервування;
- висока пропускна здатність.



Рисунок 2.8 – Загальний вигляд MikroTik CRS354-48G-4S+2Q+RM

Високопродуктивний керований комутатор MikroTik CRS354-48G-4S+2Q+RM дозволяє організувати високошвидкісну магістральну мережу між серверним обладнанням та польовими пристроями.

Для централізованого запису відеоданих необхідно використовувати професійний мережевий відеореєстратор NVR. Мережевий відеореєстратор (NVR — Network Video Recorder) — це спеціалізований пристрій для збирання, записування та зберігання відео з IP-камер. На відміну від аналогових систем (DVR), NVR працює виключно з цифровим потоком даних, який передається через комп'ютерну мережу. Рекомендоване обладнання для даної задачі Hikvision DS-9664NI-I8 (рисунок 2.9).

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.9 – Загальний вигляд мережевого відеореєстратора NVR Hikvision DS-9664NI-I8

Основними характеристиками мережевого відеореєстратора NVR Hikvision DS-9664NI-I8 є:

- підтримка до 64 IP-камер;
- вхідна пропускна здатність - 320 Мбіт/с;
- підтримка H.265+;
- RAID 0/1/5/6/10;
- 8 SATA-дисків;
- HDMI 4K;
- підтримка резервування.

Мережевий відеореєстратор Hikvision DS-9664NI-I8 забезпечує стабільний запис великої кількості відеопотоків та підтримує резервування даних.

Для AI-обробки відео необхідний потужний сервер. Сервер відеоаналітики – це високопродуктивний обчислювальний пристрій, призначений для обробки відеопотоків, розпізнавання об'єктів та подій у реальному часі за допомогою нейромереж. На відміну від звичайного відеореєстратора, сервер відеоаналітики забезпечує автоматичне реагування, розпізнавання осіб, автомобільних номерів, підрахунок відвідувачів та детектування залишених предметів. Рекомендоване модель для задачі автоматизованої системи відеоспостереження підземного паркінгу оптимально підходить Dell PowerEdge R750 (рисунок 2.10).

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.10 – Загальний вигляд сервера AI-обробки Dell PowerEdge R750

До основних характеристик Dell PowerEdge R750 можна віднести:

- процесор Intel Xeon Silver/Gold;
- підтримка GPU NVIDIA;
- до 1 ТБ RAM;
- RAID-контролер;
- резервовані блоки живлення.

Сервер забезпечує обробку AI-аналітики та роботу системи управління відео VMS.

Для довготривалого зберігання відеоархівів потрібна надійна система NAS. NAS (Network Attached Storage) - це розумний мережевий накопичувач, який є окремим міні-комп'ютером з жорсткими дисками, підключений до мережевого роутера. Він дозволяє зберігати файли та отримувати до них доступ із будь-якого пристрою (смартфону, ноутбука, телевізора) як усередині будинку, так і з будь-якої точки світу через інтернет. Рекомендована модель під дану задачу - Synology RackStation RS3621RPxs (рисунок 2.11).



Рисунок 2.11 – Загальний вигляд мережевого накопичувача Synology RackStation RS3621RPxs

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

До основних технічних характеристик мережевого накопичувача Synology RackStation RS3621RPxs відносять:

- 12 відсіків для HDD/SSD;
- підтримка RAID;
- два блоки живлення;
- підтримка резервного копіювання.

NAS забезпечує безпечне зберігання великих обсягів відеоданих та високу швидкість доступу до архівів.

Для централізованого управління системою необхідно використовувати професійне VMS-програмне забезпечення (ПЗ). Оптимально використовувати для даної задачі Milestone XProtect. Основні можливості програмного забезпечення Milestone XProtect: централізоване керування камерами, підтримка AI-аналітики, інтеграція зі СКУД, мобільний доступ, журнал подій, багаторівнева авторизація. ПЗ підтримує масштабованість системи та інтеграцію з великою кількістю обладнання різних виробників.

Для безперервної роботи системи потрібно використовувати UPS. Джерело безперебійного живлення (ДБЖ або UPS) – це автоматичний пристрій з акумуляторною батареєю, що захищає техніку від перебоїв, стрибків напруги та забезпечує тимчасову роботу (ПК, котлів, серверів) при відключенні світла. ДБЖ підтримують працездатність пристроїв, дозволяючи коректно завершити роботу або продовжити функціонування, запобігаючи втраті даних. Рекомендована моделі для запропонованої автоматизованої системи - APC Smart-UPS SRT 5000VA (рисунок 2.12).



Рисунок 2.12 – Загальний вигляд ДБЖ APC Smart-UPS SRT 5000VA

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

До основних характеристики ДБЖ APC Smart-UPS SRT 5000VA відносять:

- потужність - 5000 ВА;
- online topology;
- LCD-дисплей;
- SNMP-моніторинг;
- підтримка зовнішніх батарей.

UPS забезпечує стабільну роботу системи у разі аварійного відключення електроживлення.

Для магістральних каналів передачі даних необхідно використовувати оптоволоконний кабель. Перевагами застосування оптоволокна є: висока швидкість передачі, стійкість до електромагнітних завад, великі відстані передачі, висока пропускна здатність. Для запропонованої системи рекомендується одномодовий кабель OS2 з SFP+ модулі 10G.

Обґрунтування інтеграції системи повинно включати можливість взаємодії з різнотипними системами, а саме: системою контролю доступу, пожежною сигналізацією, вентиляцією, аварійним освітленням, системою диспетчеризації. Це дозволяє автоматизувати реагування, формувати комплексні сценарії безпеки, а також зменшити навантаження на операторів.

Для побудови сучасної автоматизованої системи відеоспостереження підземного паркінгу необхідно використовувати професійне IP-обладнання з підтримкою AI-аналітики, резервування та інтеграції з іншими системами безпеки. Використання високочутливих IP-камер, керованих PoE-комутаторів, серверів відеоаналітики та RAID-сховищ дозволяє забезпечити безперервний моніторинг, надійне зберігання даних та високу ефективність роботи системи. Вибране обладнання відповідає сучасним вимогам кібербезпеки, масштабованості та автоматизації, що забезпечує стабільне функціонування системи в умовах підземного паркінгу житлового комплексу.

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

3.1 Синтез цифрової системи управління в ковзному режимі для систем стабілізації та наведення поворотних PTZ-камер

У сучасних умовах розвитку автоматизованих систем безпеки особливого значення набувають системи відеоспостереження підземних паркінгів житлових комплексів, які забезпечують безперервний контроль транспортних засобів, моніторинг переміщення людей та оперативне реагування на надзвичайні ситуації. Високі вимоги до точності позиціонування камер, стабільності формування відеозображення та швидкодії систем керування обумовлюють необхідність використання сучасних методів автоматичного регулювання та цифрового керування приводами систем наведення та стабілізації.

Ефективність роботи автоматизованої системи відеоспостереження значною мірою залежить від якості функціонування систем стабілізації та наведення відеокамер, особливо в випадках використання поворотних PTZ-камер або високоточних систем спостереження. У процесі роботи підземного паркінгу виникають різноманітні збурюючі впливи, пов'язані з вібраціями конструкцій, електромеханічними перешкодами, переміщенням транспортних засобів та зміною режимів освітлення. Для забезпечення високої точності супроводження об'єктів та стабільності відеозображення необхідно застосовувати високоточні системи автоматичного керування з адаптивними алгоритмами регулювання.

У наведеному розрахунку розглядається синтез цифрової системи управління в ковзному режимі для систем стабілізації та наведення, що можуть використовуватися у складі автоматизованої системи відеоспостереження. Використання релейного регулятора та алгоритмів дискретного ковзного режиму дозволяє забезпечити високу точність відпрацювання задаючих впливів, мінімізувати помилки наведення та

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищити стійкість системи до зовнішніх збурень та зміни параметрів об'єкта управління. Особливо важливим це є для систем відеоспостереження підземних паркінгів, де необхідне стабільне функціонування камер в режимі безперервного моніторингу та автоматичного супроводження рухомих об'єктів.

Таким чином, наведений розрахунок системи автоматичного регулювання є важливою складовою проектування сучасної автоматизованої системи відеоспостереження підземного паркінгу, оскільки дозволяє обґрунтувати вибір алгоритмів цифрового управління, оцінити точність роботи системи стабілізації та забезпечити надійне функціонування комплексу відеоспостереження в умовах реальної експлуатації.

Системи стабілізації та наведення (ССН) лінії візування знаходять широке застосування в об'єктах систем відеонагляду та відеофіксації цивільного та військового призначення. Завдання, що виконуються цими системами, дуже різноманітні. ССН використовуються для отримання якісного зображення місцевості, в системах стеження за рухомими об'єктами [21].

Із зростанням різноманіття задач, що покладаються на пристрої спостереження (ПС), а саме: виконання геоприв'язки до певної точки простору, здійснення високоточного стеження за рухомим об'єктом, отримання якісних зображень об'єкта, зростають і вимоги до точності стабілізації та наведення. До того ж, об'єкти ССН мають складну структуру, тобто: їм властиві пружність елементів конструкції, не лінійності у кінематичних передачах, взаємовплив каналів, що ще більше ускладнює проектування високоточних ССН.

Для можливості забезпечення інваріантності руху системи до коливань носія, взаємовпливу каналів стабілізації, внутрішніх збурюючих моментів приводів керування. А також грубості по відношенню до неточностям визначення параметрів об'єкта керування, а, отже, забезпечення високої

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

точності управління як регулятора ССН використовується система, що працює в ковзному режимі (КР).

Запропонований метод синтезу системи керування складається з двох етапів: 1) визначаються коефіцієнти регулятора, що дозволяють мінімізувати найбільшу миттєву помилку наведення системи та забезпечують існування КР; 2) формується алгоритм цифрової реалізації синтезованого регулятора.

Для формування контуру керування високоточної ССН, аналізу синтезованих алгоритмів управління потрібно мати математичну модель силової частини системи. Рівняння системи в матричній формі, де в якості змінних стану взяті струм якоря двигуна (i), абсолютна кутова швидкість ($\omega_{абс}^{нав}$) і кут повороту навантаження ($\alpha_{абс}^{нав}$), були отримані в [21], і мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + Bu + qM_{опору} + l\omega_{нос}, \\ y &= Cx,\end{aligned}\tag{1}$$

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & C_m / (k_p (J^{Дв} + J^{нав} / k_p^2)) \\ 0 & -C_e / L & -R / L \end{pmatrix}$$

де

загальна матриця системи, C_m - коефіцієнт моменту, k_p - коефіцієнт передачі редуктора, $J^{Дв}$ - момент інерції ротора двигуна, $J^{нав}$ - момент інерції навантаження, C_e - коефіцієнт проти-ЕРС двигуна, L - індуктивність

ланцюга якоря двигуна, R - опір ланцюга якоря двигуна; $x = (\alpha_{абс}^{нав}, \omega_{абс}^{нав}, i)^T$ -

вектор стану об'єкта керування; $B = (0, 0, 1/L)^T$ - вектор формування

управління u ; $q = (0, -(k_p (J^{Дв} + J^{нав} / k_p^2))^{-1}, 0)$ - вектор, що характеризує

зв'язок між моментом опору ($M_{опору}$) і змінними стану; $l = (0, 0, C_e / L)$ - вектор, що характеризує зв'язок між швидкістю носія ($\omega_{нос}$) і змінними станами; y - вихідна координата системи; $C = (1, 0, 0)$ - вектор формування вихідної координати.

Метод синтезу релейного регулятора ССН було наведено у ряді проаналізованих робіт [22], він полягає у розрахунку таких параметрів

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

регулятора, при яких, по-перше, забезпечується існування КР, і по-друге, досягається мінімальна гарантована точність (ГТ) системи на заданих класах вхідних та збурюючих впливів. Під ГТ, яка використовується як кількісна оцінка точності системи, розуміється максимум модуля помилки стеження слідкуючої системи ($\varepsilon(t)$) за сигналами $v(t)$ із заданого класу V на заданому інтервалі часу:

$$\Gamma(V, T) = \max_{v(t) \in V} \varepsilon(v(t), T) = \max_{v(t) \in V} \max_{0 \leq t \leq T} |\varepsilon(t)|. \quad (2)$$

При цьому всі початкові умови самої системи вважаються нульовими (оскільки процеси виходу на режим у даному випадку не розглядаються). Вхідні сигнали $v(t)$ самі є вихідними сигналами деякої динамічної системи, задаючого пристрою (ЗП), що описує цілий клас вхідних впливів.

На систему (1) діють як задаючі, так і збурюючі впливи. В силу лінійності системи і незалежності задаючих і збурюючих сигналів, повна гарантована помилка ($\Gamma(T)$) при одночасній дії збурюючого і задаючого впливів дорівнює сумі ГТ стеження ($\Gamma_{\text{слід}}(T)$) і ГТ по збурюючому впливу ($\Gamma_{\text{збур}}(T)$) [22, 23]:

$$\Gamma(T) = \Gamma_{\text{слід}}(T) + \Gamma_{\text{збур}}(T). \quad (3)$$

Нехай задане рівняння поверхні переключення S має вигляд

$$s = L^T g + K^T x, \quad (4)$$

де g – вектор стану вхідного сигналу (вихідний сигнал ЗП слідкування), K , L – параметри регулятора.

Розривне управління формується у вигляді

$$u(t) = F(x, t) \text{sign}(s), \quad (5)$$

де $F(x, t)$ – мажоруюча функція.

Для знаходження ГТ слідкування та ГТ по збурюючому впливу, був використаний метод еквівалентного керування, описаний у проаналізованих роботах [24].

Розрахунок релейного регулятора ССН зводиться до вирішення завдання умовної параметричної оптимізації. Щоб наділити рух у КР

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

бажаними динамічними властивостями, вводяться додаткові вимоги до якості регулювання, які в поставленій задачі оптимізації задаватимуть обмеження на значення розраховуваних параметрів K, L .

З точки зору синтезу систем керування перехід до цифрової техніки характеризує собою перехід до дискретних систем керування квантуванням за часом та за рівнем. По відношенню до систем, що працюють у КР, це означає, перш за все, обмеженість частоти перемикання керувань у КР. Безпосередня реалізація у такій системі аналогових алгоритмів призводить до зниження статичної точності системи, виникнення дребижання, яке викликає знос механічних рухомих частин, і теплові втрати в електричних колах.

В силу обмеженості частоти дискретизації розривний регулятор, що працює у безперервній системі, не дозволяє забезпечити аналогічні характеристики руху в дискретній системі. Тому необхідні інші умови попадання зображувальної точки на поверхню перемикання та забезпечення існування КР. Рух зображувальної точки по поверхні перемикання $s(k) = 0$, де k – номер інтервалу дискретизації, прийнято називати дискретним ковзним режимом.

Пропонується керуючий вплив формувати на основі умови:

$$s(k+1) = 0. \quad (6)$$

Тоді для кожного $k=0, 1, 2 \dots$ в момент часу $t=kT$ необхідно вибрати таку постійну в на протязі інтервалу дискретизації T керування $u(x(k), T)$, при якому виконується умова (6). Іншими словами кажучи інтервал дискретизації k вибирається таке керування $u(k)$, постійна в межах даного інтервалу, щоб в наступний момент дискретизації $(k+1)$ зображувана точка знаходилася на поверхні переключення (рисунок 3.1).

На протязі інтервалу дискретизації зображувана точка x може і не знаходиться на поверхні переключення, тобто $s(t) \neq 0$ для $kT < t < (k+1)T$, на протязі цього інтервалу система веде себе як розімкнута.

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

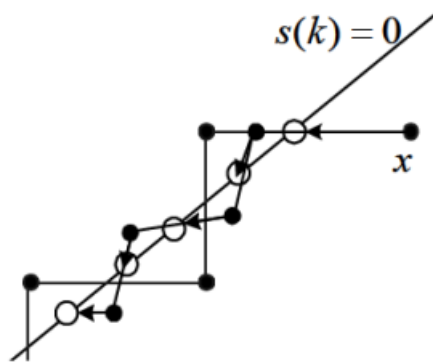


Рисунок 3.1 – Умовна схема руху зображуваної точки по поверхні переключення

Для запобігання впливу великих амплітуд керуючого сигналу на об'єкт управління вводиться обмежувач

$$-F \leq u(k) \leq F, \quad (7)$$

де F – значення мажоруючої функції (знаходиться по умові, що забезпечує існування КР «у великому», описаному в проаналізованих роботах).

Таким чином, в дискретній системі КР реалізується за рахунок формування управління, забезпечуючого умовам (6) і (7). Властивості, якими володіють неперервна система в КР, при виконанні умов (6) і (7), зберігаються і в дискретній.

Керування $u(k)$, що відповідає умові (6), формується з допомогою метода еквівалентного керування. Для цього функція $s(k+1)$ апроксимується різнотипним рівнянням по зворотному методі Ейлера.

Виконавши апроксимацію рівняння (6) зворотнім методом Ейлера отримано [25]:

$$s(k+1) = s(k) + T \cdot \Delta s(k) = s(k) + T \cdot \left(K^T (Ax(k) + Bu(k)) + L^T \Delta g(k) \right),$$

звідки методом еквівалентного керування отримуємо:

$$u(k) = u_{\text{екв}}(k) = -\left(K^T B \right)^{-1} \cdot \left(\frac{s(k)}{T} + K^T Ax(k) + L^T \Delta g(k) \right). \quad (8)$$

З урахуванням введених обмежень на керуючий сигнал (7) повний закон управління, що забезпечує попадання на поверхню перемикання та існування ковзного руху має вигляд:

$$u(k) = \begin{cases} u_{екв}(k), & \text{для } |u_{екв}(k)| < F, \\ F \frac{u_{екв}(k)}{|u_{екв}(k)|}, & \text{для } |u_{екв}(k)| \geq F. \end{cases} \quad (9)$$

У разі виконання умови $|u_{екв}(k)| \geq F$ норма функції перемикання на кожному наступному кроці монотонно зменшуватиметься, $|s(k+1)| < |s(k)|$, тому через кінцеве число кроків зображуючи точка потрапить на поверхню перемикання, управління буде відповідати умові $|u_{екв}(k)| < F$, і на наступному кроці почнеться рух у дискретному ковзному режимі [26].

Для прикладу проведено синтез регулятора для кутомісного приводу ССН. Параметри системи, що розглядається є наступними: тип двигуна - 3ДБМ70-0.16-3-3, осьові моменти інерції навантаження $J_x^{ym} = J_y^{ym} = J_z^{ym} = 0,005 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; коефіцієнт жорсткості в механічній передачі двигун-навантаження $c = 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}$; момент сухого тертя $M_{сух.тр}^{ym} = 0,015 \text{ Н} \cdot \text{м}$; величина зміщення центру мас навантаження відносно осі стабілізації вздовж осей $Ox^y \ Oy^y$, $Oz^y l_x^{ym} = 0,45 \text{ мм}$, $l_y^{ym} = 0,17 \text{ мм}$, $l_z^{ym} = 0,68 \text{ мм}$, маса навантаження $m^{ym} = 3 \text{ кг}$. Період дискретизації МК $T = 1 \text{ мс}$, розрядність АЦП за сигналами зворотних зв'язків: за швидкістю та кутом – 16 розрядів, по струму – 12 розрядів, за вхідними сигналами – 16 розрядів. Затримку АЦП на перетворення рівна нулю, оскільки порівняно з періодом дискретизації (і опитування АЦП) вона є незначною, напруга вхідного сигналу АЦП – 3,3В, керування двигуном здійснюватимуть у вигляді ШІМ-сигналу з періодом $T_{ШІМ} = 0,25 \text{ мс}$.

Максимальні значення кутової швидкості та кутового прискорення, які потрібно відпрацьовувати ССН: $\omega_{\max} = 30^\circ/\text{с}$, $\varepsilon_{\max} = 50^\circ/\text{с}^2$. Максимальне значення переносних кутових швидкості і прискорення, в умовах яких ССН необхідно виконувати слідкування і наведення: $\omega_{\text{нос } \max} = 37^\circ/\text{с}$, $\varepsilon_{\text{нос } \max} = 180^\circ/\text{с}^2$.

					ДП.АКТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Рівняння аналізованої системи в матричній формі відповідно до (1) мають вигляд

$$\dot{x} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 19,5 \\ 0 & -287 & -652,2 \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 434,8 \end{pmatrix} u + \begin{pmatrix} 0 \\ -197,23 \\ 0 \end{pmatrix} M_{опору} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 286,96 \end{pmatrix} \omega_{нос},$$

$$y = (100)x.$$

Значення коефіцієнтів релейного регулятора для ССН, розраховані за описаним вище методом синтезу релейного регулятора: $L_1 = -K_1 = 192,85$, $L_2 = -K_2 = 2,9$, $K_3 = -0,008$. При зазначених значеннях коефіцієнтів КТ системи дорівнює 1,823 кут.хв.

Значення мажорної функції F визначається з урахуванням того, о значення ширини зміни параметрів об'єкта управління, наведене до величини напруги, що не перевищує 10В, максимальне значення еквівалентного керування $u_{екв\ max} = 0,9В$, максимальна величина керуючого напруги на двигуні $U_{двиг\ max} = 18В$. Значення мажорувальної функції приймемо $F = 18В$.

На підставі рівняння (1) стійкість рухів системи в ковзному режимі у «великому» забезпечує розривне керування у вигляді:

$$u = 18 \cdot \text{sign}(L_1(g - \alpha_{нав}^{abc}) + L_2(\dot{g} - \omega_{нав}^{abc}) + K_3 i). \quad (10)$$

На підставі рівняння (8) з урахуванням отриманих значень коефіцієнтів регулятора сформовано вирази для розрахунку команди управління на привід у цифровій системі [27]:

$$u(k) = 5535 \cdot (g(k) - \alpha_{нав}^{abc}(k)) + 88,765 \cdot \dot{g}(k) - 88,699 \cdot \omega_{нав}^{abc}(k) - 0,357 \cdot i(k).$$

Порівняння помилок відпрацювання цифрової системи, що задає вплив (рисунок 3.2), при безпосередній реалізації релейного управління (10) з похибкою цифрової системи (рисунок 3.3), синтезованої виходячи з умови (6). Досліджено реакцію ССН на еквівалентну синусоїду, що відповідає максимальним значенням швидкості та прискорення вхідного сигналу системи: $g = 18^\circ \cdot \sin(1,667t)$ (рисунок 3.4).

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

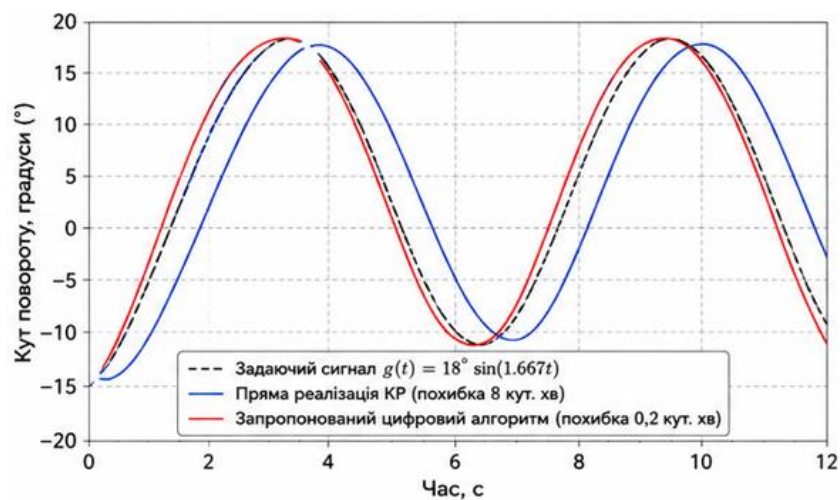


Рисунок 3.2 – Перехідний процес відпрацювання задаючого впливу

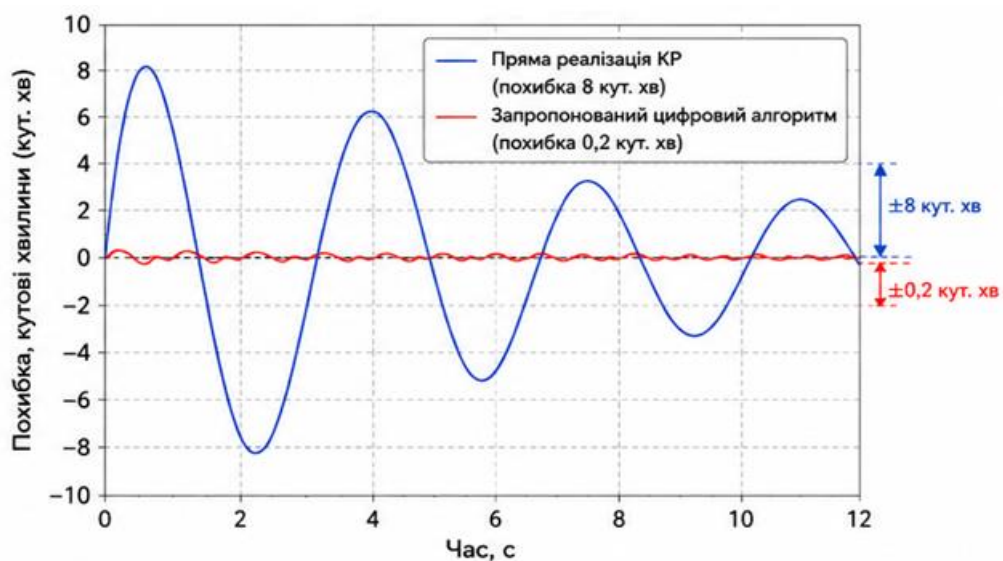


Рисунок 3.3 – Перехідний процес похибки відпрацювання

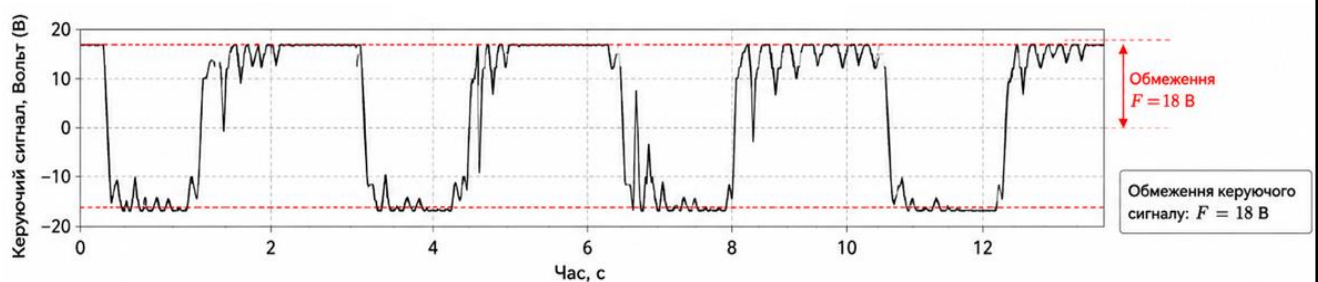


Рисунок 3.4 – Формування керуючого сигналу з обмеженням

За результатами синтезу цифрової системи управління у ковзному режимі для систем стабілізації та наведення поворотних PTZ-камер було встановлено, що запропонований алгоритм цифрового керування забезпечує суттєве підвищення точності та якості роботи системи порівняно з

безпосередньою реалізацією релейного керування. Аналіз отриманих графіків перехідних процесів показав, що використання дискретного ковзного режиму дозволяє забезпечити стабільне відпрацювання задаючого впливу при мінімальних динамічних похибках навіть за наявності зовнішніх збурень та квантування сигналів.

Згідно з результатами моделювання, система успішно відпрацьовує задаючий гармонічний сигнал виду $g(t)=18^\circ\sin(1,667t)$, що відповідає реальним режимам функціонування систем наведення PTZ-камер у складі автоматизованої системи відеоспостереження підземного паркінгу. При цьому запропонований цифровий алгоритм забезпечує амплітуду похибки лише 0,2 кутової хвилини, тоді як при безпосередній реалізації релейного керування величина похибки досягає 8 кутових хвилин. Отримані результати свідчать про значне підвищення точності позиціонування та стабілізації лінії візування.

Дослідження графіків керуючого сигналу показало, що введення обмеження керуючого напруги $F=18V$ дозволяє уникнути надмірних амплітуд керуючих впливів та забезпечує стабільний рух системи у дискретному ковзному режимі. Завдяки цьому зменшуються теплові втрати в електричних колах приводу, знижується рівень дребезання та підвищується довговічність механічних елементів системи наведення.

Отримані результати підтверджують ефективність застосування цифрових систем керування в ковзному режимі для високоточних систем стабілізації та наведення PTZ-камер. Запропонований метод синтезу забезпечує високу точність слідування, інваріантність до зовнішніх збурень, стійкість до зміни параметрів об'єкта управління та можливість практичної реалізації в сучасних автоматизованих системах відеоспостереження підземних паркінгів.

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Моделювання цифрової системи управління та похибки відпрацювання задаючого впливу стабілізації і наведення поворотних PTZ-камер

Одним із найважливіших етапів проектування сучасних систем стабілізації та наведення поворотних PTZ-камер є математичне моделювання динамічних процесів та аналіз роботи цифрової системи управління в умовах реальної експлуатації. Проведення моделювання дозволяє оцінити точність роботи системи, стійкість до зовнішніх збурень, вплив дискретизації та квантування сигналів, а також ефективність використання алгоритмів ковзного режиму для забезпечення високоточного наведення відеокамер.

Для автоматизованих систем відеоспостереження підземних паркінгів питання точності стабілізації та наведення PTZ-камер є особливо важливим, оскільки система повинна забезпечувати безперервне супроводження рухомих об'єктів, стабільність відеозображення та оперативне реагування на зміну ситуації в умовах складної динаміки транспортних потоків. У процесі функціонування поворотних камер виникають різноманітні збурюючі фактори, до яких належать вібрації механічних вузлів, пружні деформації кінематичних передач, зміна моменту навантаження, вплив шумів вимірювальних каналів та дискретний характер роботи цифрової системи управління. Саме тому застосування цифрових систем управління у ковзному режимі дозволяє забезпечити потрібну точність роботи систем стабілізації та наведення.

Під час моделювання цифрової системи управління враховувалися особливості реального функціонування PTZ-приводу, а саме [28, 29]:

- дискретизація сигналів за годинною;
- квантування керуючих та вимірювальних сигналів за рівнем;
- пружність механічної передачі;
- нелінійність релейного елемента;
- обмеження керуючої напруги;

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- інерційність виконавчого електроприводу;
- вплив моменту навантаження.

Математична модель системи була побудована для двомасової електромеханічної системи, що включає електродвигун та навантаження у вигляді поворотного механізму PTZ-камери, з'єднаних пружною кінематичною передачею. Така модель найбільш точно відображає реальні процеси, що виникають у системах наведення відеокамер, особливо при швидких змінах напрямку руху та різких змінах задаючого сигналу.

У процесі моделювання використовувався задаючий гармонійний сигнал

$$g(t)=18\sin(1.667t).$$

Даний сигнал моделює типові режими роботи системи наведення PTZ-камери під час автоматичного супроводження транспортних засобів або переміщення оператором камери між контрольованими зонами підземного паркінгу. Амплітуда сигналу становить 18° , що відповідає реальним кутам повороту камери в процесі моніторингу об'єкта.

Основною особливістю синтезованої системи є використання цифрового регулятора ковзного режиму. Принцип його роботи полягає у формуванні такого керуючого впливу, який забезпечує рух системи впродовж заздалегідь визначеної поверхні ковзання. При цьому система автоматично компенсує вплив зовнішніх збурень та зміну параметрів об'єкта управління. Завдяки цьому забезпечується висока точність стабілізації та інваріантність до невизначеностей математичної моделі.

Під час моделювання проводився порівняльний аналіз двох варіантів реалізації системи:

- системи з безпосередньою реалізацією релейного керування;
- системи із запропонованим цифровим алгоритмом формування керування в ковзному режимі.

Результати моделювання показали суттєву різницю у якості роботи системи. Для системи з безпосередньою реалізацією релейного керування

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

спостерігалися значні коливання вихідної координати та підвищена похибка стеження. Це пояснюється впливом дискретизації та квантування сигналів, а також виникненням високочастотних коливань у зоні перемикання релейного елемента.

На малюнку 3.5 представлено результати моделювання похибки відпрацювання задаючого впливу для обох варіантів системи за допомогою інженерної платформи MATLAB в графічному середовищі для моделювання, імітації та аналізу динамічних систем на базі математичного апарату представленого в підрозділі 3.1. Як видно з графіків перехідних процесів, у системі з безпосередньою реалізацією релейного керування амплітуда помилки стеження становить приблизно 8 кутових хвилин. Такий рівень похибки є небажаним для високоточних систем наведення PTZ-камер, оскільки призводить до погіршення якості відеоспостереження, появи коливань зображення та втрати точності позиціонування камери.

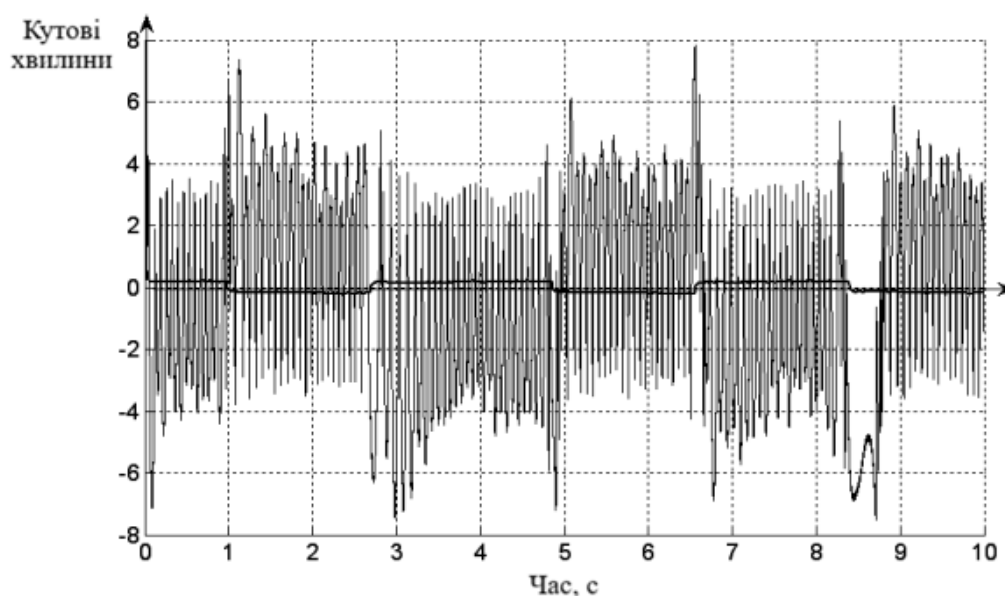


Рисунок 3.5 - Похибка відпрацювання впливу за безпосередньої реалізації релейного керування при запропонованому способі керування

У той же час використання запропонованого способу формування цифрового керування дозволило суттєво зменшити амплітуду похибки стеження. Згідно з результатами моделювання, похибка відпрацювання

задаючого впливу становить лише 0,2 кутові хвилини. Це свідчить про високу ефективність застосування цифрового ковзного режиму для систем стабілізації та наведення поворотних PTZ-камер.

Важливим результатом моделювання стало підтвердження того, що запропонований алгоритм дозволяє зберегти основні позитивні властивості класичного ковзного режиму:

- високу швидкодію;
- робастність до зовнішніх збурень;
- інваріантність до зміни параметрів системи;
- високу точність стабілізації;
- стійкість до невизначеностей моделі.

Одночасно цифрова реалізація дозволяє значно зменшити негативний ефект дребежання, характерний для традиційних релейних систем управління. У класичних системах ковзного режиму через високу частоту перемикаць релейного елемента виникають небажані механічні коливання, що призводять до підвищеного зносу приводів та погіршення якості стабілізації. У запропонованій цифровій системі цей ефект значно зменшується завдяки використанню спеціального алгоритму формування керуючого сигналу.

Під час аналізу керуючих впливів було встановлено, що система працює в умовах обмеження керуючої напруги. Введення обмеження керуючого сигналу є важливим для забезпечення працездатності виконавчого електроприводу та запобігання перевантаженню силових елементів системи. Результати моделювання показали, що навіть за наявності обмеження система зберігає високу точність та стійкість роботи.

Окрему увагу під час моделювання було приділено впливу пружності кінематичної передачі між валом двигуна та навантаженням. В реальних системах стабілізації PTZ-камер механічні передачі мають певну пружність, що призводить до виникнення додаткових коливальних процесів та фазових запізнь. Запропонований алгоритм цифрового управління показав високу

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ефективність компенсації таких ефектів, забезпечуючи стабільний рух системи навіть за значної пружності механічної передачі.

Результати моделювання аналізованої системи з урахуванням квантування за часом і рівнем, пружності в кінематичній передачі від валу двигуна до навантаження представлені на рисунку 3.5.

Як видно із рисунка 3.5, амплітуда помилки відпрацювання задаючого впливу, в цифровій системі при застосуванні описаного вище методу формування управління становить 0,2 кутові хвилини, при цьому амплітуда помилки стеження в системі з безпосередньою реалізацією КР – 8 кутових хвилин.

Запропонований метод синтезу цифрової ССН дозволяє значно підвищити якість роботи системи, забезпечивши збереження позитивних якостей ковзного режиму. Запропонований алгоритм формування цифрового регулятора може бути використаний при розробці перспективних і модернізації існуючих ССН.

Особливо актуальним застосування таких систем є для підземних паркінгів, де необхідно забезпечити стабільне функціонування системи відеоспостереження при постійній зміні транспортних потоків, недостатньому освітленні та підвищених вимог до точності наведення камер.

Таким чином, результати проведеного моделювання підтверджують високу ефективність використання цифрових систем управління в ковзному режимі для систем стабілізації та наведення поворотних PTZ-камер. Запропонований алгоритм дозволяє суттєво підвищити якість роботи системи, забезпечити мінімальні похибки стеження та зберегти позитивні властивості ковзного режиму навіть в умовах дискретизації, квантування та наявності механічних не лінійностей. Отримані результати можуть бути використані при розробці перспективних автоматизованих систем відеоспостереження та модернізації існуючих систем стабілізації та наведення PTZ-камер.

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи було проведено комплексне дослідження, проектування та моделювання автоматизованої системи відеоспостереження підземного паркінгу житлового комплексу із застосуванням сучасних цифрових технологій автоматизації, інтелектуального відеоконтролю та систем автоматичного управління. Основною метою роботи було підвищення ефективності функціонування системи відеонагляду, забезпечення високої точності стабілізації та наведення поворотних PTZ-камер, а також створення надійної інтегрованої системи безпеки для об'єктів закритого типу.

У першому розділі дипломної роботи було проведено аналіз технологічного процесу як об'єкта управління та досліджено сучасні автоматизовані системи відеоспостереження. Виконано огляд основних функціональних можливостей та різновидів систем відеонагляду, визначено особливості їх застосування на об'єктах закритого типу та підземних паркінгах. У процесі аналізу встановлено, що сучасні системи відеоспостереження вже не обмежуються функцією простого запису відео, а являють собою багаторівневі інтелектуальні комплекси, здатні виконувати автоматичний аналіз подій, розпізнавання об'єктів, інтеграцію з іншими системами безпеки та оперативне реагування на надзвичайні ситуації.

Під час дослідження базових та функціональних елементів систем відеонагляду було проаналізовано особливості роботи IP-камер, PTZ-камер, серверного обладнання, мережевої інфраструктури, систем архівування та програмного забезпечення управління відеоспостереженням. Встановлено, що найбільш ефективними для сучасних підземних паркінгів є цифрові IP-системи з підтримкою AI-аналітики, хмарних технологій та інтеграції з автоматизованими системами управління будівлею. Окрему увагу приділено питанням кібербезпеки, відмовостійкості та резервування системи.

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У першому розділі також було розглянуто компонування сучасної автоматизованої системи відеоспостереження для об'єктів закритого типу. Визначено структуру системи, що включає польовий, комунікаційний, серверний та диспетчерський рівні. Проаналізовано специфіку функціонування системи в умовах підземного паркінгу, де присутні складні умови експлуатації: недостатнє освітлення, пил, підвищена вологість, вихлопні гази та обмежений простір. На основі проведеного аналізу встановлено необхідність використання спеціалізованого обладнання та високоточних систем керування PTZ-камерами.

В другому розділі роботи було реалізовано структуру та функціональну схему автоматизованої системи відеоспостереження підземного паркінгу. Розроблена структура забезпечує цілодобовий моніторинг території, автоматизований контроль транспортних потоків, архівування відеоданих та інтеграцію із системами контролю доступу, пожежної сигналізації, вентиляції та диспетчеризації будинку. У функціональній схемі реалізовано використання IP-камер із функцією автоматичного розпізнавання номерних знаків, PTZ-камер загального огляду, серверів відеоаналітики, резервованих мережевих каналів та систем резервного копіювання.

Також в другому розділі було розроблено алгоритм роботи автоматизованої системи відеонагляду підземного паркінгу. Алгоритм передбачає циклічний режим моніторингу, автоматичну обробку відеопотоків, формування тривожних повідомлень, резервування даних та взаємодію з іншими системами безпеки. Встановлено, що використання інтелектуальної відеоаналітики та цифрових алгоритмів управління дозволяє значно підвищити оперативність реагування системи та мінімізувати вплив людського фактору.

У процесі обґрунтування вибору апаратно-технічних засобів автоматизації було виконано підбір сучасного обладнання для побудови системи відеоспостереження підземного паркінгу. Для реалізації системи рекомендовано використання професійних IP-камер, керованих PoE-

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

комутаторів, серверів відеоаналітики, RAID-сховищ та програмного забезпечення класу VMS. Проведений аналіз показав, що застосування сучасних цифрових технологій дозволяє забезпечити високу якість відеозображення, масштабованість системи, підтримку AI-аналітики та надійне зберігання відеоархівів.

У третьому розділі дипломної роботи здійснено синтез цифрової системи управління в ковзному режимі для систем стабілізації та наведення поворотних PTZ-камер. Було встановлено, що традиційні системи релейного керування не забезпечують необхідної точності стабілізації через наявність дребижання, вплив дискретизації та квантування сигналів. Для вирішення даної проблеми запропоновано використання цифрового регулятора ковзного режиму, який забезпечує високу швидкодію, стійкість до зовнішніх збурень та інваріантність до зміни параметрів об'єкта управління.

Під час моделювання цифрової системи управління було враховано вплив квантування сигналів за рівнем та годиною, пружності кінематичної передачі та обмеження керуючої напруги. Результати моделювання показали високу ефективність запропонованого алгоритму. Амплітуда помилки відпрацювання задаючого впливу в цифровій системі становить лише 0,2 кутові хвилини, тоді як у системі з безпосередньою реалізацією релейного керування величина похибки досягає 8 кутових хвилин. Це підтверджує значне підвищення точності стабілізації та наведення PTZ-камер при використанні цифрового ковзного режиму.

Проведене моделювання підтвердило, що запропонований метод синтезу дозволяє зберегти позитивні властивості ковзного режиму — високу робастність, швидкодію та точність — за одночасного зменшення негативного ефекту дребижання. Отримані результати свідчать про доцільність використання запропонованого цифрового алгоритму в перспективних системах стабілізації та наведення PTZ-камер автоматизованих систем відеоспостереження.

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Таким чином, у дипломній роботі було вирішено актуальне науково-технічне завдання, пов'язане з підвищенням ефективності функціонування автоматизованої системи відеоспостереження підземного паркінгу шляхом використання сучасних цифрових технологій управління та інтелектуальної відеоаналітики. Розроблена система забезпечує високий рівень безпеки, надійності та точності роботи у складних умовах експлуатації об'єктів закритого типу. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні нових та модернізації існуючих автоматизованих систем відеоспостереження житлових комплексів, підземних паркінгів та інших інфраструктурних об'єктів.

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Basics of streaming protocols [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.garymcgath.com/streamingprotocols.html>
2. Чернявський С. С., Вознюк А. А., Грібов М. Л., Небитов А. А., Гвоздюк В. В. Основи візуального спостереження: практичний посібник. Київ: Норма права, 2024. 112 с.
3. Критерії вирішення оперативних задач світових стандартів інформаційних систем CCTV / Терлецький Т. В., Ткачук А. А., Кайдик О. Л., Цебрук В. Р. // Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво». Луцьк: Луцький НТУ, 2020. №41. С. 218-227.
4. Шляхи визначення граничної доцільності застосування стандартних критеріїв вирішення оперативних задач інформаційними системами CCTV / Цебрук В. Р., Терлецький Т. В., Кайдик О. Л. // Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (29-30 жовтня 2020 р.): збірник тез. Луцьк, ВНЗ Луцький НТУ, 2020. 104 с. С. 91-92. 23.
5. Терлецький Т. В., Кайдик О. Л., Пташенчук В. В. Реалізація інформаційної технології в проектуванні CCTV / Технічна творчість: Збірник наукових праць. / Укл.: Скиба М. Є., Поліщук О. С., Романець Т. П. Хмельницький: ХНУ, 2021. № 4 С. 53-54. 24.
6. Терлецький Т. В., Кайдик О. Л., Пташенчук В. В. Гранична доцільність застосування стандартних критеріїв вирішення оперативних задач CCTV / The IV International Science Conference «Prospects and achievements in applied and basic sciences», February 9-12, 2021, Budapest, Hungary. pp. 690-694.
7. Monahan T., Wood M., David. Surveillance Studies: A Reader. New York: Oxford University Press, 2018.
8. Gorodnichy D.O., Mungham T., Automated video surveillance: challenges and solutions. ACE Surveillance (Annotated Critical Evidence) case study NATO

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

SET-125 Symposium Sensor and Technology for Defence against Terrorism. 2008.

9. Omar S., Ngadi A., Jebur H.H. Machine Learning Techniques for Anomaly Detection: An Overview. International Journal of Computer Applications. 2013. V.79.

10. Larose D. T. Discovering Knowledge in Data: An Introduction to Data Mining. 2014. P. 336.

11. Liu F.T., Ting K.M., Zhou Z.H. Isolation Forest. ICDM'08. Eighth IEEE International Conference on Data Mining. 2008. P. 413-422.

12. Van den Burg, Gerrit J. J., Williams, C.K.I. An Evaluation of Change Point Detection Algorithms. 2020.

13. Ивченко Г.И., Медведев Ю.И. Математическая статистика: Учебник. М.: Либроком, 2014. 352 с. 14. Babcock B., Babu S., Datar M. Motwani R., Widom J. (), Models and issues in data stream systems. Proceedings of the 21st ACM Sigmod-Sigact-Sigart Symposium on Principles of Database Systems. 2002. P.1-16.

14. Fedorova V., Gammernan A., Nouretdinov I., Vovk V. Plug-in martingales for testing exchangeability on-line. Proceedings of the 29th International Conference on Machine Learning (ICML-12). 2012. P. 1639-1646.

15. Рувинская В.М., Девятков В.В., Андросов А.Г. Поиск аномалий для систем видеонаблюдения. Інформаційні управляючі системи і технології. Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції. Одеса, 2021. С. 69 – 71.

16. Николенко А. Кадурын Е., Архангельская С. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей. СПб.: Питер, 2018. 449с.

17. Sermanet P., Eigen D., Zhang X., Mathieu M., Fergus R., LeCun Y. OverFeat: Integrated Recognition, Localization and Detection using Convolutional Networks. 2014.

18. Xiao J., Li S., Xu Q. Video-Based Evidence Analysis and Extraction in Digital Forensic Investigation. IEEE Access. 2019, V.7, P. 55432-55442.

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. Luo W., Xing J., Milan A., Zhang X., Liu W., Kim T.K. Multiple object tracking: A literature review. Artificial Intelligence. 2021. V. 293. 103448.
20. Fuzhen Zhuang, Zhiyuan Qi, Keyu Duan, Dongbo Xi, Yongchun Zhu, Hengshu Zhu, Hui Xiong, Qing He. A Comprehensive Survey on Transfer Learning. 2020.
21. Клепач М.І. Теорія автоматичного керування. Навчальний посібник. / М.І. Клепач / Рівне: НУВГП, 2007. – 206 с.
22. Луцька Н.М. Дослідження та синтез оптимальних регуляторів для систем автоматизації технологічних комплексів неперервного типу [Текст]: дис. канд. техн. наук : 05.13.07 / Н.М. Луцька – Київ, 2006. – 180С.
23. Теорія автоматичного керування: Підручник. — 2-ге вид., перероб. і дог. К.: Либідь, 2007. — 656 с.
24. Сердюк, О. О. Проектування систем автоматизації Simatic : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / О. О. Сердюк, О. В. Разживін. – Краматорськ : ДДМА, 2012. – 208 с.
25. Власов К. П. Теория автоматического управления / К. П. Власов – Харьков : Изд-во Гуманитарный центр, 2007. – 526 с.
26. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування: підручник / М. Г. Попович, О. В. Ковальчук – [2-ге вид., перероб. і доп.]. – Київ. : Либідь, 2007. – 656 с.
27. Іванов А. О. Теорія автоматичного керування : підручник / – Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2003. – 250 с.
28. І.А. Чуб, В.Є. Пустоваров, Г.Е. Винокуров, П.М. Бортнічук, Л.А. Клименко. Автоматизовані системи управління та зв'язок у сфері цивільного захисту: Навчальний посібник /За загальною редакцією Щербака Г.В. – Х., 2005.
29. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічний об'єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтег. технології/ М. В. Лукінюк. - К.: НТУУ «КПІ», 2008. - 236 с.

					ДП.АКІТ.11510969.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69