

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Дніпровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна**

**Кафедра «Автоматика та телекомунікації»**

**«ДО ЗАХИСТУ»  
Завідувач кафедри**

Гаврилюк В.І.

(підпис)

(ПІБ)

р. \_\_\_\_\_ « \_\_\_\_\_ »

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Спеціалізація «Автоматика та автоматизація на транспорті»

**Тема** Удосконалення системи автоматичної ідентифікації рухомого складу

Improvement the system for automatic identification of the rolling stock

Керівник дипломної роботи

доцент \_\_\_\_\_ Гончаров К.В.

Давиденко В.В.

Student AT1921 (967M)

\_\_\_\_\_ Davydenko Valeria

**Дніпро**

Дніпровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Спеціальність

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Спеціалізація

Автоматика та автоматизація на транспорті

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри АТ

Гаврилук В.І.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття освітнього ступеню «магістр»

\_\_\_\_\_ (прізвище, ім'я та по батькові)

### 1. Тема роботи

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Затверджена наказом по університету № \_\_\_\_\_ від « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

2. Термін подання студентом закінченої роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу	Обсяг %	Кількість креслень
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		

Студент  
Науковий керівник

## РЕФЕРАТ

**Відомості про об'єм пояснювальної записки:** 96 сторінок, 4 таблиці, 51 рисунок, 23 джерела літератури.

**Ключові слова:** залізничний транспорт, рухомий склад, система автоматичної ідентифікації, RFID системи, кодовий бортовий датчик, ідентифікація рухомого складу, нейронні мережі.

**Об'єкт проектування:** система автоматичної ідентифікації рухомих одиниць.

**Мета магістерської роботи:** розробка методу та системи автоматичної ідентифікації поїзда з мінімальними матеріальними затратами, простотою впровадження, обслуговування та забезпеченням високого рівня достовірності ідентифікації.

У першому розділі розглянуто існуючі системи автоматичної ідентифікації рухомого складу та їх призначення.

У другому розділі розроблена мікропроцесорна система автоматичної ідентифікації рухомого складу, представлені алгоритми роботи системи та підрахунку вагонів.

У третьому розділі розроблена підсистема оптичної ідентифікації рухомого складу та був проведений огляд нейромережових технологій штучного інтелекту.

У четвертому розділі проведені дослідження підсистеми радіочастотної ідентифікації рухомого складу, розроблена її математична модель.

**Галузь застосування:** системи залізничної автоматики.

**Висновок.** Використання розроблених алгоритмів для систем автоматичної ідентифікації рухомого складу і створених на їх основі програмних засобів дозволяє організовувати інформаційні потоки САІ, контролювати повноту і достовірність даних ідентифікації.

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
<b>Розділ 1. Огляд існуючих систем автоматичної ідентифікації рухомого складу.....</b>	<b>7</b>
1.1. Призначення та різновиди систем автоматичної ідентифікації рухомого складу .....	7
1.2. Системи автоматичної ідентифікації на базі відеоспостереження..	11
1.3. Системи радіочастотної ідентифікації рухомого складу.....	18
1.3.1. Технологія RFID .....	18
1.3.2. Система автоматичної ідентифікації Amtech. ....	23
1.3.3. Система автоматичної ідентифікації Dunicom.....	25
1.3.4. Система автоматичної ідентифікації «Пальма» .....	27
1.4. Висновки по розділу 1.....	31
<b>Розділ 2. Розробка мікропроцесорної системи автоматичної ідентифікації рухомого складу.....</b>	<b>33</b>
2.1. Структура та принцип дії системи автоматичної ідентифікації рухомого складу .....	33
2.2. Алгоритм роботи системи.....	35
2.3. Алгоритм підрахунку вагонів .....	37
2.4. Датчики проходу колісних пар ДПД-01 .....	40
2.5. Висновки по розділу 2 .....	45
<b>Розділ 3. Розробка підсистеми оптичної ідентифікації рухомих одиниць .....</b>	<b>46</b>
3.1. Структура та принцип дії підсистеми оптичної ідентифікації рухомих одиниць.....	46
3.2. Алгоритм автоматичного розпізнавання номерів рухомих одиниць ... ..	48
3.3. Огляд нейромережових технологій штучного інтелекту.....	52
3.3.1. Структура та властивості штучного нейрона .....	52

3.3.2. Класифікація нейронних мереж та їх властивості.....	54
3.3.3. Топологія нейронних мереж.....	58
3.3.4. Навчання нейронної мережі.....	62
3.4. Моделювання підсистеми оптичної ідентифікації.....	65
3.5. Висновки по розділу 3.....	70
<b>Розділ 4. Розробка підсистеми радіочастотної ідентифікації рухомих одиниць.....</b>	<b>72</b>
4.1. Структура та принцип дії підсистеми радіочастотної ідентифікації рухомих одиниць.....	72
4.2. Дослідження та розрахунок параметрів підсистеми радіочастотної ідентифікації.....	74
4.3. Кодовий бортовий датчик.....	81
4.4. Розробка зчитувача для системи радіочастотної ідентифікації.....	87
4.5. Висновки по розділу 4.....	92
Висновки.....	93
Список використаних джерел.....	94

## ВСТУП

Системи ідентифікації рухомого складу забезпечують автоматичне зчитування номерів вагонів та обробку даної інформації. В результаті впровадження таких систем підвищується достовірність і оперативність звітності про стан вагонних і локомотивних парків, зменшується штат співробітників, забезпечується впровадження без паперових інформаційних технологій.

В рамках даної роботи пропонується комплексна система автоматичної ідентифікації та діагностування рухомого складу. Система має ієрархічну структуру. Нижній рівень утворюють кодові бортові датчики, що розміщуються на кожному вагоні. Наступний рівень складається з пунктів зчитування номерів вагонів, які доповнюються напільними камерами для визначення температури буксових вузлів та п'єзоелектричними датчиками для виявлення дефектів коліс. Інформація від пунктів зчитування передається на концентратори інформації лінійного та дорожнього рівнів, а потім – в головний інформаційно-обчислювальний центр ГІОЦ УЗ, який утворює верхній рівень ієрархії.

Пропонуються декілька варіантів системи. На першому етапі може використовуватись система оптичної ідентифікації, яка не потребує додаткового вагонного обладнання. Після встановлення кодових бортових датчиків буде забезпечена можливість для переходу на більш достовірну радіочастотну ідентифікацію. Монтаж бортових датчиків на всіх рухомих одиницях вагонного та локомотивного парку вимагає значного часу. У зв'язку із цим протягом перехідного періоду можливий варіант застосування гібридної системи з одночасним поєднанням оптичної та радіочастотної ідентифікації. В рамках даної роботи також була створена нейронна мережа для розпізнавання номерів вагонів на фотознімках. Як показали дослідження, така мережа дозволяє ефективно визначати номер навіть в умовах поганої видимості та забруднення поверхні вагона.

# РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ

## 1.1. Призначення та різновиди систем автоматичної ідентифікації рухомого складу

Ефективне управління перевізним процесом на залізницях, особливо в сучасних ускладнених умовах, стає неможливим без використання оперативної і достовірної інформації про місцезнаходження локомотивів, вагонів і контейнерів. І тому на залізницях використовується система автоматичної ідентифікації рухомого складу (CAI PC), яка в масштабі реального часу стежить за рухомими одиницями і не допускає втручання людини в реєстрацію операцій.

**Ідентифікація** - процес розпізнавання об'єкта за його ідентифікатором. Ідентифікатор об'єкта пред'являється зчитувачу, який визначає і передає в систему його індивідуальний код для проведення процедури розпізнавання [6].

Традиційні способи управління, засновані на отриманні первинної інформації про операції від людини-оператора, мають досить високу невизначеність, викликану так званим суб'єктивним фактором - людською помилкою, запізненням або умисним спотворенням інформації.

В області забезпечення безпеки руху поїздів залізнична галузь вже давно перейшла на максимально можливе використання автоматики, а зараз таке ж завдання гостро постала і для системи організації руху, взаєморозрахунків між операторами, клієнтурою і перевізником, а також для виявлення і виключення порушення технологічної дисципліни.

Розробка систем з автоматичного зчитування інформації про рухомий склад починалася кілька десятиліть тому з спроб використання різних способів отримання даних про вагони: оптичного розпізнавання номерів вагонів, пропуску світла через спеціальну кодову пластину, акустичного

відображення, застосування статичних магнітних полів і навіть використання радіоактивних матеріалів. Але як оптимального в усіх відношеннях рішення для автоматичної ідентифікації рухомого складу в зарубіжних країнах було прийнято зчитування ідентифікаційної інформації з встановленого на рухомій одиниці пасивного кодового бортового датчика (КБД). Воно здійснюється в контрольних точках (пунктах зчитування - ПЗЧ) інфраструктури залізниць за допомогою спеціальної колійної апаратури.

**Вимоги до систем автоматичної ідентифікації на залізничному транспорті.** Технічно-організаційна проблема стилізації номерів вагонів досить складна, так як:

- зчитування необхідно виробляти без зменшення швидкості поїзду, яка може досягти 150–160 км / годину, а на високошвидкісних ділянках до 250 км / годину;
- вміст і якість рахункової інформації не повинні залежати від напрямку руху поїздів;
- необхідно попутно виявити вагони з пошкодженими або відсутніми датчиками;
- датчики повинні бути простими у налаштуваннях, легкознімаючими, прийнятними для будь-яких типових вагонів, працювати без джерела живлення;
- достовірність зчитування не повинна погіршуватися при поганій видимості, забрудненості датчиках, а також при зміні кліматичних умов [6].

**Використання САІ дозволяє забезпечувати:**

- підвищення інтенсивності вантажоперевезень за рахунок скорочення простоїв, порожніх пробігів;
- підвищення безпеки руху та збереження вантажів;
- збільшення терміну міжремонтної експлуатації вузлів і деталей за рахунок іменного контролю тривалості їх експлуатації, що виключає необґрунтовану заміну (або підміну) в процесі ремонту вагонів і локомотивів;

- підвищення пропускної спроможності на митних та контрольно-пропускних пунктах на автострадах, залізницях між державами;
- освоєння додаткових перевезень на 1,6%;
- зменшення витрат на ремонт вагонів (при ремонті по пробігу) на 2,5%.

**Системи автоматичної ідентифікації поділяються за видами використовуваної технології:** штрихові коди, радіочастотна ідентифікація, розпізнавання об'єктів на відео, чіпи, магнітна смуга, біометрія.

**1.Технологія штрихового кодування (Bar Code Technologies)** — сьогодні найвідоміша з усіх технологій безконтактної ідентифікації. Згідно з нею для ефективного обліку руху матеріальних цінностей кожному товару присвоюють унікальний код і забезпечують його швидке зчитування при мінімальних помилках [22].

Штрихове кодування було винайдено американським інженером Давидом Коллінзом, який після закінчення інженерного факультету Массачусетського технологічного інституту, прийшов працювати на Пенсильванську залізницю, де йому довелося зіткнутися з проблемою сортування вагонів. Щоб спростити розпізнавання вагонів він запропонував записувати їх номери не тільки звичайними цифрами, але і спеціальним кодом, що складається з червоних і синіх смуг, розташованих на стінці вагона в прямокутнику завдовжки до півметра. Випробування підтвердили, що скануючий пристрій здатний правильно зчитувати коди навіть при швидкості руху вагона близько 100 км/ч. В 1968 р. для цієї мети вперше використовували лазерний промінь [22].

**Штриховий код** — це символ, що складається з малюнка смуг (штрихів) і простору між ними (прогалін), що відображає машинний код букв і чисел в двійковій системі (рис.1.1 [6]).

**Штрих (смуга)** — темна зона зображення на світлому однотонному тлі, обмежена прямими паралельними лініями або концентричними колами. Елементи штрихового коду наносяться на поверхню носія, що має певні світлотехнічні характеристики. При цьому штрихи, нанесені за допомогою

барвників, які добре поглинають світло на певних довжинах хвиль, а фонові поверхні добре його відображає, що і використовується при оптичному зчитуванні [22].



Рис. 1.1. Штрих-коди різної роздільної здатності

Загальні вимоги до штрих-кодів на етикетках для відвантаження, транспортування і приймання вантажів визначені міжнародним стандартом ISO 15394-2000.

## **2. RFID технологія**

Другою за доступністю та поширенням є технологія радіочастотної ідентифікації (Radio Frequency Identification). Найбільш поширені перепустки систем доступу, брелоки систем доступу. Набирає популярність RFID для товарів і упакування продукції — EPC (Electronic Product Code, Електронний код продукції). Широко застосовується автоматична ідентифікаційна система транспорту, об'єднана з GPS-ГЛОНАС приймачем. Ця система, в основному, застосовується у судноплаванні.

Комерційне використання цієї технології стало можливим з появою в 1958р. інтегральної мікросхеми, яка дозволила суттєво зменшити розміри радіочастотної мітки. Суть інтегральної мікросхеми полягає в інтеграції декількох електронних компонентів в монолітному кристалі напівпровідника. Це дозволяє замінити пристрій, що складається з корпусу з безліччю електронних компонентів однією тонкою платівкою. З 1970-х рр. радіочастотні мітки стали застосовуватися для ідентифікації текстильних товарів, тварин, вантажних контейнерів, автомобілів і т.п.

## **3. Автоматична відео ідентифікація**

**Система відеоспостереження** - це комплекс обладнання та програмного забезпечення, призначений для спостереження за територією, діями та

ситуацією. Сьогодні це - найбільш поширена система для охоронних та моніторингових цілей. Розвиток систем відеоспостереження відкриває нові можливості не тільки для фіксації правопорушень, а, що є більш важливим, для їх попередження.

**Встановивши систему відеоспостереження можливо:**

- Здійснювати моніторинг виробничого процесу на кожному з його етапів;
- Запобігати порушенням якості виробництва, умов праці, техніки безпеки;
- Мати повну та задокументовану інформацію про нещасні випадки на виробництві.

**1.2. Системи автоматичної ідентифікації на базі відеоспостереження**

В даний час відеоспостереження безпосередньо впливає на життя й безпеку людей, тож недооцінити його значимість просто неможливо. Ці системи вбирають у себе всі новітні досягнення та технології в області безпеки. Системи відеоспостереження є невід'ємною частиною систем безпеки. Зараз це не просто система типу «Камера - монітор», це комплекси програмно-апаратних засобів, що забезпечують спостереження за об'єктом.

**Метою установки системи відеоспостереження зазвичай є:** перегляд місць, які важливо контролювати з точки зору збереження матеріальних цінностей, контролю за проникненням на об'єкт (прохідні, паркани, двері, ворота і т.п.), стеження за переміщенням об'єктів (вокзали, офіси, підприємства і т.п.).

**Технологічне (промислове) відеоспостереження.** Для виробничих підприємств встановлюються захищені камери, здатні працювати в несприятливих технологічних та метеоумовах, а також в складних температурних режимах.

Відеоспостереження (відеонагляд, відеоконтроль) в сучасному світі, в тому числі в Україні, успішно використовується для моніторингу та управління технологічних процесів на виробництві, у сфері послуг.

Компанія «BSI-Group», офіційний партнер компанії «Аххон» в Україні ще з 2003 року розробила систему «Інтелект» - багатофункціональна відкрита програмна платформа, призначена для створення комплексів безпеки будь-якого масштабу.

Платформа безпеки «Інтелект» надає всі можливості для створення дійсно ефективної системи безпеки. Вона втілила в собі новітні тенденції галузі, ця платформа є досконалим інструментом для забезпечення надійного контролю, оптимізації роботи служби безпеки, зниження витрат і вирішення багатьох інших завдань.

**Система «Інтелект» має такий модуль, як розпізнавання номерів вагонів і цистерн.**

В даний час при здійсненні залізничних перевезень великі промислові підприємства, об'єкти інфраструктури залізниць, транспортні компанії стикаються з завданнями:

- автоматичного обліку руху потягів і вагонів;
- візуального огляду вантажу;
- контролю дотримання габаритів і ваги рухомого складу [11].

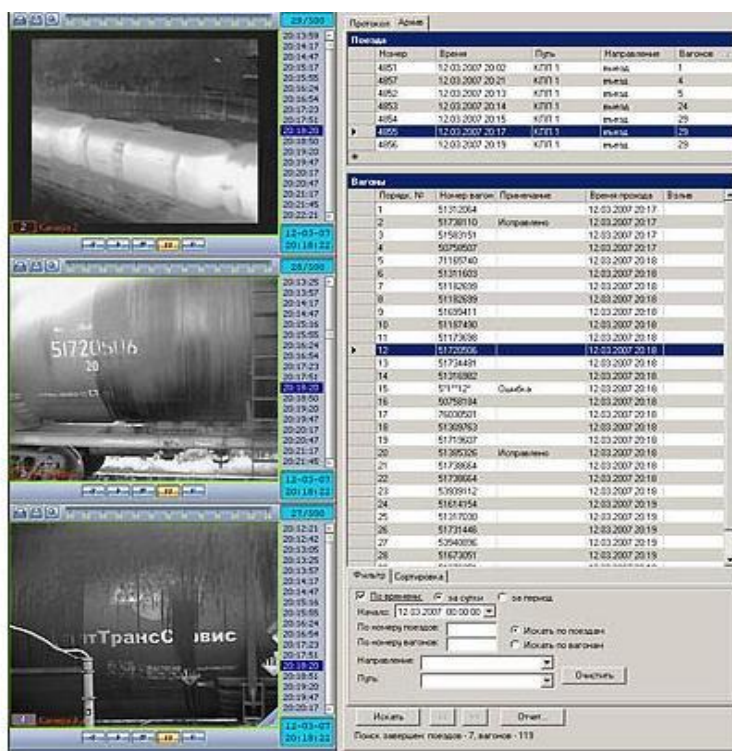


Рис. 1.2. Розпізнавання номерів вагонів і цистерн в системі «Інтелект»

Успішне вирішення цих завдань впливає як на безпеку залізничного руху в цілому, так і на ефективність роботи конкретного підприємства чи організації. Модуль розпізнавання номерів вагонів і цистерн, зображений на рис.1.2, є надійним і зручним інструментом для досягнення цілей, які ставить перед системою відеоспостереження залізничний транспорт [11].

В області відеоідентифікації є також кілька напрямків: розпізнавання автомобільних номерів та розпізнавання номерів залізничних вагонів, розпізнавання осіб, розпізнавання предметів, розпізнавання та верифікація (порівняння з еталоном) предметів.

### Розпізнавання автомобільних номерів

Для розпізнавання номерів автомобілів в системах відеоспостереження використовуються спеціалізовані модулі — в Інтелкті це «Ураган» Slow-1, у Trassir — AutoTRASSIR LPR-1-30.

Модуль відеоспостереження Trassir — AutoTRASSIR LPR-1-30 показано на рис.1.3 [17].

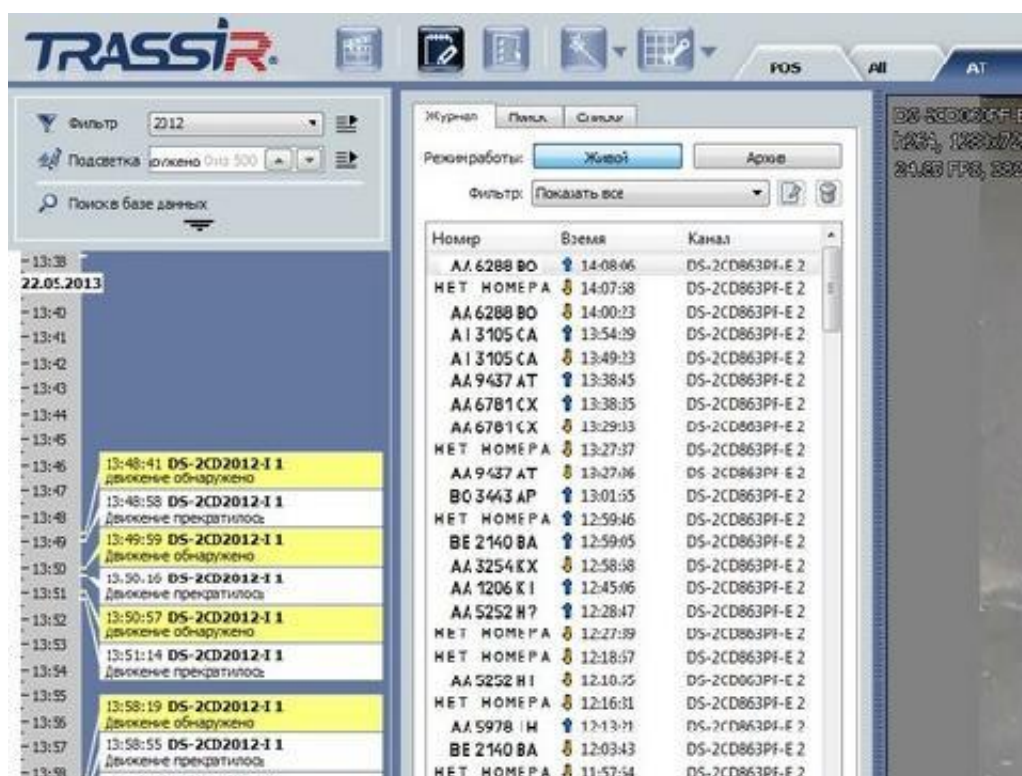


Рис.1.3. Модуль відеоспостереження Trassir — AutoTRASSIR LPR-1-30

## Розпізнавання номерів залізничних вагонів

Модуль «ЖД-Інтелект-1» для розпізнавання номерів вагонів, ліцензія на 1 відеоканал зображено на рис.1.4 [17].

Системи автоматичної ідентифікації постійно розвиваються й удосконалюються. Технології взаємно інтегруються для досягнення кращого ефекту від застосування.

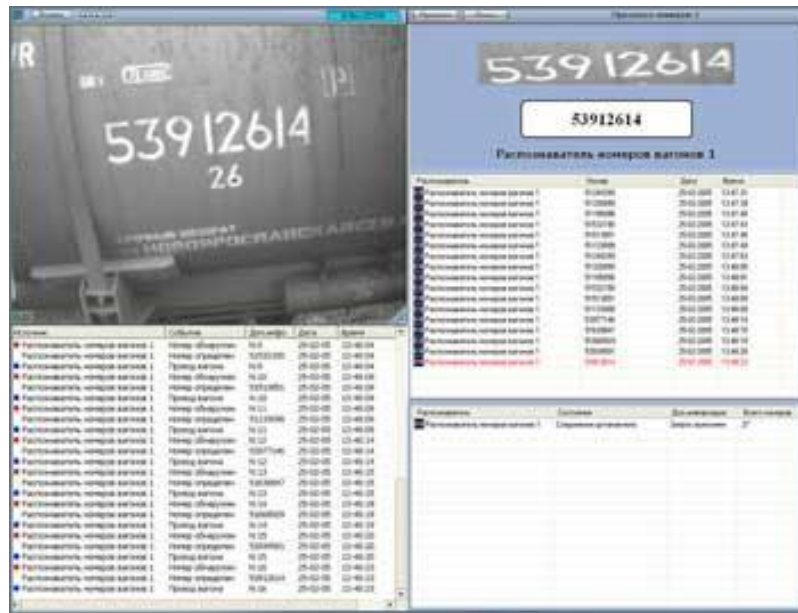


Рис. 1.4. Розпізнавання номерів залізничних вагонів

На залізницях і промислових підприємствах в даний час для ідентифікації вантажних вагонів і цистерн використовується, як правило, ручне візуальне списування реєстраційних номерів транспортних засобів, які представляють собою мітки у вигляді восьмизначної цифрової послідовності. При такому способі списування оператор на контрольній ділянці залізниці переглядає номери вагонів рухомого складу і при необхідності порівнює їх з номерами в певній передавальній відомості, званої також натур-листом. При виявленні невідповідності проводиться коригування натур-листа, формуються управлінські рішення.

Недоліки розглянутого способу ідентифікації очевидні: необхідність постійної уваги оператора, висока трудомісткість процесу контролю, недостатня достовірність інформації.

Крім того, склади, що проходять повз пост списування, змушені або повністю зупинятися, або значно знижувати швидкість, що суттєво обмежує пропускну здатність контрольного поста або станції.

До переваг оптоелектронних засобів контролю і автоматизованих систем, що створюються на їх основі, можна віднести:

- порівняно низьку вартість;
- зручність в експлуатації, обслуговуванні і відновленні;
- гнучкість системи, зумовлену можливістю адаптації алгоритмів і програмного забезпечення для різних об'єктів впровадження.

Основним недоліком оптоелектронного методу контролю є залежність від забрудненості об'єктів контролю і погодних умов. Однак цю залежність, як правило, можна істотно нівелювати шляхом проведення певних організаційно-технічних заходів.

В якості додаткової переваги метод оптоелектронного контролю дозволяє включити в контур управління процесом ідентифікації людини - оператора. Це забезпечує можливість практично повністю виключити можливі помилки ідентифікації за рахунок залучення оператора до обробки ситуацій, коли штучний інтелект системи «сумнівається» в остаточному рішенні або не може його прийняти.

### **ARSCIS - апаратно-програмний комплекс оптоелектронної ідентифікації об'єктів рухомого складу залізничного транспорту**

У ТОВ «Малленом» і її дочірньої компанії «Малленом Системс» накопичено значний досвід з проектування, створення і впровадження оптоелектронних комплексів ідентифікації наземних транспортних засобів.

У 2004 р на базі ТОВ «Малленом» був створений дослідно-промисловий зразок апаратно-програмного комплексу, що виробляє в автоматичному режимі зчитування номерів вантажних вагонів та поїздів. Перше впровадження відбулося в червні 2005 р на ст. Череповець-1 Північної залізниці. Розробка отримала назву ARSCIS (Automated Rolling-Stocked Cars Identification System) [4].

## Типова конфігурація і технічні характеристики СРНВ ARSCIS

З урахуванням отриманого досвіду першого впровадження та експлуатації досвідно-промислового зразка СРНВ ARSCIS (системи розпізнавання номерів вагонів) в період 2005-2007 рр. був створений типовий варіант промислового зразка, структурна схема якого представлена на рис.1.5 [4].

Апаратне забезпечення включає: оптоелектронну підсистему збору інформації; датчики, що фіксують положення колісних пар; обчислювальну підсистему, яка використовується для обробки отриманих даних; телекомунікаційне обладнання.

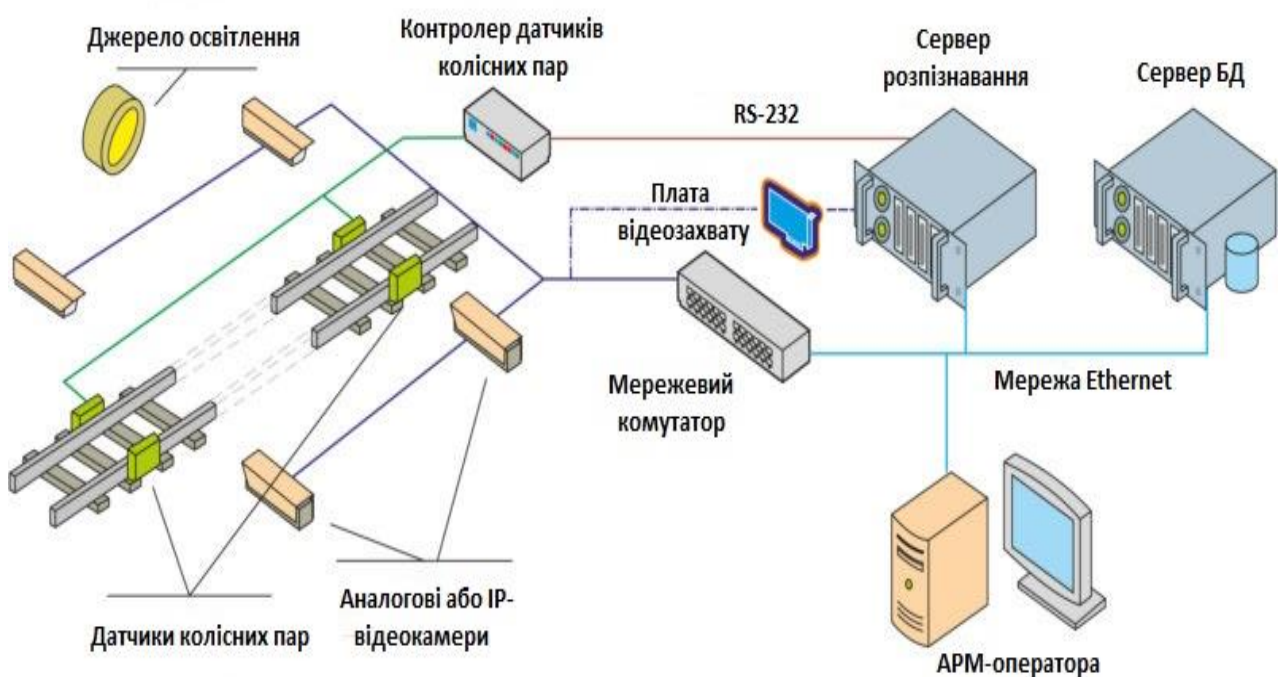


Рис. 1.5. Типова структурна схема СРНВ ARSCIS

У запропонованій конфігурації СРНВ ARSCIS може використовуватися від одного до чотирьох телевізійних датчиків, налаштованих для зчитування реєстраційних номерів з бортів і балки вагона. Зі збільшенням числа телекамер поліпшуються кількісні характеристики надійності ідентифікації (збільшується вірогідність результатів ідентифікації, зменшується число відмов ідентифікації і т.д.).

Для забезпечення цілодобової роботи оптичної підсистеми використовуються джерела освітлення галузі контролю - кварцево-галогенні лампи або інфрачервоні прожектори. Для фіксації положення окремих об'єктів рухомого складу в області контролю використовуються індукційні датчики колісних пар, що підключаються до ЕОМ системи через СОМ-порт.

Існують різні варіанти підключення телекамер до ЕОМ. Вибір оптимального варіанту підключення залежить від об'єкта впровадження та вже наявних телекомунікацій. Можлива організація передачі відеосигналу по коаксіальному кабелю, кручений парі, по оптоволоконному каналу. При введенні в ЕОМ аналогового відеосигналу необхідне використання плати відеозахвату. У разі використання ІР-камер передача відеосигналу відбувається спочатку в цифровому вигляді, і можливе підключення до ЕОМ через Ethernet.

За підсумками багаторазових тестувань СРНВ на об'єктах впровадження підтверджені наступні технічні характеристики її ефективності в реальних умовах експлуатації:

- час повного циклу обробки одного кадру (виявлення-розпізнавання-звірення по базі) - не більше 0,01 с;
- ймовірність правильної ідентифікації - не менше 95%;
- помилка ідентифікації - не більше 0,1%.

Мале значення помилки досягається за рахунок реалізованого механізму «сумніви» в ідентифікації та підтримки діалогу з оператором в разі появи об'єкта з відсутнім або важко розпізнаваним номером.

#### **Основні функціональні можливості «ARSCIS»**

- Формування і введення в ЕОМ відеопослідовності зображень робочої сцени (телевізійний сигнал з камери);
- Локалізація, супровід і підрахунок вагонів рухомого складу;
- Формування списку вагонів рухомого складу;

- Автоматизована діагностика появи поїзда в зоні контролю (при появі поїзда автоматично включається запис відеосигналу і здійснюється розпізнавання номерів);
- Звірка номерів вагонів по натур-листу;
- Оповіщення оператора в разі невідповідності результатів розпізнавання даними натур-листа і надання зображень з нерозпізнаними або відсутніми номерами оператору для прийняття рішення;
- Виявлення і розпізнавання номерів вагонів;
- Ведення бази даних минулих складів з інформацією про час і дату проходження, результати перевірки, працівника який здійснював контроль, зображень з номерами всіх вагонів відповідного рухомого складу;
- Захист інформації від несанкціонованого доступу, зміна параметрів і доступ в систему здійснюється через систему паролів з розмежуванням прав доступу;
- Взаємодія з іншими модулями і програмами, використовуваними в рамках інтегрованої системи автоматизованого управління станційними технологіями [10].

Технологія і засоби оптичної ідентифікації вагонів розвиваються і набувають все більшого поширення при вирішенні завдань контролю пересування об'єктів рухомого складу на території великих промислових підприємств і комерційного обліку сировини і продукції, що переміщуються залізничним транспортом.

### **1.3. Системи радіочастотної ідентифікації рухомого складу**

#### **1.3.1. Технологія RFID**

Бездротове розпізнавання здійснюється за допомогою закріплених за об'єктом спеціальних міток, які несуть ідентифікаційну та іншу інформацію. Цей метод став основою побудови сучасних безконтактних інформаційних систем і має усталену назву "RFID-технології" аббревіатура від Radio

Frequency Identification, що в перекладі й означає "радіочастотна ідентифікація".

Область застосування системи визначається її частотою. RFID-системи діляться на наступні групи, представлені в табл. 1.1 [6].

Таблиця 1.1

**Області застосування RFID**

Діапазон частот	Характеристики	Застосування
Низький (30 - 300 кГц)	Практично контактне зчитування (до 1 см); низька вартість	Контроль доступу; системи інвентаризації
Середній (3 - 30 МГц)	Зчитування до 1 м; висока вартість	Смарт-карти; контроль доступу
Високий (більше 300 МГц)	Велика дальність і швидкість зчитування; висока вартість	Вантажні перевезення; системи оплати

**Основні компоненти RFID-систем.** Система радіочастотної ідентифікації складається з двох основних компонентів (рис.1.6) [22]:

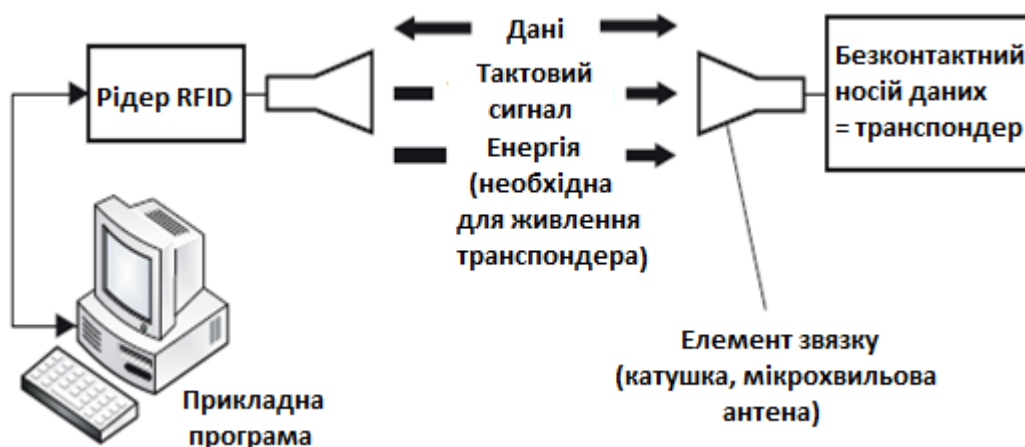


Рис. 1.6. Основні компоненти системи радіочастотної ідентифікації: зліва — зчитувальний пристрій; справа — транспондер

- Транспондер, закріплюється на об'єкті, який повинен пройти процедуру ідентифікації.
- Зчитувальний пристрій або рідер, який в залежності від додатку може не тільки зчитувати, але й записувати дані.

Зчитувальний пристрій містить високочастотний модуль (приймально-передавальний пристрій), контролер і елемент зв'язку з транспондером. Окрім цього, більшість зчитувальних пристроїв також мають додатковий інтерфейс (RS-232, RS-485 та ін.), який служить для передачі даних другим компонентам системи (персональному комп'ютеру або системі автоматизованого управління).

Транспондер (рис.1.7) являється носієм даних в системі RFID і складається з елемента зв'язку та спеціалізованої мікросхеми [22]. За межами зони дії зчитувального пристрою транспондер не проявляє ніякої активності, оскільки не містить власного джерела живлення. Проте при переміщенні в зону дії системи радіочастотної ідентифікації транспондер активується, отримуючи необхідну енергію за допомогою елемента зв'язку, який також відповідає за передачу сигналів синхронізації і даних.

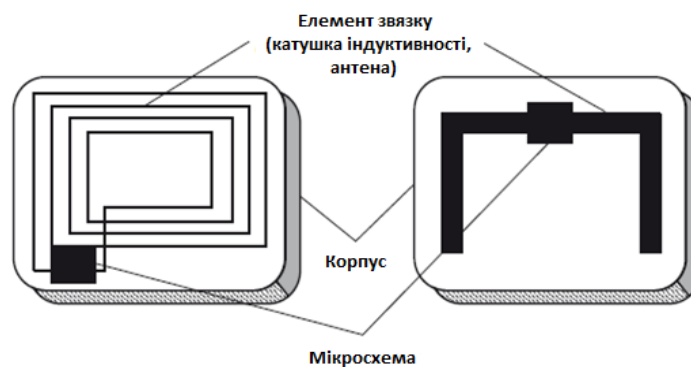


Рис. 1.7. Принципова схема транспондера, цифрового носія даних в системі RFID. Зліва — транспондер з індуктивним зв'язком, показана катушка антени; справа — мікрохвильовий транспондер з антеною-диполем

Суть роботи RFID-систем — у взаємодії двох основних складових елементів - мітки (або тега) і приймача — пристрою, що зчитує. Пасивний

елемент - мітка (чіп) — призначений для зберігання інформації, а активний - зчитувач (термінал) — необхідний для зчитування цих даних шляхом радіочастотної взаємодії. Таким чином можна легко ідентифікувати об'єкти на відстані - без безпосереднього контакту з ними, що, наприклад, необхідно при зчитуванні штрих-коду або QR-коду.

Працює вся система в такий спосіб — зчитувач (сканер) генерує електромагнітне поле, а мітка приймає ці хвилі, перетворюючи їх в сигнал і в електроенергію, яка використовується для живлення самого чіпа. Отримана енергія необхідна для виконання певних дій, генерації і відправки зворотного сигналу, який приймає вже сканер. При електромагнітному впливі на мітку можливо не тільки зчитування з неї інформації, а й запис даних.

### **Автоматична ідентифікація вагонів по RFID мітках**

Система забезпечує оперативне отримання даних про місцезнаходження вагонів по контрольних точках. Може використовуватися спільно з залізничними вагами для автоматизації операції зважування.

На залізничних вагонах зазвичай встановлюються дві RFID мітки. Мітка на вагоні закріплюється за допомогою заклепок, шурупів або спеціальних кронштейнів.

Кріплення RFID мітки на кронштейні. Мітка до кронштейна кріпиться за допомогою заклепок, сам кронштейн приварюється до балки залізничного вагона. Рекомендовано зафарбовувати мітку і кронштейн в колір вагона радіопроникною фарбою, щоб не привертати увагу до мітки (рис.1.8) [17].



Рис.1.8. Автоматична ідентифікація вагонів по RFID мітках

У даний час будь-яких стандартів на місце кріплення RFID-міток вагонів поки немає. Важливо дотримуватися умови прямої видимості між антеною та RFID-міткою.

RFID мітки, що застосовуються для залізничних вагонів, виготовляються із захистом від вологи та пилу по IP68 — вони повністю герметичні та витримують занурення у хімічно не агресивну рідину.

#### **Основні переваги RFID-технології:**

- для RFID не потрібний контакт або пряма видимість;
- RFID-мітки читаються швидко і точно (наближаючись до 100%-вої ідентифікації);
- RFID може використовуватися навіть в агресивних середовищах, а RFID-мітки можуть читатися через бруд, фарбу, пар, воду, пластмасу, деревину;
- пасивні RFID-мітки мають фактично необмежений термін експлуатації;
- RFID-мітки несуть велику кількість інформації і можуть бути інтелектуальними;
- RFID-мітки можуть бути не тільки для читання, але і з записом інформації.

#### **Недоліки RFID-технології:**

- В деяких випадках мітки не деактивуються повністю, є можливість повторного спрацьовування;
- Мітку можна виявити на товарі і в багатьох випадках пошкодити або відірвати;
- RFID-мітки відносно легко ввести в оману. Для цього необхідно щоб мітка пройшла в радіусі дії несанкційного зчитувача, часто мобільного, який збереже інформацію з мітки у себе. Після цього достатньо прийти до точки доступу і протранслювати зчитану інформацію системі за допомогою спеціального транслятора. Ускладнює ситуацію й те, що у виготовленні транслятора не виникає ніяких складностей і його схеми є широко розповсюджені в мережі Інтернет.

**1.3.2. Система автоматичної ідентифікації Amtech.** Один з масштабних проектів автоматичної ідентифікації залізничного рухомого складу на основі ультрависокочастотного зворотного модульованого відображення був реалізований залізницями США, Канади і Мексики з розробок компанії Amtech Systems Division - підрозділу корпорації Intermec Technologies (США). Основні експлуатаційно-технічні вимоги до КБД і пунктам зчитування інформації були затверджені в стандарті ISO 10374 [18].

На підставі проведених аналізів даного проекту для вирішення завдань ідентифікації та позиціонування залізничного рухомого складу на залізничних шляхах найбільш ефективним інструментом є системи, засновані на використанні технології радіочастотної ідентифікації, а саме систем безконтактної прив'язки до шляху рухомих одиниць рухомого складу. З метою зниження витрат на впровадження засобів автоматичної ідентифікації рухомого складу, пропонується прогнозувати розташування вагонів на коліях станції на основі імітаційного моделювання технології її роботи з рухомим складом. Підвищення точності визначення місцеположення рухомого складу досягається спільним використанням навігаційних систем (супутникового та інерціального).

Система безконтактної прив'язки до шляху рухомих одиниць рухомого складу є багатофункціональною і призначена для вирішення наступних завдань згідно з вимогами правил технічної експлуатації рухомого складу і технічного завдання на дані системи:

- сприяти виконанню графіка руху поїздів на лінії, що задається центральним пунктом комплексної автоматизованої системи диспетчерського управління;
- забезпечувати необхідною інформацією виконавчі пристрої для зупинки поїздів на станціях і на шляхах обороту з заданою точністю.

У 1991р. Асоціація американських залізниць прийняла рішення про обов'язкове встановлення КБД (кодових бортових датчиків) Amtech на всіх без винятку залізничних вагонах і локомотивах США. До кінця 1997р. КБД

Amtech було обладнано 1,52 млн. Вагонів і 1100 локомотивів, на мережі залізниць встановили 3000 зчитувачів.

Економічний ефект, отриманий від впровадження цієї системи, полягав в наступному:

- зменшенні числа помилок в розрахунках оплати за перевезення;
- оперативна передача інформації клієнтам про місцезнаходження їх вантажів;
- зниження витрат на відшукування вагонів;
- завантаження вагонів точно за графіком;
- створення умов для точного регулювання парку рухомого складу;
- наскрізна обробка даних і зростання якості перевезень [18].

У 1993 р в трьох країнах були проведені випробування трьох різних систем, і на основі їх результатів було вибрано спільне технічне рішення компаній Amtech і Alcatel як добровільно прийнятої стандартної європейської системи AVI. Для підтвердження прийнятності системи в загальноєвропейському масштабі залізниці Франції, Швейцарії та Італії продемонстрували її роботу на прикладі пасажирських поїздів, що обертаються по маршруту Париж - Венеція / Флоренція. У процесі спостереження за просуванням вантажного поїзда система AVI об'єднує серію доповідей.

На станції відправлення реєструються відомості про локомотивах і вагонах у складі поїзда, а також факт його відправлення. Дата і час відправлення зберігаються в пристрої. Може також записуватися маса кожного вагона (при наявності пристроїв зважування рухомого складу в русі, підключених до системи). Після прибуття на станцію призначення складу поїзда повинен бути ідентифікований знову. Після цього з пристрою, що запам'ятовує вивантажується вся інформація, записана на шляху прямування.

### **1.3.3. Система автоматичної ідентифікації Dynicom**

Перші експерименти із застосуванням системних автоматичних ідентифікаторів на залізничному транспорті почали в США в кінці 1960-х рр. Тоді Асоціація американських залізничних доріг (AAR) схвалила введення оптичної системи ідентифікації з використанням таблиць-маркетингів з кольоровими штрих-кодовими смугами, які закріплювались на вагонах.

Проте, незабаром стали очевидні недоліки оптичних засобів зчитування. Кодові маркери були схильні до забруднення і механічних пошкоджень, кодові мітки вицвітали з часом під впливом погодних умов.

Надалі корпорація Amtech запропонувала технологію радіочастотної ідентифікації (RFID) і створила радіочастотні засоби автоматичної ідентифікації вантажних вагонів (AVI). Система, що отримала назву Dynicom, рекомендована Міжнародним союзом залізничних доріг (МСЗД) в якості єдиного стандарту для створення уніфікованої системи автоматичної ідентифікації. Він буде застосовуватися до всього рухомого складу, які використовуються в міжнародних перевезеннях [21].

В основу системи Dynicom покладено використання стандартних електронних маркерів, які кріпляться під кузовами вагонів і локомотивів, а також стаціонарних напільних зчитувачів, що встановлюються в рейковому колесі.

Структурна схема автоматичної ідентифікації рухомого складу AVI Dynicom зображена на рис.1.9 [21].

Електронний маркер представляє собою пасивний датчик, який несе в собі постійну або інформацію, що змінюється (номер вагону, код вантажу, станцію призначення та ін.).

При проходженні маркеру над зчитувачем радіочастотний імпульс збуджує електронні схеми датчиків, які повертають на зчитувач кодований сигнал, що містить інформацію про вагони або локомотиви. Отримана інформація передається в реальному часі на локальний комп'ютер і при

необхідності далі - через передачу даних в центральний комп'ютер автоматизованої системи управління.

Зчитувачі створюють і передають радіосигнали на електронних маркерах і обробляють сигнал, відбитий від маркеру. Вони обробляють запити читання (запису), переводять радіосигнали для зчитування даних з маркеру і, використовуючи радіочастотну модуляцію, генерують сигнали для запису інформації в маркери. У зчитувачі інтегровано багато функцій, реалізованих за допомогою ідентифікаційного маркеру: визначення напрямку руху, рахунок числа осей рухомого складу (при підключенні додаткового датчика), самотестування [21].

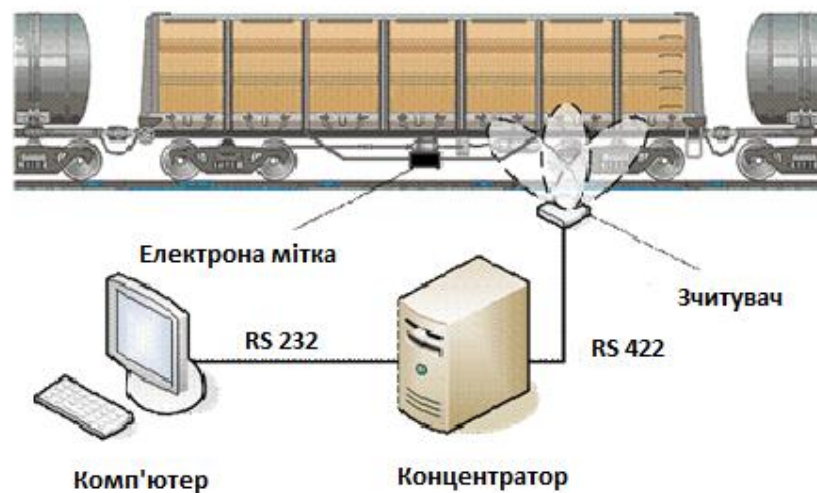


Рис. 1.9. Структурна схема автоматичної ідентифікації рухомого складу AVI Dynicom

Серед значних переваг системи Dynicom - можливість запису в електронний маркер змінної інформації на ходу поїзда. При цьому інформація може записуватися, як від зчитувального пристрою, що відкриває можливість для передачі даних зі шляху на локомотив, так і від датчиків, які встановлюються на самому рухомому складі, що створює системи дистанційної діагностики та реєстрації стану вагонів, локомотивів і грузів [21].

У склад Dypicom входять також інструментарій для програмування та підтримка компонентів системи, що включає пакет програмного забезпечення та інтерфейсів, вбудований в електронний маркер типу DPS і Dypikeu, провідний інтерфейсний адаптер для синхронізації електронного маркеру з датчиками, встановленими на рухомому складі, реєстр поштовхів DECA, а також тестер електронних маркерів.

#### **1.3.4. Система автоматичної ідентифікації «Пальма»**

Система автоматичної ідентифікації (ДАІ) «Пальма» працює на основі НВЧ-технології із застосуванням частот 865, 867 і 869 МГц, що дозволяє зчитувати інформацію на великих відстанях і при високих швидкостях руху.

Базовий рівень системи утворює опромінююча зчитувальна апаратура. До її складу входять зчитувач з антеною і кодовий бортовий датчик. Датчик являє собою пасивний елемент, який не містить джерела живлення; необхідна для його роботи енергія надходить від зчитувача у вигляді електромагнітного сигналу. Дальність роботи безпосередньо залежить від потужності зчитувача. Перевагою пасивних кодових бортових датчиків перед активними, мають джерело живлення, є практично необмежений термін служби - не потрібна заміна елемента живлення.

#### **Склад обладнання системи**

До складу обладнання САІ входять наступні вузли:

- кодовий бортовий датчик - розміщується на рухомому складі в строго визначеному місці (рис.1.10) [19];
- концентратори інформації: лінійного рівня КСАІ-Л та дорожнього рівня КСАІ-Д;
- пункт зчитування інформації (ПСЧ), стаціонарно встановлюється на відстані декількох метрів від залізничної колії в точках контролю;
- пункт кодування датчиків КБД;
- програмне забезпечення.

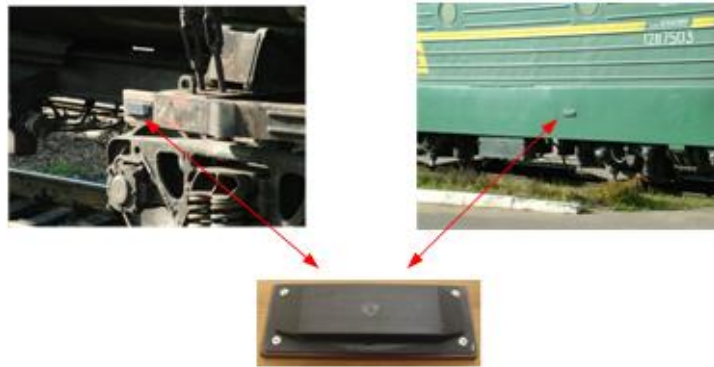


Рис.1.10. Кодовий бортовий датчик

**Структура системи.** При проходженні поїзда повз пункт зчитування (ПСЧ) системи «Пальма» спрацьовують датчики фіксації проходу коліс, що призводить до випромінювання НВЧ – сигналу для живлення кодових бортових датчиків. Зчитана інформація разом з даними про спрацювання колісних датчиків передається в станційний концентратор інформації лінійного рівня.

Структура системи «Пальма» зображена на рис.1.11 [20].

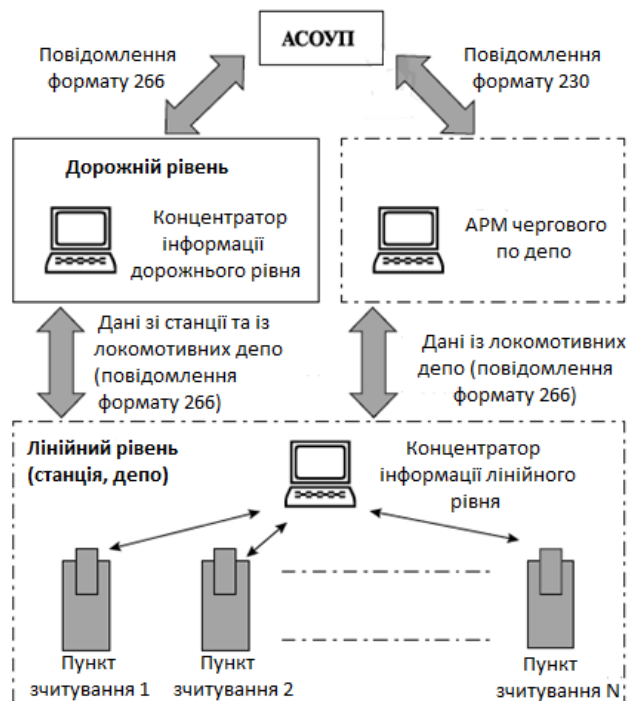


Рис.1.11. Структура системи «Пальма»

**Призначення системи.** Система забезпечує оперативне отримання даних про місцезнаходження локомотивів і вагонів, дозволяючи в реальному масштабі часу визначати не тільки місцезнаходження складів, а й їх стан (наприклад, в якому пункті причеплений або відчеплений конкретний вагон, і т.д.).

Отримана оперативна інформація використовується при вирішенні завдань управління, аналізу, обліку, взаєморозрахунків за користування вагонами, інформування клієнтів залізниць. Автоматична ідентифікація на базі САІ «Пальма» дозволить повністю замінити ручне списування номерів і тим самим забезпечити оперативність і достовірність інформації про рухомий склад.

Система забезпечує діючі інформаційні системи достовірними і повними даними для використання в існуючих технологіях управління експлуатаційною роботою. З її допомогою може бути отримана наступна інформація:

- час і дата прибуття, відправлення, прослідування конкретним поїздом станції;
- час і дата проходу контрольного пункту конкретним локомотивом (візит / вихід в / з депо);
- час і дата заходу конкретного локомотива на ремонтні позиції і технічного обслуговування [20].

**За допомогою цієї інформації забезпечується:**

- автоматичний облік операцій з поїздами і локомотивами на станціях;
- автоматичний облік складовою і пробігів пасажирських поїздів;
- автоматичний облік операцій з локомотивами на території локомотивного депо;
- автоматичний облік вантажних вагонів на під'їзних коліях, контроль простою на станціях і визначення часу передачі та повернення з ремонту.

**Алгоритм роботи САІ «Пальма».** Ідея зчитування полягає в наступному. Рухомий склад обладнується кодовими бортовими датчиками

КБД-2М, що несуть інформацію про кожну рухому одиницю. Уздовж залізничної колії, в опорних точках на трасі (на вході і виході зі станції, депо) встановлюються пункти зчитування, при проходженні яких автоматично зчитується інформація з датчиків. Процес зчитування інформації про рухомий склад зображений на рис.1.12 [15].

При в'їзді поїздів в зону контролю спрацьовують пристрої контролю наближення поїзда (електронні педалі або точкові колійні датчики), які замикають коло живлення опромінювально - зчитувальної апаратури (ОЗА) пункту зчитування. ОЗА генерує НВЧ - сигнал в сторону проїжджаючої повз рухомої одиниці. КБД поглинає випромінюваний сигнал. Поглинений сигнал модулюється відповідно до інформації, записаної в ПЗП КБД, і відбивається в сторону ОЗА, де він декодується. За один епізод зчитування ОЗА виробляє багаторазове опитування кожного КБД, що в поєднанні з перешкодостійким кодуванням забезпечує високу достовірність інформації (не більше 1 помилки на 1 млн. зчитувань) [15].

Функціональна схема САІ «Пальма» показана на рис.1.13 [19].

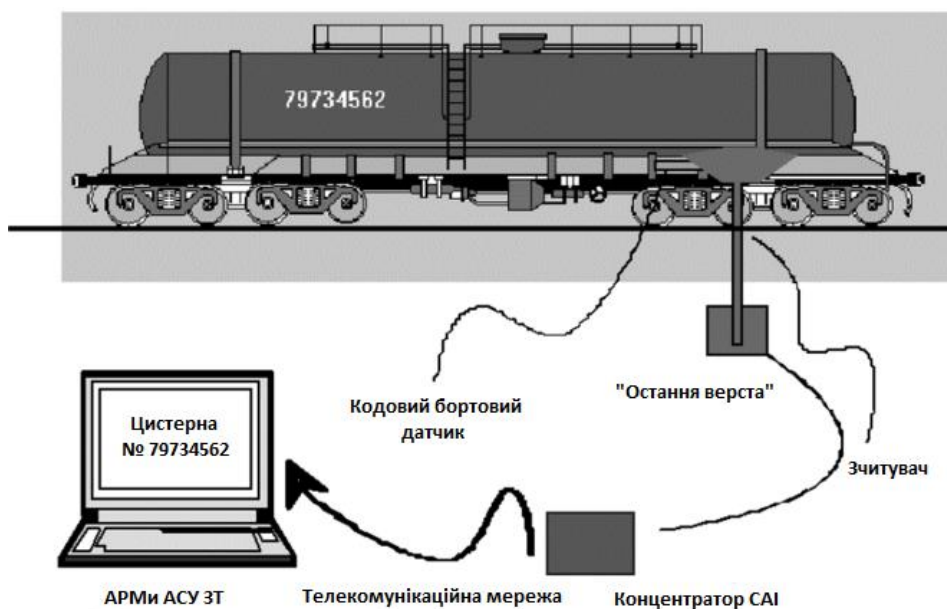


Рис.1.12. Система автоматичної ідентифікації рухомого складу

В процесі зчитування номера виконується рахунок осей вагонів. Лічильники осей дозволяють встановлювати напрямок руху, фіксують

проходження кожного вагона і «прив'язують» лічені номери до конкретних вагонів. Отримана інформація передається на концентратор лінійного рівня, що здійснює збір з усіх пунктів зчитування даного залізничного вузла.

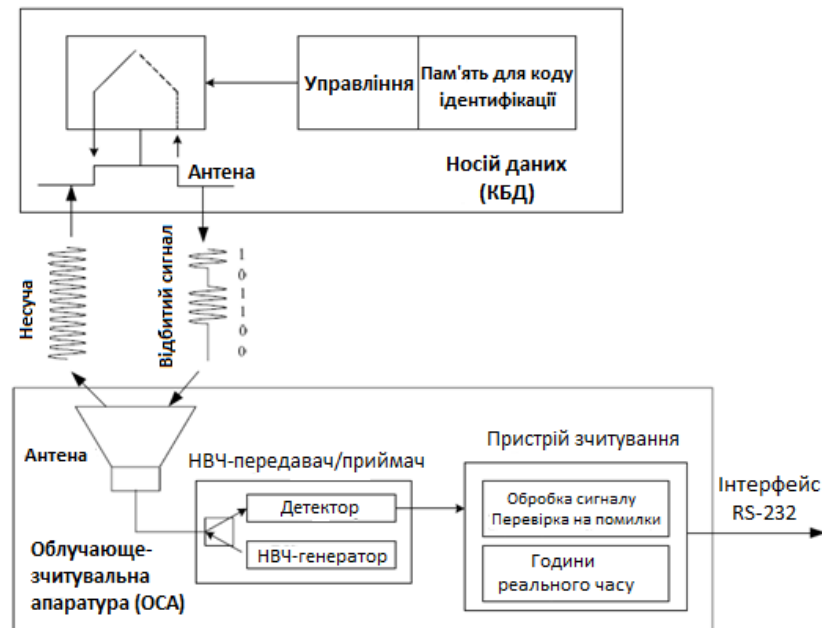


Рис.1.13. Функціональна схема САІ «Пальма»

Після попередньої обробки дані надходять в концентратор дорожнього рівня. Концентратор дорожнього рівня формує кінцеве повідомлення, що містить ідентифікаційні дані рухомих одиниць (8-значний код рухомого засобу, код країни і власника), код станції і код пункту зчитування, напрямок проходження і час проходження, а також перелік рухомих одиниць у складі поїзда.

#### 1.4. Висновки по розділу 1

1. Системи автоматичної ідентифікації рухомого складу забезпечують оптимізацію експлуатаційних витрат, зниження загальної вартості володіння за рахунок своєчасного обслуговування та ремонту, підвищення якості обслуговування клієнтів за рахунок надання оперативної інформації про дислокацію вагонів, зниження ризиків при перевезенні вантажів.

2. На сьогоднішній день найбільш розповсюдженими є системи ідентифікації рухомого складу на базі відеоспостереження та системи радіочастотної ідентифікації. До недоліків систем відеоспостереження відносяться їх залежність від кліматичних умов та забруднень поверхні вагонів. Зазначені недоліки відсутні в системах радіочастотної ідентифікації. Проте для нормальної роботи систем RFID необхідним є розміщення на кожному вагоні спеціальних кодових бортових датчиків, що потребує значних фінансових та часових ресурсів.

3. При розробці систем ідентифікації рухомого складу найбільш правильно розглядати питання про спільне використання на одній контрольній ділянці двох і більш методів ідентифікації, придатних для даної контрольної ділянки з урахуванням її конструктивних особливостей. Подібна інтеграція призведе до підвищення достовірності ідентифікації.

## РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ

### 2.1. Структура та принцип дії системи автоматичної ідентифікації рухомого складу

Пропонується система автоматичної ідентифікації рухомого складу структура та принцип дії якої представлена на рис.2.1.

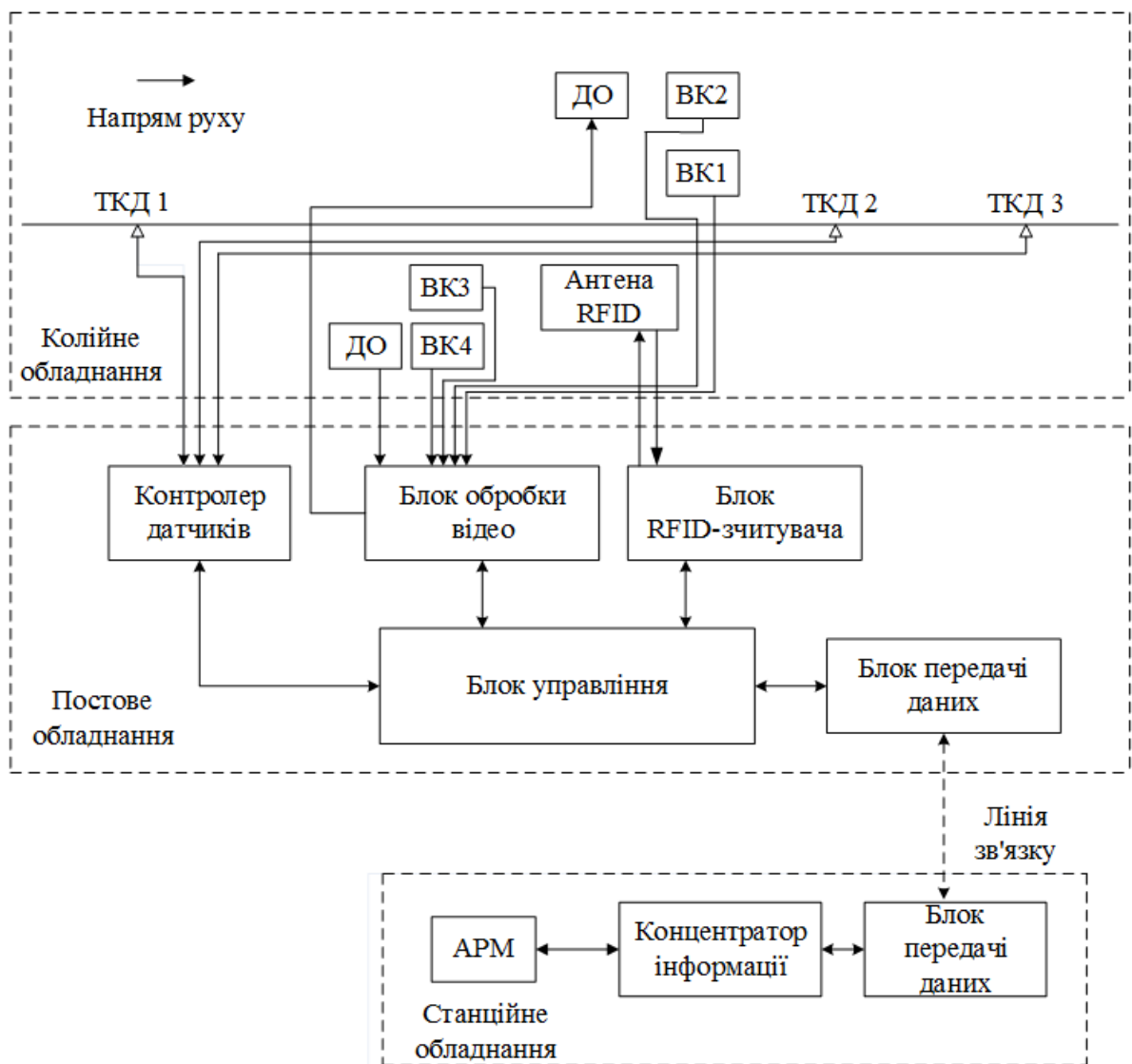


Рис.2.1. Структурна схема системи автоматичної ідентифікації рухомого складу

Система складається з трьох частин: колійного, постового та станційного обладнання.

До колійного обладнання входять: точкові колійні датчики, що фіксують положення колісних пар (ТКД1-ТКД3); відеокамери (ВК1, ВК3 – нижні, ВК2, ВК4 – верхні); джерела освітлення (ДО), які використовуються в нічний час; антена RFID — для прийому та передачі сигналу.

Постове обладнання включає в себе: контролер датчиків, який використовується для обробки отриманих сигналів; блок відеообробки; блоки управління та передачі даних; блок RFID – зчитувача.

Станційне обладнання, яке підключається до постового обладнання через лінію зв'язку (ЛЗ), включає: блок передачі даних; концентратор інформації та АРМ.

Ідея зчитування полягає в наступному. Уздовж залізничної колії, в опорних точках (на вході і виході зі станції, депо) встановлюються пристрої контролю наближення поїзда - точкові колійні датчики (ТКД1-ТКД3), які спрацьовують при в'їзді поїздів в зону контролю.

Спочатку система проводить пошук кодових бортових датчиків (КБД). Якщо такі датчики є на вагонах, то система буде виконувати ідентифікацію рухомого складу по радіочастотному принципу, а якщо ні, то по оптичному принципу ідентифікації.

Розглянемо оптичний принцип ідентифікації рухомого складу. Коли поїзд проїжджає зону контролю, спрацьовує ТКД1. Далі аналогічно вмикаються датчики ТКД2 і ТКД3, при цьому спрацьовують відеокамери, які фіксують номери вагонів та передають дані до блоку обробки відео, який в свою чергу виконує розпізнавання номерів вагонів.

За сигналами від ТКД контролер датчиків, що здійснює збір з усіх пунктів зчитування даного залізничного вузла і передає ці дані до блоку управління, виконує наступні функції:

- фіксація вагону в зоні дії пункту зчитування;
- підрахунок осей та визначення типу вагонів;
- підрахунок вагонів.

Блок управління через блок передачі даних та по лінії зв'язку передає на станційне обладнання номери вагонів.

Концентратор інформації формує кінцеве повідомлення, що містить ідентифікаційні дані рухомих одиниць (8-значний код рухомого засобу, код країни і власника), код станції і код пункту зчитування, напрямок проходження і час проходження, а також перелік рухомих одиниць у складі поїзда та передає ці дані на АРМ (автоматизоване робоче місце оператора).

У випадку якщо при проїзді поїзда були виявлені кодові бортові датчики (КБД), то фіксація даних про рух вагонів буде виконуватися антеною RFID, яка в свою чергу передає дані про вагон на блок RFID – зчитувача. Далі дані аналогічно будуть передаватися до блоку управління та блоку передачі даних та через лінію зв'язку потраплять до станційного обладнання, тобто на АРМ.

## **2.2. Алгоритм роботи системи**

Робота системи автоматичної ідентифікації та діагностування рухомого складу проводиться за алгоритмом, який зображений на рис.2.2.

Існують різні режими системи, такі як режим тестування, режим вимірювання та передачі даних. У випадку відсутності рухомого складу система знаходиться в режимі самотестування, перевіряється справність всіх вузлів та частин апаратури.

Потім перевіряємо чи контрольована ділянка вільна. Якщо так, то самотестування буде проводитися до того часу, доки поїзд не заїде на цю ділянку.

Як тільки поїзд заїжджає на контрольну ділянку, що контролюється за допомогою колійних датчиків, система переходить з режиму самотестування в режим вимірювання, при цьому перевіряється чи денний час. Якщо ні, то вмикається джерело освітлення (ДО), а якщо так, то система переходить до наступного етапу — опитування датчиків.

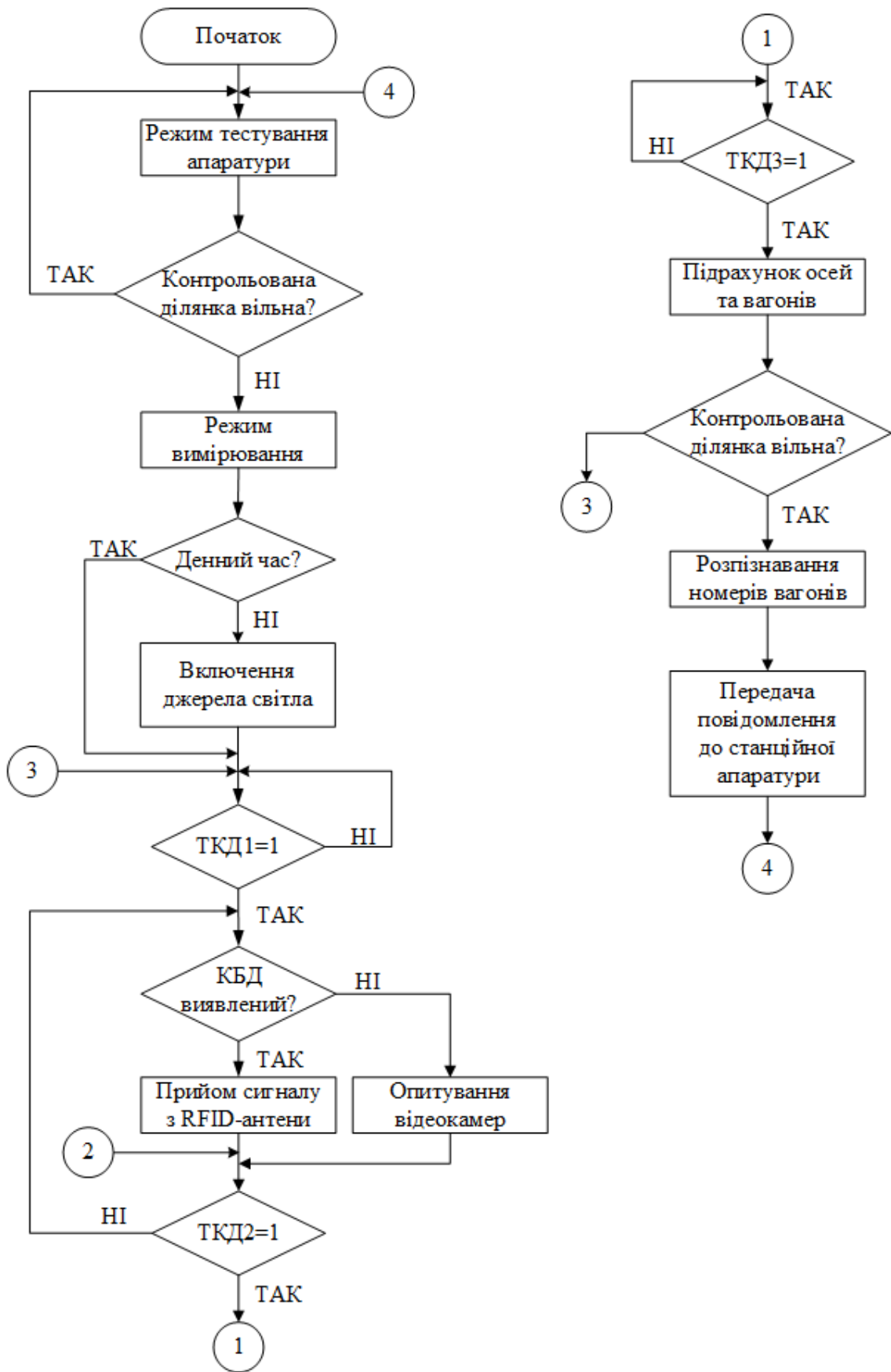


Рис.2.2. Алгоритм роботи системи автоматичної ідентифікації та діагностування рухомого складу

Після включення точкового колійного датчика ТКД1 перевіряємо чи виявлений КБД, тобто чи є на вагоні датчик RFID. Якщо такий датчик був виявлений, то прийом сигналу здійснюється за допомогою RFID - антени, якщо ні, тоді проводиться опитування відеокамер.

Далі після проїзду інших датчиків, тобто датчика ТКД2 та ТКД3, виконується підрахунок осей та вагонів та при перевірці на вільність контрольованої ділянки, проводимо розпізнавання номерів вагонів та виконуємо передачу повідомлення до станційної апаратури.

### 2.3. Алгоритм підрахунку вагонів

Для підрахунку вагонів використовується система, яка включає в себе два колійних датчика Д1 та Д2.

На рис.2.3 приведений рухомий склад з міжосьовими відстанями, де  $b_i$  — міжосьова відстань,  $c$  — крайні осі двох візків,  $a$  — відстань між датчиками.

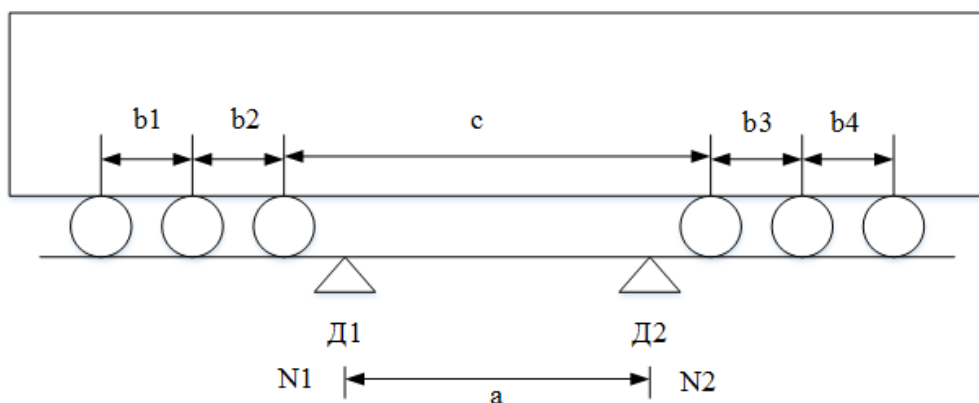


Рис.2.3. Рухомий склад з міжосьовими відстанями

Ми провели аналіз різноманітних типів вагонів та визначили їх міжосьові відстані та відстань між датчиками, яка дорівнює 3,6 м. Тобто виконується умова  $b_i < a < c$ .

В таблиці 2.1. приведені міжосьові відстані для найбільш поширених типів вагонів [7].

Типи вагонів та їх міжосьові відстані

Тип вагона	b1, мм	b2, мм	b3, мм	b4, мм	b6, мм	c, мм
4-вісний критий вагон, модель 10-475	1850	1850				5650
4-вісна короткобазна платформа, модель 13-297	1200	1200				7000
4-вісна фітинг - платформа для великовантажних контейнерів, модель 13-Н455	1850	1850				7870
4-вісний вагон-хопер для перевезення сипучих вантажів, модель 19-187-01	1850	1850				7130
4-вісний спеціалізований піввагон з округленим низом кузова, модель 12-197	1850	1850				6800
4-осная платформа для цистерн, модель 13-149	1850	1850				5950
4-вісна цистерна для в'язких нафтопродуктів, моделі 15-1443-15	1850	1850				5950
6-вісний вагон-самоскид модернізований, модель 31-634	1515	1515	1515	1515		6310
6-вісна платформа для трансформаторів, модель 13-435	1750	1750	1750	1750		5500
6-вісний суцільнометалевий піввагон з розвантажувальними люками в підлозі і торцевими дверима, модель 12-П152	1750	1750	1750	1750		6940
6-вісна цистерна для нафти і бензину, модель 15-Ц865	1750	1750	1750	1750		6800
8-вісний напіввагон, модель 12-508	1850	1350	1850	1850	1350	7020
8-вісна цистерна для нафтопродуктів, модель 15-880	1850	1350	1850	1850	1350	5470

Як видно, всі міжосьові відстані у візках менше, ніж 3.6 м, а центральна міжосьова відстань між крайніми осями — більша, і це дозволяє визначати хвіст вагону та підраховувати кількість вагонів. Тобто виконується умова  $b_i < a < c$ .

Пропонується алгоритм, який зображений на рис.2.4 для підрахунку вагонів.

Для даного алгоритму використовуються такі лічильники:  $N1, N2$  — вказують на кількість осей, що проїхали над датчиками  $D1$  та  $D2$ , відповідно;  $M$  — кількість вагонів.

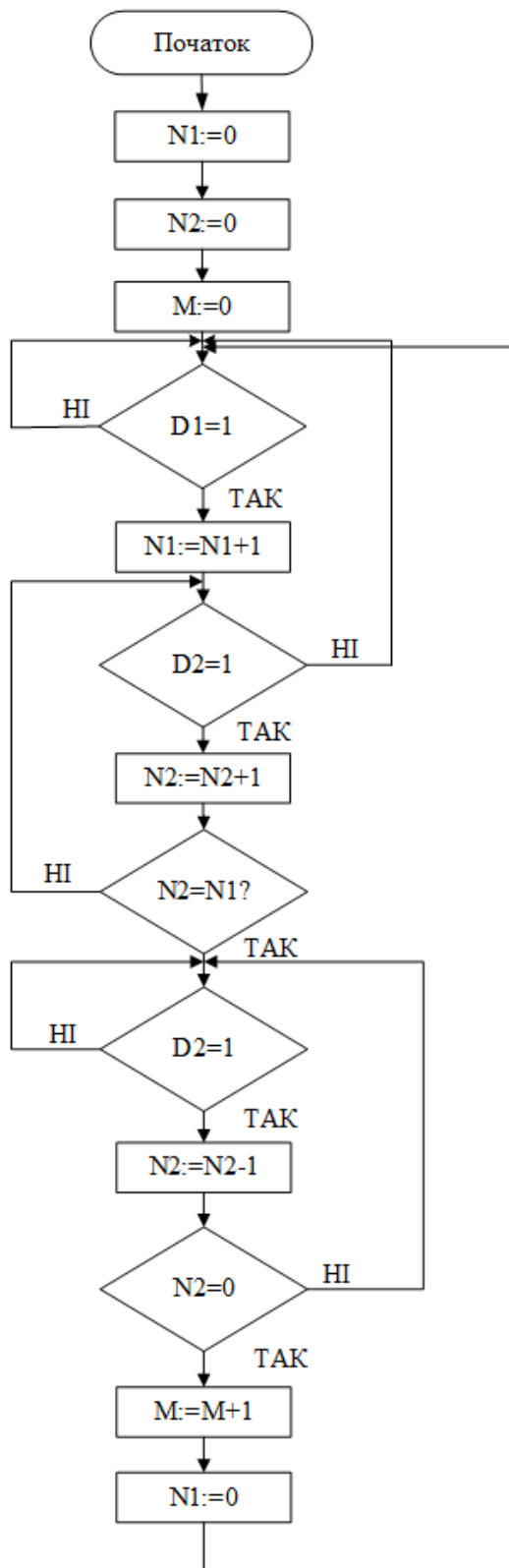


Рис.2.4. Алгоритм підрахунку вагонів

Спочатку виконується обнуління всіх лічильників. Потім перевіряється спрацювання першого датчика. Як тільки датчик Д1 спрацював, виконується інкремент лічильника N1 і таким чином підраховується кількість вагонів у першому візку.

Далі опитується датчик Д2 та виконується інкремент лічильника N2 і таким чином підраховується кількість вагонів, які проїхали над другим датчиком. Як тільки ця кількість буде рівною ( $N2=N1$ ), то це означає, що перший візок повністю проїхав другий датчик.

Тоді відомо скільки осей в кожному візку і далі виконується підрахунок осей, які проїхали над другим датчиком. Як тільки ця кількість дорівнює кількості осей першого візка — це означає, що другий візок повністю проїхав, а отже це кінець вагону і виконується інкремент датчика кількості вагонів M і так далі.

Таким чином визначається кінець вагону та підрахунок кількості вагонів рухомого складу.

#### **2.4. Датчики проходу колісних пар ДПД-01**

Надійна робота СЗАТ, що мають в своєму складі датчики для рахунку осей, багато в чому залежить від достовірності первинної інформації, що надходить від них. Наприклад, помилки в рахунку осей рухомого складу призводять до порушення контролю теплового стану букс в експлуатованих зараз системах ДИСК-Б, ПОНАБ і АСДКБ. В даний час існують різні схемні і конструктивні рішення датчиків рахунку осей, що відрізняються по типам, системам і методам обробки первинної інформації.

Датчики проходу колеса серії ДПД розроблені для використання в пристроях і системах залізничної автоматики і метрополітену для фіксації моменту проходження осі колеса рухомої одиниці рейкового транспортного засобу щодо центру датчика. Датчик проходу колеса серії ДПД складається з чутливого елемента - колійного датчика ДПД і вузла кріплення датчика до рейки.

### **Типи датчиків, [14]:**

- У серії представлені датчики: ДПД-01, ДПД-02, ДПД-03 і ДПД-03Т - використовуються для установки на рейку Р65, Р75. Датчики ДПД-01М, ДПД-02М, ДПД-03М і ДПД-03ТМ- використовуються для установки на рейку Р50.

- Сімейство датчиків ДПД-01 - датчики з аналоговим вихідним сигналом у вигляді двохполярного імпульсу напруги (дві напівхвилі з чергується полярністю). Зміна полярності відбувається в момент проходження осі симетрії колеса над центром датчика.

- Сімейство датчиків ДПД-02 - датчики з двома типами вихідного сигналу: імпульс струму по ланцюгу живлення датчика в момент проходження осі симетрії колеса над центром датчика; аналоговий у вигляді двох напівхвиль.

- Сімейство датчиків ДПД-03 - датчики, що мають два сигнальних виходу, на кожному з яких при проході колеса над датчиком генерується сигнал у вигляді спадної напівхвилі. Ці сигнали зміщені в часі. У момент проходження осі симетрії колеса над центром датчика напруга на обох виходах зрівнюється. За відсутності колеса напруга на обох виходах постійно і має максимальне значення.

- Сімейство датчиків ДПД-03Т - датчики, що мають два сигнальних виходах, на відміну від датчиків ДПД-03, кожен з сигнальних виходів є джерелом струму.

Датчики кріпляться до підшви рейки спеціально розробленим вузлом кріплення, що складається з струбцини і кронштейна, на який встановлюється Датчик. Струбцина забезпечує установку, фіксацію датчика і регулювання його положення щодо рейки у вертикальній і горизонтальній площинах.

Розглянемо датчик проходження колісних пар ДПД-01 (рис.2.5) [14].

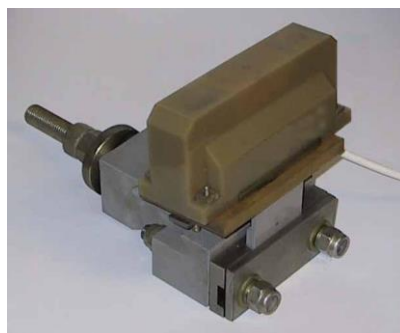


Рис.2.5. Зовнішній вигляд точкового колійного датчика проходу коліс

Технічні характеристики датчика ДПД-01 представлені в таблиці 2.2 [14].

Таблиця 2.2

### Основні технічні характеристики датчика ДПД-01

Параметр	Значення
Робочий діапазон швидкостей проходу поїзда, км/г	0 ... 300
Довжина зони дії колеса щодо осі датчика, см	$\pm (20 \dots 25)$
Точність положення осі, не гірше, мм	$\pm 5$
Напруга живлення, В	+12 ( $\pm 0,36$ )
Максимальний струм споживання, не більше, мА	20
Опір навантаження, не менше, кОм	20
Потужність споживання, не більше, Вт	0,5
Глибина установки від головки рейки, мм	45 ( $\pm 2$ )
Установка від бічної стінки головки рейки, мм	6 ( $\pm 1$ )
Вихід датчика - трьохпровідний кабель, довжина, м	2
Діапазон робочих температур, °С	мінус 40...+60
Електрична ізоляція від рейки - відповідно до РД 32 ЦШ05.30-90	

### **Особливості датчика ДПД-01, [14]:**

- Датчик реагує на момент проходження осі колеса над віссю симетрії датчика. Його реакція не залежить від швидкості поїзда (в діапазоні швидкостей від 0 до 300 км / год), діаметра колеса і відстані поверхні датчика від поверхні катання рейки.

- Похибка фіксації моменту проходження осі колісної пари над віссю симетрії датчика не більше 10 мм.

- Точність датчика забезпечує високоточне вимірювання швидкості проходження кожної осі поїзда і безпомилкове розпізнавання типу рухомої одиниці за обчисленими міжосьовим відстаням.

- Конструкція вузла кріплення датчика забезпечує надійне кріплення датчика до підшви рейки із забезпеченням розв'язки від впливу ударів і вібрацій.

Чутливими елементами датчика є дві котушки, намотані на феритових стрижнях-сердечниках. На кожній з котушок зібраний резонансний контур. Контури отримують живлення від вбудованого генератора змінної напруги частотою 30 ... 40 кГц. Виходи контурів підключені до входів амплітудних детекторів, виходи яких диференційно включені на вхід підсумовуючого підсилювача. Вихід підсилювача є вихідним сигналом датчика.

Котушки і електронні компоненти датчика розміщені в пластмасовому корпусі з поліаміду і залиті кремній органічним компаундом. Датчик кріпиться до підшви рейки струбциною, що забезпечує надійне кріплення датчика і його захист від ударів і вібрацій.

При установці датчика на рейок чутливі елементи датчика - котушки розташовуються уздовж рейки. При відсутності колеса в зоні чутливості датчика напруги на контурах рівні, і вихідна напруга на виході підсумовуючого підсилювача дорівнює нулю. При вході колеса в зону дії датчика воно наближається до першої по ходу поїзда котушки датчика, електромагнітне поле якої індукує в металевій масі колеса вихрові струми, що викликають зменшення еквівалентного опору контуру першої котушки і,

відповідно, зменшення напруги на виході підсумовуючого підсилювача. У міру переміщення колеса щодо датчика це напруга зменшується, досягає мінімуму і збільшується до нуля в момент, коли вісь колеса знаходиться над серединою датчика.

Часова діаграма сигналів ДКП представлена на рис.2.6. [14].

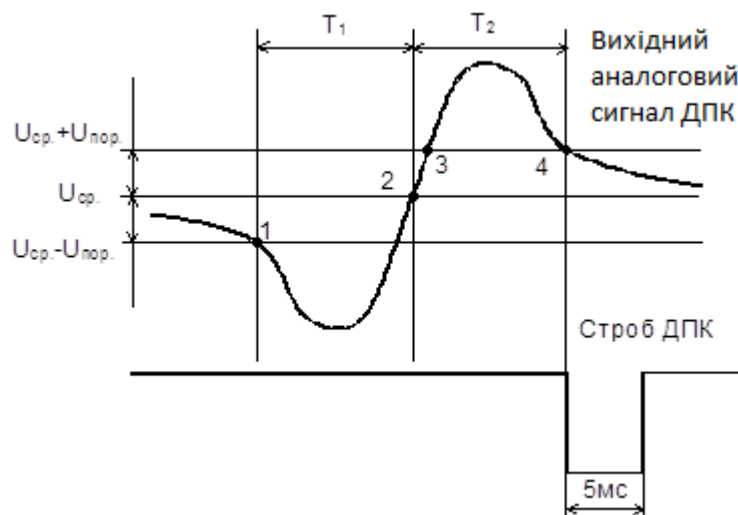


Рис.2.6. Часова діаграма сигналів ДКП

У цей момент колесо розташовується симетрично щодо двох котушок датчика і еквівалентні опори їх контурів рівні. При подальшому переміщенні колеса воно віддаляється від першої котушки і наближається до другої, що призводить до зміни полярності напруги на виході підсумовуючого підсилювача, яке досягає максимуму, коли вісь колеса знаходиться над другою котушкою, і стає рівним нулю, коли колесо виходить із зони дії датчика. Таким чином, датчик ДПД-01 реагує на проходження колеса імпульсом, що складається з двох напівхвиль - негативної і позитивної полярності. Момент переходу від негативної напівхвилі до позитивної відповідає проходу осі колеса над серединою датчика.

Вихідна напруга датчика не залежить від швидкості поїзда, а визначається тільки положенням колеса щодо датчика і висотою його реборди.

Диференціальне включення чутливих елементів датчика захищає його від впливу зовнішніх електромагнітних полів, в тому числі від полів, створюваних зворотними тяговими струмами.

#### **Переваги датчика ДПД-01, [14]:**

- Висока стабільність визначення моменту проходу осі симетрії колеса над центром датчика для всіх рухомих одиниць поїзда;
- стійкість до перешкод від зовнішніх електричних і магнітних полів, в тому числі нечутливість до тяговим струмів і імпульсних перешкод, створюваних іскровий розряд. Підвищена стійкість до вібраційних і ударних навантажень на рейку, що забезпечується завдяки використанню спеціально розробленого вузла кріплення датчика до рейки;
- незалежність амплітуди вихідного сигналу і зони чутливості датчика від швидкості руху поїзда;
- швидка і легка установка на рейки, яка не потребують різальних, зварних і свердлильних робіт.

### **2.5. Висновки по розділу 2**

1. Для зчитування номерів вагонів запропоновано використовувати гібридну систему автоматичної ідентифікації, яка складається з підсистем оптичної та радіочастотної ідентифікації. Пріоритетною є більш достовірна радіочастотна ідентифікація. Проте, якщо вагон не має кодових бортових датчиків (RFID-транспондерів), номер вагону визначається шляхом оптичного розпізнавання.

2. Запропоновано алгоритм визначення типу вагона та підрахунку кількості вагонів. При розробці алгоритму були враховані симетричні властивості вагону, а також співвідношення міжосьових відстаней.

3. Для підрахунку осей та вагонів запропоновано використовувати датчики ДПД-01. При проїзді колісної пари такий датчик формує двохполярний вихідний імпульс, що дозволяє визначити положення осі з високою точністю.

## РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ ОПТИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РУХОМИХ ОДИНИЦЬ

### 3.1. Структура та принцип дії підсистеми оптичної ідентифікації рухомих одиниць

Технологія і засоби оптичної ідентифікації вагонів розвиваються і набувають все більшого поширення при вирішенні завдань контролю пересування об'єктів рухомого складу на території великих промислових підприємств і комерційного обліку сировини і продукції, що переміщуються залізничним транспортом.

Структурна схема підсистеми оптичної ідентифікації приведена на рис.3.1.

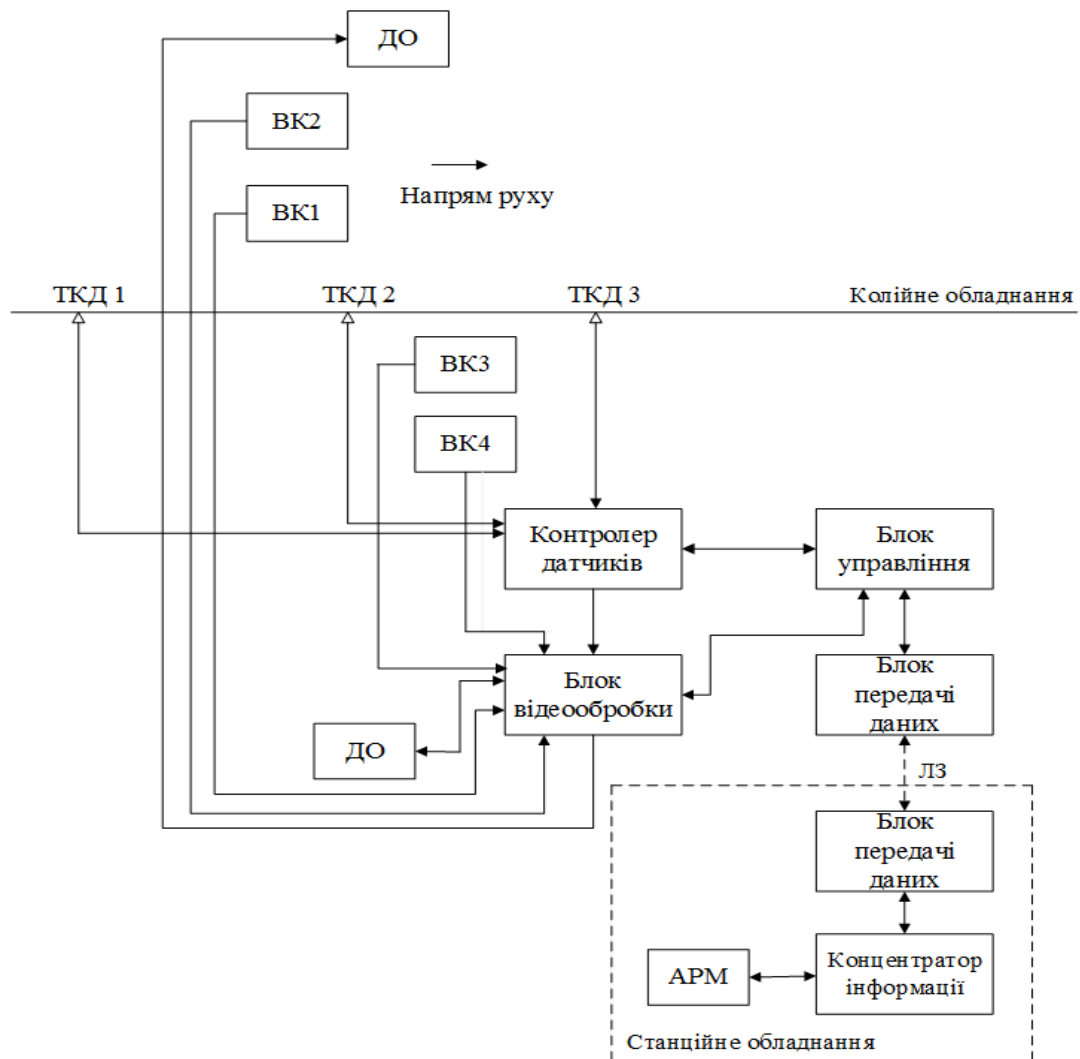


Рис.3.1. Структурна схема підсистеми оптичної ідентифікації

Колійне обладнання підсистеми включає в себе: точкові колійні датчики, що фіксують положення колісних пар (ТКД1-ТКД3); відеокамери (ВК1, ВК3 – нижні, ВК2, ВК4 – верхні); контролер датчиків, який використовується для обробки отриманих сигналів; джерело освітлення (ДО), яке використовується в нічний час; блок відеообробки; блоки управління та передачі даних.

Станційне обладнання, яке підключається до колійного обладнання через лінію зв'язку (ЛЗ), включає: блок передачі даних; концентратор інформації та АРМ.

Ідея зчитування полягає в наступному. Уздовж залізничної колії, в опорних точках (на вході і виході зі станції, депо) встановлюються пристрої контролю наближення поїзда - точкові колійні датчики (ТКД1-ТКД3), які спрацьовують при в'їзді поїздів в зону контролю.

Коли поїзд проїжджає зону контролю, спрацьовує ТКД1. Далі аналогічно вмикаються датчики ТКД2 і ТКД3, при цьому спрацьовують відеокамери, які фіксують номери вагонів.

За сигналами від ТКД контролер датчиків, що здійснює збір з усіх пунктів зчитування даного залізничного вузла і передає ці дані до блоку відеообробки та блоку управління, виконує наступні функції:

- 1) реєстрація поїзда в зоні дії підсистеми ідентифікації;
- 2) підрахунок осей та вагонів;
- 3) фіксація вагону в зоні дії відеокамер.

Блок управління порівнює отримані дані, які потім після обробки надходять до блоку передачі даних та по лінії зв'язку передаються на станційне обладнання.

Концентратор інформації формує кінцеве повідомлення, що містить ідентифікаційні дані рухомих одиниць (8-значний код рухомого засобу, код країни і власника), код станції і код пункту зчитування, напрямок проходження і час проходження, а також перелік рухомих одиниць у складі поїзда та передає ці дані на АРМ (автоматизоване робоче місце оператора).

### 3.2. Алгоритм автоматичного розпізнавання номерів рухомих одиниць

Розпізнавання букв і чисел – це ідентифікація символів, які містяться в зображенні номерного знака. У цьому процесі використовуються зображення, які були виділені від стадії вилучення символів як вхідні зображення.

На рис.3.2 зображений запропонований алгоритм автоматичного розпізнавання номерів вагонів.

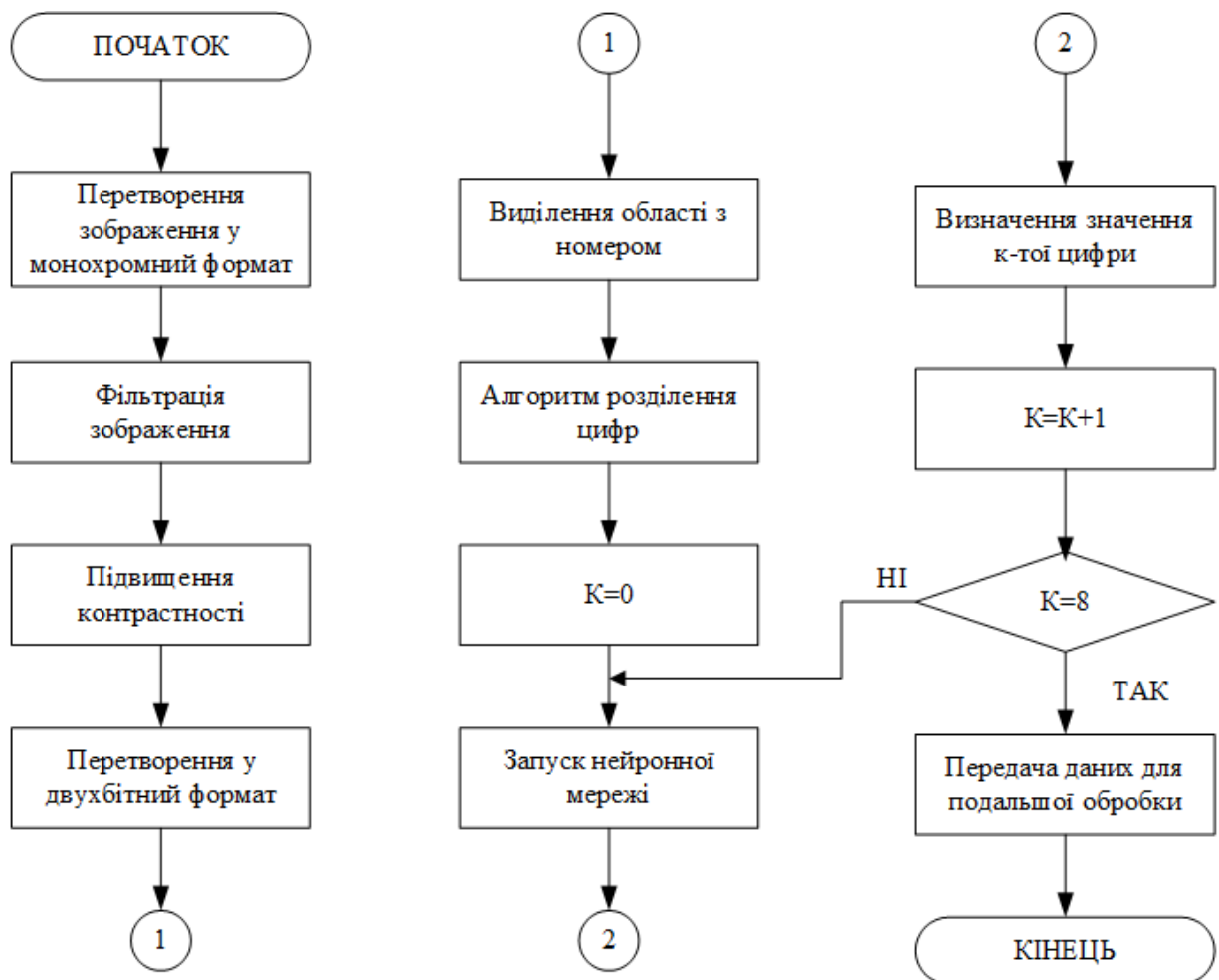


Рис.3.2. Алгоритм автоматичного розпізнавання рухомих одиниць

**Першим етапом** автоматичного розпізнавання є попередня обробка зображення, яка включає в себе:

- перетворення зображення у монохромний формат;

- фільтрація зображення (видалення шуму);
- підвищення контрастності;
- перетворення у двухбітний формат.

**Перетворення зображення у монохромний формат.** Передобробка виконується на зображенні для поліпшення якості зображення так, щоб розпізнавання на зображенні здійснювалося ефективніше.

Порогова обробка перетворює кольорове або сіре зображення в чорно-біле зображення. Порогові перетворення займають центральне місце в прикладних задачах сегментації зображень завдяки інтуїтивно зрозумілим властивостям і простоті реалізації. Для кожного пікселя в зображенні, його рівень інтенсивності досліджений, якщо це - вище деякого порогового рівня, це перетворено до білого. Якщо це - нижче порога набору, це встановлено в чорний. Граничний рівень буде між 0 і 255.

**Фільтрація зображення.** Зазвичай зображення, сформовані різними інформаційними системами, спотворюються дією завад. Це ускладнює як їхній візуальний аналіз, так і автоматичну обробку. При вирішенні деяких завдань обробки зображень у ролі завад можуть виступати ті або інші компоненти самого зображення.

Ослаблення дії завад досягається фільтрацією. При фільтрації яскравість (сигнал) кожної точки вихідного зображення, спотвореного завадою, замінюється деяким іншим значенням яскравості, яке в меншій мірі було спотворене завадою.

**Підвищення контрастності.** Спочатку виконуємо інверсію кольору, в нашій системі чорний колір - це нуль, а білий - одиниця. Отримані інверсні зображення символів доповнюємо нулями (чорним кольором) до певних розмірів (30x20 пікселів) таким чином, щоб символ знаходився в центрі. Цей метод підвищує контрастність і деталізованість зображення, дає можливість оцінити границі переходів від одного рівня яскравості до іншого. В результаті отримується чорно-біле представлення зображення з високим контрастом.

**Перетворення у двухбітний формат.** Перетворення зображення у бітовий режим зменшує кількість кольорів у зображенні до двох, що набагато спрощує відомості про кольори в зображенні та зменшує розмір файлу.

На **другому етапі** ми виділяємо область з номером вагону і переходимо до алгоритму розділення цифр, де формуються вісім зображень розміром 30x20 пікселів (опис алгоритму розділення цифр приведено нижче на рис.3.3). Приймаємо  $K=0$ , де  $K$  — лічильник цифр, та запускаємо нашу нейронну мережу.

**Третім етапом** є визначення значення  $k$ -тої цифри номеру вагону. Приймаємо  $K$  рівним  $K+1$  і переходимо на наступний крок. Наприклад, перевіряємо рівність  $K=8$ . Якщо так, то здійснюється передача даних для подальшої обробки, а якщо ні, то знову запускаємо нейронну мережу і перевіряємо ще раз і так далі.

**Розглянемо алгоритм розділення цифр.** В нейронній мережі ми розділили номер вагону на 8 зображень, де одне зображення — одна цифра. Кожна цифра представлена у вигляді пікселів розмірами 30x20.

Даний алгоритм будується на визначенні границь білих та чорних пікселів, де  $J$  — лічильник стовпців;  $I$  — лічильник рядків;  $N$  — лічильник цифр.

Спочатку всі лічильники скидаємо в нуль та знаходимо границі виділеної цифри зліва по стовпцях, а потім справа. Якщо в знайденому стовпці виявилась одиниця (чорний колір), то мережа запам'ятовує цей стовпець і переходить далі поки не проаналізує всі стовпці.

Після того як мережа виділила всі необхідні стовпці, де присутня одиниця (початок цифри), переходимо до розпізнавання рядків. Таким чином ми знаходимо границі цифри зверху —вниз. Алгоритм розпізнавання рядків аналогічний алгоритму розпізнавання стовпців.

Отже, завдяки такому алгоритму розпізнавання цифр ми проводимо аналогічні маніпуляції з усіма іншими цифрами доки нейронна мережа не знайде значення всіх цифр, тобто номеру вагону вказаному на зображенні.

Приведений алгоритм розділення цифр зображено на рис.3.3.

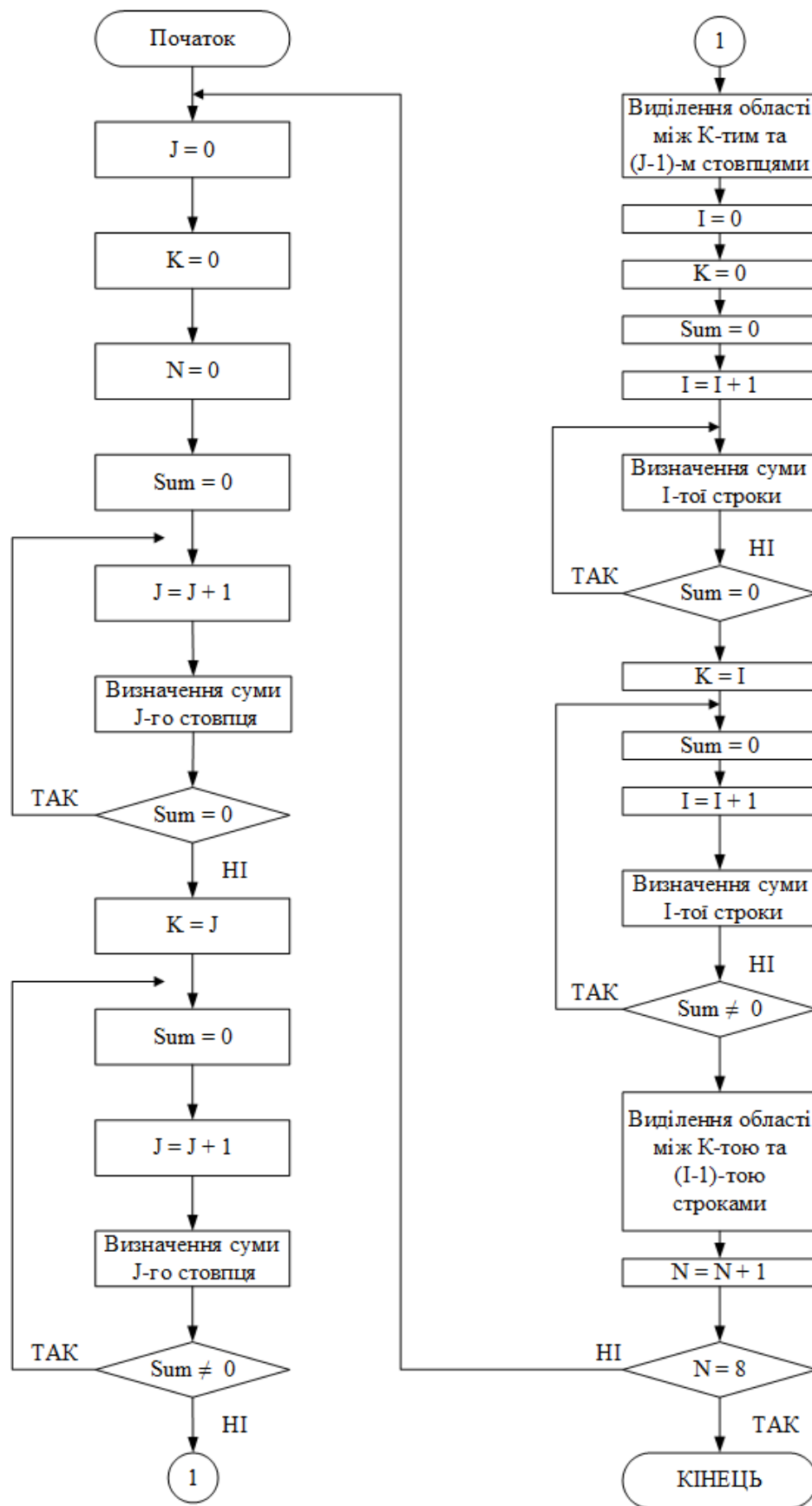


Рис.3.3. Алгоритм розділення цифр

### **3.3. Огляд нейромережевих технологій штучного інтелекту**

Сьогодні є безперечним значний науковий та практичний інтерес до обчислювальних структур нового типу – штучних нейронних мереж. Він спричинений низкою успішних застосувань цієї нової технології, яка дозволила розробити ефективні підходи до вирішення проблем, що вважалися складними для реалізації на традиційних комп'ютерах.

Поняття "нейронні мережі" з'явилося в 40-х роках ХХ століття в середовищі нейробіологів і нейроанатомів, які вивчали організацію і функціонування мозку. У процесі вивчення з'ясувалося, що мозок має приголомшливу складність (майже 100 мільярдів нейронів і кілька трильйонів сполук). Поглиблення уявлень про функціонування нейронів дало можливість дослідникам створювати різноманітні математичні моделі.

**Нейронні мережі** – обчислювальні структури, які моделюють прості біологічні процеси, що асоціюються з процесами людського мозку. Вони представляють собою системи, здатні до навчання шляхом аналізу позитивних і негативних впливів. Елементарним перетворювачем в даних мережах є штучний нейрон або просто нейрон, названий так за аналогією з біологічним прототипом.

#### **3.3.1. Структура та властивості штучного нейрона**

Структура штучного нейрона показана на рис. 3.4 [9]. До складу нейрона входять помножувачі (синапси), суматор і нелінійний перетворювач.

Синапси здійснюють зв'язок між нейронами і множать вхідний сигнал на число, що характеризує силу зв'язку, – вага синапса. Суматор виконує додавання сигналів, що надходять по синаптичних зв'язках від інших нейронів, і зовнішніх вхідних сигналів. Нелінійний перетворювач реалізує нелінійну функцію одного аргументу – виходу суматора. Ця функція називається функцією активації або передатною функцією нейрона.

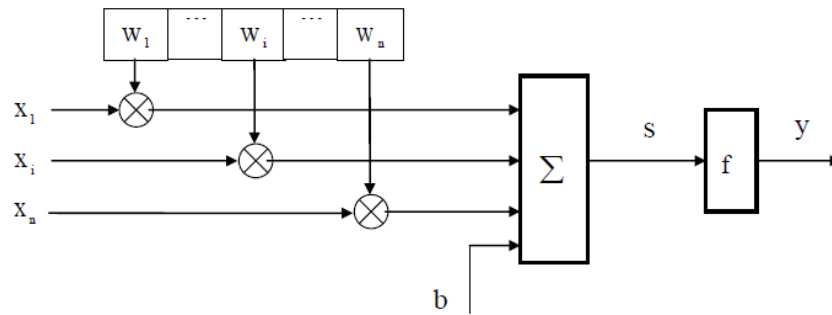


Рис.3.4. Структура штучного нейрона

Нейрон в цілому, реалізує скалярну функцію векторного аргументу. Не важко побудувати математичну модель описаного процесу. Математична модель нейрона описується співвідношеннями:

$$s = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b_i, \quad y = f(s),$$

де  $w_i$  – вага синапсу,  $i = 1, \dots, n$ ;  $s$  – результат підсумовування;  $x_i$  – компонент вхідного вектора (вхідний сигнал);  $y$  – вихідний сигнал нейрона;  $n$  – число входів нейрона;  $f$  – нелінійне перетворення (функція активації або передатна функція);  $b_i$  – значення зміщення (у нейронну мережу іноді вводять зміщення, яке діє як ваговий коефіцієнт від комірки з активацією, що дорівнює 1; зсув збільшує вхідний вплив на одиницю; замість зміщення в ряді випадків застосовується фіксований поріг для функції активації).

**Властивості штучного нейрона.** Успішний розвиток теорії нейронних мереж за останнє десятиліття дозволив реалізувати ряд таких глобальних властивостей. Найвідомішими з них є навчання, узагальнення та абстрагування.

Властивість навчання проявляється у здатності нейронної мережі змінювати свою поведінку в залежності від стану навколишнього середовища. Завдяки саме цій властивості нейронні мережі привертають до себе значну увагу. Існує велике розмаїття алгоритмів навчання нейронних мереж, кожен з яких має свої сильні та слабкі сторони, але сьогодні ще не

сформовано єдиної думки про те, чому можна навчити нейронну мережу і як таке навчання має проводитись.

Властивість узагальнення дає можливість нейронній мережі знижувати чутливість до незначних флуктуацій вхідних сигналів. Ця властивість дуже важлива для об'єктів, які існують у реальному середовищі. Особливістю нейромережевого підходу в даному випадку є те, що узагальнення — це результат властивостей структури, а не роботи спеціальної програми на традиційному комп'ютері.

Властивість абстрагування дозволяє створювати на нейронній мережі нову сутність, виходячи з аналізу вхідної інформації. Особливо ця властивість проявляється для задач розпізнавання образів. Завдяки їй нейромережа може створювати деякий ідеальний образ, керуючись вхідною інформацією, яка має деякі властивості цього образу.

### **3.3.2. Класифікація нейронних мереж та їх властивості**

**Штучна нейронна мережа (ШНМ)** – це набір нейронів, з'єднаних між собою. Існує безліч нейронних мереж, які класифікуються за кількома ознаками. Найбільше поширення одержали шаруваті мережі прямого поширення.

Як правило, передаточні функції всіх нейронів у мережі фіксовані, а ваги є параметрами мережі і не можуть змінюватись. Деякі входи нейронів помічені як зовнішні входи мережі, а деякі виходи – як зовнішні виходи мережі.

Подаючи будь-які числа на входи мережі, ми отримуємо якийсь набір чисел на виходах мережі. Таким чином, робота нейромережі полягає в перетворенні вхідного вектора  $X$  у вихідний вектор  $Y$ , при чому це перетворення задається вагами мережі.

Класифікація штучних нейронних мереж представлена на рис.3.5 [16].

Перш ніж перейти до класифікації, доцільно визначитися з деякими широкоживаними (але не стандартизованими) на сьогодні термінами.

**Елементарний нейрон** — адаптивний або квадратичний суматор з функцією активації. Має декілька входів, зважена сума яких потрапляє на єдиний вихід через певну функцію активації [3].

**Шар нейронів** – сукупність нейронів з єдиними вхідними сигналами. Кількість нейронів шару не залежить від сусідніх шарів [3].

**Вхідний шар** — іноді вхідним шаром вважають точки розгалуження, але все ж таки доцільно вважати вхідним шаром перший шар повноцінних нейронів, які мають вагові коефіцієнти [3].

**Вихідний шар** — виходи нейронів цього шару вважаються виходом мережі, тому їх кількість визначається розмірністю вихідного вектора [3].

**Прихований шар** — всі шари нейронів, що знаходяться між вхідним і вихідним шаром [3].

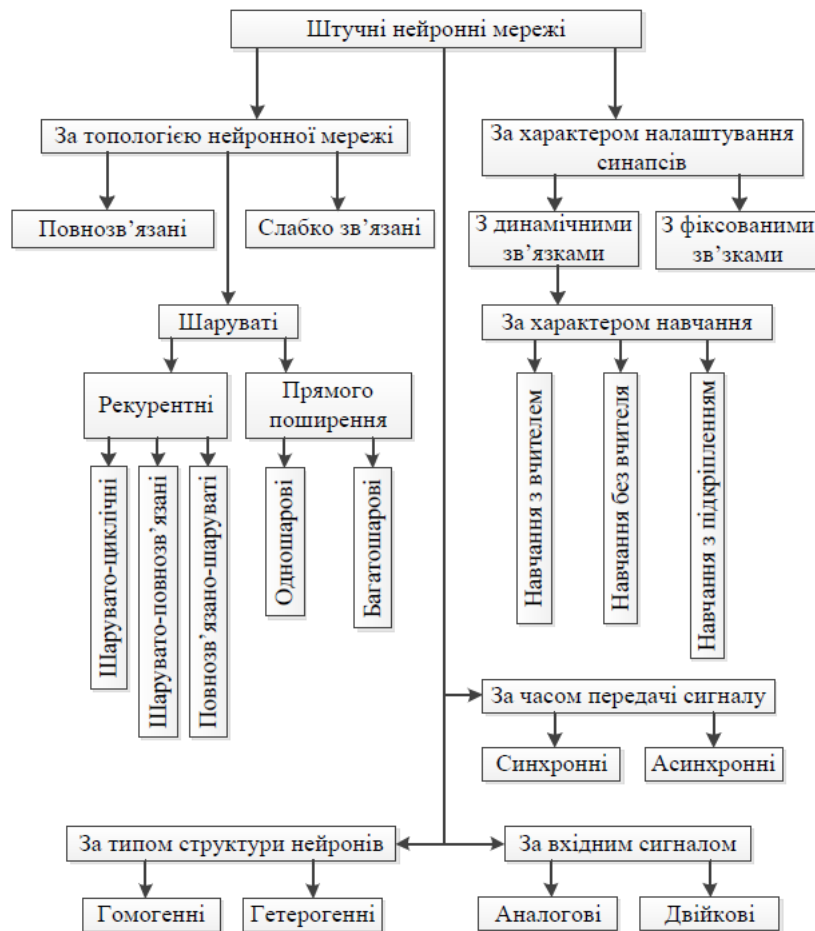


Рис.3.5.Класифікація нейронних мереж

Нейронні мережі розрізняють за структурою мережі (зв'язками між нейронами), особливостями моделі нейрона, особливостями навчання мережі. За структурою нейронні мережі можна розділити (рис.3.6 [16]) на неповнозв'язні (або шаруваті) і повнозв'язні, з випадковими та регулярними зв'язками, з симетричними і несиметричними зв'язками.

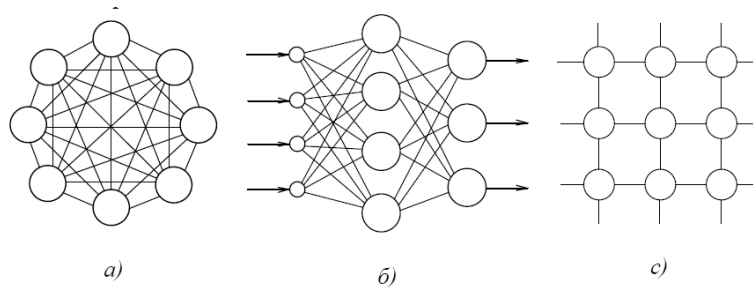


Рис. 3.6. Архітектура нейронних мереж: а – повнозв'язана; б – багатошарова; с – слабо зв'язана.

До повнозв'язаних мереж можна віднести мережу Хопфілда [9] та мережу Коско [16], вони характеризуються тим, що кожен нейрон передає свій вихідний сигнал решті нейронів. Вхідні сигнали потрапляють на всі нейрони, а вихідними можуть бути сигнали як частини, так і всіх нейронів після декількох циклів функціонування.

У слабо зв'язаних мережах нейрони розміщуються у вузлах прямокутної чи гексагональної решітки. Кожен нейрон пов'язаний з чотирма (околиця фон Неймана), шістьма (околиці Голея) або вісьмома (околиці Мура) сусідніми нейронами.

Шаруваті мережі містять шари нейронів, і в свою чергу за характером зв'язків між ними поділяються на мережі прямого поширення — нейрони вхідного шару отримують сигнали, перетворюють їх і передають нейронам наступного прихованого шару, і так далі до вихідного шару, та рекурентні мережі, тобто мережі зі зворотними зв'язками.

Неповнозв'язні нейронні мережі (описувані неповнозв'язним орієнтованим графом і зазвичай звані перцептронами), підрозділяються на одношарові (найпростіші перцептрони) і багатошарові, з прямими,

перехресними і зворотними зв'язками. Класичним варіантом шаруватих мереж є мережі прямого поширення (рис.3.7 [9]).

**Перцептрон** — найпростіша мережа, що складається лише з одного нейрону.

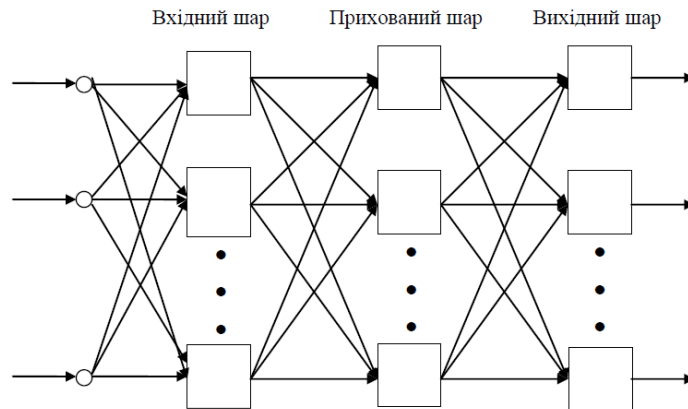


Рис.3.7. Багатошарова (двошарова) мережа прямого поширення

Серед рекурентних мереж за глибиною зв'язку розрізняють:

- шарувато-циклічні, в яких шари замкнені в кільце — вихідний шар передає значення своїх виходів до вхідного шару;

- шарувато-повнозв'язані, кожен шар являє собою повнозв'язану систему, де сигнали передаються як між шарами, так і в середині них. Функціонують в три етапи: прийом сигналів з попереднього шару, обмін сигналу в середині шару, передача результату наступному шару;

- повнозв'язано-шаруваті, по структурі аналогічні до попередніх, тільки в них не розрізняють обробку в шарі і між шарами, а процес відбувається одночасно.

Наступним важливим критерієм для класифікації являється характер налаштування синапсів. За яким розрізняють нейронні мережі з фіксованими зв'язками, у яких вагові коефіцієнти на початку роботи з мережею розраховуються за формулою і залишаються незмінні протягом її функціонування; та мережі з динамічними зв'язками, у яких вагові коефіцієнти визначаються випадковим чином, а потім змінюються в процесі роботи відповідно до певного характеру навчання:

- навчання з вчителем — для кожного набору навчальної вибірки відомі вихідні значення;

- навчання без вчителя — формування вагових коефіцієнтів відбувається виключно по вхідним значенням, такі мережі ще називають мережами, які самоорганізуються;

- навчання з підкріпленням — система призначення штрафів та заохочень середовища.

За часом передачі сигналу розрізняють синхронні та асинхронні нейронні мережі. До синхронних мереж відносяться такі, в яких час передачі сигналу між нейронами рівний нулю, або має певну однакову для всіх фіксовану величину. В асинхронних мережах час затримки сигналу різний для різних зв'язків.

За вхідним сигналом мережі поділяються на двійкові та аналогові. У двійкових мережах використовують порогову функцію активації, а у аналогових — будь-яку з неперервних.

За типом структури нейронів розрізняють гомогенні мережі, в яких всі нейрони однакові, та гетерогенні, які поєднують нейрони з різними активаційними функціями.

Відсутність єдиної класифікаційної ознаки дещо затрудняє розуміння відмінностей між певними архітектурами нейронних мереж, тому важливим етапом при використанні нейронних мереж для будь-яких завдань є вибір оптимальної архітектури, який необхідно проводити опираючись на накопичений досвід інших науковців.

### **3.3.3. Топологія нейронних мереж**

Структура НМ задається у вигляді графа, у якому кожний нейрон з довільною кількістю входів та виходів є вершиною графа, а входи і виходи нейрона являють собою ребра (зв'язки). Зв'язки можуть бути одно- та двоспрямованими.

Звичайно НМ складається з кількох шарів, кожен з яких може мати довільну кількість нейронів. Серед цих шарів розрізняють:

– Вхідний шар (сенсорний): його нейрони отримують на свої входи сигнали ознак об'єктів чи процесів і передають їх своїми виходами на нейрони інших шарів.

– Вихідний шар (реагуючий): його нейрони відображують реакцію НМ на вхідні ознаки. Звичайно це є інформація щодо класифікації об'єкта по ознаках входу, тобто є рішенням про виконання деякої дії.

– Приховані шари (асоціативні, в багатошарових НМ) у довільній кількості: вони розміщуються між вхідним та вихідним шарами і виконують функцію проміжного логічного аналізу вхідних ознак. Вважається, що чим більше шарів має нейрон і чим більше є нейронів в шарах, тим складніші проблеми може розв'язувати НМ.

Існує така топологія штучних нейронних мереж:

- 1) ШНМ без зворотних зв'язків (прямого поширення, Feed forward)
- 2) ШНМ зі зворотними зв'язками (зворотного поширення, рекурентні, Feedback):
  - з прямими зворотними зв'язками (direct feedback);
  - з непрямими зворотними зв'язками (indirect feedback);
  - з латеральними зв'язками (lateral feedback);
  - повнозв'язні.

**ШНМ прямого поширення.** ШНМ прямого поширення припускає наявність декількох шарів зі зв'язками між нейронами різних шарів. У мережах першого порядку існують тільки зв'язки між двома сусідніми шарами, тобто між  $i$ -м й  $(i+1)$ -м шарами. У цьому випадку говорять, що зв'язки ШНМ пошарові.

Приклад такої мережі зображено на рис. 3.8 [13]. Якщо в мережі цього типу кожен нейрон шару  $i$  пов'язаний з кожним нейроном  $(i+1)$ -го шару, мережа називається повнозв'язною прямого поширення.

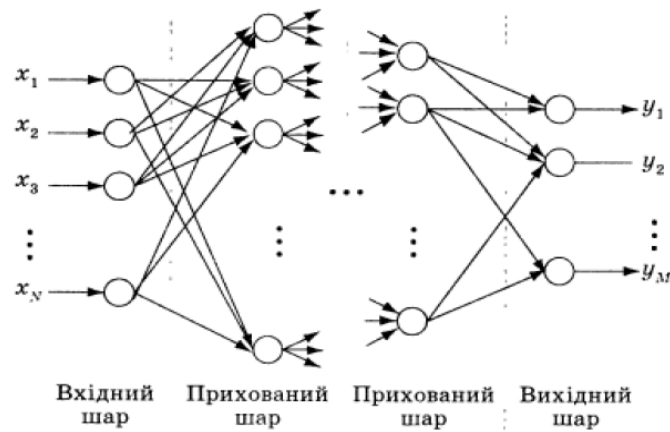


Рис.3.8. Структура ШНМ

**ШНМ зворотного поширення.** Мерезі цього типу припускають наявність зворотних зв'язків як між нейронами різних шарів, так і між нейронами одного шару. Використання мереж зі зворотними зв'язками необхідне у процесі вивчення складних динамічних об'єктів, наприклад об'єктів, що змінюють свій стан при надходженні нових вхідних сигналів. Такі ШНМ можуть мати властивості, подібні до короточасної людської пам'яті.

У ШНМ із прямими зворотними зв'язками (рис.3.9 [13]) на вхід нейрона деякого  $i$ -го шару подається його вихідний сигнал, тобто даний нейрон підсилює або послаблює сигнал, перетворений його активаційною функцією, завдяки чому досягається його граничний активаційний стан.

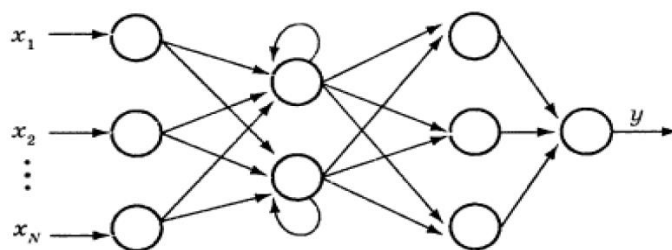


Рис. 3.9. ШНМ із прямими зворотними зв'язками

У ШНМ із непрямими зворотними зв'язками існують зв'язки нейрона  $i$ -го шару з нейронами  $(i-k)$ -го шару  $k > 0$ . При цьому одночасно можуть бути прямі зв'язки цього ж нейрона з нейроном  $(i+1)$ -го шару ( $l > 0$ ). Введення

таких зворотних зв'язків необхідно, щоб виділити певну особливо важливу для даної ШНМ область вхідних сигналів (рис.3.10 [13]).

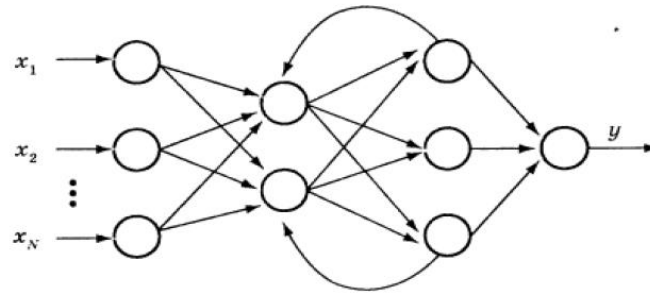


Рис. 3.10. ШНМ із непрямими зворотними зв'язками

ШНМ із латеральними зв'язками має зв'язки між нейронами одного шару (рис.3.11 [13]). Такий тип зворотних зв'язків використовується у тому випадку, якщо тільки один нейрон з даної групи нейронів має бути активним. У цьому випадку на вхід кожного нейрона надходять гальмуючий (послаблюючий, інгібіторний) сигнал від інших нейронів і звичайно збуджувальний (посилуючий, ексгібіторний) сигнал власного зворотного зв'язку. Нейрон із найбільшою активністю (переможець) придушує інші нейрони. Тому цю топологію називають також топологією мережі «переможець отримує все» (WTA–Net).

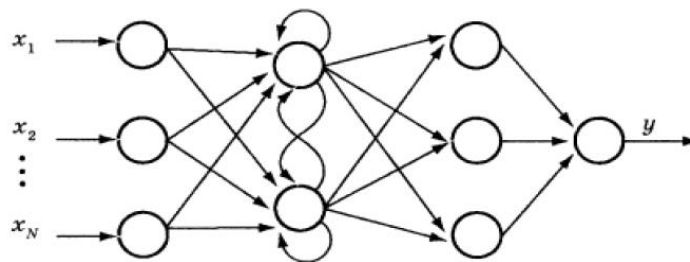


Рис. 3.11. ШНМ із латеральними зв'язками

**Повнозв'язні ШНМ.** Повнозв'язні ШНМ характеризуються наявністю зв'язків між усіма нейронами мережі (рис. 3.12 [13]). Цей вид топології відомий також як мережа Хопфілда.

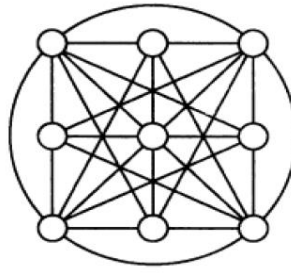


Рис. 3.12. Повнозв'язна ШНМ

Особливістю даної топології є те, що матриця зв'язків  $W$  має бути симетричною з нульовими діагональними елементами.

### 3.3.4. Навчання нейронної мережі

Характерною властивістю ШНМ є її здатність до навчання, що полягає у виробленні правильної реакції на подані їй різні входні сигнали. Існують такі можливості навчання ШНМ:

- зміна конфігурації мережі шляхом утворення нових або виключення деяких існуючих зв'язків між нейронами;
- зміна елементів матриці зв'язку (ваг);
- зміна характеристик нейронів (виду й параметрів активаційної функції й т. д.).

Навчання **обов'язково** повинне супроводжуватись зміною параметрів НМ і охоплює:

1. Зміну вагових коефіцієнтів входів нейронів, їх вирішальних, активаційних та вихідних функцій (наприклад, вирішальна функція може мати вигляд прямої лінії, паралельних прямих ліній, параболи, еліпса, кола, гіперплощини тощо).
2. Зміну структури нейронів (кількості входів та виходів, активаційних та вихідних функцій, скорочення чи збільшення кількості блоків нейрона).

3. Зміну структури (конфігурації) НМ шляхом зміни кількості шарів та кількості нейронів у шарах; кількості прямих та зворотних зв'язків між шарами та нейронами.

4. Способи навчання у вигляді: призначення для всіх функцій нейрону математичної моделі та її коефіцієнтів; навчання з учителем та без учителя (самонавчання); навчання з підкріпленням; конкурентне навчання; стохастичне навчання; градієнтні методи навчання тощо.

Навчити нейронну мережу – значить, повідомити їй, чого ми від неї домагаємося. Цей процес дуже схожий на навчання дитини алфавіту. Показавши дитині зображення цифри "1", ми питаємо його: "Яка це цифра?" Якщо відповідь невірна, ми повідомляємо дитині ту відповідь, яку ми хотіли від неї отримати: "цифра 1". Дитина запам'ятовує цей приклад разом з вірною відповіддю, тобто в його пам'яті відбуваються деякі зміни в потрібному напрямку. Ми будемо повторювати процес пред'явлення цифр знову і знову до тих пір, коли всі 10 цифр будуть твердо запам'ятовані.

Такий процес називають **"навчання з учителем"** (рис.3.13 [9]).

При навчанні мережі ми діємо абсолютно аналогічно. У нас є деяка база даних, що містить приклади (набір цифр). Пред'являючи зображення цифри "1" на вхід мережі, ми отримуємо від неї деяку відповідь, не обов'язково вірну. Нам відома і вірна (бажана) відповідь – у даному випадку нам хотілося б, щоб на виході з міткою "1" рівень сигналу був максимальний. Зазвичай в якості бажаного виходу у задачі класифікації беруть набір (1, 0, 0, ...), де 1 стоїть на виході з міткою "1", а 0 – на всіх інших виходах. Обчислюючи різницю між бажаною відповіддю і реальною відповіддю мережі, ми отримуємо 10 цифр – вектор помилки [9].

Алгоритм зворотного поширення помилки – це набір формул, який дозволяє за вектором помилки обчислити необхідні поправки для ваг мережі. Одну і ту ж цифру (а також різні зображення однієї і тієї ж цифри) ми можемо пред'являти мережі багато разів.

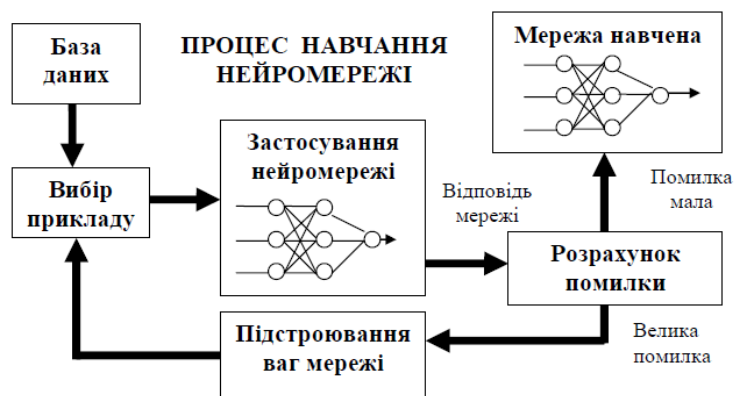


Рис. 3.13. Ілюстрація процесу навчання НС

Виявляється, що після багаторазового пред'явлення прикладів ваги мережі стабілізуються, причому мережа дає правильні відповіді на всі (або майже всі) приклади з бази даних. У такому випадку кажуть, що "мережа вивчила всі приклади", "мережа навчена", або "мережа натренована". У програмних реалізаціях можна бачити, що у процесі навчання величина помилки (сума квадратів помилок на всіх виходах) поступово зменшується. Коли величина помилки досягає нуля або прийнятного малого рівня, тренування зупиняють, а отриману мережу вважають натренованою і готовою до застосування на нових даних. Важливо відзначити, що вся інформація, яку мережа має про завдання, міститься в наборі прикладів. Тому якість навчання мережі безпосередньо залежить від кількості прикладів у навчальній вибірці, а також від того, наскільки повно ці приклади описують дану задачу [9].

**Навчання без вчителя.** Навчання без вчителя у застосуванні до штучний нейромереж реалізується природним чином в процесі навчання, коли автоматичне налаштування параметрів мережею призводить до появи однакових результатів її функціонування при досить близьких вхідних значеннях, що на практиці можна порівняти зі зниженням розмірності даних в результаті ітераційного методу головних компонент. Правило Гебба, засноване на гіпотезі про посилення зв'язків між біологічними нейронами в разі їх одночасного збудження, і методи навчання при змаганні нейронів

шляхом порівняння інтенсивності їх реакції є класичними прикладами методів навчання без учителя [9].

### 3.4. Моделювання підсистеми оптичної ідентифікації

Розпізнавання символів проводимо з допомогою штучних нейронних мереж персептронного типу з сигмоїдною активаційною функцією.

**Сигмоїдальна функція активації.** Сигмоїдальні функції активації відносяться до стискаючих нелінійних функцій. Сигмоїдальні функції диференційовані на всій числовій осі та мають властивість до підсилювання слабких сигналів краще, ніж великих, і тому запобігають насиченню нейронної мережі великими вхідними сигналами. Використання сигмоїдальних функцій дозволило перейти від дискретних сигналів до неперервних.

До сигмоїдальних функцій відноситься логістична функція рис.3.14а [3], яка в залежності від значення  $a$  приймає різний кут нахилу, що можна використовувати для регулювання підсилення слабких сигналів та зміни швидкості навчання мережі:

$$f(s) = \frac{1}{1 + e^{-as}},$$

де  $a$  – коефіцієнт крутизни логістичної функції.

До переваг функції відноситься зручне вираження першої похідної через значення функції:  $f'(s) = af(s)(1 - f(s))$ , що дозволяє ефективно використовувати алгоритм зворотного поширення помилки під час навчання [3].

Крім логістичної функції до сигмоїдальних відноситься і гіперболічний тангенс, який на відміну від попередньої функції має діапазон вихідних значень, який лежить в інтервалі  $(-1;1)$  рис.3.14б [3], що дозволяє нейронній мережі працювати не лише з додатними, але й з від'ємними величинами.

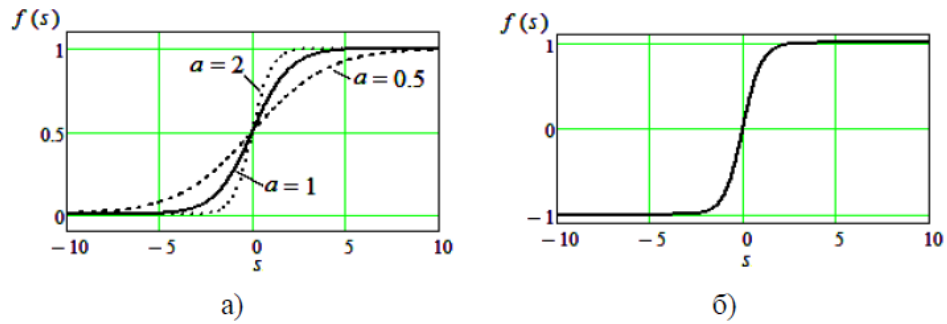


Рис.3.14. Сигмоїдальні функції активації: а – логістична; б – гіперболічний тангенс

Для розпізнавання кожної цифри за допомогою нейронної мережі була обрана двошарова нейронна мережа прямого розповсюдження, яка зображена на рис.3.15.

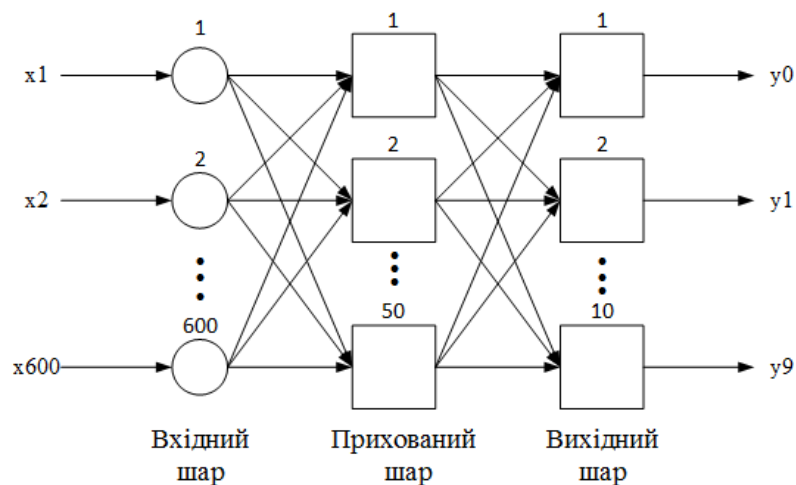


Рис.3.15. Двошарова нейронна мережа прямого розповсюдження

Параметри мережі:

- кількість входів — 600 (20x30 пікселів);
- кількість виходів — 10 (десять значень кожної цифри);
- кількість нейронів прихованого шару — 50;
- функція активації — сигмоїдальна.

Двошаровий перцептрон містить 600 вхідних нейронів, що відповідає спектру символу розміром 20x30, і 10 вихідних нейронів для кодування цифр 0 до 9.

Архітектура створеної нейронної мережі реалізує три ідеї:

— кожен нейрон отримує вхідний сигнал від локального рецептивного поля в попередньому шарі, що забезпечує локальну двовимірну зв'язність нейронів;

— кожен прихований шар мережі складається з безлічі карт ознак, на яких всі нейрони мають загальні ваги, що забезпечує інваріантність до зміщення і скорочення загального числа вагових коефіцієнтів мережі;

— за кожним шаром згортки іде обчислювальний шар, який здійснює локальне усереднення і підвибірку, що забезпечує зменшення дозволу для карт ознак.

Використовуючи пакет MATLAB провели моделювання. Було використано 10 зображень різних вагонів: п'ять зображень для формування навчальної вибірки і п'ять - для тестової вибірки. В роботі, як приклад було обрано одне із використаних зображень.

Крок 1. Запускаємо програму розділення цифр для нейронної мережі та завантажуюмо зображення номеру вагону в кольоровому вигляді (рис.3.16).

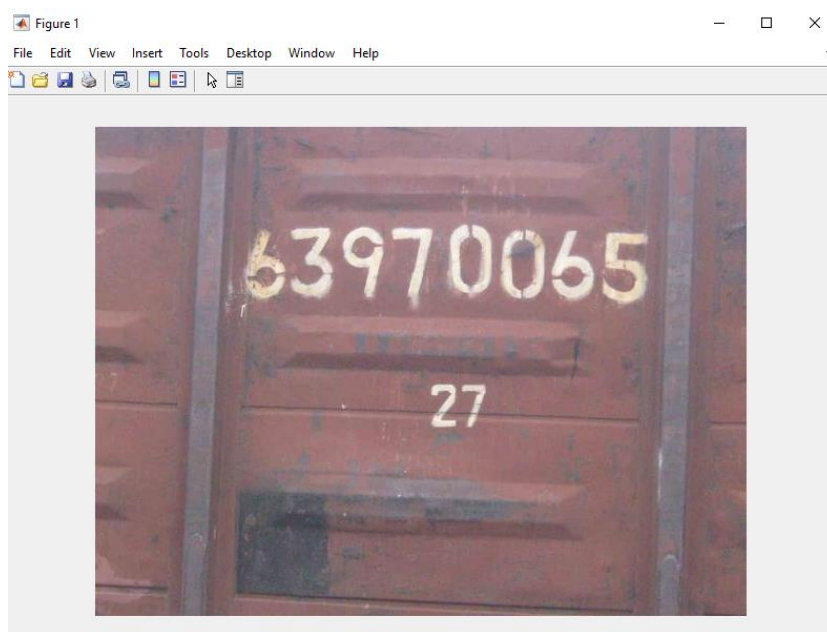


Рис.3.16. Вихідне зображення номеру вагону

Крок 2. Перетворюємо зображення у монохромний формат (рис.3.17).

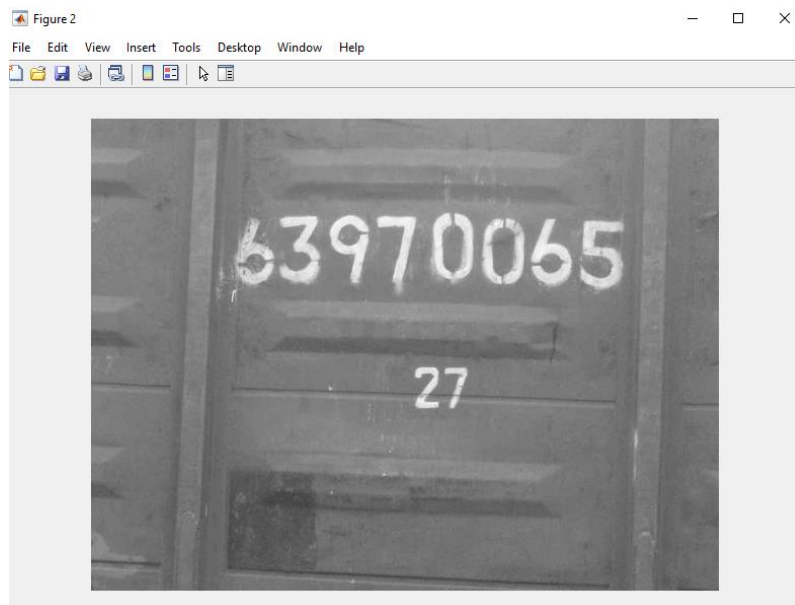


Рис.3.17. Зображення у монохромному форматі

Крок 3. Підвищуємо контрастність отриманого зображення (рис.3.18).

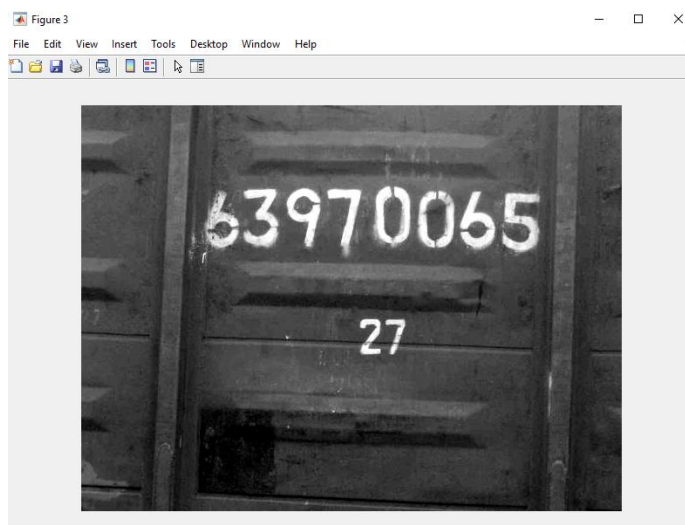


Рис.3.18. Зображення з підвищеною контрастністю

Крок 4. Здійснюємо операцію по переведенні зображення у двухбітний формат (рис.3.19).

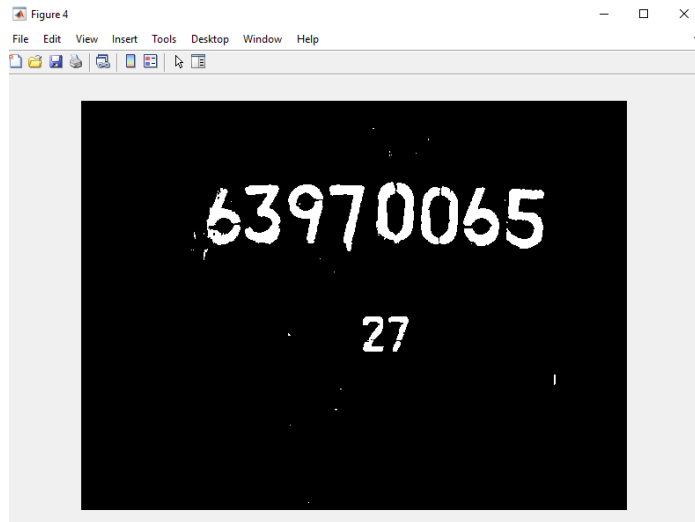


Рис.3.19. Зображення у двухбітному форматі

Крок 5. Виділяємо область з номером вагону (рис.3.20).

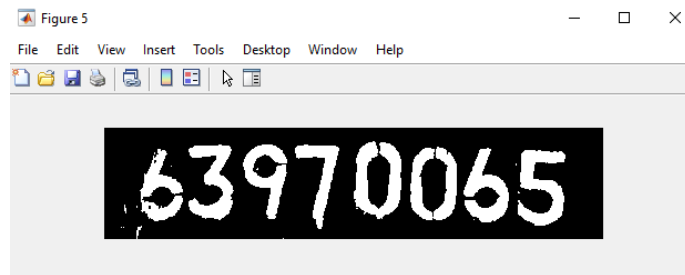
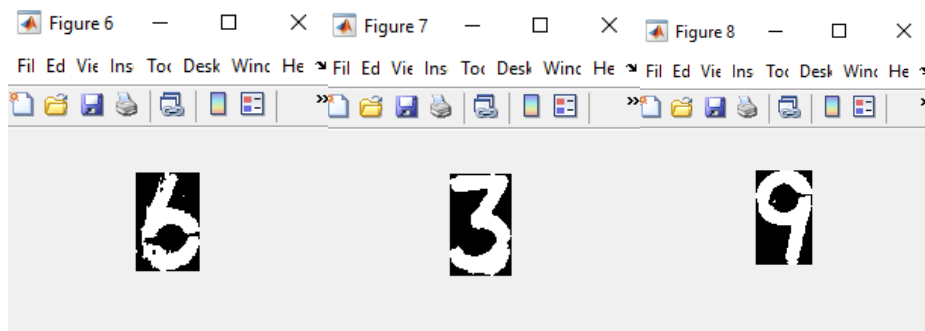


Рис.3.20. Виділена область номеру

Крок 6. З отриманої області номеру вагону розділяємо кожну цифру окремо для подальшого визначення значення цієї цифри.



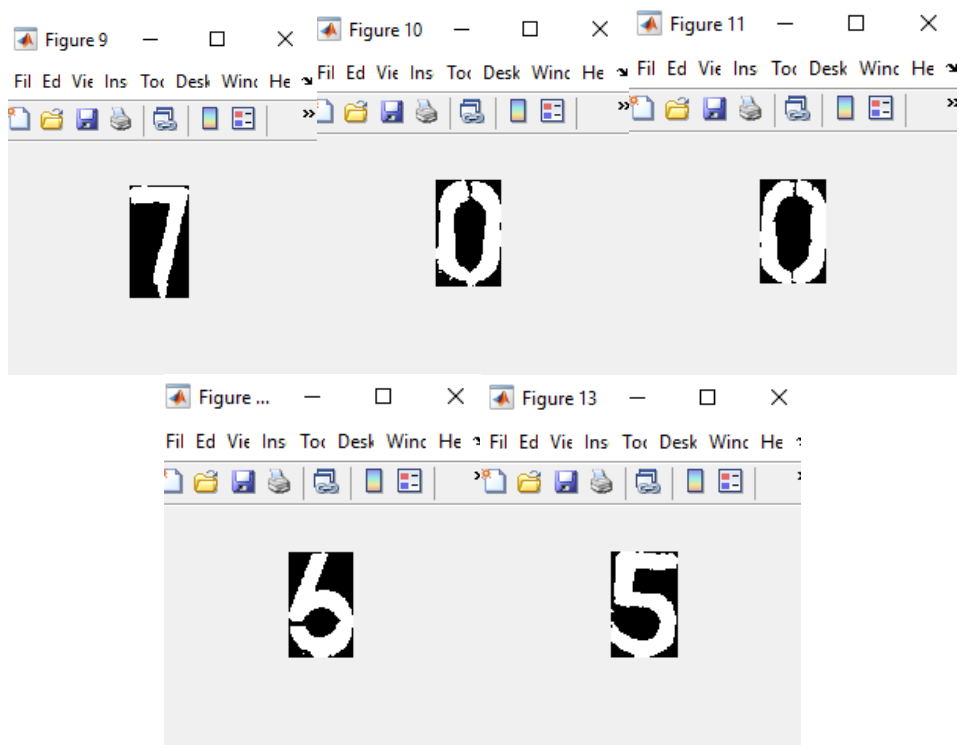


Рис.3.21. Цифри, що розпізнані мережею

Крок 7. Запускаємо програму навчання для нейронної мережі, а після цього програму моделювання, тобто розпізнавання номеру вагону.

Крок 8. Отримуємо номер вагону (рис.3.22)

```

Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.
>> simul

out =

     6     3     9     7     0     0     6     5

fx >>
  
```

Рис.3.22. Номер вагону отриманий нейронною мережею

### 3.5. Висновки по розділу 3

1. В даному розділі розроблена структура та алгоритм роботи підсистеми оптичної ідентифікації номерів вагонів. Обробка зображення поверхні вагону виконується у декілька етапів:

- підготовка зображення (фільтрація, підвищення контрасту, перетворення у монохромний формат);

- виявлення області, в якій розміщений номер вагону;

- розділення цифр;

- розпізнавання цифр.

2. Для розпізнавання цифр запропоновано використовувати нейронну мережу прямого розповсюдження, яка містить 600 входів, 10 виходів та 50 нейронів в прихованому шарі. Результати моделювання підтверджують працездатність запропонованого алгоритму. Ефективність реалізованої системи залежить від розміру навчальної та тестової вибірок, кількості шарів та нейронів у кожному шарі.

## РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ РАДІОЧАСТОТНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РУХОМИХ ОДИНИЦЬ

### 4.1. Структура та принцип дії підсистеми радіочастотної ідентифікації рухомих одиниць

Пропонується система радіочастотної ідентифікації рухомого складу структура та принцип дії якої представлена на рис.4.1.

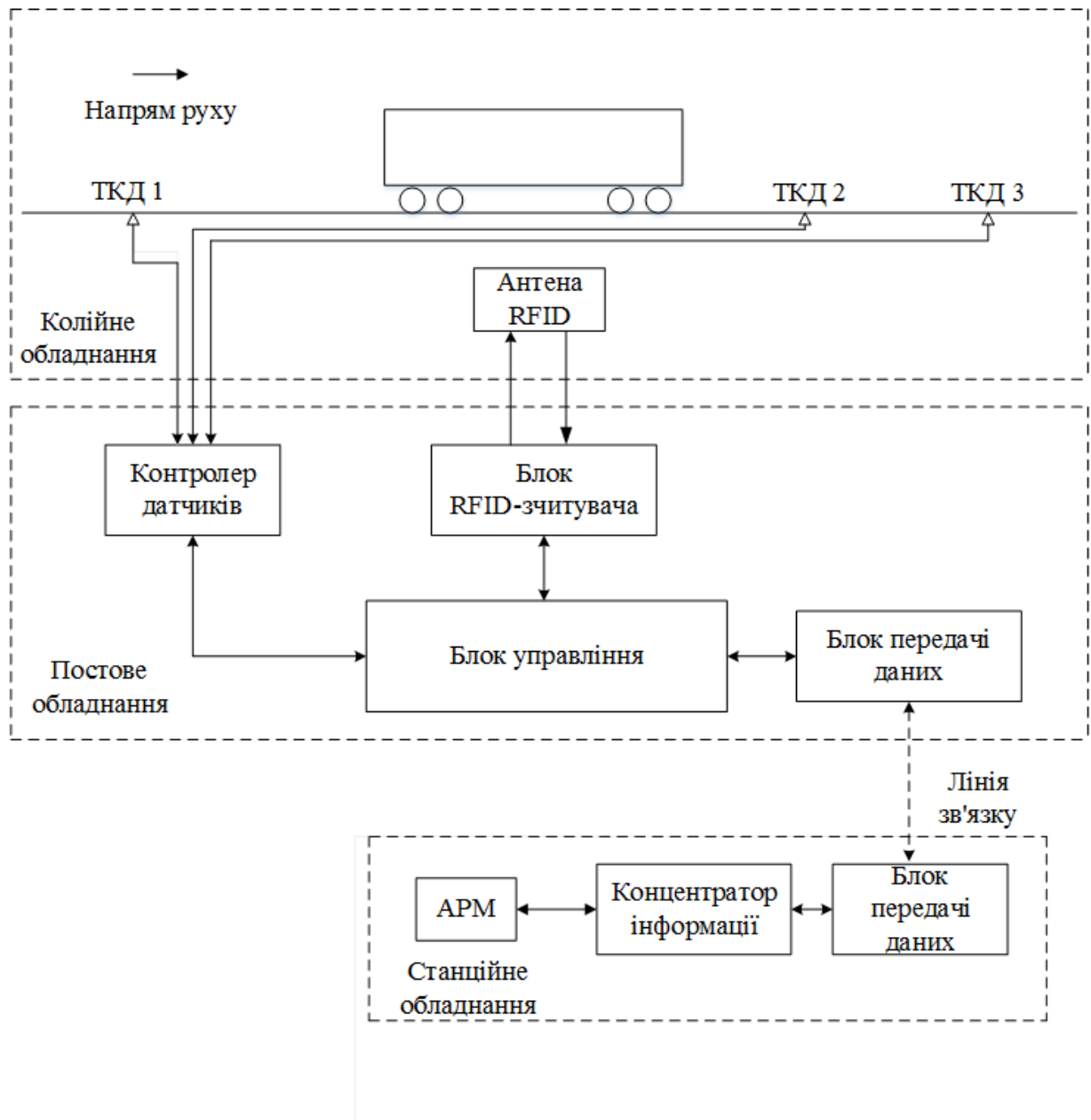


Рис.4.1. Структурна схема системи радіочастотної ідентифікації рухомого складу

Система складається з трьох частин: колійного, постового та станційного обладнання.

До колійного обладнання входять: точкові колійні датчики, що фіксують положення колісних пар (ТКД1-ТКД3; антена RFID — для прийому та передачі сигналу.

Постове обладнання включає в себе: контролер датчиків, який використовується для обробки отриманих сигналів; блоки управління та передачі даних; блок RFID – зчитувача.

Станційне обладнання, яке підключається до постового обладнання через лінію зв'язку (ЛЗ), включає: блок передачі даних; концентратор інформації та АРМ.

Ідея зчитування полягає в наступному. Уздовж залізничної колії, в опорних точках (на вході і виході зі станції, депо) встановлюються пристрої контролю наближення поїзда - точкові колійні датчики (ТКД1-ТКД3), які спрацьовують при в'їзді поїздів в зону контролю.

Система проводить пошук кодових бортових датчиків (КБД). Далі фіксація даних про рух вагонів буде виконуватися антеною RFID, яка в свою чергу передає дані про вагон на блок RFID – зчитувача.

Коли поїзд проїжджає зону контролю, спрацьовує ТКД1. Далі аналогічно вмикаються датчики ТКД2 і ТКД3. За сигналами від ТКД контролер датчиків, що здійснює збір з усіх пунктів зчитування даного залізничного вузла і передає ці дані до блоку управління, виконує наступні функції:

- фіксація вагону в зоні дії пункту зчитування;
- підрахунок осей та визначення типу вагонів;
- підрахунок вагонів.

Блок управління через блок передачі даних та по лінії зв'язку передає на станційне обладнання номери вагонів.

Концентратор інформації формує кінцеве повідомлення, що містить ідентифікаційні дані рухомих одиниць (8-значний код рухомого засобу, код

країни і власника), код станції і код пункту зчитування, напрямок проходження і час проходження, а також перелік рухомих одиниць у складі поїзда та передає ці дані на АРМ (автоматизоване робоче місце оператора).

## 4.2. Дослідження та розрахунок параметрів підсистеми радіочастотної ідентифікації

### Розрахунок RFID- системи

На рис.4.2. представлена RFID-система, в якій:  $h$  — найменша відстань між КБД та рідером;  $R$  — найбільша відстань між КБД та рідером;  $\alpha_E$  — ширина головного пелюстка діаграми направленості антени рідера;  $\Delta L$  — довжина зони чутливості рідера.

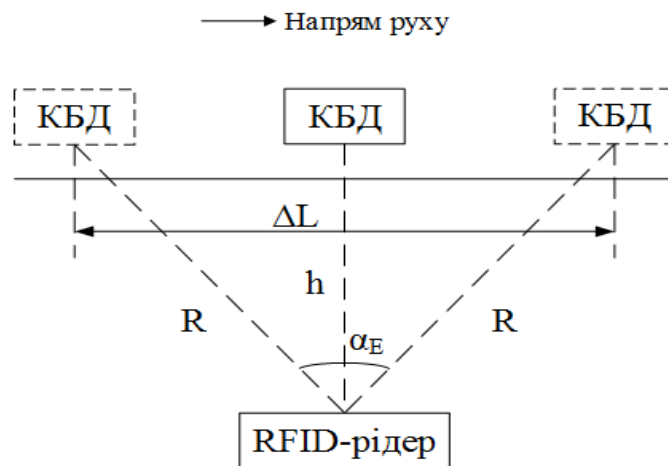


Рис.4.2. RFID- система

### Принцип дії

При русі поїзда в даній RFID-системі датчик КБД є переміщувальним. RFID-рідер формує хвилю НВЧ, яка наводиться в антені та випрямляється, і потім надходить на датчик КБД та живить його. Після цього датчик наводить зворотну послілку, хвиля перевідбивається і так приймається інформація.

При проектуванні RFID-системи необхідно вирішити наступні задачі:

- 1) встановити на якій відстані  $h$  розташувати рідер від рейкової лінії з урахуванням габариту наближення будівель;
- 2) вибрати необхідну конструкцію антен;

- 3) обрати потужність рідера;
- 4) визначити зону чутливості рідера;
- 5) знайти максимальну швидкість руху поїзда, при якій ще відбуватиметься зчитування.

**Крок перший.** Знаходимо на якій відстані  $h$  розташувати рідер від рейкової лінії з урахуванням габариту наближення будівель.

**Габаритом наближення споруд** називається — граничний поперечний (перпендикулярний до осі колії) контур, усередину якого, крім рухомого складу, не повинні заходити ніякі частини споруд і пристроїв. Виняток становлять лише ті пристрої, які призначені для безпосередньої взаємодії їх з рухомим складом (вагонні сповільнювачі в робочому стані, контактні проводи з деталями кріплення тощо), [5].

Габарит наближення споруд зображений на рис.4.3 [5].

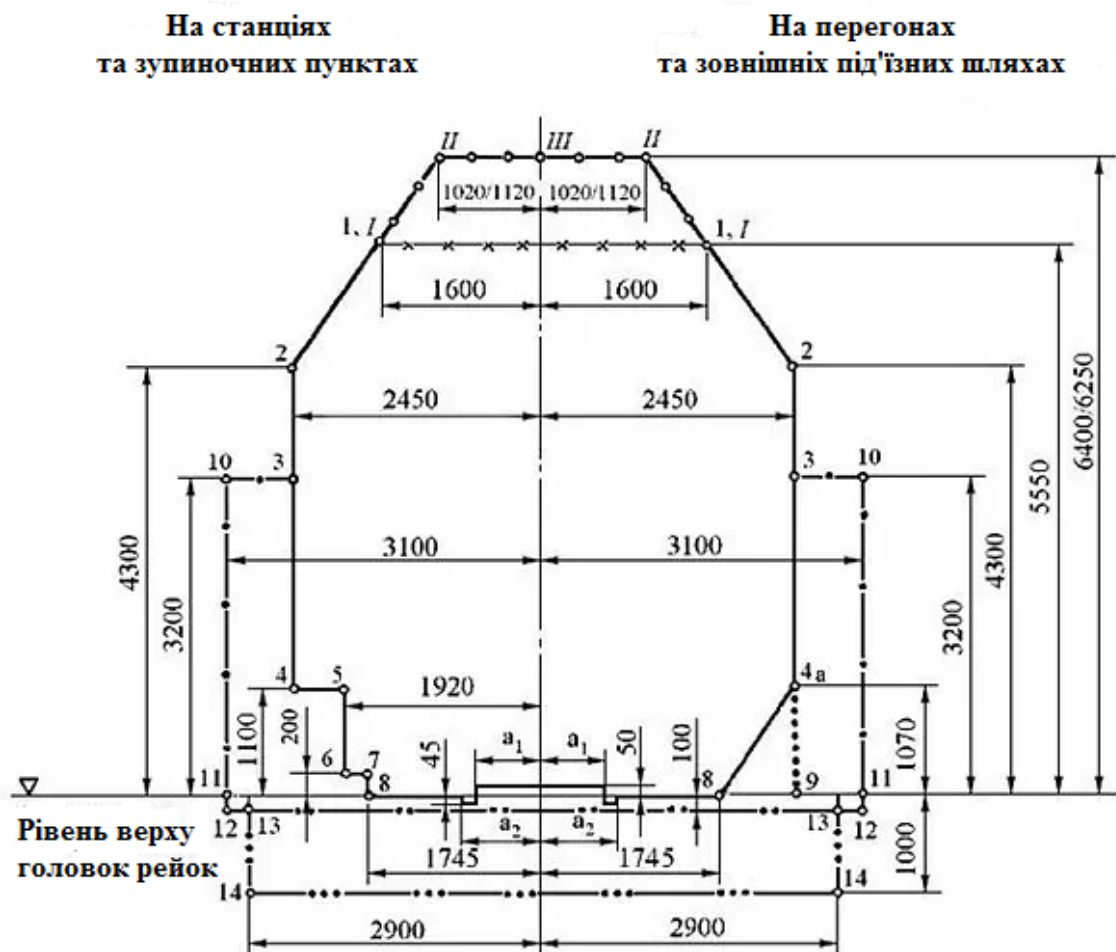


Рис.4.3. Габарит С

Припустимо, що RFID-рідер розташований на відстані 4м від середини рейкової лінії ( у відповідності з габаритом наближення споруд не можна розташовувати ближче, ніж на 3,1м).

Відстань між рідером та кодовим бортовим датчиком буде змінюватися в залежності від ширини вагону. Тому враховуючи різні показники ширини вагонів, обираємо найбільшу відстань  $h$  :

$$h = 4000 - \frac{2760}{2} = 4000 - 1380 = 2620 \approx 2,6\text{м}.$$

**Крок другий.** Обираємо конструкцію антени.

Для забезпечення високого коефіцієнта підсилення пропонуємо обрати антену Удо-Ягі в якості антени рідера.

На рис.4.4. представлена Антена Удо-Ягі [23].

Антени Ягі відносяться до поздовжніх випромінювачів і використовують в своєму складі елементи, які приходять в дію за допомогою випромінювання.

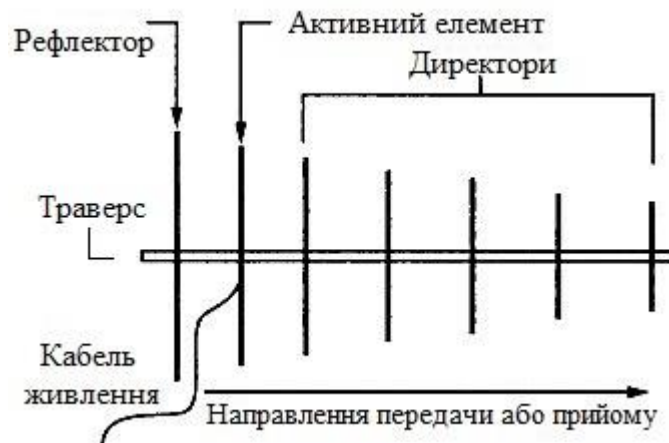


Рис.4.4. Антена Удо-Ягі

Ця конструкція антен була спеціально розроблена для діапазону радіохвиль від високих частот (ВЧ, HF) до верхньої частини діапазону дуже високих частот (ДВЧ, UHF). Антени Ягі дуже популярні через простоту їх конструкції і відносно високий коефіцієнт підсилення.

Елементи, з яких складається антена Ягі, показані на рис.4.4. Відстані між ними вибираються не однаковими. Антена має траверс (активний елемент конструкції), один рефлектор (приймаюча частина), активний диполь, з якого знімається енергія та три директора (чим їх більше, тим більше коефіцієнт підсилення антени і вужче діаграма направленості). Збільшення кількості цих елементів призводить до зменшення ширини променя антени, але, разом з цим, і до звуження її смуги частот. Тому правильна настройка антени має велике значення.

Для оцінки визначення коефіцієнта підсилення антени приведена таблиця 4.1 [23].

Таблиця 4.1.

**Значення коефіцієнта підсилення для антен з різним числом елементів**

Число елементів	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	17	22
$\alpha_E, ^\circ$	68	63	58	53	51	50	46	44	42	38	36	25
G, дБ	5	6	7	8	8,5	9	9,7	10,2	11	12	12,5	16

**Крок третій.** Обираємо потужність рідера.

Потужність на вході приймача визначаємо за формулою:

$$P_{np} = \frac{P_{пер} \cdot G_1 \cdot G_2 \cdot \lambda^2}{(4\pi R)^2},$$

де  $P_{пер}$  — потужність передавача;  $G_1$  — коефіцієнт підсилення передавальної антени рідера (в разях);  $G_2$  — коефіцієнт підсилення приймальної антени КБД;  $\lambda$  — довжина хвилі;  $R$  — найбільша відстань між КБД та рідером.

$P_{пер} = 2Vt$  — максимальна потужність, яку підтримує передавач;

$G_1$  — вибираємо відповідні значення з таблиці 4.1.

$G_2 = 5\text{дБ} = 3,162\text{ раз}$ .

Довжину хвилі розраховуємо за формулою:

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f},$$

де  $c$  — швидкість світла,  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ ;

$f$  — частота, що дозволяє зчитувати інформацію на великих відстанях і при високих швидкостях руху;  $f = 869 \text{ МГц}$ .

Знаходимо потужність на вході приймача для різних типів антен рідера у випадку, коли КБД розташований навпроти рідера, тобто  $R = h$ .

Для живлення КБД за даними документації потрібна потужність 3,3 мВт. Тому використовуючи таблицю 4.1. обираємо необхідні значення  $G_1$  для шуканої нами потрібної потужності та щоб довжина зони чутливості була більшою (обрали значення для 3, 5, 7, 10 та 14 елементів).

Для 3-х елементів антени:

$$P_{np} = \frac{P_{nep} \cdot G_1 \cdot G_2 \cdot \lambda^2}{(4\pi h)^2} = \frac{2 \cdot 3,162 \cdot 3,162 \cdot (0,345)^2}{(4\pi \cdot 2,6)^2} = 2,23 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}$$

Для 5-ти елементів:

$$P_{np} = \frac{2 \cdot 5,012 \cdot 3,162 \cdot (0,345)^2}{(4\pi \cdot 2,6)^2} = 3,534 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}$$

Для 7-ми елементів:

$$P_{np} = \frac{2 \cdot 7,079 \cdot 3,162 \cdot (0,345)^2}{(4\pi \cdot 2,6)^2} = 4,992 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}$$

Для 10-ти елементів:

$$P_{np} = \frac{2 \cdot 10,471 \cdot 3,162 \cdot (0,345)^2}{(4\pi \cdot 2,6)^2} = 7,383 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}$$

Для 14-ти елементів:

$$P_{np} = \frac{2 \cdot 15,849 \cdot 3,162 \cdot (0,345)^2}{(4\pi \cdot 2,6)^2} = 0,011 \text{ Вт}$$

Згідно отриманих даних будемо графік залежності потужності живлення датчика  $P_{np}$  від кількості елементів антени  $N$  (рис.4.5).

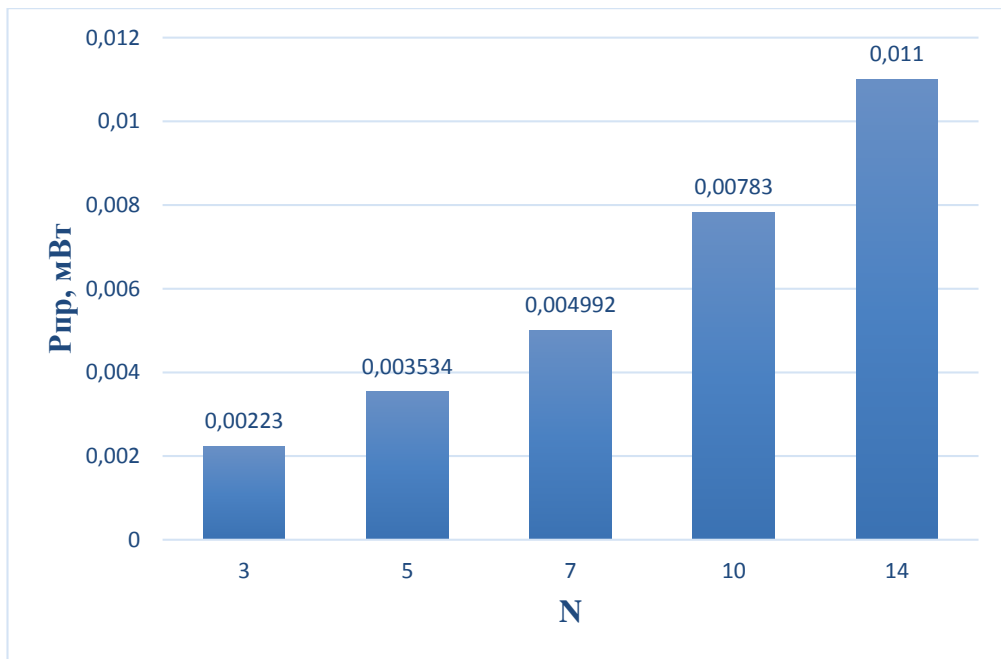


Рис.4.5. Залежність потужності живлення приймача від кількості елементів антени рідера

Необхідна потужність для мікросхеми 563PT1, тобто для кодового бортового датчика КБД2 становить:  $P_{пор} = 3,3 мВт$ . Аналізуючи рис.4.5 можемо вибрати антену Удо-Ягі з сімома елементами, яка забезпечує більшу довжину зони чутливості.

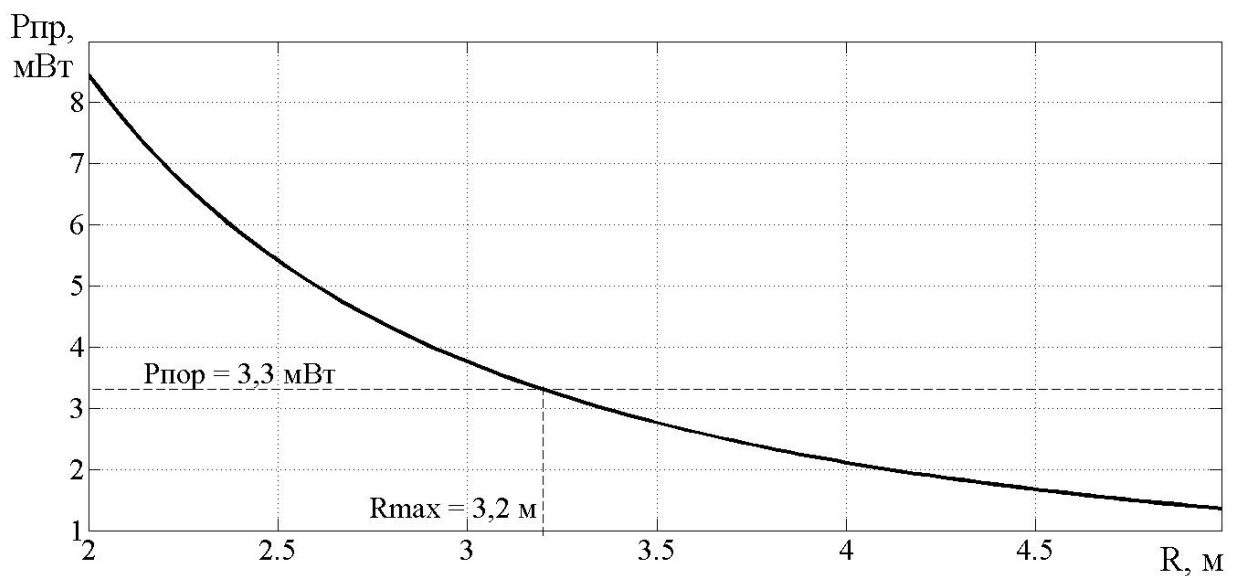


Рис.4.6. Залежність потужності живлення приймача від відстані між рідером та кодовим бортовим датчиком

Для вибраної антени будемо залежність потужності живлення приймача від відстані між рідером та кодовим бортовим датчиком (рис.4.6). Знаходимо максимально можливу відстань, при якій забезпечується потужність живлення датчика не менше ніж 3,3 мВт:  $R_{\max} = 3,2$  м.

**Крок четвертий.** Знаходимо довжину зони чутливості для вибраної антени Удо-Ягі з 7-ма елементами.

Довжина зони чутливості визначається за формулою:

$$\Delta L = 2\sqrt{R^2 - h^2},$$

де  $\alpha_E$  — ширина головного пелюстка діаграми направленості антени рідера;  $h$  — найменша відстань між КБД та рідером;  $R$  — найбільша відстань між КБД та рідером,  $R = R_{\max}$ .

Тоді значення  $\Delta L$  для антени з 7-ма елементами становить:

$$\Delta L = 2\sqrt{R^2 - h^2} = 2\sqrt{3,2^2 - 2,6^2} = 3,73 \text{ м}$$

**Крок п'ятий.** Знаходимо максимальну швидкість руху поїзда, при якій ще відбуватиметься зчитування.

Максимальна швидкість руху поїзда, при якій ще відбуватиметься зчитування визначаємо:

$$V_{\max} = \frac{\Delta L}{T_{\min}},$$

де  $T_{\min}$  — мінімальний час взаємодії рідера та КБД.

Для того, щоб розрахувати максимальну швидкість руху поїзда, необхідно знайти  $T_{\min}$  за формулою:

$$T_{\min} = T_{\text{нак}} + T_{\text{пер}},$$

де  $T_{\text{нак}}$  — час накачки,  $T_{\text{нак}} \approx T_{\text{пер}}$ ;  $T_{\text{пер}}$  — час передачі однієї команди (для забезпечення високої завадостійкості передбачаємо, що кожна команда буде передаватись принаймні тричі).

Звідси

$$T_{\min} = 2T_{\text{пер}}$$

Знаходимо час передачі однієї команди за такими значеннями:

1 повідомлення передається за 128 біт (1 біт — це 8 тактів), а тактова частота дорівнює  $fm = 70\text{кГц}$ .

Отже, можемо знайти  $T_{\text{пер}}$  (кожна команда буде передаватись принаймні тричі)

$$T_{\text{пер}} = \frac{3 \cdot 128 \cdot 8}{fm} = \frac{3 \cdot 128 \cdot 8}{70 \cdot 10^3} = 0,045 \text{ с}$$

Тепер можемо знайти мінімальний час взаємодії рідера та КБД:

$$T_{\min} = 2T_{\text{пер}} = 0,09 \text{ с}$$

Розрахувавши всі компоненти, знаходимо максимальну швидкість руху поїзда, при якій ще відбувається зчитування:

$$V_{\max} = \frac{\Delta L}{T_{\min}} = \frac{3,73}{0,09} = 41,4 \text{ м / с} = 149,2 \text{ км / год}$$

### 4.3. Кодовий бортовий датчик

Для даної системи був взятий кодовий бортовий датчик КБД2 системи автоматичної ідентифікації рухомого складу «Пальма», яка працює на основі НВЧ-технології із застосуванням частот 865, 867 і 869 МГц, що дозволяє зчитувати інформацію на великих відстанях і при високих швидкостях руху.

КБД-2 відноситься до категорії RW-датчиків (з можливістю перепрограмування від трьох до шести разів).

Складові елементи кодового бортового датчика КБД2 та принцип дії описаний нижче [12].

Датчик являє собою пасивний елемент, який не містить джерела живлення; необхідна для його роботи енергія надходить від зчитувача у вигляді електромагнітного сигналу. Дальність роботи безпосередньо залежить від потужності зчитувача. Перевагою пасивних кодових бортових

датчиків перед активними, мають джерело живлення, є практично необмежений термін служби - не потрібна заміна елемента живлення.

Принципова електрична схема кодового бортового датчика КБД2 зображена на рис.4.7 [12].

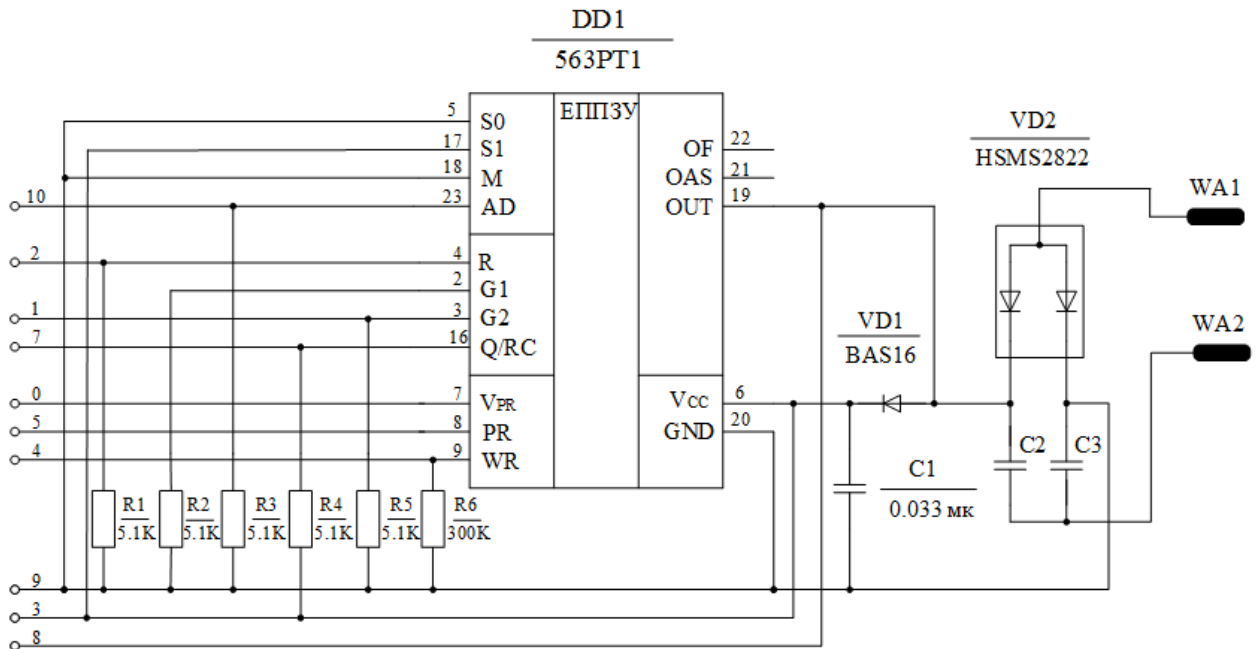


Рис.4.7. Принципова електрична схема кодового бортового датчика КБД2

#### Складові елементи кодового бортового датчика КБД2:

- Полоскова антена WA (симетричний лінійний вібратор);
- чверть хвильовий узгоджувальний трансформатор хвильового опору;
- випрямляч НВЧ коливань;
- інтегральна мікросхема (ІМС563PT1) функціонального перетворювача коду з вбудованим ПЗУ послідовного доступу ємністю 128 біт для зберігання і видачі кодової послідовності і вбудованим RS-генератором з підлаштовуючою частотою генерації.

Полоскова антена WA виконана на склотекстолитовій платі товщиною 1,5 мм з рознесеними плечима WA1, WA2. До одного плеча антени підключений чверть хвильовий узгоджувальний трансформатор, що дозволяє здійснити перехід від низькоомного хвильового опору антени до високоомного входу випрямляча НВЧ-коливань, що формує напругу

живлення схеми датчика. Випрямляч НВЧ-коливань зібраний за схемою з подвоєнням напруги на елементах VD2 (діодна збірка HSMS2822), C2, C3.

Конструктивні конденсатори C2 і C3 виконані у вигляді широких пластин фольги. Конденсатор C1 згладжує високочастотні пульсації на клеммах живлення ІМС (виходи 42, 23), діод VD1 служить для розв'язки випрямляча датчика від зовнішнього джерела живлення при програмуванні.

При появі напруги живлення ІМС включається внутрішній тактовий генератор ІМС, і на вихід 22 DD1 в безперервному циклічному режимі надходить записана у вбудованому ПЗУ відповідно до стандарту ISO 10374 інформація у вигляді кодової послідовності імпульсів. При цьому бітам інформаційного коду відповідають імпульсні послілки, представлені на рис.4.8 [12].

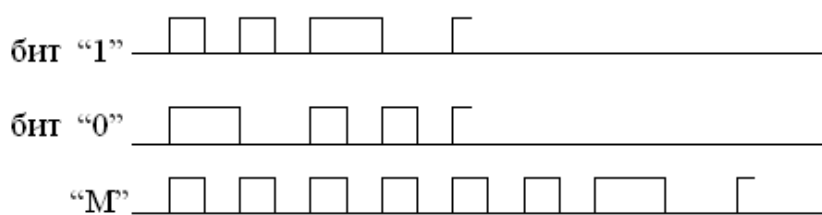


Рис.4.8. Імпульсні послілки інформаційного коду

#### **Основне положення:**

Послідовність "M" (маркер) позначає кінець інформаційної послілки і займає в інформаційному слові два останніх біта - 126-й і 127-й (нумерація починається з нульового біта).

Струм через випрямляч визначається потенціалом виходу 22 DD1. Імпульс послідовності на виході 22 формується комутацією виходу 22 на шину живлення (вихід 42), при цьому випрямляч працює в режимі холостого ходу. При паузі послідовності вихід 22 комутується відкритим транзистором ІМС на шину "Земля" (клема 3), формуючи режим короткого замикання випрямляча.

Зміна величини струму навантаження випрямляча змінює умову узгодження антени з його вхідним "хвильовим" для антени опором, в результаті змінюється величина відображеної нею потужності НВЧ. Таким чином, потужність відбитого сигналу модулюється відповідно до інформації, записаної в ПЗУ мікросхеми.

Десятиконтактний роз'єм Х1 з круговим розташуванням контактів на платі під отвором на тильній стороні корпусу датчика призначений для програмування встановленої в датчик ІМС 563РТ1 за допомогою програматора КБД-2. Відповідно до стандарту ISO 10374, при програмуванні в неї заноситься 128-бітний код з даними ПС, на який встановлюється датчик.

### Принцип дії

При облученні датчика СВЧ- сигналу полоскова антена приймає сигнал (рис.4.9 [12]). Прийнятий сигнал випрямляється і поступає на вхід живлення 1 інтегральної мікросхеми (ІМС).



Рис.4.9. Структурна схема КБД

При появі напруги живлення ІМС, включається внутрішній генератор тактових імпульсів (ГТІ) і на вихід 2 мікросхеми в неперервному циклічному режимі поступає записана у вбудований ПЗУ, відповідно до стандарту ISO 10374, інформація у відео кодовій послідовності імпульсів.

В залежності від вмісту розряду кодової комбінації змінюється режим роботи випрямляча. При надходженні сигналів, що відповідають логічній одиниці, випрямляч працює в режим холостого ходу, а при паузі - в режимі короткого замикання. Змінення величини струмів навантажень випрямляча (вихід 3) змінює умови погодження антенних з його вхідним («хвильовим» для антенних) опором і в результаті змінюється величина відбитої нею потужності НВЧ.

Таким чином, потужність відбитого сигналу модулюється відповідно до інформації, записаною в ПЗУ.

### **Формат даних датчика КБД-2**

Інформаційне слово датчика містить 128 біт. Першу частину складають біти, призначені для технологічних цілей (31 біт), а другу - біти загального призначення (інформаційне поле користувача - 97 біт).

#### **До технологічного біта відносяться наступні поля:**

- контроль помилок;
- виявлення інформаційного кадру з 128 біт;
- визначення формату даних;
- захист від несанкціонованого дублювання датчиків.

#### **В інформаційне поле користувача заносяться:**

- єдиний для мережі залізничного дороги колії 1520 мм ідентифікатор рухомої залізничної одиниці (вагона, секції локомотива), який складається з 13 десяткових цифрових розрядів у двійково-десятичному коді (51 біт: 3 біта - тип датчика (показує конфігурацію, можливість і обсяг пам'яті кодових бортових датчиків), 8 біт - умовний режим обміну, 8 біт – господарство – власник, 32 біта - восьмизначний номер рухомої залізничної одиниці);
- признак роботи в секційному складі (2 біти);
- номер датчика на рухомій одиниці.

**Признак роботи в секційному складі може приймати наступний значення:**

- 0 - автономна рухома одиниця;

1 - елемент двосекційної підвісної залізничної одиниці;  
2 - елемент трисекційної залізничної одиниці;  
3-елемент багатосекційної залізничної одиниці (елемент рефрижераторного поїзда).

Номер датчика на рухомому складі приймає значення 0 для першого датчика і 1 для другого датчика рухомої одиниці.

Службові поля (біти 0–4,106–123) використовуються програматором для виконати технічні функції систем, включаючи захист інформації (біти 106–117), вказівка коду формату кодування даних (біти 118–123) та т. д.

Перша контрольна сума розраховується підсумовуванням бітів з 0 по 59, в двійковому результаті залишають два крайніх правих біта, інші відкидають. При цьому старший біт заноситься в розряд 60. Друга контрольна сума, яка розраховується аналогічно першій, служить для перевірки цілісності даних в бітах з 62-го по 123-й (старший біт суми заноситься в 124-й біт).

Маркер інформаційного кадру (біти 126 і 127) служить для позначення початку наступного кадру.

#### **Допустимі умови експлуатації:**

- температура навколишнього середовища від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ ;
- відносна вологість навколишнього середовища 100% при  $25^{\circ}\text{C}$ ;
- вплив дощу, сольового (морського) туману, пилу і піску;
- покриття шаром сажі, нафти або мазуту до 1 мм;
- вплив випадкової вібрації зі середньоквадратичним значенням прискорення до 3 g в діапазоні частот 0,5-100 Гц;
- атмосферний тиск від 650 до 800 мм рт. ст.

#### **Максимальні допустимі впливи:**

- механічний удар з параметрами напівсинусоїдального імпульсу 30 g, 11 мс при кількості 10 000 ударів частотою 40-80 ударів в хвилину;
- температура від  $-70^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ ;
- пікове значення напруженості поля 50 В / м протягом 60 с.

**Середнє напрацювання на відмову КБД-2 - 87600 годин.**

#### 4.4. Розробка зчитувача для системи радіочастотної ідентифікації

Для запропонованої системи був розроблений RFID-зчитувач, принципова електрична схема якого зображена на рис.4.10.

До принципової електричної схеми RFID- зчитувача входять такі складові вузли:

- мікроконтролер PIC18F2682;
- радіопередавач, який використовується для формування надвисоких частот;
- попередній підсилювач;
- вихідний підсилювач НВЧ-коливань DA1 типу ALM32120;
- приймач НВЧ-коливань DA3 типу RX4700;
- стабілізатор напруги DA2 типу AMS1117-3.3;
- транзисторний ключ VT4, який перетворює рівень вихідних сигналів радіоприймача в стандартний TTL- рівень;
- CAN- трансивер типу MCP2551, який передає номер вагону до блоку управління.

Зчитувач побудований на базі мікроконтролера PIC18F2682, який управляє роботою радіопередавача та виконує обробку повідомлень, отриманих від кодових бортових датчиків. Даний мікроконтролер має вбудований CAN-інтерфейс, який доповнюється зовнішнім CAN-трансивером MCP2551. Це дозволяє здійснювати обмін даними між RFID-зчитувачем та блоком управління. Крім цього, до складу зчитувача входять радіопередавач та радіоприймач.

До мікроконтролера PIC18F2682 підключаються: коло скидання MCLR; коло синхронізації, яке використовується для формування та стабілізації тактової частоти; напруга живлення. Мікроконтролер виконує наступні функції:

1. Вмикає НВЧ- генератор.
2. Опитує приймач.
3. Формує пакет даних у відповідності з CAN-протоколом.

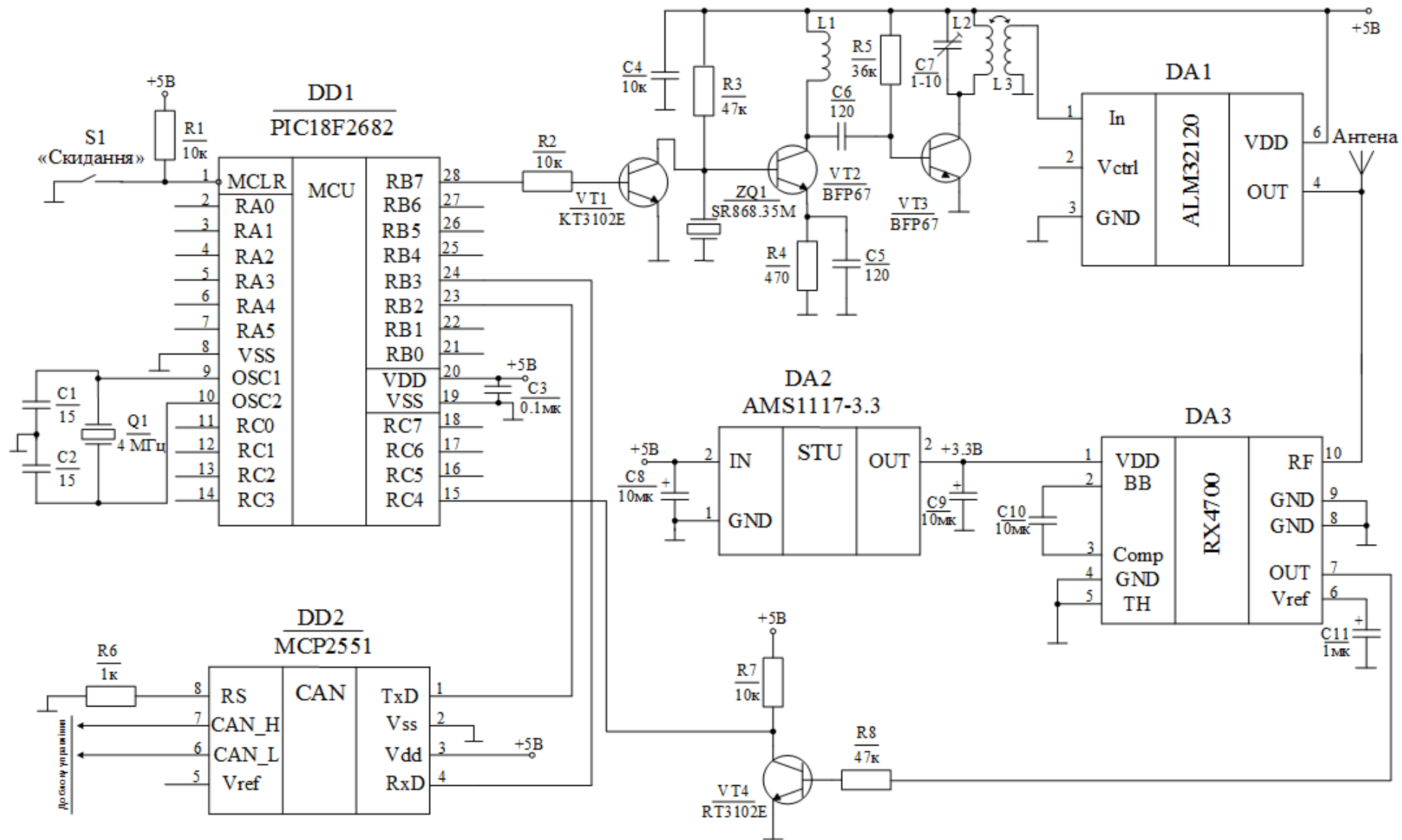


Рис.4.10. Принципова електрична схема RFID- зчитувача

Мікроконтролер PIC18F2682 має такі входи та виходи: коло скидання — MCLR; RA0-RA5 — аналогові входи TTL- рівня; OSC1 — зовнішній вхід джерела тактової частоти; OSC2 — зовнішній вихід джерела тактової частоти; VSS — «земля»; RC0-RC3 — цифрові входи; RB0, RB1, RB4- RB7 — аналогові виходи; RB2, RB3 — виходи підключення до CAN- трансивера; VDD — напруга живлення; RC4-RC7 — цифрові виходи.

За допомогою виходів RB2, RB3 мікроконтролер PIC18F2682 з'єднується з мікросхемою DD2 типу MCP2551, тобто з CAN- трансивером. Він має такі виводи: TxD — введення даних передачі; VSS — «земля»; VDD — напруга живлення; RxD — вихід даних отримання; VREF — опорна вихідна напруга; CAN\_L — вхід / вивід низької напруги; CAN\_H — вхід / вивід напруги високого рівня; RS — вхід управління нахилом.

Радіопередавач складається з генератора НВЧ-коливань на біполярному транзисторі VT2, резонатора на поверхневих акустичних хвилях ZQ1, базового зміщення на резисторі R3, каскаду підсилення на транзисторі VT3 та вихідного підсилювача DA1 типу ALM32120.

Для включення та виключення генератора використовується транзистор VT1. Робоча частота генератора дорівнює 868,35 МГц, що відповідає вимогам стандарту ISO 10374. Для стабілізації частоти використовується резонатор на поверхневих акустичних хвилях ZQ1 типу SR868.35M, а для стабілізації температури використовується резистор R4, конденсатор C5 шунтує резистор R4 по змінному струмі.

Для підсилення потужності використовується попередній підсилювач на базі транзистору VT3. Смуга пропускання каскаду підсилення НВЧ-коливань визначається параметрами коливального контуру C7, L2 та базовим зміщенням на резисторі R5. Налаштування контуру здійснюється за допомогою змінного конденсатора C7.

Вихідний підсилювач потужності у вигляді мікросхеми DA1 типу ALM32120 використовується для підсилення та формування вихідних коливань, які надходять в антену систему. Дана мікросхема має такі входи: In

— для з'єднання з попереднім підсилювачем, Vctrl — керуюча напруга, GND — заземлення та виходи: VDD — напруга пристрою, OUT — для підключення мікросхеми до антенної системи. Мікросхема DA1 має смугу пропускання від 700 МГц до 1 ГГц та дозволяє отримати потужність вихідного сигналу 2 Вт.

Приймач НВЧ-коливань представлений у вигляді мікросхеми DA3 типу RX4700, яка представляє собою радіоприймач амплітудно-модульованого сигналу з несучою частотою 868,35 МГц. Приймач вироблений фірмою RF Monolithics (США) як гібридна мікросхема, що інтегрує фільтри і резонатори на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ), а також ВЧ аналогові і цифрові кола. Також виконує роль радіоприймача, передавача і приймача для передачі цифрових сигналів на фіксованих частотах. Його застосування не вимагає ні зовнішніх високостабільних частотнозадаючих компонентів, ні настройки.

Для формування напруги живлення даного приймача величиною 3,3 В застосовується стабілізатор напруги DA2 типу AMS1117-3.3. Дана мікросхема має такі виводи: In — живлення +5 В; GND — заземлення; OUT — для підключення даної мікросхеми до мікросхеми DA3, тобто до приймача НВЧ-коливань.

За допомогою виходу мікросхеми DA3 типу RX4700 — OUT підключається транзисторний ключ VT4, який перетворює рівень вихідних сигналів радіоприймача (+3,3 В) у стандартний ТТЛ- рівень (+5 В), які потім надходять до мікроконтролера PIC18F2682.

### **Принцип дії RFID- зчитувача**

При замиканні кнопки S1 на вхід MCLR надходить лог.«0», в результаті чого мікроконтролер PIC18F2682 «скидається», а при надходженні лог.«1» — вмикається ланцюг живлення і приводить схему в дію.

За відсутності поїзда в зоні контролю зчитувача на аналоговому виході RB7 мікроконтролера формується логічна одиниця. При цьому транзистор

VT1 відкривається, що призводить до закривання транзистора VT2. Генерація не відбувається і електромагнітні хвилі не випромінюються.

При в'їзді поїзда в контрольовану зону спрацьовують точкові колійні датчики, що фіксується контролером датчиків, а потім блоком управління, який передає відповідне повідомлення до зчитувача. Після цього на лінії RB7 мікроконтролера формується логічний нуль, транзистор VT1 закривається, а НВЧ - генератор на транзисторі VT2 починає виробляти коливання з частотою 868,35 МГц.

Потім через попередній підсилювач на базі транзистору VT3 та коливальний контур C7-L2-L3, коливання з необхідною частотою поступають на вихідний підсилювач мікросхеми DA1, який формує необхідні коливання для антенної системи.

Після підсилення відбувається випромінювання електромагнітної хвилі. В разі знаходження в зоні дії зчитувача кодового бортового датчика, здійснюється перевипромінювання електромагнітної хвилі антеною датчика та модуляція сигналу у відповідності до повідомлення, яке записане в пам'яті датчика.

Далі сигнал з антенної системи приходить на мікросхему DA3, тобто на приймач НВЧ-коливань типу RX4700, який в свою чергу виконує підсилення, демодуляцію та фільтрацію отриманого зворотного сигналу. Для його роботи використовується стабілізатор напруги у вигляді мікросхеми DA2 типу AMS1117-3.3, який подає живлення +3,3В на приймач.

Після цього повідомлення через управляючий ключ на транзисторі VT4, який перетворює живлення приймача +3,3В на живлення схеми +5В (відновлення ТТЛ- рівня), передається на вхід мікроконтролера RC4.

Мікроконтролер PIC18F2682 оброблює отриману інформацію про номер вагону та з ТТЛ- рівнів перетворює в сигнал для CAN- трансивера у вигляді мікросхеми DD2 типу MCP2551, який передає отриману інформацію до блоку управління, а той в свою чергу — на станційне обладнання, тобто на автоматизоване робоче місце оператора (АРМ).

#### **4.5. Висновки по розділу 4**

В даному розділі була запропонована структурна схему підсистеми радіочастотної ідентифікації рухомих одиниць, що складається з колійного та станційного обладнання. Колійна апаратура містить в собі блоки, які дозволяються підрахувати кількість осей та вагонів, визначити наявність поїзда в зоні дії підсистеми, приймати та аналізувати інформацію від датчиків, та визначати номер стінки вагона. Станційна апаратура містить в собі блоки обробки всієї отриманої інформації та передає її на автоматизоване робоче місце оператора.

Розроблена модель підсистеми радіочастотної ідентифікації дозволила визначити час передачі повідомлення, необхідну довжину зони чутливості та обрати тип та кількість елементів антени, розрахувати потужність живлення кодового бортового датчика.

## **Висновки**

Системи ідентифікації рухомого складу забезпечують автоматичне зчитування номерів вагонів та обробку даної інформації. В результаті впровадження таких систем підвищується достовірність і оперативність звітності про стан вагонних і локомотивних парків, зменшується штат співробітників, забезпечується впровадження безпаперових інформаційних технологій, підвищується інтенсивність вантажоперевезень за рахунок скорочення простоїв, запізнень, порожніх пробігів.

Запропоновано використовувати гібридну систему автоматичної ідентифікації рухомого складу, яка складається з підсистем оптичної та радіочастотної ідентифікації. Пріоритетною є більш достовірна радіочастотна ідентифікація. Проте, якщо вагон не має кодових бортових датчиків (RFID-транспондерів), номер вагону визначається шляхом оптичного розпізнавання.. Були розроблені структура та алгоритми такої системи.

Запропонований алгоритм обробки зображення бокової стінки вагону із застосуванням нейромережових технологій дозволяє автоматично розпізнавати номери вагонів. Працездатність алгоритму підтверджується результатами моделювання.

В результаті розрахунків RFID-системи були надані рекомендації щодо вибору її параметрів. Також була розроблена принципова електрична RFID-зчитувача. Робоча частота зчитувача та формат повідомлень були обрані у відповідності до стандарту ISO10374.

## Список використаних джерел

1. Hopfield J. J. Neurons with graded response have collective computational properties like those of two-state neurons [Текст] / J.J. Hopfield // Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. — 1984. — vol.81 — P. 3088—3092.
2. Kosko B. Bi-directional associative memories [Текст] / B. Kosko // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. — 1987. — vol.18 — P.49—60.
3. Адаменко В. О. Штучні нейронні мережі в задачах реалізації матеріальних об'єктів [Текст] / В. О. Адаменко, Г. О. Мірських // Вісник Національного технічного університету України "КПІ" Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування —2011. —№47. — С. 182.
4. Веснин Е. Н. Распознавание номеров вагонов: принципы решения и приложение в промышленности [Текст] / Е. Н. Веснин, В. А. Царев, А. Е. Михайлов // CONTROL ENGINEERING РОССИЯ. — 2014. — № 1 (49). — С. 60-68.
5. Габарити наближення будівель і рухомого складу залізниць колії 1520 [Текст] / за ред. В. Адріанова. — КП "Науково-технічний центр Академії будівництва України", 2012. — 50 с.
6. Горів А. Е. Інформаційні технології в професійній діяльності [Текст]: підручник / А. Е.Горів. — СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2018. — 269 с.
7. Грузовые железнодорожные вагоны [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.agonta.com/cont\\_ru/resources\\_4.html#](http://www.agonta.com/cont_ru/resources_4.html#).
8. Диагностирование устройств железнодорожной автоматики и агрегатов подвижных единиц [Текст]: Учебник / за ред. А. Б. Бойник. — Х.: ЧП Издательство “Новое слово”, 2008. — 304 с.
9. Дранишников Л. В. Інтелектуальні методи в управлінні [Текст]: навч. посібник / Л. В. Дранишников. — Кам'янське: ДДТУ, 2018. — 416 с.

10. Загальний огляд технологій безконтактної ідентифікації [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://studme.com.ua/1435012014328/logistika/obschiy\\_obzor\\_tehnologiy\\_beskontaktnoy\\_identifikatsii.htm](https://studme.com.ua/1435012014328/logistika/obschiy_obzor_tehnologiy_beskontaktnoy_identifikatsii.htm).
11. Інтегрована система безпеки «Інтелект» [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.bsi-group.com.ua/ua/systems-security/category/integrated-system>.
12. Кодовий бортовой датчик кбд-2 [Электронный ресурс]. — Режим доступу: <https://studfile.net/preview/8170635/page:2/>.
13. Коцовський В. М. Нейронні системи [Текст]: навч. посібник / В. М. Коцовський. — Ужгород, 2013. — 25 с.
14. Кошевой С. В. Автоматическая система диагностического контроля температуры буксовых узлов подвижных единиц железнодорожного транспорта – АСДК-Б [Текст]: Учебное пособие / С. В. Кошевой, М. С. Кошевой, К. А. Трубочанинова. — Харьков: УкрГАЖТ, 2005. — 66 с.
15. Левин, Д. Ю. Основы управления перевозочными процессами [Текст]: Учебное пособие / Д. Ю. Левин. — Москва: НИЦ ИНФРА-М, 2015. — 264 с.
16. Миркес Е. М. Нейрокомпьютер. Проект стандарта [Текст] / Е. М. Миркес. — Новосибирск: Наука, 1999. — 337 с.
17. Модуль відеоспостереження Trassir — AutoTRASSIR LPR-1-30 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.vostok.dp.ua/ukr/infa1/Avtomatizatsiya/ais/>.
18. Оптическая идентификация объектов подвижного состава в задачах управления железнодорожными перевозками [Текст] / Э. В. Алиев и др. — (Автоматизация в промышленности) // — 2009. — № 5. — С. 49-54.
19. Русакова Е. А. Система автоматической идентификации транспортных средств САИТ «Пальма» [Текст]: метод. указания / Е. А. Русакова. — Екатеринбург : УрГУПС, 2015. — 35, [1] с.

20. Современные методы слежения за перемещением грузов [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://studbooks.net/2449840/tehnika/sovremennye\\_metody\\_slezheniya\\_pereemescheniem\\_gruzov](https://studbooks.net/2449840/tehnika/sovremennye_metody_slezheniya_pereemescheniem_gruzov).
21. Современные технические решения и международный опыт в автоматизации слежения за подвижными транспортными средствами [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://zdamsam.ru/b27071.html>.
22. Финкенцеллер Клаус. RFID-технологии [Текст]: Справочное пособие / К. Финкенцеллер; пер. с нем. Сойунханова Н.М. — М. : Додэка-XXI, 2010. — 496 с.
23. Шпиндлер Э. Практические конструкции антенн [Текст] / Пер. с нем. — М.: Мир, 1989. — 448 с.