

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

освітнього ступеня "магістр"
на тему:

Автоматизована система контролю несанкціонованого виносу товару з магазину / Automated control system for unauthorized removal of goods from the store.

Виконав студент групи АКІТм-21

Павлін Валерій Євгенович

Керівник роботи: к.т.н., доцент Албанський І.Б.

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

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

04 грудня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Павлін Валерія Євгеновича

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Автоматизована система контролю несанкціонованого вносу товару з магазину / Automated control system for unauthorized removal of goods from the store.

Керівник роботи: к.т.н., доцент Албанський І.Б.

Затверджені наказом по університету від 28 листопада 2024 р. № 938

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи

1 грудня 2025р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Аналіз та дослідження автоматизованих EAS - систем.

2. Структура та функціональні схеми автоматизованої антикрадівкової системи.

3. Процеси збору й обробки інформації в автоматизованих системах.

4. Метод ідентифікації різнотипних дефектів у нелінійних автоматизованих системах.

4. Основні питання, які потрібно розробити

1. Дослідження антикрадівкових систем та автоматизованих EAS - систем теплопостачання і опалення виробничих приміщень.

2. Обґрунтування вибору елементної бази та реалізація автоматизованої EAS - системи.

3. Розробка методу ідентифікації різнотипних дефектів у нелінійних автоматизованих системах.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

1. Структурна та функціональна схеми автоматизованої EAS - системи.

Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Албанський І.Б., к.т.н., доцент кафедри СКС		
2	Албанський І.Б., к.т.н., доцент кафедри СКС		
3	Албанський І.Б., к.т.н., доцент кафедри СКС		

7. Дата видачі завдання 2 грудня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Дослідження автоматизованих систем обліку та протидії крадіжкам	12.2024р. – 02.2025р.	виконано
2	Реалізація автоматизованої системи контролю несанкціонованого виносу товару з магазину	03.2025р. – 06.2025р.	виконано
3	Підвищення ефективності роботи EAS-систем за допомогою сучасних методів ідентифікації дефектів у нелінійних системах	07.2025р. – 11.2025р.	виконано
4	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату та виправлення недоліків	11.2025р. – 12.2025р.	виконано

Студент

(підпис)

Павлін В.Є.

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., доцент Албанський І.Б.

АНОТАЦІЯ

Павлін В.Є. Автоматизована система контролю несанкціонованого виносу товару з магазину. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю – 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», освітньо-професійна програма – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» - Західноукраїнський національний університет. Тернопіль, 2025.

У роботі: проаналізовані основні види антикрадіжкових EAS - систем; визначені основні вимоги та задачі для проектування EAS - системи; розроблено структуру та функціональну схему автоматизованої системи несанкціонованого виносу товарів з торгової зони; обґрунтовано вибір засобів автоматизації; розроблено метод ідентифікації різнотипних дефектів у нелінійних автоматизованих системах; проведено моделювання динаміки оцінки дефектів автоматизованої системи контролю несанкціонованого виносу товарів.

ANNOTATION

Pavlin V.E. Automated system for controlling unauthorized removal of goods from the store. – Manuscript.

Research for obtaining a master's degree in the specialty - 174 "Automation, computer-integrated technologies and robotics", educational and professional program - "Automation and computer-integrated technologies" - Western Ukrainian National University. Ternopil, 2025.

The work: analyzed the main types of anti-theft EAS systems; determined the main requirements and tasks for designing an EAS system; developed the structure and functional scheme of an automated system for unauthorized removal of goods from the trading area; justified the choice of automation tools; developed a method for identifying various types of defects in nonlinear automated systems; simulated the dynamics of defect assessment of an automated system for controlling unauthorized removal of goods.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
1. ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ОБЛІКУ ТА ПРОТИДІЇ КРАДІЖКАМ	9
1.1 Аналіз складової та різновидів систем протидії несанкціонованому виносу товарів	9
1.2 Актуальність застосування електронних міток для автоматизованих EAS-систем	15
1.3 Етапи проектування та розробки EAS-систем для мережеских підприємств оптово-роздрібної торгівлі	21
2. РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ НЕСАНКЦІОНОВАНОГО ВІНОСУ ТОВАРУ З МАГАЗИНУ	26
2.1 Розробка загальної структури та функціональних особливостей автоматизованої системи	26
2.2 Реалізація центрального модуля управління EAS – системи	32
2.3 Обґрунтування вибору засобів автоматизації	37
2.3.1 Вибір сенсорів та виконавчих механізмів	39
2.3.2 Вибір мережевого та серверного обладнання	44
3. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ EAS-СИСТЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДЕФЕКТІВ У НЕЛІНІЙНИХ СИСТЕМАХ	47
3.1 Розробка методу ідентифікації різнотипних дефектів у нелінійних автоматизованих системах	47
3.2 Моделювання динаміки оцінки дефектів автоматизованої системи контролю несанкціонованого виносу товарів	53
ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	66
ДОДАТОК А	69

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- EAS – electronic article surveillance;
- RFID - radio frequency identification;
- СКУД - система контролю і управління доступом;
- АСУ – автоматизована система управління;
- ЦМУ - центральний модуль управління;
- АСУ - автоматизована система управління;
- АСУ ТП – автоматизована система управління технологічним процесом;
- АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
- ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;
- ОК – об’єкт керування;
- СЖБ - системи життєзабезпечення;
- ПІД - пропорційно-інтегрально-диференціальний;
- ОМС – оператор-моніторингова система.

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасних умовах розвитку роздрібної торгівлі питання забезпечення збереження товарно-матеріальних цінностей набуває особливої важливості. Зростання масштабів торговельних мереж, збільшення кількості відвідувачів та ускладнення логістичних процесів призводять до підвищення ризиків крадіжок та інших форм втрат. За статистикою, крадіжки з торгових залів становлять одну з найвагоміших статей збитків ритейлерів, і саме тому постає потреба у впровадженні високоефективних, надійних та адаптивних рішень для запобігання несанкціонованому виносу товарів. У цьому контексті автоматизовані системи контролю несанкціонованого виносу товару (EAS-системи) стають ключовим інструментом підвищення безпеки магазину.

Актуальність застосування EAS-систем визначається їх здатністю забезпечувати оперативний і безперервний моніторинг руху товарів у торговельному просторі. Використання електромагнітних, радіочастотних або акусто-магнітних технологій дозволяє виявляти наявність маркованих товарів на виході з магазину та миттєво реагувати на потенційні порушення. На відміну від традиційних методів охорони, що базуються на людському факторі, EAS-системи не втомлюються, не відволікаються і працюють у цілодобовому режимі з високою точністю виявлення.

Значна увага до впровадження EAS-технологій також пояснюється тенденціями автоматизації та цифровізації торговельних процесів. Сучасні антикрадіжкові системи інтегруються з відеоспостереженням, системами обліку товарів, RFID-ідентифікацією, POS-терміналами, а також мережевими та серверними платформами управління безпековими подіями. Це дозволяє створити єдину інформаційно-аналітичну інфраструктуру, здатну автоматично аналізувати ситуації, формувати звіти, зберігати статистику спрацювань та зменшувати кількість хибних тривог.

Крім того, актуальність EAS-систем зростає через підвищення вимог до комфорту покупців і персоналу. Сучасні рішення мають естетичний дизайн, не порушують простору торгового залу та забезпечують непомітну, але ефективну роботу. Водночас використання інтелектуальних алгоритмів дозволяє адаптувати системи до складних електромагнітних умов, великої кількості металевих конструкцій чи високого потоку покупців.

Таким чином, впровадження автоматизованих систем контролю несанкціонованого вносу товарів є не лише актуальним, а й необхідним елементом сучасної моделі управління ритейл-безпекою. Вони дозволяють зменшити економічні втрати, підвищити рівень сервісу, оптимізувати роботу персоналу та інтегрувати заходи безпеки у загальну цифрову інфраструктуру магазину. У комплексі це робить EAS-системи важливим інструментом забезпечення конкурентоспроможності та стабільності торговельних підприємств у сучасних умовах.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка автоматизованої системи контролю несанкціонованого вносу товару з магазину та дослідження методів ідентифікації дефектів нелінійних систем.

Для досягнення поставленої мети роботи необхідно:

- проаналізувати складові та різновиди систем протидії несанкціонованого вносу товарів з торгових мереж, торгово-розважальних закладів;
- дослідити розвиток та актуальність застосування видів електронних міток та принципу їх роботи для поставлених задач при розробці автоматизованої EAS - системи;
- дослідити етапи проектування та розробки EAS-систем для мережевих підприємств оптово-роздрібною торгівлі;
- розробити структуру схеми та обґрунтувати функціональні особливості автоматизованих систем даного типу;
- розробити концепцію функціонування центрального модуля управління EAS – системи;

- обґрунтувати вибір програмно-апаратних технічних засобів проектування автоматизованої системи контролю несанкціонованого вносу товару з магазину;
- реалізувати методи підвищення ефективності роботи EAS-систем за допомогою сучасних методів ідентифікації дефектів у нелінійних системах;
- представити результати моделювання динаміки оцінки дефектів автоматизованої системи контролю несанкціонованого вносу товарів.

Об'єкт дослідження: процеси аналізу, технологічних параметрів та прийняття рішень автоматизованою системою контролю несанкціонованого вносу товару з магазину.

Предметом дослідження є автоматизована система контролю несанкціонованого вносу товару з торгових мережевих магазинів.

Наукова новизна одержаних результатів: запропоновано метод ідентифікації різнотипних дефектів у нелінійних автоматизованих системах шляхом моделювання динаміки оцінки дефектів нелінійних систем, що в свою чергу дозволить підвищити надійність та ефективності EAS-систем, оскільки надасть можливість виявляти приховані відхилення у роботі антенно-генераторних модулів, радіочастотних трактів та мережевих підсистем на ранніх етапах.

Практичне значення отриманих результатів: реалізація та впровадження таких методів робить EAS-системи більш адаптивними, стійкими до завад та здатними до самодіагностики, що підвищує загальний рівень безпеки торгово-мережевого об'єкта та оптимізує експлуатаційні витрати.

Апробація. На основі досліджень підготовлено та опубліковано 2 тези доповідей на наукових студентських конференціях (додаток А).

1. ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ОБЛІКУ ТА ПРОТИДІЇ КРАДІЖКАМ

1.1 Аналіз складової та різновидів систем протидії несанкціонованому виносу товарів

У сучасних умовах функціонування роздрібною торгівлі питання забезпечення збереження товарно-матеріальних цінностей набуває особливої актуальності. Постійне зростання масштабів торгівлі, збільшення кількості самообслуговування та відкритого доступу до товарів водночас підвищують ризики крадіжок з боку покупців та персоналу. За статистичними даними, втрати від крадіжок у роздрібних мережах у середньому становлять від 1,1 до 3 % від обороту, що може дорівнювати річному прибутку торгової точки. У зв'язку з цим застосування сучасних електронних систем протидії крадіжкам (EAS – Electronic Article Surveillance) є ключовим напрямом підвищення ефективності торгових операцій і забезпечення економічної безпеки підприємства.

Основною метою аналізу є вивчення типів, принципів роботи, переваг та недоліків електронних систем захисту від крадіжок, оцінка їх ефективності, а також тенденцій розвитку у контексті сучасних торгових процесів.

Електронні системи протидії крадіжкам представляють собою комплекс технічних і програмних засобів, що забезпечують виявлення несанкціонованого виносу товарів за межі контрольованої зони. Такі системи, як правило, встановлюються у точках виходу з торгового залу та застосовуються для захисту товарів із високою вартістю або підвищеним ризиком викрадення. Типова система EAS у свій склад включає [1, 2]:

- антени (рамки) – пристрої, що генерують та приймають електромагнітні сигнали;

- електронні мітки (бірки або ярлики) – пасивні або активні елементи, що кріпляться до товару;
- деактиватори та знімачі – використовуються касирами для зняття або деактивації мітки під час оплати товару;
- програмне забезпечення – забезпечує аналітику, журналювання подій, інтеграцію з відеоспостереженням;
- додаткові системи контролю – відеоаналітика, лічильники відвідувачів, RFID-облік.

Основна функція EAS полягає у створенні електромагнітного або акустичного поля, порушення якого електронною міткою ініціює сигнал тривоги. При проходженні неоплаченого товару через рамку система подає звукове або світлове сповіщення, яке інформує персонал магазину про інцидент.

Класифікацію електронних систем протидії крадіжкам можна проводити по ряду ознак, що в повній мірі відобразять усіх види і підвиди таких систем. У торгових мережах застосовують три основні типи систем EAS, що відрізняються принципом роботи, технічними характеристиками та сферою використання, а також типом і видом радіоміток (рисунок 1.1).

Радіочастотні (RF-системи), працюють у діапазоні 7,4–10 МГц. Мітки мають просту конструкцію та розміщуються на широкому спектрі товарів. До основних переваг відносять:

- низька вартість міток і обладнання;
- можливість виготовлення дуже тонких та гнучких етикеток;
- проста інтеграція з касовим обладнанням.

В RF-системах присутні і недоліки, а саме:

- чутливість до металевих та рідинних поверхонь;
- обмежена дальність детекції;
- підвищена кількість хибних спрацювань в умовах електромагнітних перешкод.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд радіоміток EAS систем

Основною сферою застосування є: супермаркети, магазини побутової хімії, аптеки, магазини косметики, великі промислові склади.

Акустомагнітні системи (АМ-системи), принцип роботи яких базується на використанні резонансних властивостей магніто-пружних матеріалів (частота 58 кГц). До основних переваг можна віднести [2]:

- найбільший радіус детекції серед EAS-систем;
- стабільна робота біля металів і рідин;
- високий рівень захисту від екранування.

Присутні також в АМ-системах і недоліки, а саме:

- вища вартість міток;
- складніша конструкція антен.

Сферою застосування таких систем є: магазини електроніки, одягу, алкоголю, побутової техніки.

Ще один варіант систем EAS є RFID-системи, принцип роботи яких заснований на використанні міток, що містять мікрочіп з пам'яттю та

антенною. Зчитування здійснюється на частотах 13,56 МГц або 860–960 МГц.

До основних переваг таких систем можна віднести:

- можливість відстеження повного життєвого циклу товару;
- автоматичний інвентарний облік;
- масове читання кількох міток одночасно;
- інтеграція з «розумними» вітринами та інтернетом речей (IoT).

До недоліків RFID-систем можна віднести:

- висока вартість міток і зчитувачів;
- складність впровадження;
- не завжди є можливість деактивації.

Сфера застосування таких систем: преміум-бутіки, складські комплекси, логістика, великі торгові мережі.

Проблематика крадіжок у торгових точках є актуальною повсякчас і роль EAS-систем основному полягає у вирішенні даної проблематики. Крадіжки можуть бути зовнішні (з боку покупців), вони становлять приблизно 60–70% усіх інцидентів. Зазвичай здійснюються шляхом приховування товару у особистих речах, одязі, дитячих візочках тощо. Внутрішні крадіжки (з боку персоналу) близько 20–30% втрат. Такі крадіжки включають в себе:

- не проведення товару через касу;
- навмисне не скасування міток;
- використання службових проходів;
- змова з клієнтами.

Адміністративні помилки приводять також до певного роду втрат, а саме: неправильний облік, псування товару, некоректна деактивація міток. Вплив EAS-систем на зниження крадіжок відіграє значну роль, встановлення систем EAS дозволяє:

- знизити втрати на 30–70% залежно від типу товару;
- підвищити дисципліну персоналу;
- зменшити адміністративні помилки;

- підвищити відчуття безпеки для покупця;
- відлякати потенційних зловмисників.

Доведено, що сама наявність рамок на виході магазину вже створює психологічний ефект стримування.

Структура сучасної EAS-системи включає сукупність програмно-апаратного комплексу елементів, орієнтованого на вирішення поставлених задач. Апаратна частина комплексу складається з: антенних рамок, контролерів та блоків живлення, зчитувачів та самих радіоміток.

Антенні рамки встановлюються на входах/виходах, іноді між касами торговельно-виставкових залів. Такі рамки працюють у наступних режимах: детекція, пригнічення перешкод, підсилення сигналу. Контролери та блоки живлення забезпечують стабілізовану роботу антен. Зчитувачі RFID актуальні і ефективні у разі використання високотехнологічних RFID-модулів.

Електронні мітки у свою чергу поділяються на:

- жорсткі кліпси;
- одноразові етикетки;
- накладні RFID-мітки;
- спеціалізовані мітки (для алкоголю, косметики, електроніки).

Програмне забезпечення сучасні EAS-системи інтегруються з:

- POS-системою магазину;
- системою відеоспостереження;
- лічильниками відвідувачів;
- ERP або WMS системою.

Такого виду заходи дозволяють:

- здійснювати контроль співробітників каси;
- вести статистику інцидентів;
- створювати автоматичні звіти;
- ідентифікувати підозрілу поведінку через відеоаналітику.

Тенденції розвитку EAS-систем на сьогодні досить значні. Сучасні торгові мережі переходять від базових систем детекції до комплексних рішень. До основних тенденцій можна віднести – інтеграцію з системами відеоспостереження та відео аналізу, інтеграцію з IoT, це створює ефективні комплексні рішення. Інтеграція з відеоаналітикою – коли система автоматично зберігає фрагмент відео у момент спрацювання, що дозволяє швидше реагувати та аналізувати ситуації [3]. Використання RFID забезпечує повний контроль руху товару від постачальника до покупця. Використання IoT мітки нового покоління відправляють дані у хмару, дозволяючи відстежувати:

- переміщення товарів;
- температуру та вологість (для харчових продуктів);
- рівень наповнення полиць.

Безкліпсові технології захисту, це коли мітки вшиваються у тканину одягу на етапі виробництва. Аналітичні системи прогнозування крадіжок на сьогодні перспективно інтегрують і використовують штучний інтелект та машинне навчання для [4-6]:

- виявлення підозрілих шаблонів поведінки;
- прогнозування пікових ризиків;
- розподілу охоронного персоналу.

Перевагами електронних систем протидії крадіжкам є :

- значне зниження втрат товару;
- автоматизація контролю та зменшення людського фактору;
- підвищення дисципліни персоналу та покупців;
- можливість інтеграції у складні системи управління;
- зручність використання у різних форматах торгівлі.

Як і будь-яка автоматизована система, EAS-системи мають свої недоліки, а саме:

- не виключають 100% крадіжок (особливо організованих);
- можливі хибні спрацювання;

- висока початкова вартість встановлення (особливо RFID);
- необхідність регулярного технічного обслуговування.

Електронні системи протидії крадіжкам є ключовим елементом забезпечення економічної безпеки торгових підприємств. Вони дозволяють значно знизити рівень втрат від несанкціонованого вносу товарів, забезпечують контроль діяльності персоналу та покупців, а також оптимізують логістичні процеси.

Сучасні тенденції показують перехід від традиційних RF та AM систем до інтегрованих RFID-рішень, здатних забезпечити повний контроль життєвого циклу товарів. Водночас класичні системи EAS залишаються ефективними та найбільш економічно доцільними для більшості торгових точок.

Правильно підібрана та налаштована система EAS може забезпечити зниження крадіжок на 50–80%, а в поєднанні з організаційними заходами — до 95%. Таким чином, електронні системи протидії крадіжкам є невід’ємною складовою сучасної торгової інфраструктури та відіграють важливу роль у збереженні ресурсів підприємства.

1.2 Актуальність застосування електронних міток для автоматизованих EAS-систем

Електронні мітки систем EAS – це ключовий компонент систем запобігання крадіжкам у роздрібній торгівлі, бібліотеках та офісних будівлях. Вони прикріплюються до товарів і викликають спрацьовування сигналізації, якщо були належним чином деактивовані чи видалені на касі перед виносом з магазину.

Системи EAS працюють за принципом виявлення електронних міток при проходженні через зону виявлення (зазвичай це антени на виході з магазину) [6]. Коли активна мітка потрапляє в зону дії передавача, вона взаємодіє з його сигналом (наприклад, резонує або намагнічується), і

приймач вловлює цей сигнал у відповідь, що викликає спрацювання звукової або світлової сигналізації.

Існує кілька основних технологій EAS, кожна з яких використовує свій тип міток. Радіочастотні (RF) мітки, працюють на частоті близько 8,2 МГц (рисунок 1.2) [7]. Бувають у вигляді м'яких (тонкі клейкі етикетки, які не можна використовувати повторно) та жорстких (пластикові бирки із замком, які знімаються спеціальним знімачом на касі), широко поширені завдяки своїй універсальності та невисокій вартості.

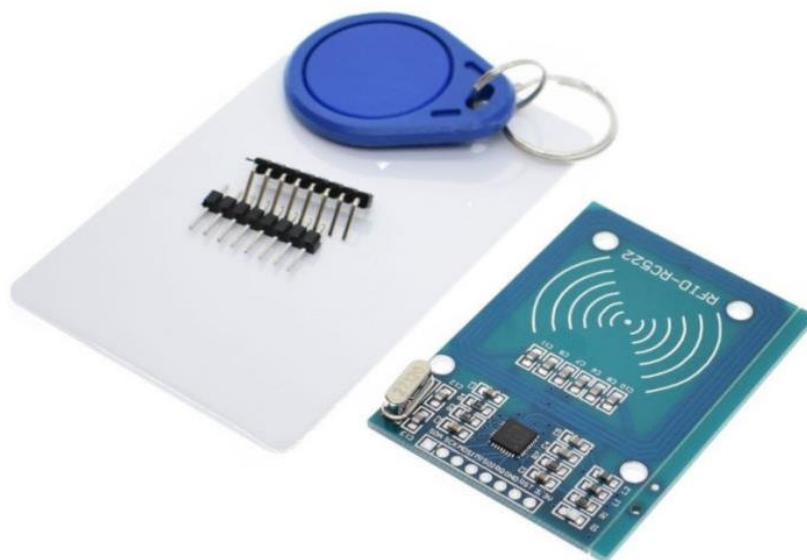


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд радіочастотної (RF) електронної мітки

Акустомагнітні (AM) мітки, працюють на низькій частоті 58 кГц (рисунок 1.3). Мітка містить дві пластини з аморфного металу та з твердого магніту. Ефективні, мають хорошу дальність виявлення і працюють краще там, де інші технології можуть давати збої, наприклад, з товарами, що містять металеві компоненти. Також випускаються у м'якому та жорсткому виконанні.

Акустомагнітні етикетки в цілому суттєво відрізняються за дизайном та їх складно переплутати з іншими. Захисні стікери мають довжину близько 45 мм, ширину близько 10 мм. і товщину 1 мм. Можуть бути чорного та білого та червоного кольору, з нанесеним хибним штрихкодом (штрихкод не зчитується сканерами, і створений для відволікання уваги) і без нього.



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд акустомагнітних (АМ) електронних міток

Акустомагнітна технологія працює на низькій частоті 58 кГц. Частотний діапазон був вибраний не випадково. У цьому спектрі працює порівняно невелика кількість електроприладів, відповідно, робота обладнання значно стабільніша за радіочастотну (8,2 МГц) [8]. При внесенні у поле дії систем акустомагнітної мітки металеві пластини всередині починають вібрувати, відбувається ефект резонансу. Антена приймач розпізнає зміну електромагнітного поля та дає сигнал на контролер для увімкнення сигналізації.

Основна відмінність акустомагнітних етикеток це кількість пластин всередині. Як було зазначено вище пластини виконують функцію резонатора, чим їх більше тим краще етикетка виявляється електронними рамками EAS-систем. Мітка зручна для розміщення на невеликих товарах. Рекомендовано також мітку поміщати всередину упаковки, цим досягається максимальна надійність захисту товару, тобто мітку неможна пошкодити чи відклеїти. Важливим є те, що акустомагнітну мітку неможна вигинати, при змінні форми вона перестає працювати. Наклеювати потрібно тільки на рівні поверхні товарів чи упаковок.

Електромагнітні (ЕМ) мітки, працюють у діапазоні частот 1-2 МГц (рисунок 1.4). Використовуються в основному в бібліотеках та книгарнях через невеликий розмір та низьку ціну.

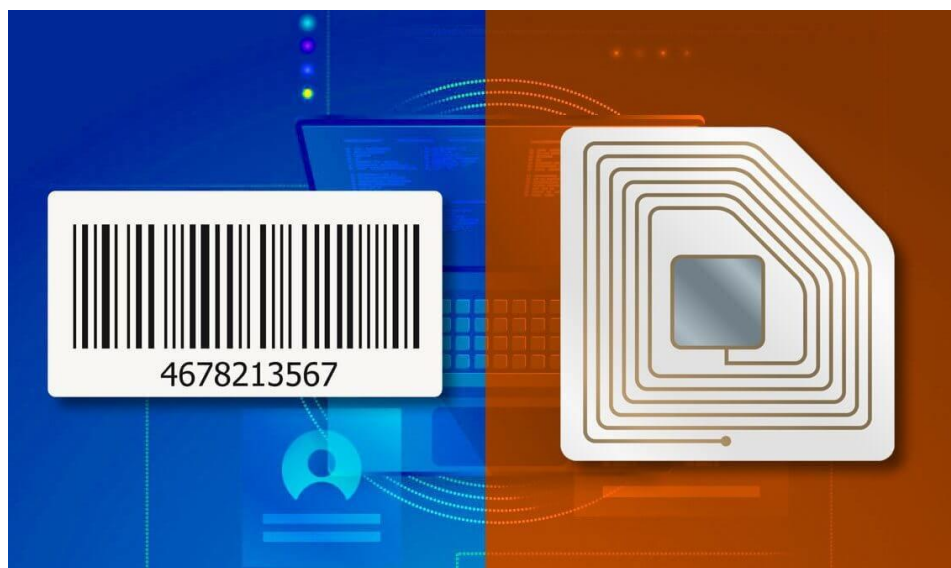


Рисунок 1.4 – Загальний вигляд електромагнітної (ЕМ) електронної мітки

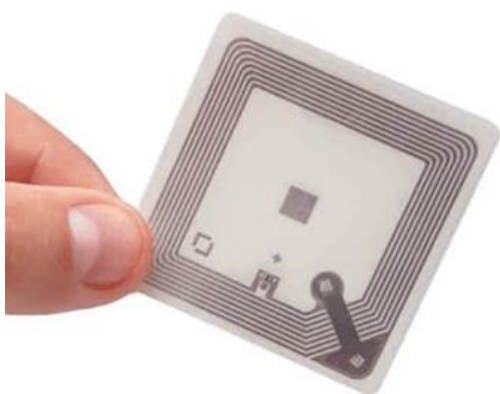
Електромагнітні системи використовують тонкі металеві смужки із м'якого магнітного матеріалу, які прикріплюються до товару. Зона виявлення на виході з магазину встановлюються антени (коміри), які створюють змінне магнітне поле в зоні виявлення. Взаємодія з міткою відбувається коли товар з активною (не деактивованою) міткою потрапляє до цього поля, магнітний матеріал мітки намагнічується та розмагнічується під дією змінного поля. При цьому мітка починає випромінювати власні магнітні поля на інших (гармонійних) частотах, що не збігаються із частотою зовнішнього поля.

Виявлення сигналу відбувається коли приймач у воротах виявляє це унікальне випромінювання від мітки. Якщо сигнал відповідає певним критеріям (частота, синхронізація, рівень сигналу), система активує звуковий або світловий сигнал тривоги. Деактивація відбувається на касі, мітка деактивується за допомогою сильного магнітного поля, яке змінює магнітні властивості матеріалу мітки, роблячи її "невидимою" для системи виявлення.

Таким чином, системи із частотою 1-2 МГц використовують РЧ-технологію, тоді як "класичні" ЕМ-системи працюють на набагато нижчих частотах. Для запобігання хибним спрацьовуванням сигналізації на касі використовуються спеціальні пристрої - деактиватори для "м'яких" міток (етикеток), які розмагнічують або руйнують їхню схему. Знімач для

"жорстких" бирок, які механічно від'єднують їх від товару. Таким чином, електронні мітки EAS є важливим інструментом для забезпечення безпеки товарів та скорочення втрат у роздрібній торгівлі.

RFID (Radio Frequency Identification) — це технологія автоматичної ідентифікації товарів за допомогою радіохвиль (рисунок 1.5) [7-9]. У системах EAS RFID-мітки використовуються основному для захисту товару від крадіжок, автоматичного обліку, контролю руху товару, інтеграції з POS та WMS системами. На відміну від класичних акустимагнітних чи радіочастотних міток, RFID-мітки не лише сигналізують про винесення товару, а й містять унікальний код, який можна зчитувати і записувати.



Пасивна RFID - мітка



Активна RFID - мітка

Рисунок 1.5 – Технологія RFID представлена у вигляді пасивної і активної міток

RFID-система складається з:

- RFID-мітки (tag / label) — містить мікрочіп + антену;
- RFID-зчитувача (reader / gate) — антенні ворота на виході магазину;
- системи обробки даних (контролер, сервер, POS).

Принцип роботи представленої технології починається з активації мітки. Коли RFID-мітка потрапляє в зону дії радіополя зчитувача, її антена приймає енергію (у пасивних тегів) або виходить на передачу (у активних). Обмін інформацією відбувається тоді коли мітка передає у відповідь свій унікальний код (Electronic Product Code (EPC) — унікальний ідентифікатор

товару) або короткий UID (в дешевших метках). Перевірка статусу відбувається коли система звіряє чи товар оплачений, чи мітка була деактивована / списана, чи товар дозволено виносити зі складу/магазину. Реакція системи якщо мітка не деактивована, ворота активують звукову сигналізацію, світлову індикацію, передають подію охороні.

Особливості конструкції RFID-мітки робить її сумісною з EAS системами. Для EAS використовують спеціальні RFID-мітки типу RFID EAS Hybrid, які одночасно містять:

- RFID-чіп + антена (UHF);
- деактивується осциляторна структура (як у класичних RF-мітках);

Тобто мітка такого типу може працювати у двох режимах:

- RFID-ідентифікація;
- антикрадіжний захист.

Основними перевагами RFID у EAS є:

- ідентифікація кожного товару (RFID може повідомити який саме товар намагаються винести);
- інвентаризація без розпакування (зчитувач може читати через коробки й палети);
- робота з метою зниження крадіжок серед персоналу (RFID контролює переміщення товарів по всьому магазину);
- інтеграція із CRM/ERP/WMS (система знає весь життєвий цикл товару);
- можливість прихованого встановлення антен (антени можуть бути: в підсвітці, у стелі, під підлогою біля виходу).

RFID - радіомітки — це одна з найефективніших технологій сучасної захисту від крадіжок, яка об'єднує EAS-функцію (антикрадія), ідентифікацію товару, автоматизацію складського обліку, зменшення людських помилок, підвищення продуктивності інвентаризації. На відміну від класичних AM/RF систем, RFID робить магазин розумною системою контролю, а не просто бар'єром на виході.

1.3 Етапи проектування та розробки EAS-систем для мережевих підприємств оптово-роздрібної торгівлі

Електронні системи захисту товарів від крадіжок (EAS — Electronic Article Surveillance) є ключовим елементом комплексної безпеки мережевих торговельних підприємств. Для компаній, що працюють у формі великих мереж оптово-роздрібної торгівлі, питання контролю втрат має стратегічне значення, оскільки рівень shrinkage (нестач) безпосередньо впливає на рентабельність та стабільність бізнес-процесів.

Проектування EAS-інфраструктури — це складний інженерний та організаційний процес, що включає аналіз ризиків, вибір технології (RF, AM, RFID-EAS), технічні розрахунки зон виявлення, інтеграцію з POS-системами, оптимізацію логістики та побудову єдиного цифрового середовища безпеки (рисунки 1.6) [8, 9]. Нижче наведено повний цикл етапів розробки EAS-системи для мережевих торговельних підприємств.

Аналіз потреб підприємства та формування технічного завдання це є перший етап крок в процесі проектування EAS. Проектування будь-якої EAS-системи починається з комплексного аналізу бізнес-процесів підприємства та ризиків, пов'язаних із крадіжками. Для мережевих магазинів важливо враховувати не лише фізичну охорону окремої точки, а й загальносистемний вплив EAS на логістику та облік.

Аналіз рівня втрат (shrinkage analysis) посідає значну роль для визначення рентабельності проектування EAS системи. Проводиться збір статистики за 6–12 місяців:

- внутрішні крадіжки персоналу;
- зовнішні крадіжки відвідувачів;
- нестачі в процесі транспортування;
- втрати під час переоцінки та переміщень між магазинами.

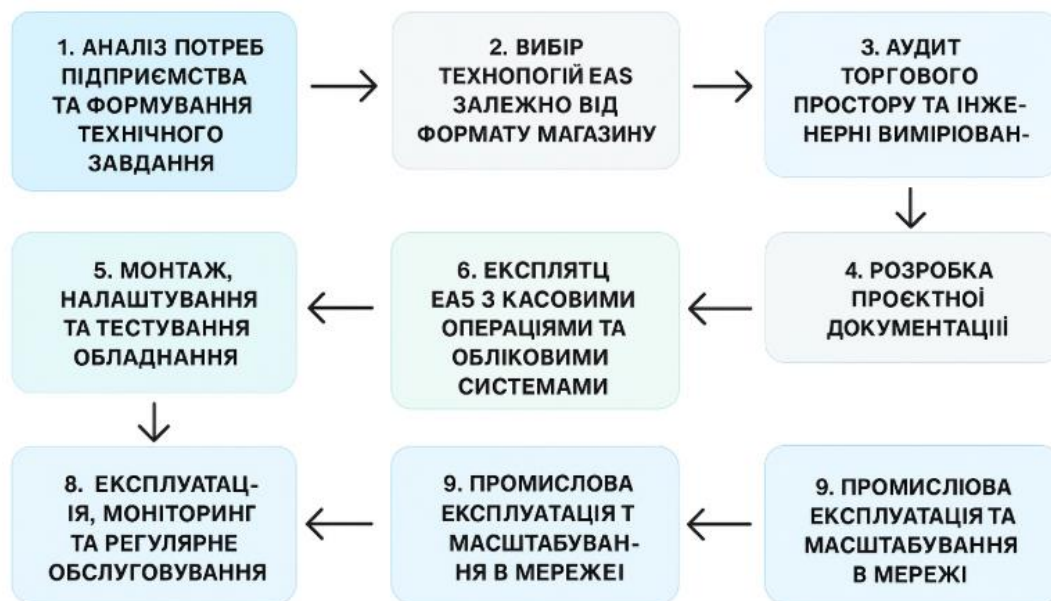


Рисунок 1.6 – Етапи проектування та розробки EAS – систем для мережевих підприємств оптово-роздрібної торгівлі

Визначення зон підвищеного ризику це один з основних критеріїв, що впливає на масштаб проекрованої системи. Такий критерій передбачає аналіз наступних пунктів:

- товарні групи, які найчастіше викрадають (косметика, бритвені набори, алкоголь, техніка);
- магазини або регіони з підвищеною кількістю інцидентів;
- відділи з низькою видимістю для охорони.

Формування цілей впровадження EAS, це по суті є обґрунтуванням необхідності проектування EAS системи з рядом вимог до проекрованої системи. Цілі можуть включати наступні пункти:

- зниження крадіжок на 40–80%;
- скорочення витрат на персонал охорони;
- підвищення прозорості товарного обліку;
- автоматизацію інвентаризації (для RFID-EAS).

Визначення вимог до системи передбачає творення переліку основних параметрів іншими словами кажучи тактико-технічних характеристик. У технічному завданні прописуються:

- типи міток (RF, AM, RFID-EAS);
- максимальна щільність проходу покупців;
- дизайн і кількість виходів;
- вимоги до інтеграції з POS, ERP, відеоспостереженням;
- рівень фільтрації хибних спрацювань.

Вибір технології EAS залежно від формату магазину дозволяє розрахувати орієнтовну собівартість системи та планувати в майбутньому масштабування та оптимізацію. Сучасні EAS-системи базуються на трьох основних технологіях, а саме [9]:

- RF (Radio Frequency, 8,2 МГц);
- AM (Acousto-Magnetic, 58 кГц);
- RFID-EAS (UHF / HF гібридні мітки).

Основними перевагами технології RF є:

- дешеві мітки;
- широкий вибір дизайну антен;
- ідеально підходить для супермаркетів.

Водночас присутні і недоліки даної технології, а саме:

- середня завадостійкість;
- проблеми з товарами, що містять метал.

Основними перевагами технології AM є:

- висока дальність і стабільність;
- краще працює із металевим упакуванням і рідинами;
- підходить для магазинів техніки та косметики.

До основних недоліків AM технології можна віднести:

- дорожчі мітки;
- складніший монтаж.

Основними перевагами технології RFID-EAS є:

- подвійне призначення: захист + інвентаризація;
- автоматизація логістики;

- аналітика руху товарів.

Недоліки технології RFID-EAS це:

- найвища вартість впровадження;
- вимоги до захисту даних і налаштування радіополя.

Існує ряд методів вибору оптимальної технології для проектування високопродуктивної EAS системи. Вибір проводиться за такими критеріями:

- тип товарів;
- середній чек;
- кількість виходів;
- планування приміщення;
- бюджет.

Експлуатація, моніторинг та регулярне обслуговування автоматизованої системи проводиться згідно правил експлуатації та проведення регламентних робіт у визначенні періоди. Щоб EAS система працювала ефективно протягом багатьох років, необхідна система моніторингу. Регулярні перевірки системи включають в себе: тестування чутливості воріт, перевірка працездатності деактиваторів, огляд кабельних ліній, аналіз журналу помилок [10].

Аналітика спрацювань передбачає введення журналів обліку для подальшого аналізу. Для мережевого бізнесу важливо:

- порівнювати показники втрат між магазинами;
- визначати «проблемні» точки;
- аналізувати ефективність міток на різних категоріях товарів.

Оновлення програмного забезпечення дає можливість періодично аналізувати програмні, апаратні помилки та системні збої і вчасно їх виправляти. Зокрема важливо для RFID-EAS:

- виправлення колізій тегів;
- оптимізувати алгоритми читання;
- розширення функцій аналітики.

Промислова експлуатація та масштабування в мережі дає можливість оцінити ефективність роботи розробленої системи. Після впровадження пілотного проєкту на 1–3 торгових точках система може масштабуватися на всю мережу.

Єдині стандарти розміщення та маркування відіграють важливу роль для подальшого обслуговування та експлуатації системи. Створюється мережевий стандарт для прикладу: типи антен, правила розміщення міток, політика логістичного обліку.

Централізований моніторинг ефективний для діагностики внутрішньо-мережевого обладнання і компонентів системи. Великі мережі використовують єдину базу подій EAS - системи, централізоване керування обладнанням та загальну систему аналітики shrinkage. Постійне вдосконалення системи включає:

- адаптацію до нових форматів магазинів;
- модернізацію до RFID-EAS;
- оптимізацію витрат на мітки;
- збільшення пропускної здатності виходів.

Проектування та розробка EAS-систем для мережевих підприємств оптово-роздрібною торгівлі — це комплексний процес, що охоплює не лише технології захисту, а й аналітику витрат, інтеграцію з інформаційними системами, оптимізацію логістики та побудову єдиного корпоративного стандарту безпеки.

Сучасні тенденції розвитку EAS спрямовані на поєднання класичних антикрадіжних технологій (RF/AM) з інтелектуальними RFID-системами, які дозволяють одночасно вирішувати завдання захисту, обліку та аналітики руху товарів. Для великих торговельних мереж такі системи стають не просто засобами безпеки, а важливим елементом цифрової трансформації бізнесу.

2. РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ НЕСАНКЦІОНОВАНОГО ВІНОСУ ТОВАРУ З МАГАЗИНУ

2.1 Розробка загальної структури та функціональних особливостей автоматизованої системи

Система контролю несанкціонованого вивозу товару (EAS — Electronic Article Surveillance) є технічним комплексом, призначеним для автоматичного виявлення випадків винесення товарів за межі торгового залу без належної деактивації або оплати. Основна ідея полягає у використанні електронних радіочастотних, акустимагнітних або RFID-міток, що реагують із сенсорними антенними воротами, розташованими на виходах магазину. Практичне застосування таких систем можна представити на рисунку 2.1 як комплексний захід організований для торгово-роздрібної площадки мережевого магазину.



Рисунок 2.1 – Приклад впровадження EAS системи

EAS-система повинна забезпечувати:

- виявлення активних міток при перетині контрольної зони;

- сигналізацію персоналу охорони;
- взаємодію з POS-терміналами та серверним ПЗ магазину;
- ведення журналу подій і архівування спрацьовувань;
- інтеграцію з відеоспостереженням для підтвердження інцидентів;
- високу завадостійкість і надійність роботи в умовах великої кількості клієнтів.

На рисунку 2.2 наведено структурну схему типового комплексу контролю несанкціонованого вносу товару, яка визначає взаємодію ключових апаратних модулів [11]. Структура включає комплекс програмно-апаратних засобів, які утворюють автоматизовану систему контролю та ідентифікації засобів та пристроїв, що знаходяться на контрольованій території (об'єкті). Основне та додаткове обладнання об'єднано в єдину Ethernet-мережу з доступом до глобальної мережі Internet. У загальному вигляді мітка, що потрапляє в електромагнітне поле рамок, викликає відповідну зміну параметрів поля, яку система розпізнає як сигнал тривоги.

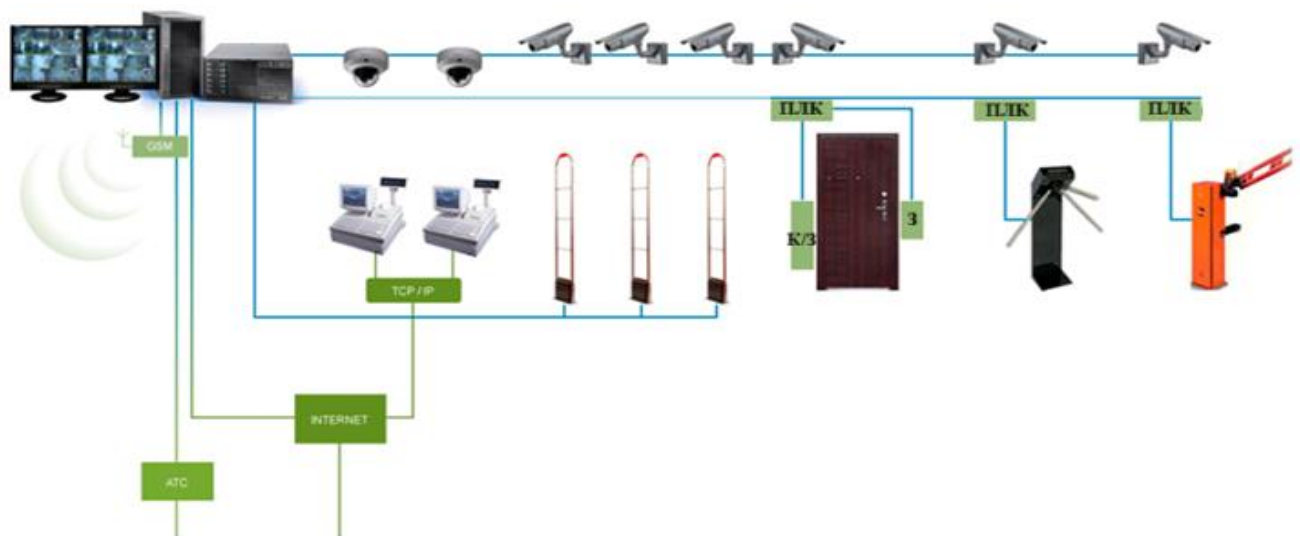


Рисунок 2.2 - Структурна схема типового комплексу контролю несанкціонованого вносу товару – EAS система

На структурній схемі рисунка 2.2 можна виділити основні функціональні блоки, а саме:

- антенні ворота (створюють контрольну зону та передають сигнал у центральний модуль);
- центральний модуль управління (ЦМУ) (обробляє сигнали, приймає рішення про спрацювання, керує охоронною сигналізацією);
- комунікаційний модуль (здійснює обмін даними з POS, відеосервером, системою моніторингу);
- сигнальний модуль (генерує звукові та світлові сповіщення про тривогу);
- блок живлення та резервування (забезпечує підключення до електромережі та аварійного живлення);
- сервер управління EAS/хмарний модуль (виконує запис подій в обліковий журнал, аналітику, статистику та адміністрування).

В розробці автоматизованої системи використовуються наступні комунікаційні інтерфейси, а саме:

- Ethernet / PoE;
- RS-485;
- Wi-Fi;
- MQTT / REST API для інтеграції з CRM, ERP, WMS.

До основних компонентів системи та їх призначення відносять – електронні мітки EAS систем, антенні системи (рамки), деактиватори (знімачі).

Мітки EAS — це елементи, які прикріплюються до товарів (рисунок 2.3). Існує три основні технології за допомогою яких реалізуються електронні мітки – електронні мітки, акустомагнітні, радіочастотні.

Електромагнітні мітки використовують аморфну ферромагнітну стрічку, вони дуже тонкі, можуть бути приклеєні до книг, косметики, деактивуються на касі магнітним методом. Акустомагнітні мітки працюють на частоті 58 кГц, мають високу дальність і стійкість до завад, ефективні для великих магазинів і супермаркетів. Радіочастотні працюють у діапазоні 8,2

МГц, поширені, недорогі, але менш завадостійкі, підходять для магазинів з середнім потоком покупців.



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд електронних міток EAS систем

Антенні системи (рамки) встановлюються на виході магазину та складаються з (рисунок 2.4) [12]:

- передавальної антени (TX), що генерує електромагнітне поле;
- приймальної антени (RX), що реєструє зміни цього поля;
- або комбінованої антени, яка виконує обидві функції.



Рисунок 2.4 - Антенні системи (рамки) EAS систем

Антенни створюють контрольовану зону, в якій система здатна розпізнати наявність активної мітки. Залежно від типу технології, зона

виявлення може мати ширину від 90 см до 220 см. Н сьогодні на ринку технологій представлено декілька типів антенних воріт: моностатичні (одна антена передає й приймає); бістатичні (дві рознесені антени — вища точність); RFID-ворота з направленими антенами (розширений функціонал).

Реєстрація сигналу відгуку відбувається приймальною антеною (RX), а саме фіксується зміна амплітуди/частоти/фази поля, після цього передається сигнал у центральний блок обробки, система порівнює отриманий сигнал з еталонною характеристикою мітки.

Аналіз сигналу та прийняття рішення при обробці сигналів відбувається за алгоритмами:

- спектральний аналіз;
- фільтрація перешкод;
- аналіз часових характеристик імпульсів;
- порогова логіка.

Якщо система розпізнає “активну мітку”, вона формує сигнал тривоги. Сигналізація про несанкціонований винос у разі виявлення мітки система активує звукову сигналізацію (сирену) і світлову індикацію (стовпці з підсвіткою), а також ініціює передачу сигналу на центральний пульт охорони, формуючи відеомітку — прив’язка події до відеокадру (якщо є інтеграція з CCTV).

Деактиватори або знімачі знаходяться переважно на касових вузлах (рисунок 2.5) [12, 13]:

- AM/RF мітки-диски — знімаються спеціальними механічними або магнітними знімачами;
- RF/EM паперові мітки — деактивуються електронними блоками, які змінюють параметри мітки.

Інтеграція з POS-обладнанням організована на високому рівні, що забезпечує ефективну роботу системи загалом. EAS-система може працювати у двох режимах – автономному і інтегрованому режимах.



Рисунок 2.5 - Деактиватори або знімачі EAS систем

Автономний режим приймає рішення локально та спрацьовує при всіх активних мітках, підходить для невеликих магазинів. Інтегрований режим це коли POS передає сигнал “оплачено/деактивовано” у ЦМУ і система відповідно дозволяє розрізнити неоплачені товари, службові винесення або помилкові спрацьовування. Це значно підвищує ефективність контролю.

Робота в складі системи безпеки магазину забезпечує комплексний контроль товарообігу продукції з прийому на складі і продажі у торговому залі. EAS-система синхронізується з підсистемами, відеоспостереженням (камера «підв’язується» до події), системою охорони (сценарії тривожних подій), системою обліку (реєстрація спрацьовувань), службовою мережею Wi-Fi / Ethernet. Такий підхід дозволяє отримати повноцінну інтелектуальну систему контролю руху товарів.

У даному підрозділі було розроблено концепцію, структуру та принципи роботи EAS-системи контролю несанкціонованого виносу товару з магазину. Представлено повні структурні схеми, блок-схеми, а також ілюстрацію роботи системи в торговому залі.

Запропонована архітектура дозволяє [14]:

- знизити рівень крадіжок;
- підвищити ефективність роботи охорони;
- автоматизувати реєстрацію інцидентів;
- інтегрувати EAS із POS та відеоспостереженням;
- масштабувати систему для мережевих торговельних підприємств.

2.2 Реалізація центрального модуля управління EAS – системи

Загальна характеристика центрального модуля управління включає аналіз основних параметрів пристроїв та компонентів, що входять до складу автоматизованої системи контролю несанкціонованого вносу товару з торгової точки. Центральний модуль управління (ЦМУ) є ключовою частиною EAS-системи (Electronic Article Surveillance), що забезпечує координацію між детекційними антенами, засобами сигналізації, програмним забезпеченням моніторингу, касовими вузлами та базою даних руху товарів. Саме ЦМУ відповідає за обробку сигналів, аналіз подій, синхронізацію маркерів (RF, AM або RFID), а також за прийняття рішень про тривогу.

У сучасних мережевих EAS-комплексах центральний модуль виконує ще й роль комунікаційного вузла, забезпечуючи передавання діагностичних даних у хмарні системи, моніторинг працездатності антен та інтеграцію з відеоаналітикою.

Основними вимогами до центрального модуля управління EAS-системи при його проектуванні та розробці є використання основних функціональних та технічних вимог передбачених міжнародними стандартами.

Функціональні вимоги включають в себе наступні пункти:

- прийом і фільтрація сигналів від антенних блоків EAS-рамок;
- ідентифікація типів маркерів (RF, AM, RFID) та їх статусу (активний, деактивований, помилково зчитаний);
- прийняття рішень про спрацювання тривоги, визначення достовірності події;
- обмін даними з POS-системою (касовим терміналом) для перевірки статусу товарів;
- передавання інформації на сервер безпеки або в центральний офіс мережі;

- логування подій, включаючи час, номер антени, інтенсивність сигналу, тип мітки, помилки;
- самодіагностика, включаючи контроль живлення, синхронізації та комунікаційних ліній.

Технічні вимоги включають в себе наступні пункти:

- підтримка високої швидкості обробки сигналів (до 1000 подій/сек);
- гарантована робота при наявності шумів і перешкод;
- використання захищених протоколів передачі даних (TLS, VPN);
- можливість оновлення прошивки «дистанційно»;
- сумісність з протоколами (RS-485 / CAN / Ethernet, EAS-AM Sync, EPC-Gen2 для RFID-міток).

Структурна схема центрального модуля управління представлена на рисунку 2.6 [14, 15]. Центральний модуль включає наступні основні блоки: блок прийому та попередньої обробки сигналів, процесорний блок, комунікаційний модуль, блок управління сигналізацією, блок живлення та резервування.

Блок прийому та попередньої обробки сигналів виконує наступні функції:

- приймає електромагнітні імпульси від антен;
- виконує підсилення, фільтрацію та нормалізацію сигналів;
- здійснює демодуляцію залежно від типу EAS-мітки (AM-58 kHz, RF-8,2 MHz, RFID-860–960 MHz).

Процесорний блок – «мозок» усієї автоматизованої системи, який складається з: мікроконтролера ARM Cortex-M / A-серії, DSP-модуля для обробки сигналів, модуля обробки даних RFID-зчитувача (за потреби). До основних завдань процесорного блоку входять:

- аналіз амплітудно-частотних характеристик сигналів;
- визначення факту проходження активної мітки;
- застосування алгоритмів фільтрації хибних спрацювань;
- генерація команд для сигналізації.

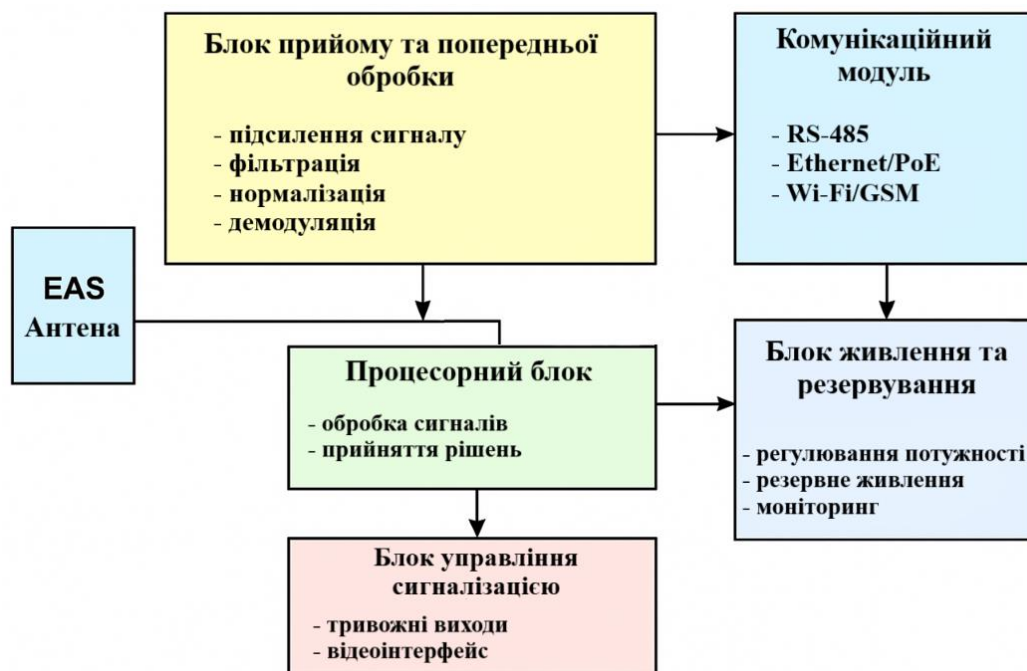


Рисунок 2.6 - Структурна схема центрального модуля управління

Комунікаційний модуль є невід’ємним елементом автоматизованої системи, що підтримує: RS-485 (для з’єднання з касовими вузлами), Ethernet/PoE (для підключення до мережі магазину), CAN-шину (для модульних EAS-систем), Wi-Fi / GSM-модем (для хмарного моніторингу).

Блок управління сигналізацією відповідає за звукове та візуальне відображення спрацювання, або сигналізацію про винос товару за межі торгової зони. Даний блок включає:

- виходи для керування світловими та звуковими індикаторами;
- цифрові тригери для активації сирени;
- інтерфейс для підключення систем відеоспостереження (ONVIF).

Блок живлення та резервування передбачає основне та резервне живлення для EAS системи з урахуванням різних перебоїв або нестабільного енергопостачання торгової точки. До основних функціональних можливостей блоку входить:

- забезпечення стабілізованого живлення логічних модулів (5/12/24 В);
- наявність функції переходу на резервне джерело живлення;
- можливість відстеження споживання та температури.

Принцип роботи центрального модуля управління EAS-системи включає комплекс функціональних можливостей, що дають змогу ефективно функціонувати автоматизованій системі. Процес роботи включає наступні етапи:

- антена генерує електромагнітне поле та приймає відбиті/модульовані сигнали від мітки;
- блок прийому ЦМУ перетворює сигнал у цифрову форму;
- процесор застосовує алгоритми обробки (виділення корисного сигналу, аналіз параметрів мітки, визначення достовірності події);
- ЦМУ звертається до POS-системи (за потреби) для перевірки деактивації.
- якщо мітка активна → генерується тривога;
- подія записується у журнал логів, а інформація передається на сервер безпеки;
- система виконує самодіагностику та повідомляє про несправності.

Алгоритми обробки інформації – складні функціональні структури логічних блоків, які взаємодіють між собою утворюючи логічно продуману архітектуру [15]. Загальний алгоритм обробки інформації включає в себе алгоритми виявлення активної мітки та алгоритми компенсації хибних спрацювань.

Алгоритм виявлення активної мітки (покроковий) включає:

- вимір рівня сигналу (RSSI);
- фіксація частотного спектра;
- порівняння з еталоном бази EAS-міток;
- встановлення факту проходження мітки через «зону детекції»;
- визначення напрямку руху (вхід/вихід) — при двохантєній системі;
- перевірка через POS-систему;
- прийняття рішення щодо тривоги.

Алгоритми компенсації хибних спрацювань включають:

- адаптивна фільтрація шумів;

- порогове згладжування;
- цифрове кореляційне порівняння;
- виключення паразитних частот;
- виявлення повторюваних сигналів (штучних перешкод).

Особливості впровадження ЦМУ у мережеских підприємствах торгівлі дають можливість централізованого моніторингу усіх магазинів та синхронізацію EAS-даних із товарообліковими системами (1C, SAP, Oracle), а також оновлення прошивок через центральний сервер. Що в свою чергу дає можливість інтеграції з відео аналітикою, така система автоматично прив'язує подію до відеокадру і це збільшує ефективність протидії крадіжкам.

Розроблена структура центрального модуля управління EAS-системи дозволяє забезпечити:

- високу достовірність детекції міток;
- мінімальний відсоток хибних спрацювань;
- гнучку інтеграцію з касовими та обліковими системами магазину;
- можливість масштабування у мережах із сотнями торгових точок;
- централізований контроль працездатності та моніторинг подій.

Даний модуль є критично важливою частиною EAS-інфраструктури, яка забезпечує ефективний захист товарів від несанкціонованого винесення.

Апаратно-програмна реалізація центрального модуля включає набір певного функціоналу, що забезпечує надійну та безперебійну роботу всієї системи. Проектом передбачено використання мікроконтролерного вузла із такими функціями:

- прийом та аналіз RF/AM/RFID сигналів;
- керування силовими реле тривожних пристроїв;
- підтримка цифрових протоколів (I²C, SPI, UART);
- віддалений моніторинг через мережеский інтерфейс;
- OTA-оновлення (для сучасних апаратних платформ).

До основних апаратних компонентів центрального модуля входить:

- мікроконтролер STM32 / ESP32 / NXP;
- радіотракт приймача 8.2 МГц / 58 кГц або RFID UHF;
- модуль фільтрації та детекції сигналу;
- PoE-модуль живлення або DC/DC перетворювач;
- комунікаційні порти RJ-45, USB, RS-485.

2.3 Обґрунтування вибору засобів автоматизації

Несанкціоноване винесення товару — одна з ключових проблем роздрібної торгівлі, що призводить до значних економічних втрат. Сучасні рішення з охорони базуються не лише на фізичній охороні, але й на автоматизованих системах, що поєднують апаратні сенсори, відеоспостереження, інтеграцію з POS та алгоритми аналізу поведінки (AI/ML) [16]. Основна ціль — мінімізувати втрати, зберегти приватність клієнтів і не створювати надмірних перешкод для добросовісних покупців.

Таке обґрунтування пояснює, які засоби автоматизації обрано і чому: які сенсори й камери, яку архітектуру обробки даних, які протоколи та програмні компоненти, а також як забезпечити безпеку й підтримку в реальному експлуатаційному середовищі.

Вимоги надійності до автоматизованої системи виносяться на високий рівень. Функціональні вимоги включають в себе:

- виявлення спроби винесення неоплаченого товару (вхід/вихід із магазину, зона кас/виходу);
- кореляція подій між POS (оплата), RFID/EAS і відео аналітикою;
- оповіщення охорони в реальному часі з мінімумом хибних спрацьовувань;
- збереження доказової інформації (відео, метадані) з можливістю відтворення;
- журнали подій, звіти та аналітика по інцидентах.

До не функціональних вимог відносять високу доступність і стійкість (робота навіть при часткових відмовах мережі), а також низьку затримку оповіщення (реальний час або близько до нього). Масштабованість — від одного магазину до мережі супермаркетів дає можливість тримати прозорість щодо приватності - відповідність локальним законам про захист даних. У свою чергу зручність технічного обслуговування та оновлення створює помірну вартість власності.

Огляд технічних засобів дасть можливість вибрати оптимальні варіанти для розробки автоматизованої системи. Аналіз переліку технологічних категорій, які розглядався як варіанти для вибору сенсорних елементів дозволить оптимізувати вибір. Апаратура сенсорів пропонується наступна:

- EAS (Electronic Article Surveillance) – традиційні антени на виході з магазину, ефективні для товарів з бірками та етикетками, мінус — легко обходяться, потребують бирок;

- RFID (активне/пасивне) – дозволяє ідентифікувати окремі одиниці товару, дає можливість відстеження по зоні, дорожче, потребує маркування всіх одиниць;

- вагові сенсори/Smart shelves – виявляють зміни ваги полиці, корисні для товарів без упаковки, чутливі до шуму і розміщення;

- камери CCTV з AI-відеоаналітикою – відстеження поведінки, ідентифікація подій (приховування, швидке проходження повз касу), кореляція з POS;

- сенсори дверей/зон руху (PIR) – допомагають корелювати рух у критичних зонах.

Інфраструктурні компоненти представлені наступним чином [17]:

- edge-комп'ютери — для локальної обробки відео й подій, зниження трафіку до центру та швидке оповіщення;

- сервери та хмарні сервіси — зберігання архівів, аналітика в масштабі мережі, централізоване навчання моделей;

- мережеве обладнання — комутатори, маршрутизатори, надійні канали з резервом;

Програмні платформи та фреймворки:

- VMS (Video Management Systems) — управління камерами, збереження архіву, інтеграція з аналітикою;

- AI/ML фреймворки — модулі детекції поведінки (ком'юніті: OpenCV, TensorFlow, PyTorch, для виробничого застосування — ONNX для inference на еджі);

- системи інтеграції (middleware) — брокери повідомлень (MQTT, AMQP, Kafka) для кореляції подій;

- бази даних — часова база (time-series) для телеметрії, реляційна для метаданих і NoSQL для масштабування медіа-індексів.

2.3.1 Вибір сенсорів та виконавчих механізмів

Критерії вибору засобів автоматизації для різних задач обґрунтовуються сферою застосування розробки. В залежності від умов використання розробленої АСУ діють ті чи інші стандарти ISO чи ДСТУ. При виборі конкретних засобів важливо оцінювати за наступними показниками [17, 18]:

- ефективність виявлення (TPR) та рівень хибних спрацьовувань (FPR);
- сумісність і інтеграція з існуючими POS і системами безпеки;
- затримка реакції та здатність працювати оф-лайн;
- вартість впровадження й експлуатації (CAPEX + OPEX);
- масштабованість і модульність — можливість поступового розгортання;

- приватність та відповідність нормам (GDPR-подібні вимоги);

- простота обслуговування і оновлення.

Рекомендований набір засобів (вибір і обґрунтування) включає комплект сенсорних елементів, що дозволить реалізувати повний функціонал

проектованої автоматизованої системи. Опираючись на вимоги й критерії, варто застосувати комбіноване багаторівневе рішення. Ключові компоненти і мотивацією вибору представлених компонентів буде комплексність, інтегрованість та повнота функціоналу.

Гібридна сенсорна підсистема RFID + EAS + Smart-shelf (UT-202 DSP) представлена на рисунку 2.7. Представлена UT-202 DSP – комплексний сенсор (антенні ворота) радіочастотної антикрадіжкової системи, призначений для проходів шириною до 1.2м для спрацьовування на протикрадіжкові сенсори та шириною до 1.0м для спрацьовування на етикетки. Завадостійка у торгових центрах. Два контури детекції дозволяють рівномірно детектувати сенсори по всій висоті та виявляти слабкі сенсори.



Рисунок 2.7 – Комплексна сенсорна підсистема радіочастотного типу UT-202 DSP

Виготовлена з використанням сучасних технологій боротьби із перешкодами. Можливість точного регулювання більшості параметрів дозволяє якісно налаштувати складні об'єкти. Наявність автоматичного регулювання адаптує до мінливих зовнішніх умов. До основних можливостей можна віднести: функція "виключення бірки", просте швидке налаштування, у комплекті представлений повний монтажний набір. UT-202 DSP може

працювати з іншими системами в режимі SPLIT (трьохрамковий). Підходить для захисту всіх видів продукції.

Комплексність сенсорної підсистеми включає певний функціонал, а саме:

- RFID (пасивне) - забезпечує ідентифікацію одиниць товару на полицях і при проході (висока точність і можливість кореляції з POS, детектує спроби винесення навіть без зняття бірки (якщо мітки прикріплені до товару)) передбачає розгортання поетапно, спочатку ключові категорії товарів з високим ризиком, далі — розширення;

- EAS - як додатковий шар на виході — швидке просте виявлення наявності активної бірки (дешевше і зручніше для масового асортименту, але сам по собі недостатній);

- Smart-shelf (вага/натиск) - для крихких, розфасованих товарів без бірок (наприклад, елітні продукти) — дозволяє виявити незвичні зміни ваги.

Загалом багаторівневий підхід зменшує хибні спрацьовування і ускладнює обходи, тобто зняти RFID і при цьому ускладнює уникнути відеофіксації.

EAS-мітки та наклейки є ще одним елементом сенсорних пристроїв, які входять до складу автоматизованої системи (рисунки 2.8). (основні типи - тверді бирки, гнучкі етикетки). Заходи проти зняття: спеціальні замки та деактиватори.

Жорстка бірка EAS виготовлена з матеріалу АБС, в який інтегровані RFID та EAS [18]. Чіп RFID зберігає інформацію, мітки EAS можна використовувати для захисту від крадіжки. Бірка для одягу EAS з'єднується із предметом через цвях. Він широко використовується в одязі, сумках, взутті, аксесуарах та інших продуктах. У той же час при реалізації безпеки EAS можна використовувати технологію RFID для швидкої інвентаризації та збору даних про звички роздрібного споживання для забезпечення базової підтримки даних.



Рисунок 2.8 – Загальний вигляд різновиду RFID сенсорів (бірок)

До типових параметрів бірок EAS – систем можна віднести [19]:

- частота - 860–960 МГц (для UHF RFID) або 8.2–8.3 МГц / 58 kHz (для класичних EAS) залежно від типу мітки/системи;
- стандарт - EPC (наприклад, EPC 96-bit) / ISO 18000-6C для RFID;
- матеріал корпусу - ABS або аналогічні пластики;
- для міток може бути передбачено зняття / демагнізацію при оплаті (звільнення товару) — з допомогою деактиватора;

Призначення - кожна одиниця товару, яка має ризик крадіжки, має промарковану мітку. Якщо мітка не деактивована при виході — система спрацьовує.

Роль відеоспостереження та відеоаналітики в EAS системах супермаркетів є однією з ключових, оскільки саме вони забезпечують візуальний контроль, доказову базу та оперативне виявлення правопорушень (рисунок 2.9). Візуальна фіксація подій та поведінки покупців є вирішальною при вирішенні спірних ситуацій у різних конфліктних ситуаціях з покупцями. Відеоспостереження дозволяє у режимі реального часу бачити всі критичні зони магазину, а саме:

- вхідні та вихідні групи;
- касові зони;
- зон ризику (алкоголь, косметика, дрібні товари);

- складські приміщення.



Рисунок 2.9 – Система відеоспостереження та відео аналітики

Це забезпечує можливість:

- виявляти підозрілу поведінку (приховування товару, повторні заходи, незвичні дії);
- спостерігати за групами ризику — підлітками, організованими групами крадіїв, відвідувачами з великими сумками або одягом.

До основних параметрів обладнання можна віднести:

- роздільна здатність - Full HD (1080p) або вище (4 MP / 4K), щоб чітко фіксувати поведінку покупців;
- ІЧ-підсвітка для роботи при слабкому освітленні;
- підтримка PoE — для простого живлення й підключення;
- сумісність з VMS (Video Management System), ONVIF — для інтеграції у загальну систему.

Камери з підтримкою AI (edge analytics) та їх основні параметри включають:

- вбудований чип (NPU) - 0.5–5 TOPS;
- підтримка моделей ONNX/TF;
- детекція поведінки - приховування товару, обхід каси, підозрілі дії
- режим подій - тригери + метадані.

Основне призначення - відеофіксація дій в зоні кас, виходу, полиць, створення записів про інциденти, які можна переглядати. У поєднанні з подіями RFID/EAS — дає доказову базу.

2.3.2 Вибір мережевого та серверного обладнання

Роль мережевого та серверного обладнання в EAS-системах супермаркетів та мережевих магазинів відіграє важливу роль в обробці, збереженню та відтворенню даних, відеоматеріалів (рисунок 2.10). Хоча класичні EAS-системи (AM, RF) історично працювали автономно й не потребували мережевої інфраструктури, сучасні EAS-комплекси нового покоління активно інтегруються в цифрові системи магазину [20]. Тому мережеве та серверне обладнання стає критично важливим компонентом.

Централізований моніторинг стану EAS-врат, сигналізації та запобігання неправомірній дії у торговому залі це основна функція сучасних EAS комплексів. Сучасні EAS-антени можуть передавати дані про спрацювання на проходах виходів з торгової зони, показувати стан енергозабезпечення обладнання, передавати журнали подій, працювати через TCP/IP. Без мережі ці функції неможливі. Роль мережі відіграє важливу роль у зборі статусів EAS-ворот, віддалений контроль, оперативне реагування на збої та діагностики без виїзду до техніки.



Рисунок 2.10 – Мережеве та серверне обладнання EAS-комплексів

Передача подій EAS до серверів аналітики відбувається по стандартних Ethernet мережах загального призначення. Ethernet мережа дає змогу:

- автоматично прив'язувати відеозапис до моменту спрацювання EAS,

створювати звітність про кількість інцидентів;

- формувати аналітику за часом доби, днями тижня, відділами магазину.

Без цього EAS система працює «наосліп», і у багатьох магазинах сигналізація спрацьовує, але ніде не зберігається інформація про події, що знижує ефективність. Інтеграція EAS з POS-системою магазину надає значну перевагу та спектр можливостей відтворити в повні мірі події та ситуації пад час спрацювання сигналізації. Сучасні EAS-системи можуть взаємодіяти з касами через локальну мережу, а саме [20, 21]:

- підтверджувати, що товар було деактивовано на касі;
- створювати журнал: “який касир деактивував яку мітку”;
- фіксувати несанкціоновані або неправильні деактивації.

Синхронізація EAS-подій з відеоспостереженням надає можливість для відтворення повної картини подій. Один із ключових аспектів ефективної безпеки це коли спрацьовує EAS-рамка, сервер відеоспостереження автоматично створює відеокліп інциденту, охорона отримує миттєве сповіщення із вкладеним відео. Це дозволяє відрізнити хибні спрацювання, не деактивовану мітку, реальну спробу крадіжки.

Аналітика втрат та статистика інцидентів надає можливість бачити картину загалом по всіх відділах магазину або магазинів. Сервери можуть накопичувати та аналізувати дані, частоту спрацювань за зміну, які товари найчастіше «пищать», ефективність роботи касирів, піковий час крадіжок, зону підвищеного ризику. Це вже рівень Loss Prevention Management — без сервера неможливий.

Резервне зберігання даних та логів EAS дає можливість ввести архів події за декілька років. На серверах зберігаються: журнали спрацювань, дані про антени, стан обладнання, конфігурації. Це дозволяє проводити аудит, відслідковувати аномалії, аналізувати роботу системи.

Критерії вибору мережевого обладнання для EAS-систем це набір умов без яких ефективне функціонування неможливе. Надійність і промислова

стабільність це запорука високоефективного функціонування автоматизованої системи і її елементів - комутаторів з підтримкою роботи 24/7, підтримка температурного діапазону для торгових залів [21, 22]. Підтримка PoE (якщо RFID/EAS антени потребують живлення), деякі сучасні RFID-EAS системи можуть використовувати PoE. Пропускна здатність мережі для EAS навантаження невелике, але якщо система інтегрована з відео то гігабітні порти обов'язкові та можливість виділення VLAN для EAS. QoS та пріоритезація трафіку потрібна для того, щоб події EAS не губилися при великих навантаженнях мережі. Підтримка безпеки - ізоляція трафіку EAS, захист від несанкціонованого доступу, захист від модифікації логів.

До основних критеріїв вибору серверного обладнання для EAS-систем відносять продуктивність процесора тобто сервер EAS зазвичай виконує: збір подій, синхронізацію, інтеграцію з POS і відео. Оптимально - CPU рівня Intel Xeon / AMD EPYC або серверні i5/i7. Обсяг оперативної пам'яті - 8–16 GB — мінімум для EAS + відео інтеграції, 32 GB — оптимально для великих супермаркетів. Надійне зберігання даних - обов'язково SSD для ОС та журналів, RAID-масив (1/5/10) для надійності, NAS/SAN для зберігання довготривалої історії [22]. Резервування включає в себе: дублювання живлення, два мережеві інтерфейси, резервне копіювання журналів. Масштабованість передбачає можливості сервера: підключати нові антени, збільшувати обсяг бази даних, масштабувати функції без зміни архітектури.

Мережеве та серверне обладнання в EAS-системах виконує важливу роль: забезпечує передачу подій у реальному часі, дозволяє інтегрувати EAS з відео та POS, дозволяє вести журнали та аналітику, робить систему керованою та масштабованою, забезпечує стабільність та централізований контроль. Без сучасної інфраструктури EAS працює лише як “дзвіночок”, з інфраструктурою — як повноцінна система безпеки.

3. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ EAS-СИСТЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДЕФЕКТІВ У НЕЛІНІЙНИХ СИСТЕМАХ

3.1 Розробка методу ідентифікації різнотипних дефектів у нелінійних автоматизованих системах

Сучасні автоматизовані системи контролю несанкціонованого вносу товарів (EAS-системи) є складними технічними комплексами, у структурі яких одночасно поєднуються електромагнітні, радіочастотні, акусто-магнітні та цифрові підсистеми. Незважаючи на зовнішню простоту — «виявити мітку та подати сигнал тривоги» — такі комплекси фактично є нелінійними динамічними системами, чия робота залежить від багатьох змінних: електромагнітних характеристик середовища, параметрів передавачі і приймачів, поведінки поблизу системи людей, наявності паразитних відбиттів сигналів, взаємодії з RFID-обладнанням, роботою мережевої інфраструктури, станом антенно-шлюзового модуля тощо. Не лінійність проявляється в змінній амплітудно-частотній характеристиці, складних фазових зсувах, можливому ефекті насичення, взаємодії між кількома контурами і впливі зовнішніх полів, що ускладнює стандартні методи технічної діагностики.

У таких умовах забезпечення надійності та безвідмовності EAS-систем неможливе без систематичного застосування методів ідентифікації дефектів, що дозволяють виявляти відхилення у роботі нелінійних підсистем на ранніх стадіях. Методи ідентифікації, розроблені для нелінійних технічних об'єктів — такі як структурна та параметрична ідентифікація, спостерігачі стану, методи нечіткої логіки, сигнально-кореляційні та спектральні аналізатори, а також машинне навчання — сьогодні отримують широке застосування у сфері роздрібної безпеки. Вони дозволяють розпізнавати деградацію елементів передавання сигналу, дрейф частоти генератора, механічні дефекти

антенної рамки, міжмодульні нелінійні взаємодії, нестабільність живлення або появу сторонніх джерел радіошуму [23].

Особливої актуальності набуває той факт, що EAS-системи все частіше інтегруються з іншими компонентами магазинної безпеки — відеоаналітикою, RFID-ідентифікацією, мережевими контролерами подій та хмарними сервісами. Це перетворює систему не на окремий сенсор, а на багатофакторну кібер-фізичну платформу, де порушення роботи одного з вузлів може призвести до зменшення точності виявлення або хибних тривог. У таких комплексних середовищах класичні лінійні моделі несправностей є недостатніми, оскільки не описують складні нелінійні зв'язки між сигналами різних підсистем.

Таким чином, застосування сучасних методів ідентифікації дефектів у нелінійних системах є ключовим для підвищення надійності EAS-систем, мінімізації хибних спрацювань, забезпечення стабільної роботи у складних електромагнітних умовах та інтеграції з іншими автоматизованими підсистемами магазинної безпеки. Розвиток таких підходів дозволяє не лише своєчасно виявляти дефекти, але й прогнозувати виникнення критичних станів, що робить EAS-системи більш «інтелектуальними», адаптивними та придатними до використання у сучасних умовах ритейлу.

У даному розділі розглядаються системи, що описуються нелінійною моделлю

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= f(x(t)) + g(x(t))u(t) + Dd(t) + L\rho(t), \\ y(t) &= h(x(t)),\end{aligned}\tag{1}$$

де $x(t) \in \mathbb{R}^n$, $u(t) \in \mathbb{R}^m$ і $y(t) \in \mathbb{R}^l$ — вектори стану, управління та виходу; f , g і h — відомі матричні функції, f може бути неплоскою; $D \in \mathbb{R}^{n \times q}$ та $L \in \mathbb{R}^{n \times p}$ — постійні матриці; вектор-функція $d(t) \in \mathbb{R}^q$ описує дефекти: $d(t) = 0$ відповідає їх відсутності, $d(t)$ стає невідомою функцією часу при її появі; $\rho(t) \in \mathbb{R}^p$ описує зовнішні збурення і належить до невідомої обмеженої функції часу [24, 25].

Потрібно створити спостерігач з метою оцінки величини функції $d(t)$. По аналогії з задачею вирішується не для вихідної системи, а для її

редукованої (має меншу розмірність) моделі, нечутливої до збурень. Запропонований у для вихідної нелінійної системи метод побудови лінійної моделі дозволяє вирішувати задачі діагностування автономних систем за відсутності зовнішніх збурень. У даній кваліфікаційній роботі пропонується узагальнення даного методу для керованих систем, схильних до збурень, та лінійних моделей спеціального виду.

Для побудови редукованої моделі використовується похідна, але оскільки в загальному випадку матрична функція f передбачається неплоскою, то порядок похідної при цьому не повинен перевищувати певного числа, щоб у процесі розв'язання задачі не виникло необхідність брати похідну від недиференційованої функції.

Основний результат робіт [26] закладається в тому, що на основі редукованої моделі з вектором стану $x_*(t) \in \mathbb{R}^k$ будується допоміжна система з вектором стану $z(t) \in \mathbb{R}^k$ та аналізується вектор помилки $e(t) = z(t) - x_*(t)$. Якщо вихідна система лінійна, то система, що описує поведінку помилки $e(t)$, також буде лінійною, що дозволяє припустити про сильну спостережність останньої системи зробити основний висновок по роботі. Виявляється, що лінійна система для помилки $e(t)$ може бути отримана і в тому випадку, коли редукована модель та побудована на її основі допоміжна система містять доданки, нелінійні щодо вектора виходу $y(t)$ та його похідних. Відповідний метод для автономних систем розглянуто в іншому розділі, а в даному розділі запропоновано його узагальнення.

Із вище представленого випливає, що в загальному випадку редукована модель може мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \dot{x}_*(t) &= F_* x_*(t) + J_*(y(t), \dot{y}(t), \dots) + G_*(y(t))u(t) + D_*(y(t))d(t), \\ y_*(t) &= H_* x_*(t), \end{aligned} \quad (2)$$

де $x_*(t) \in \mathbb{R}^k$ — вектор стану, F_* , H_* , $J_*(y(t), \dot{y}(t), \dots)$, $G_*(y(t))$, $D_*(y(t))$ — матриці, що підлягають визначенню, і матричні функції відповідних розмірів, матриці $G_*(y(t))$ і $D_*(y(t))$ можуть бути незмінними; для простоти введено позначення $J_*(t) := J_*(y(t), \dot{y}(t), \dots)$. Похідна $\dot{y}(t)$ може бути обчислена за

допомогою диференціатора, детально описаного у представленному прикладі [27].

Як і у вище представлених рівняннях, матриці F_* і H_* задаються в канонічній формі

$$F_* = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \ddots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}, H_* = (1 \quad 0 \quad \dots \quad 0).$$

Аналогією з нерівностями передбачається, що існує плоска матрична функція $T(x)$ та матриця R такі, що $x_*(t) = T(x(t))$ і $y_*(t) = Ry(t)$. Диференціюючи обидві частини першої рівності, отримуємо

$$\frac{\partial T}{\partial x}(f(x(t)) + g(x(t)u(t) + Dd(t) + L\rho(t)) = F_*x_*(t) + J_*(t) + G_*(y(t))u(t) + D_*(y(t))d(t),$$

що разом з другою рівністю дає

$$\frac{\partial T}{\partial x}f(x) - F_*T(x) - J(t) = 0, \frac{\partial T}{\partial x}g(x) - G_*(y) = 0, H_*T(x) - Rh(x) = 0, \frac{\partial T}{\partial x}D - D_*(y) = 0. \quad (3)$$

Розписавши співвідношення (3) покомпонентно з урахуванням канонічного виду матриці F_* :

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_1}{\partial x}f(x) - T_2(x) - J_1(t) &= 0, \\ \frac{\partial T_2}{\partial x}f(x) - T_3(x) - J_2(t) &= 0, \\ \frac{\partial T_k}{\partial x}f(x) - J_k(t) &= 0, \end{aligned} \quad (4)$$

де $T_i(x)$ і $J_{*i}(t)$ - i -і рядки матриць $T(x)$ і $J_*(t)$, $i = 1, \dots, k$.

Теорема з умовою

$$RL_f^k(h(x)) - L_f^{k-1}(J_{*1}(t)) - L_f^{k-2}(J_{*2}(t)) - \dots - J_{*k}(t) = 0 \quad (5)$$

є достатнім для побудови моделі (2), де похідна

$$L_k(\cdot) = \sum_{i=1}^n \frac{\partial(\cdot)}{\partial x_i} f_i.$$

Доведення, припустимо, що $T_1(x) = Rh(x)$ і визначимо інші компоненти матриці $T(x)$ таким чином:

$$\begin{aligned} T_2(x) &= RL_f(h(x)) - J_{*1}(t), \\ T_3(x) &= L_f(RL_f(h(x)) - J_{*1}(t)) - J_{*2}(t) = RL_f^2(h(x)) - L_f(J_{*1}(t)) - J_{*2}(t), \\ &\dots \\ T_k(x) &= RL_f^{k-1}(h(x)) - L_f^{k-2}(J_{*2}(t)) - \dots - J_{*k}(t). \end{aligned} \quad (6)$$

Покажемо, що для визначених таким чином рядків матриці $T(x)$ та канонічного вигляду матриці N_* виконуються дві перші рівності (4). Справді, оскільки

$$\frac{\partial T_1}{\partial x} f(x) - L_f(T_1(x)),$$

для першої рівності в (4) отримуємо

$$L_f(T_1(x)) - T_2(x) - J_{*1}(t) = RL_f(h(x)) - (RL_f(h(x)) - J_{*1}(t)) - J_{*1}(t) = 0.$$

Аналогічні співвідношення виконуються для інших рядків матриці $T(x)$, для останньої отримуємо вираз

$$\begin{aligned} L_f(T_k(x)) - J_k(t) &= L_f(RL_f^{k-1}(h(x)) - L_f^{k-2}(J_{*1}(t) - \dots - J_{*k-1}(t))) - J_{*k}(t) = \\ &= RL_f^k(h(x)) - L_f^{k-1}(J_{*1}(t)) - \dots - J_{*k}(t), \end{aligned}$$

яке дорівнює нулю, згідно (5) [28]. Таким чином, з (5) і (6) випливають співвідношення (4), що означає можливість побудови моделі (2). Теорему доведено.

Для вирішення задачі необхідно знайти таке рішення рівняння (5) при мінімальному k , щоб виконувалася умова нечутливості до збурення $\partial T / \partial x \times L = 0$. Якщо виконати його неможливо, рішення буде наближеним.

Якщо існує таке перетворення $T(x)$, що вдається побудувати модель виду (2), то подальше рішення багато в чому збігається з описаним у попередньому розділі, тому наведемо лише основні співвідношення, отримані на основі результатів, наведених у другому розділі кваліфікаційної роботи.

Розглянувши наступну допоміжну систему:

$$\begin{aligned}\dot{z}(t) &= (F_* - KH_*)z(t) + J_*(t) = G_*(y(t))u(t) + KRy(t) + D_*(y(t))v(t), \\ y_z(t) &= H_*z(t),\end{aligned}\tag{7}$$

від моделі (2) вона відрізняється новим позначенням вектора стану та тим, що для забезпечення стійкості в неї введено зворотний зв'язок по сигналу несумісності $r(t) = R_y(t) - y_z(t)$ з коефіцієнтом K . Змінна $v(t)$ представляє собою допоміжний керуючий сигнал, що замінює невідому функцію $d(t)$. Він вибирається так, щоб перевести систему (7) зі стану $z(0)$ у стан, якому відповідає вихід $y_z(t)$ такий, що $y_z(t) \rightarrow y_*(t)$, $t \rightarrow \infty$, і при цьому мінімізувати функціонал

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (e_y^T Q e_y - v^T P v) dt \rightarrow \min,\tag{8}$$

де $e_y(t) = y_z(t) - y_*(t)$ – нев'язка, Q – позитивне число; $P \in \mathbb{R}^{q \times q}$ – позитивно визначена матриця.

Завдання ідентифікації полягає у побудові оптимального у сенсі (8) управління $v(t)$ такого, що $y_z(t) \rightarrow y_*(t)$ та $v(t) \rightarrow d(t)$, $t \rightarrow \infty$. Введемо помилку $e(t) = z(t) - x_*(t)$ і запишемо рівняння для нього:

$$\begin{aligned}\dot{e}(t) &= (F_* - KH_*)e(t) + D_*(y(t))(v(t) - d(t)), \\ e_y(t) &= H_*e(t).\end{aligned}\tag{9}$$

Оскільки рівняння для вектора помилки $e(t)$ лінійне і має такий самий вигляд, то справедливий доведений вище результат.

Теорема, якщо система (9) досить значемо спостерігається, то умова $e_y(t) \rightarrow 0$ тягне за собою $v(t) \rightarrow d(t)$ при $t \rightarrow \infty$. Система досить значемо спостерігається, якщо вона не має інваріантних нулів, тобто не існує s , при яких

$$\text{rank}(R(s)) < k + \text{rank} \begin{pmatrix} -D_*(y) \\ 0 \end{pmatrix},\tag{10}$$

для всіх y , де $R(s)$ - матриця Розенброка

$$R(s) = \begin{pmatrix} sI - (F_* - KH_*) & -D_*(y) \\ H_* & 0 \end{pmatrix}, \quad (11)$$

I – одинична матриця.

Для вирішення допоміжного завдання складається гамільтоніан

$$H = \frac{1}{2}(z - x_*)^T H_*^T Q H_* (z - x_*) + \frac{1}{2}v^T P v + \lambda^T ((F_* - KH_*)z + J_* + G_*(y)u + KRy + D_*(y)v)$$

і знаходиться оптимальне управління:

$$\frac{\partial H}{\partial v} = 0 \Rightarrow Pv(t) + D_*^T(y(t))\lambda(t) \Rightarrow v(t) = -P^{-1}D_*^T(y(t))\lambda(t).$$

Отримані для змінної стану та сполученої змінної рівняння доповнюються перетворенням Ріккати виду:

$$\dot{z}(t) = M(t)\lambda(t) + g(t),$$

де $M(t)$ – невідроджена матриця, $g(t)$ – деяка вектор-функція. В результаті отримуємо підсумкові вирази для шуканого спостерігача та функції, що описує дефект:

$$\begin{aligned} \dot{z}(t) &= (F_* - KH_*)z(t) - D_*(y(t))P^{-1}D_*^T M^{-1}(t)(z(t) - g(t)) + J_*(t) + G_*(y(t))u(t) + KRy(t), \\ z(0) &= T(x(0)), \\ v(t) &= -P^{-1}D_*^T(y(t)) M^{-1}(t)z(t) - g(t) \rightarrow d(t). \end{aligned} \quad (12)$$

Розміщення додаткових сенсорів, певною мірою може покращити ситуацію.

3.2 Моделювання динаміки оцінки дефектів автоматизованої системи контролю несанкціонованого виносу товарів

Якість вирішення завдання суттєво залежить від сенсорів, що є в системі, у ряді випадків для ефективного вирішення їх може виявитися недостатньо, і тоді необхідно розмістити додаткові фізичні або віртуальні сенсори. Методи побудови останніх були детально розглянуті другому розділі, тому зосередимо увагу на завданні визначення місць розміщення

додаткових сенсорів. Нестача основних сенсорів може призвести до таких негативних наслідків: неможливість побудувати редуковану модель, нечутливу до збурення; допоміжна система не є сильно спостережуваною; допоміжна система має високу розмірність.

Якщо редуковану модель, нечутливу до збурення, побудувати неможливо, то пропонується діяти наступним чином. Нехай j_1, j_2, \dots, j_c — номери компонентів вектора стану системи (1), які не вимірюються основними сенсорами і в правій частини рівнянь яких входить збурення [28, 29]. Тоді проблему вирішує запровадження додаткових фізичних чи віртуальних сенсорів, компоненти.

Як впливає з (11), значна спостережність допоміжної системи залежить від матриці $D_*(D_{*1} \dots D_{*k})^T$. Розглянемо це детальніше на прикладі $k=3$, де матриця Розенброка має вигляд

$$R(s) = \begin{pmatrix} s + K_1 & -1 & 0 & -D_{*1} \\ K_2 & s & -1 & -D_{*2} \\ K_3 & 0 & s & -D_{*3} \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Її визначник має вигляд $-D_{*3} - s^2 D_{*1} + s D_{*2}$, звідки випливає, що система буде значно спостережна тільки при $D_{*1} = D_{*2} = 0$ і $D_{*3} \neq 0$ оскільки в іншому випадку існує s , у якому визначник дорівнює нулю, тобто виконується умова (10). При $k = 2$ аналогічний результат виходить у разі $D_{*1} = 0$ та $D_{*2} \neq 0$; при $k=1$ для значної спостережності достатньо $D_{*1} \neq 0$, оскільки в цьому випадку матриця Розенброка має вигляд

$$R(s) = \begin{pmatrix} s + K_1 & -D_* \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

та її визначник дорівнює D_* , при цьому допоміжна система має мінімально можливу розмірність.

Неважко побачити, що $k=1$, якщо $RL_f(h) = J_{*1}(t)$ це впливає з $T_1(x) = Rh(x)$ і першого рівняння (4) при $T_2(x) = 0$. Умова $RL_f(h) = J_{*1}(t)$ означає,

що деяка компонента векторної функції $L_f(h)$ виражається через компоненти функції h . Якщо ця умова не виконується для основних сенсорів, пропонується наступний спосіб визначення місць розміщення додаткових фізичних чи віртуальних сенсорів. Нехай j_1, j_2, \dots, j_b – мінімальне число номерів компонент вектора стану системи (1), які не вимірюються основними сенсорами, якими і функцію h виражається деяка компонента функції $L_f(h)$. Тоді введення додаткових фізичних чи віртуальних сенсорів, які вимірюють ці компоненти, вирішує проблему, тобто допоміжна система буде одновимірною [29]. При цьому $R=(0\dots 1\dots 0)$ з єдиною одиницею в позиції, що збігається з номером обраної компоненти функції $L_f(h)$. Для прикладу розглянемо електропривід робота, описаний рівняннями

$$\begin{aligned}\dot{x}_1(t) &= k_1 x_2(t), \\ \dot{x}_2(t) &= k_2 x_2(t) + k_3 x_3(t) + k_7 \text{sign}(x_2(t)) + d(t), \\ \dot{x}_3(t) &= k_4 x_2(t) + k_5 x_3(t) + k_6 u(t),\end{aligned}$$

де $x_1(t)$ - кут повороту вала редуктора, $x_2(t)$ - швидкість кута повороту, $x_3(t)$ - струм обмотки, функція $d(t)$ відповідає зміні коефіцієнта тертя. Передбачається, що $y(t) = x_3(t)$.

Безпосередні обчислення дають наступне:

$$\begin{aligned}h(x) &= x_3, L_f(h(x)) = k_4 x_2 + k_5 x_3, \\ L_f^2(h(x)) &= k_2 k_4 x_2(t) + k_3 k_4 x_3(t) + k_4 k_7 \text{sign}(x_2(t)) + k_4 k_5 x_2(t) + k_5^2 x_3(t).\end{aligned}$$

Неважко бачити, що $L_f^2(h(x))$ виражається через $L_f(h(x))$ та $h(x)$, тому $k=2$. Прийmemo $x_{*1}=T_1(x) = h(x) = x_3$ та $J_{*1} = k_5$, тоді, згідно (4), $k_4 x_2 + k_5 x_3 - T_2 = k_5 y = k_5 x_3$, звідки $x_{*2}=T_2(x) = k_4 x_2$. В результаті отримуємо модель

$$\begin{aligned}\dot{x}_{*1}(t) &= x_{*2}(t) + k_5 y(t) + k_6 u(t), \\ \dot{x}_{*2}(t) &= k_2(\dot{y}(t) - k_5 y(t) - k_6 u(t)) + k_4 k_7 \text{sign}((1/k_4)(\dot{y}(t) - k_6 u(t) - k_5 y(t))) + k_4 d(t).\end{aligned}$$

Похідна $\dot{y}(t)$ може бути обчислена за допомогою диференціатора:

$$\begin{aligned}\dot{w}_1(t) &= w_0(t), \\ w_0(t) &= w_2(t) - \gamma_1 |w_1(t) - y(t)|^{1/2} - \text{sign}(w_1(t) - y(t)), \\ \dot{w}_2(t) &= -\gamma_2 \text{sign}(w_1(t) - y(t)),\end{aligned}$$

тут γ_1, γ_2 - позитивні константи; змінна $w_2(t)$ дає точну оцінку похідної $\dot{y}(t)$ за кінцевий час, якщо шуми виміру відсутні.

Матриця Розенброка для допоміжної системи (4) з коефіцієнтами зворотного зв'язку $K = (K_1 \quad K_2)^T$ має вигляд

$$R(s) = \begin{pmatrix} s + K_1 & 1 & 0 \\ K_2 & s & -1 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Неважко перевірити, що її визначник дорівнює -1 , тобто система (9) не має інваріантних нулів, і отже, вона сильно спостерігається. Діагностичний спостерігач описується рівняннями (12).

Виконаємо моделювання роботи оптимального спостерігача з метою оцінки дефекту наведеного прикладу при наступних значеннях параметрів:

$$k_1 = \frac{1}{i_r}, k_2 = -\frac{k_v}{J_m}, k_3 = \frac{k_m}{J_m}, k_4 = -\frac{k_\omega}{J_m},$$

$$k_5 = \frac{R_m}{J_m}, k_6 = \frac{k_u}{L_m}, k_3 = -\frac{k_d}{J_m}, J_m = 0,001 \text{ кг}\cdot\text{м}^2; R_m = 0,5 \text{ }\Omega; L_m = 0,001 \text{ Гн}; k_m = 0,004 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{А};$$

$$k_\omega = 0,04 \text{ В}\cdot\text{с}/\text{рад}; i_r = 100; k_u = 35.$$

Для синтезу спостерігача параметри критерію якості взято рівними $Q=10^5, R=1$. Параметри зворотного зв'язку по вектору нев'язки: $K=(100 \quad 0,2)^T$. Результат оцінки дефекту спостерігачем представлено на рисунку 3.1.

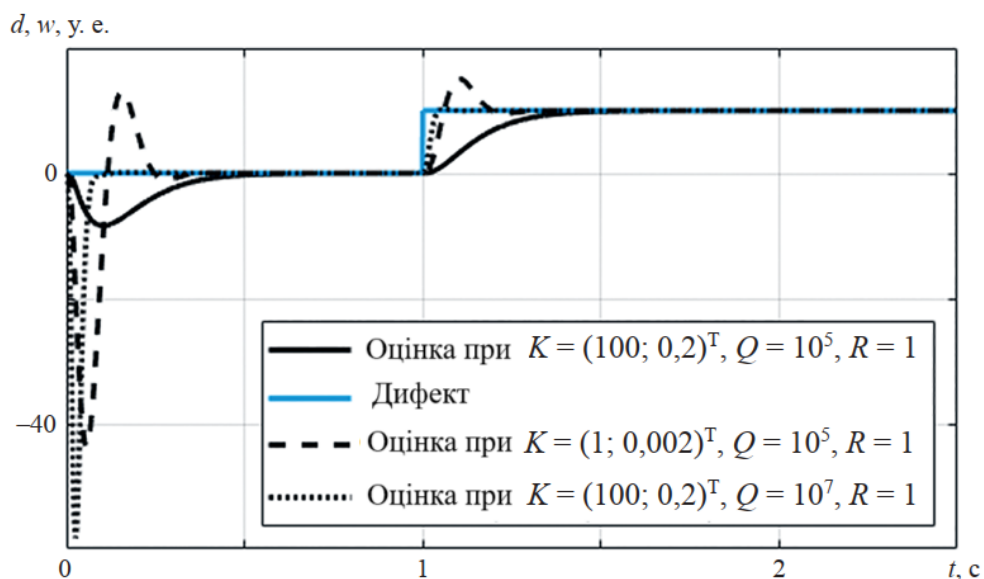


Рисунок 3.1 – Результат моделювання оцінки дефекту

Слід сказати, що динаміка оцінки залежить від коефіцієнтів зворотного зв'язку по вектору нев'язки, так, якщо обидва коефіцієнти зменшити на два порядки і прийняти $K=(1 \ 0,002)^T$, то тривалість перехідного процесу залишиться незмінною, але при цьому зростає коливальність перехідний процес [30]. Підвищити швидкодію в системі можна за рахунок збільшення штрафу Q (або зменшення штрафу R), наприклад, збільшивши штраф за нев'язкою на два порядки до $Q=10^7$ при $K=(100 \ 0,2)^T$. При цьому швидкодія оцінки підвищується в 2-3 рази, але в початковий момент часу у перехідному процесі оцінки спостерігається суттєве перерегулювання, чого немає в момент початку дії дефекту. Така поведінка викликана великим значенням нев'язки на початковому етапі роботи спостерігача та особливо не впливає на якість оцінки на наступному часовому інтервалі спостереження.

Оскільки редукована модель містить першу похідну вихідній змінної, то спостерігач може бути чутливим до шумів. Проделуємо приклад з урахуванням шуму в каналі вимірювання сили струму електроприводу, що лежить у діапазоні ± 35 А. Передбачається, що сила струму вимірюється сенсором струму LEM LAN 50-P з параметрами: діапазон вимірювання ± 50 А, похибка вимірювань 0,25%, смуга пропускання 200 кГц. З цих даних сформовані параметри шуму у вимірах. Результат моделювання спостерігача з наявністю шуму у вимірах представлено на рисунку 3.2.

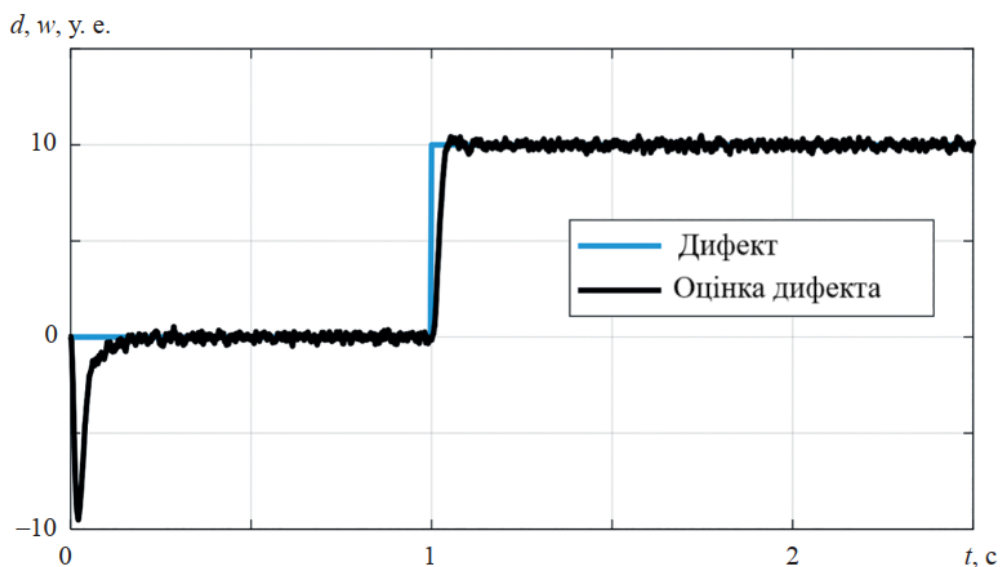


Рисунок 3.2 - Результат моделювання з наявністю шуму у вимірах

Зазначимо, якщо дефект, описуваний функцією $d_0(t)$, входить у третє рівняння, то для нього система (9) вже не буде значно спостерігатися. Положення можна виправити, якщо ввести фізичний сенсор змінної $x_2(t)$: $y_0=x_2(t)$. У цьому випадку модель набуде вигляду

$$\dot{x}_*(t) = k_4 y_0(t) + k_5 y(t) + k_6 u(t) + d_0(t), \quad (13)$$

що дозволяє оцінити величину дефекту у третьому рівнянні вихідної моделі, диференціатор при цьому непотрібен. Замість фізичного можна використовувати віртуальний сенсор, описуваний рівнянням

$$\dot{y}_v(t) = k_4 y_v(t) + k_5 y(t) + k_7 \text{sign}(y_v(t)),$$

результат буде таким самим.

Виконаємо моделювання описаного випадку. Передбачається, що є дефект $d_0(t)$, який входить до третього рівняння системи. Розглянемо два варіанти: 1) система оснащена фізичними сенсорами для вимірювань двох змінних $x_3(t)$ та $x_2(t)$; 2) система оснащена фізичним сенсором для вимірювань змінної $x_3(t)$ та віртуальним сенсором $y_v(t) = x_2(t)$. На основі редукованої моделі (13) виконаємо ідентифікацію дефекту за допомогою оптимального спостерігача [31, 32].

Параметри системи при моделюванні взяті колишніми, у тому числі для шумів сенсорів. Дефект $d_0(t)$, як і раніше, є ступінчастою функцією. Параметри налаштування спостерігача $P=1$, $Q=10^2$ та $Q=10^3$. Результати моделювання представлені на рисунку 3.3 (а - оцінка дефекту $d_0(t)$ з фізичним $y(t) = x_3(t)$ та віртуальним сенсорами $y_v = x_2(t)$; б - з двома фізичними сенсорами $y(t) = x_3(t)$ і $y_0 = x_2(t)$): видно, що якість ідентифікації висока, статична помилка прямує до нуля, швидкодія системи оцінки зростає зі збільшенням штрафу Q , але разом із цим і зростає амплітуда шумів. Тому налаштування параметрів спостерігача має забезпечувати компроміс між швидкодією оцінки та зростанням амплітуди шумів.

Якщо одночасно присутні два дефекти ($d(t)$ входить у друге рівняння, $d_0(t)$ – в третє), ідентифікувати їх можна лише за наявності двох фізичних

сенсорів $y(t)=x_3(t)$ та $y_0=x_2(t)$. Ідентифікацію обох дефектів, які можуть одночасно виникати в системі, виконаємо за допомогою двох оптимальних спостерігачів (кожен для свого дефекту), побудованих на базі редукованих моделей першого порядку.

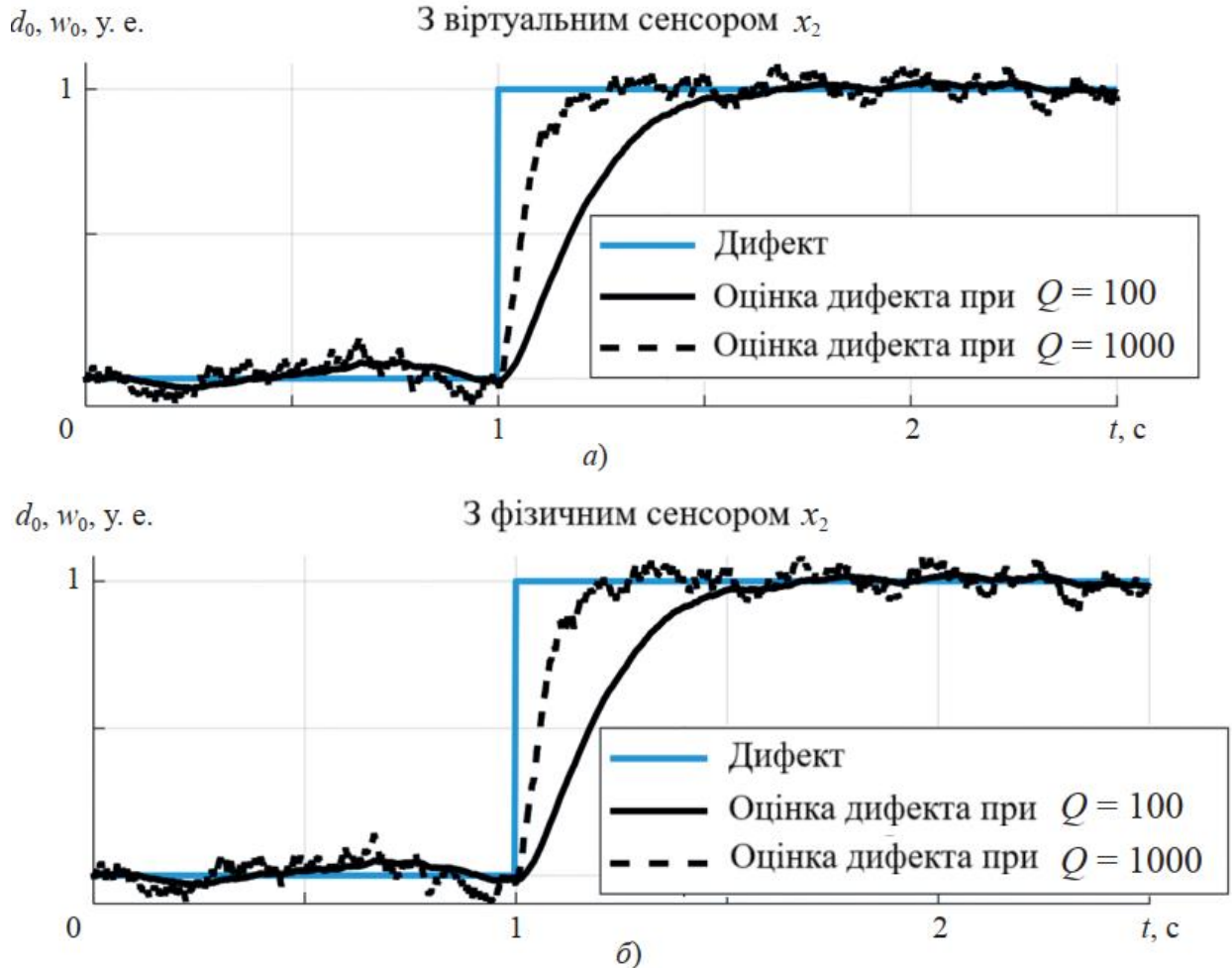


Рисунок 3.3 – Результати моделювання з фізичним та віртуальним сенсорами

Параметри системи під час моделювання взяті колишніми. Для обох спостерігачів взято наступні параметри редукованих моделей (тут індекс „2“ відповідає спостерігачеві для другого рівняння системи, „3“ для третього рівняння):

$$F_* = 0, D_* = 1, H_* = 1, Q = 10^3, P = 0,1, K = 10^{-3},$$

$$R_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix}, R_3 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \end{pmatrix}, J_{*2}(t) = k_2 y_0(t) + k_3 y_0(t), J_{*3}(t) = k_4 y_0(t) + k_5 y(t).$$

Дефект $d(t)$, як і раніше, є ступінчастою функцією, дефект $d_0(t)$ моделюється синусоїдою. Параметри налаштування для кожного

спостерігача взяті однаковими, вони вказані вище. Результати моделювання представлено на рисунку 3.4 (оцінка дефекту: а – для $x_2(t)$; б — для $x_3(t)$): видно, що якість ідентифікації висока (статична помилка прямує до нуля, швидкодію системи оцінки менше 0,1с, перерегулювання в оцінці відсутня). До цих результатів моделювання слід додати, що основний параметр спостерігачів матриця Ріккати M - однаковий для обох спостерігачів і розраховується один раз перед початком роботи.

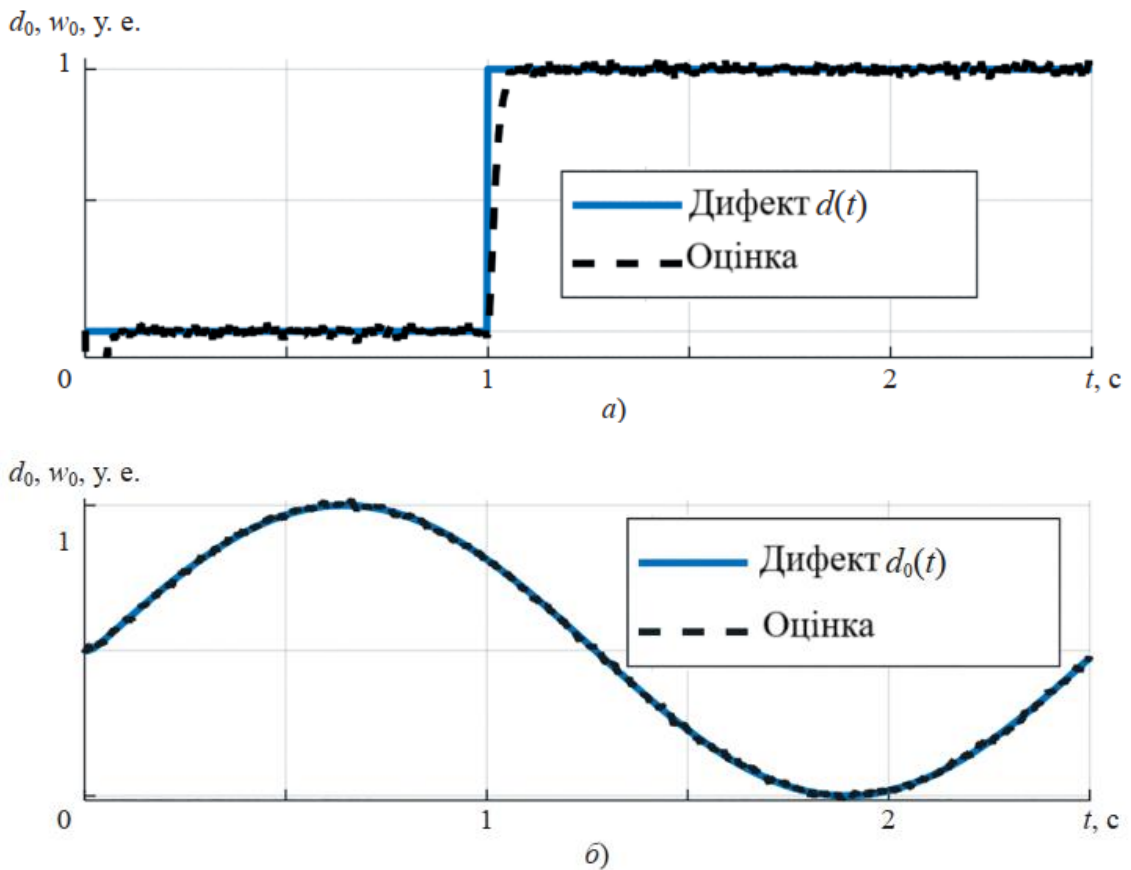


Рисунок 3.4 - Результати моделювання оцінки дефекта

У третьому розділі розглянуто завдання оцінювання величини дефектів у нелінійних динамічних системах за наявності зовнішніх збурень за допомогою методів оптимального управління шляхом перетворення вихідної системи до редукованої лінійної спеціального виду, чутливої до дефектів та нечутливої до збурень. Запропоновано метод розміщення додаткових фізичних або віртуальних сенсорів у разі, коли основних сенсорів

недостатньо або у них виникли дефекти. Проведене моделювання показало гарну працездатність методу.

Методи ідентифікації дефектів у нелінійних системах є ключовим інструментом підвищення надійності та ефективності EAS-систем, оскільки дозволяють виявляти приховані відхилення у роботі антенно-генераторних модулів, радіочастотних трактів та мережевих підсистем на ранніх етапах. Використання спектрального аналізу, спостерегачів стану та алгоритмів машинного навчання забезпечує можливість точного розпізнавання нелінійних взаємодій і зміни параметрів, що призводять до хибних спрацювань або зниження чутливості системи. Впровадження таких методів робить EAS-системи більш адаптивними, стійкими до завад та здатними до самодіагностики, що підвищує загальний рівень безпеки торговельного об'єкта та оптимізує експлуатаційні витрати. Таким чином, інтеграція сучасних підходів до ідентифікації дефектів є важливою складовою розвитку інтелектуальних антикрадіжних технологій.

ВИСНОВКИ

У представленій кваліфікаційній роботі розроблена автоматизована система контролю несанкціонованого вносу товару з магазину. По ходу виконання кваліфікаційної роботи проаналізовано автоматизовані EAS системи, що використовуються у великих розгалужених торгівельно-розважальних комплексах. Виділено та обґрунтовано основні технологічні особливості та параметри задля досягнення високоефективних умов функціонування програмно-апаратних засобів.

У трьох розділах кваліфікаційної роботи було комплексно досліджено, розроблено та обґрунтовано підходи до створення автоматизованої системи контролю несанкціонованого вносу товарів (EAS-системи), а також проаналізовано можливості підвищення її ефективності за рахунок використання сучасних методів ідентифікації дефектів у нелінійних технічних системах. Результати проведеної роботи дозволили сформувати цілісне бачення сучасних технічних рішень у сфері захисту торговельних підприємств від крадіжок, визначити оптимальні шляхи розвитку таких систем та обґрунтувати вибір конкретних засобів автоматизації.

У першому розділі здійснено глибокий аналіз різновидів сучасних автоматизованих систем обліку та протидії крадіжкам, що застосовуються у торговельних підприємствах. Окрему увагу приділено класифікації EAS-систем за типами фізичного принципу роботи: електромагнітним, радіочастотним, акусто-магнітним та системам з RFID-технологіями. Проаналізовано їх конструктивні особливості, функціональні можливості та експлуатаційні обмеження. Виявлено, що найбільш ефективними в умовах мережеских торговельних підприємств є гібридні системи, у яких поєднані переваги класичного антикрадіжного контролю та автоматизованого товарного обліку.

У межах підрозділу 1.2 обґрунтовано актуальність використання електронних міток як ключового елемента EAS-систем нового покоління.

Показано, що перехід від пасивних одноразових міток до інтелектуальних RFID-міток створює умови для поглибленої аналітики руху товарів, оптимізації складських процесів та покращення взаємодії між системами безпеки і товарообліку. Сформульовано вимоги до таких міток, включаючи їх надійність, багатократність використання, стійкість до механічних і електромагнітних впливів.

У підрозділі 1.3 детально опрацьовано етапи проектування EAS-систем для мережевих підприємств оптово-роздрібної торгівлі. Було встановлено, що ефективність системи прямо залежить від правильного вибору топології, електромагнітних параметрів приміщення, інформаційних потоків та інтеграції з існуючою IT-інфраструктурою. Запропоновано методичний підхід до проектування, що включає аудит ризиків, моделювання розміщення обладнання, вибір протоколів взаємодії та оцінювання економічної доцільності впровадження.

Другий розділ роботи присвячено безпосередній реалізації автоматизованої системи контролю несанкціонованого вносу товарів. На етапі розробки загальної структури (підрозділ 2.1) сформовано архітектуру EAS-системи, у якій визначено взаємозв'язки між сенсорним модулем, центральним модулем управління, виконавчими механізмами, системою відеофіксації та мережевою інфраструктурою. Показано, що для забезпечення надійності та масштабованості система повинна бути модульна гібридна структура з чітким розподілом функцій між компонентами.

У підрозділі 2.2 розроблено центральний модуль управління EAS-системи, який відповідає за прийом, обробку та аналіз інформації від сенсорних модулів, керування сигналізацією та обмін даними з серверами і зовнішніми системами. Показано, що застосування мікроконтролерів із розширеною підтримкою протоколів зв'язку, інтегрованими засобами діагностики та низьким енергоспоживанням дозволяє забезпечити стабільну та швидкодіючу роботу системи навіть у складних умовах експлуатації.

Підрозділ 2.3 містить обґрунтування вибору засобів автоматизації, виконане на основі технічних, експлуатаційних та економічних критеріїв. Проведено порівняння кількох класів сенсорів та виконавчих механізмів (2.3.1) і вибрано оптимальні рішення з огляду на їхню чутливість, завадостійкість та сумісність з центральним модулем системи. Особлива увага приділена вибору мережевого та серверного обладнання (2.3.2), оскільки саме ці компоненти забезпечують безперебійну роботу EAS-системи та її інтеграцію з іншими системами підприємства. Визначено критерії вибору серверної інфраструктури, зокрема обчислювальну потужність, можливість масштабування, енергоспоживання, надійність та захист даних.

У третьому розділі приділено увагу підвищенню ефективності роботи EAS-систем за допомогою методів ідентифікації дефектів у нелінійних системах. В підрозділі 3.1 запропоновано метод ідентифікації різнотипних дефектів, який ґрунтується на аналізі динамічних характеристик сенсорної підсистеми, оцінюванні змін параметрів антенної структури та застосуванні алгоритмів виявлення аномалій. Метод дозволяє виявляти ранні ознаки несправностей, що можуть призвести до втрати чутливості системи або появи хибних спрацювань.

У підрозділі 3.2 виконано моделювання динаміки процесів виявлення дефектів та оцінено ефективність запропонованого методу. Моделювання підтвердило, що використання сучасних ідентифікаційних алгоритмів дозволяє значно підвищити точність діагностики EAS-систем, прискорити процес виявлення несправностей та зменшити кількість відмов системи під час реальної експлуатації. Застосування таких методів робить систему більш «інтелектуальною» та адаптивною, дозволяє автоматично визначати критичні стани та попереджати відмови.

У підсумку можна зазначити, що проведені дослідження та практична реалізація автоматизованої системи контролю несанкціонованого вносу товарів дали можливість сформулювати комплексне інженерне рішення, яке

відповідає сучасним вимогам торговельних підприємств. Запропонована система відзначається високою надійністю, масштабованістю, інтеграційними можливостями та здатністю до самодіагностики. Вона може бути ефективно впроваджена у торговельні мережі різного масштабу та забезпечити значне скорочення втрат від крадіжок.

Отримані результати підтверджують, що подальший розвиток EAS-систем тісно пов'язаний із застосуванням методів інтелектуального аналізу даних, машинного навчання та інтеграцією EAS у комплексні кібер-фізичні системи безпеки. Запропоновані рішення та розроблені методи можуть стати основою для подальших досліджень у сфері автоматизації безпеки, а також для створення нових поколінь високоефективних систем протидії крадіжкам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Banks J. RFID Applied. Hoboken, 2007. 509 p.
2. Gunther O. RFID in manufacturing. Leipzig, 2008. 163 p.
3. Karmakar N. C. Handbook of smart antennas for RFID systems. Hoboken, 2010. 681 p.
4. Hunt V. D. RFID-A Guide to radio frequency identification. Hoboken, 2007. 214p.
5. Chanberlain J. IBM WebSphere RFID Handbook A Solution Guide, 2006. 278 p.
6. Finkenzeller K. RFID Handbook fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication, third edition. Chichester, 2010. 462 p.
7. Ahson S. RFID Handbook Applications, Technology, Security, and Privacy / S. Ahson, M. Ilyas. Boca Raton, 2008. 689 p.
8. Rida A., Yang L., Tentzeris M. RFID-Enahled Sensor Design and Applications. Norwood, 2010. – 210 p.
9. Roussos G. Networked RFID Systems, Software and Services. London, 2008. 187p.
10. Коваленко А. А., Кучук Г. А. Методи синтезу інформаційної та технічної структур системи управління об'єктом критичного застосування. Сучасні інформаційні системи. 2018. Т. 2, № 1. С. 22–27.
11. The Smart Home Manual: How to Automate Your Home to Keep Your Family Entertained, Comfortable, and Safe. Марлон Бьюкенен, 2020, с. 26 — 31.
12. Radio Frequency Identification (RFID) [Електронний ресурс] / : <https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/electromagnetic-compatibilityemc/radio-frequency-identification-rfid>.
13. What is RFID and How Does RFID Work? [Електронний ресурс] / : <https://www.abr.com/what-is-rfid-how-does-rfid-work>.
14. RFID-Technology [Електронний ресурс] / : <https://www.smarttec.com/en/auto-id-world/rfid-technology>.

15. Lishchinska L.B., Miroshnikova S.V., Baraban M.V., Filinyuk N.A. Negatron-based inductive sensors. *Visnik Cherkaskogo derzhavnogo tehnicnogo universitetu*. 2009. Spetsvip. pp. 60–62.
16. Lishchynskaya L.B. Information systems and devices based on generalized converter immitance. *Herald of Khelnytskyi National University*. 2015. Volume 226. Issue 4. Part 1. pp. 132–134.
17. Lishchynska L.B., Miroshnikova S.V., Filinyuk M.A. Generatorni sensori na bazi negatroniv. *Optiko–elektronni informatsiyno–energetichni tehnologiyi*. 2009. Issue 2(18). pp. 186–194.
18. Lishchynskaya L.B. Radio frequency sensors of the controlled from distance control of the state of object. *Sensor Electronics and Microsystem Technologies*. 2010. Vol.1(7). №4. С. 27-
19. Filinyuk M.A. Osnovi negatroniki. Tom 1. Teoretichni practuchni osnovu negatroniki: MonografIya. Vinnitsya: UNIVERSUM–Vinnitsya, 2006. 456 p.
20. Voevodin Yu.V., Kirichek R.V. Obzor unikalnyih apparatno-programmnyih parametrov razlichnyih tehnologiy Interneta veschey. *Informatsionnyie tehnologii i telekommunikatsii*. 2015. Vol. 4(12). pp. 40-47.
21. V. Borodavka, M. Tsuranov, Biometrics: analysis and multi-criterion selection. 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT). (дата звернення: 20.11.2025).
22. Корченко А.Г. Анализ и оценивание рисков информационной безопасности: монография / А.Г. Корченко, А.Е.Архипов, С.В.Казмирчук.– К.: ООО «Лазурит- Полиграф», 2013. – 275 с.
23. Оленин Ю.А. Проблемы комплексного обеспечения охранно-территориальной безопасности и физической защиты особо важных объектов / Ю.А. Оленин // *Охранные системы*. – 2002. – №3(27). – С. 7–26.
24. Оленин Ю.А. Специфика построения периметровых систем охраны / Ю.А. Оленин, Н.П. Петровский // *Системы безопасности, связи и телекоммуникаций*. – 1999. – №29. – С. 85.

25. ISBS RFID – Мережева системи контролю і увалення проїздом автомобілів [Електронний ресурс]. – Режим доступу:http://www.isbc-rfid.ru/_solutions/id_12/.
26. Мурыгин К. В. Нормализация изображения автомобильного номера и сегментация символов для последующего распознавания / Мурыгин К. В. // Искусственный интеллект. 2010. — № 3. — С. 367–369.
27. Лугових О.О. Дослідження методів ідентифікації для доступу транспортних засобів на закритий об'єкт / О.Р.Немчак, О.О. Лугових // IX Міжнародна науково-технічна конференція «Інформаційно-комп'ютерні технології 2018», м.Житомир, 20-21 квітня 2018р., с.182-183. Режим доступу: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/05/182-1.pdf>.
28. O.Nemchak. Study of identification methods for access of vehicles to closed object O.Luhovykh, S.Kobzar // V All Ukrainian Scientific and Practical Conference “Current trends in young scientists’ researches”, April 12, 2018. – Zhytomyr: ZHDTU, 2018. – С.92-95.
29. Оленин Ю.А. К вопросу о категорировании объектов с позиции охранной безопасности / Ю.А. Оленин, С.Ф. Алаухов // Системы безопасности, связи и телекоммуникаций. – 1999. – №30. – С. 26.
30. Одарущенко О.Б. Верифікація програмного забезпечення програмованих логічних контролерів із використанням математичних блоків дискретного перетворення інформації. Збірник наукових праць науковопрактичної конференції професорсько-викладацького складу Полтавської державної аграрної академії за підсумками науково-дослідної роботи в 2018 році (м. Полтава, 16-17 травня 2019 року). Полтава : РВВ ПДАА, 2019. С. 52.
31. Потапенко В.І., Бураковський В.Г., Губаренко О.В. Автоматизація 66 технологічних процесів та виробництв. К.: Центр учбової літератури, 2010. 768 с.
32. Скоренький В.В. Курс «Технології і програмне забезпечення комп'ютерної техніки»: Навчальний посібник. К.: Логос, 2007. 320 с.