

УДК 004.415.532

ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ

Д-р техн. наук О. М. Ананьєва, старш. викл. О. В. Лазарєв,
бакалаври О. О. Слєпченко, Р. О. Парфьонов

INTRODUCING INNOVATIONS TO IMPROVE THE AUTOMATIC ROLLING STOCK IDENTIFICATION SYSTEM

Dr. Sc. (Tech.) O. Ananieva, Senior Lecturer O. Lazariyev,
bachelors O. Slepchenko, R. Parfenov

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.212.2025.336419>



***Анотація.** Стаття присвячена розробленню систем автоматичної ідентифікації рухомого складу із застосуванням сучасних технологій. У роботі проаналізовано сучасні методи ідентифікації, розглянуто різновиди автоматизованих систем і їхні основні завдання. Особливу увагу приділено технологіям відеоспостереження та радіочастотній ідентифікації (RFID), специфіці застосування технологій Amtech, Dupicom і системи «Пальма», проектуванню мікропроцесорної системи автоматичної ідентифікації рухомого складу. Розглянуто принципи роботи, організацію системи, логіку та етапи виконання алгоритму ідентифікації. Запропоновано алгоритм підрахунку кількості вагонів та аналіз функціонування датчиків проходження колісних пар ДПД-01. Розглянуто підсистему оптичної ідентифікації на основі нейронних мереж. Досліджено структуру та механізм функціонування, алгоритми розпізнавання номерів рухомих одиниць, а також використання штучного інтелекту. Вивчено особливості навчання нейронних мереж, їхню топологію та оптимізацію.*

Технічно змодельовано систему оптичної ідентифікації. Отримані результати можуть бути використані для підвищення ефективності автоматизації ідентифікації рухомого складу на залізничному транспорті.

Ключові слова: автоматична ідентифікація, рухомий склад, відеоспостереження, радіочастотна ідентифікація (rfid), amtech, dynicom, нейронні мережі, штучний інтелект, датчики проходження колісних пар (dpd – 01), оптична ідентифікація.

Abstract. The article is devoted to the analysis and development of automatic rolling stock identification systems using modern technologies. The paper analyzes the existing identification methods, considers the types of automated systems and their main tasks. Particular attention is paid to video surveillance and radio frequency identification (RFID) technologies, as well as the specifics of using Amtech, Dynicom, and the Palm system. The design of a microprocessor-based system for automatic identification of rolling stock is also discussed in detail. The principles of operation, system organization, logic, and stages of the identification algorithm are considered. An algorithm for counting the number of cars and analyzing the functioning of the DPD-01, wheel set passage sensors is proposed. The development of an optical identification subsystem based on neural networks is also considered. The structure and mechanism of functioning, algorithms for recognizing the numbers of rolling stock, as well as the use of artificial intelligence are investigated. The features of neural network training, their topology and optimization are studied. Technical modeling of the optical identification system was performed. The research emphasizes the importance of integrating advanced technologies to enhance the reliability and accuracy of identification systems. It highlights the challenges faced in real-time identification and suggests solutions based on sensor fusion and AI-driven decision-making. Practical implementation issues and potential improvements in data processing speed and recognition accuracy are discussed. The study concludes that the proposed system can significantly improve operational safety and logistical efficiency in railway transport. The obtained results can be used to improve the efficiency of automation of rolling stock identification in railway transport.

Keywords: automatic identification; rolling stock; video surveillance; radio frequency identification (rfid); amtech; dynicom; neural networks; artificial intelligence; wheel pair passage sensors (dpd – 01); optical identification.

Вступ. За допомогою технологій розпізнавання рухомого складу можна автоматично зчитувати і обробляти дані про номери вагонів. Завдяки їх впровадженню значно покращується точність і швидкість збору інформації про стан локомотивного та вагонного парку. Це сприяє оптимізації робочих процесів, скороченню потреби в персоналі та переходу на цифрові методи обміну даними без використання паперових носіїв. У цій роботі описано розроблення комплексної системи автоматизованої ідентифікації та технічного моніторингу рухомого складу [6].

Структура системи має багаторівневу організацію. На початковому рівні функціонують кодові датчики, встановлені

на кожному вагоні. Наступний рівень включає пункти зчитування інформації, оснащені додатковими засобами контролю – камерами для визначення температури буксових вузлів і п'єзоелектричними сенсорами, що фіксують можливі дефекти коліс. Дані, отримані від зчитувальних пунктів, передають до інформаційних вузлів лінійного та магістрального рівнів, а потім спрямовують у центральний аналітичний центр ГІОЦ УЗ – вищу ланку системи управління.

Розглянуто кілька можливих конфігурацій системи. На початковому етапі доцільно застосовувати технологію оптичного розпізнавання, яка не потребує додаткового обладнання на вагонах. У

подальшому, з інтеграцією кодових бортових датчиків, стане можливою більш надійна ідентифікація за допомогою радіочастотних технологій. Однак повне оснащення всього парку рухомого складу такими датчиками – це тривалий процес, що потребує значних ресурсів і часу.

У цей перехідний період є можливість використання комбінованої системи, яка поєднує оптичну та радіочастотну ідентифікацію. У межах цієї роботи розроблено нейронну мережу, здатну розпізнавати номери вагонів за фотографіями. Дослідження показали, що ця мережа ефективно визначає номери навіть за умов обмеженої видимості та забруднення поверхні вагона [6].

Впровадження інновацій для покращення системи автоматичної ідентифікації рухомого складу є актуальним в контексті сучасних викликів транспортної галузі. Через зростання обсягів вантажних і пасажирських перевезень, потребу в оптимізації логістики та підвищенні безпеки потрібні ефективні технології ідентифікації.

Системи автоматичної ідентифікації, такі як RFID, комп'ютерний зір чи IoT-пристрої, точно відстежують рухомий склад у реальному часі, мінімізуючи людський фактор і помилки.

Інновації в цій сфері сприяють підвищенню ефективності управління транспортними потоками, скороченню простоїв і витрат на обслуговування. Наприклад, використання штучного інтелекту для аналізу даних із камер чи датчиків забезпечує швидке розпізнавання номерів вагонів і локомотивів, що покращує координацію на залізничних вузлах. Крім того, впровадження таких систем сприяє екологічній стійкості завдяки оптимізації маршрутів і зменшенню енергоспоживання.

Актуальність теми також підкріплена глобальними трендами цифровізації та автоматизації. У країнах із розвинутою транспортною інфраструктурою, як-от ЄС чи США, подібні технології вже активно застосовують, що створює потребу в

адаптації таких рішень у країнах, що розвиваються. Отже, інновації в системах ідентифікації рухомого складу є основними для модернізації транспортної галузі, підвищення її конкурентоспроможності та безпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. *Аналіз сучасних систем автоматичної ідентифікації рухомого складу.* Система «Інтелект» включає модуль для автоматичного визначення номерів вагонів і цистерн. В умовах сучасних залізничних перевезень великі промислові підприємства, транспортні компанії та інфраструктурні об'єкти стикаються з такими завданнями: автоматизоване відстеження руху поїздів і вагонів; візуальний контроль за вантажами; перевірка відповідності габаритів і ваги рухомого складу.

Досягнення успіху в цих сферах суттєво позначається як на загальній безпеці залізничних перевезень, так і ефективності діяльності окремих компаній і організацій. Модуль для ідентифікації номерів вагонів і цистерн, зображений на рис. 1, – важливий і ефективний інструмент для вирішення завдань за допомогою системи відеоспостереження в залізничному транспорті. У галузі відеоідентифікації існують кілька основних напрямів: автоматичне розпізнавання номерів автомобілів, ідентифікація номерів вагонів, визначення осіб, виявлення об'єктів, а також їх порівняння та верифікація з еталонними даними [11].

Для автоматичного розпізнавання номерів транспортних засобів у системах відеоспостереження використано спеціалізовані модулі, такі як «Ураган» Slow-1 у системі «Інтелект» і AutoTRASSIR LPR-1-30 у Trassir, наведені на рис. 2 [17].

Автоматизоване виявлення та ідентифікація номерних знаків залізничного рухомого складу. Програмний комплекс «ЗД-Інтелект-1» призначений для автоматичного зчитування та розпізнавання номерів вагонів. Ліцензія на один

відеоканал дає змогу інтегрувати цю технологію в систему відеоспостереження (рис. 3). Сучасні методи автоматичної ідентифікації невпинно вдосконалюють,

впроваджуючи інноваційні рішення. Поєднання різних технологічних підходів сприяє підвищенню точності, швидкості та надійності процесу розпізнавання [17].

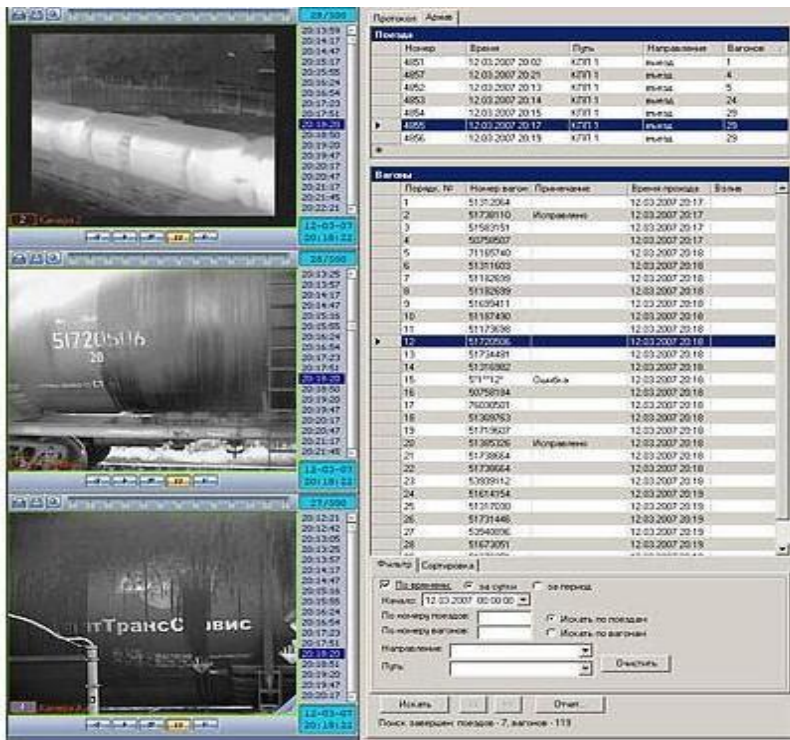


Рис. 1. Процедура розпізнавання номерів вагонів і цистерн у рамках системи «Інтелект»

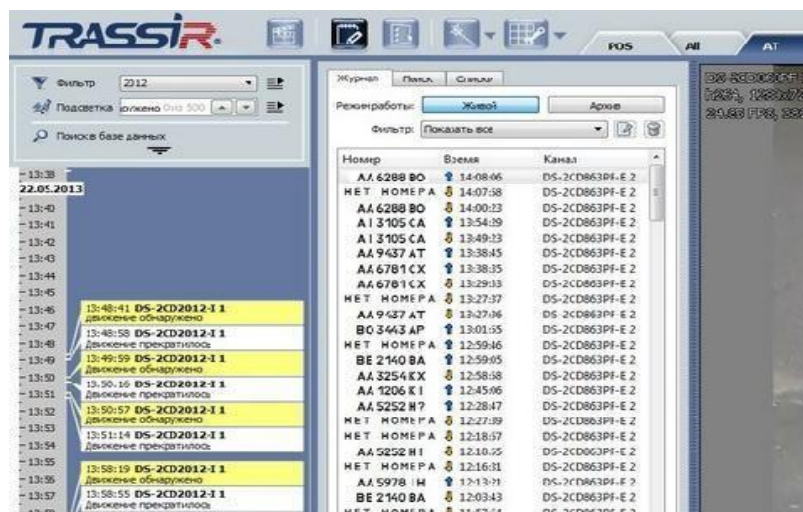


Рис. 2. Інтелектуальний модуль AutoTRASSIR LPR-1-30 у складі системи Trassir, призначений для автоматичного розпізнавання номерних знаків транспортних засобів

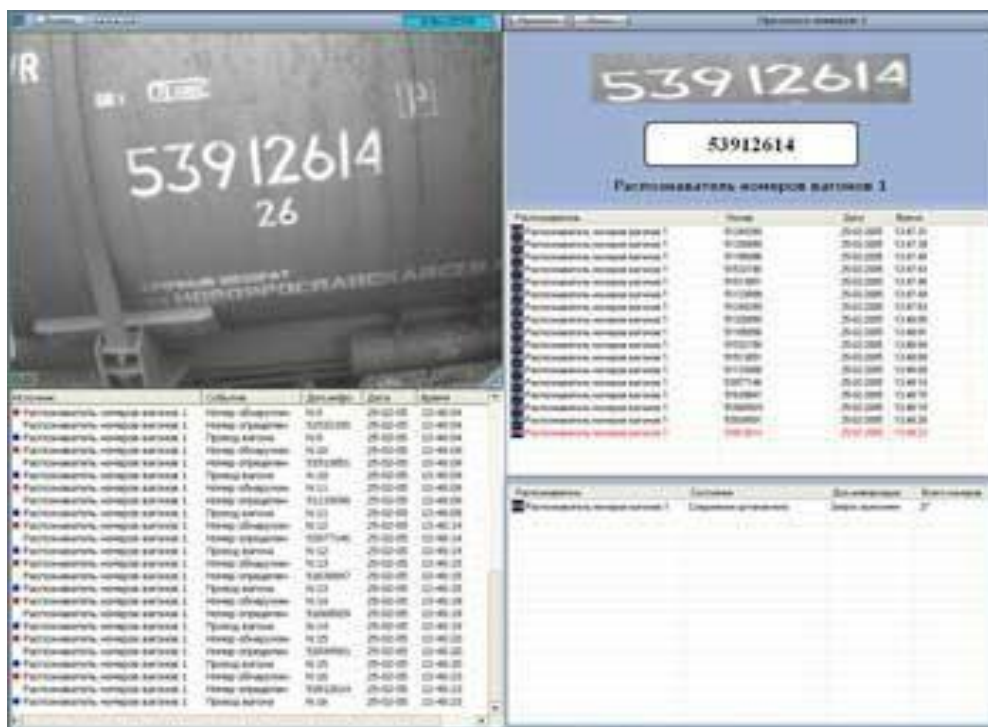


Рис. 3. Система автоматичного зчитування та аналізу ідентифікаційних номерів залізничних вагонів

ARSCIS – це система, яка поєднує апаратні й програмні рішення для оптоелектронного розпізнавання рухомого складу залізниць. Компанія «Малленом» і її підрозділ «Малленом Системс» накопичили великий досвід із розроблення та впровадження технологій для ідентифікації транспортних засобів на землі. У 2004 році компанія «Малленом» розробила перший пілотний зразок апаратно-програмного комплексу, що автоматизує процес зчитування номерів вантажних вагонів і поїздів. Зважаючи на результати випробувань та експлуатації пілотної версії системи ARSCIS (для розпізнавання номерів вагонів), була розроблена стандартна промислова модель. Її структурне розташування наведено на рис. 4. Система включає оптоелектронні модулі для збору даних, датчики, які визначають положення колісних пар, обчислювальну платформу для обробки отриманої інформації та телекомунікаційне обладнання для передавання даних [4].

У цій конфігурації система ARSCIS може бути оснащена від однієї до чотирьох відеокамер, налаштованих для зчитування номерів, розташованих на боках і балках вагонів. Зі збільшенням кількості камер підвищується точність і надійність ідентифікації, що дає змогу збільшити ймовірність правильних результатів і знизити частоту помилок у процесі зчитування [4]. Для безперебійної роботи оптичної системи в контрольованій зоні застосовують джерела світла, зокрема кварцево-галогенні лампи або інфрачервоні прожектори. Положення рухомого складу в зоні спостереження визначають індукційні датчики колісних пар, які підключають до комп'ютера через COM-порт. Також існують різні способи підключення відеокамер до обчислювальної системи. Вибір оптимального способу підключення залежить від специфіки об'єкта і наявних можливостей телекомунікаційної мережі.

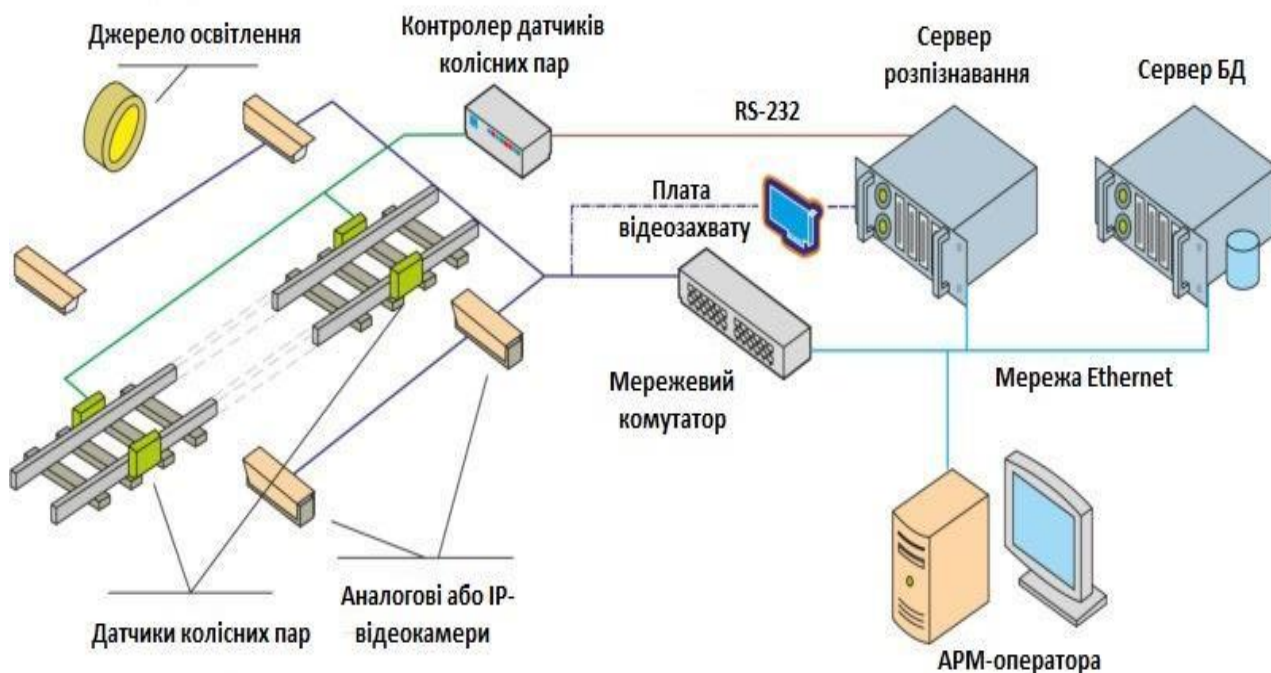


Рис. 4. Схематичне зображення типової структури системи ARSCIS для ідентифікації номерів вагонів

Відеосигнал може бути переданий через коаксіальні кабелі, скручену пару або оптоволокно. Якщо система обробляє аналоговий сигнал, потрібна спеціальна плата для захоплення відео. Для IP-камер сигнал спочатку конвертують у цифрову форму, а підключення до комп'ютера відбувається через Ethernet [4].

У системі автоматичної ідентифікації «Пальма» застосовано інноваційну НВЧ-технологію на частотах 865, 867 і 869 МГц, що дає змогу здійснювати ефективне зчитування даних на великих відстанях і за високих швидкостей руху транспорту. Її основний компонент – це опромінювальна зчитувальна установка, що складається зі зчитувача з антеною та пасивного кодового бортового датчика. Цей датчик працює без власного джерела живлення, отримуючи необхідну енергію через електромагнітні хвилі від зчитувача. Дальність зчитування залежить від потужності зчитувача.

Перевага пасивних кодових бортових датчиків – їхня майже нескінченна тривалість роботи, адже вони не потребують заміни елементів живлення, що характерно для активних систем.

Система автоматичної ідентифікації включає такі основні компоненти: кодові бортові датчики, встановлені на транспортних одиницях у спеціально визначених точках (рис. 5) [19]; концентратори інформації для різних рівнів: на лінійному рівні – КСАІ-Л, на дорожньому – КСАІ-Д; стаціонарні пункти зчитування інформації (ПСЧ), розташовані за декілька метрів від колії в контрольних зонах; пункти для кодування датчиків КБД; спеціалізоване програмне забезпечення для ефективної обробки даних.

Структурна схема і функціональна схема роботи системи автоматичної ідентифікації «Пальма» наведені відповідно на рис. 6 і 7.



Рис. 5. Датчик для бортової ідентифікації



Рис. 6. Структурна схема організації системи «Пальма»

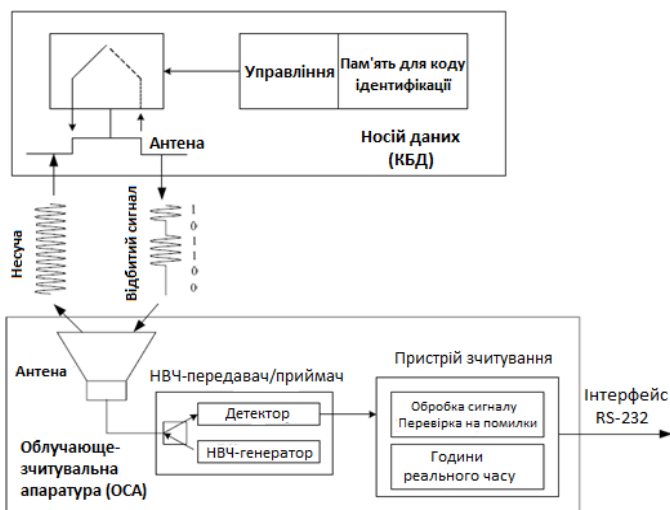


Рис. 7. Функціональна схема роботи системи автоматичної ідентифікації «Пальма»

Основна частина. Проектування мікропроцесорної системи для автоматичної ідентифікації рухомого складу.

Концепція системи автоматичної ідентифікації рухомого складу, включаючи її структурні елементи і принципи функціонування, зображена на рис. 8 [7].

Система включає три основні елементи: колійне, постове і станційне обладнання.

обладнання входять точкові колійні датчики для виявлення позицій колісних пар (ТКД1-ТКД3); відеокамери для моніторингу (ВК1, ВК3 – для нижніх точок, ВК2, ВК4 – для верхніх); освітлювальні пристрої (ДО), активовані в темний час доби; антена RFID для обміну сигналами. Постове обладнання складається з контролера для обробки сигналів від датчиків, блока для обробки відео, системи управління та передавання даних, а також зчитувача RFID.

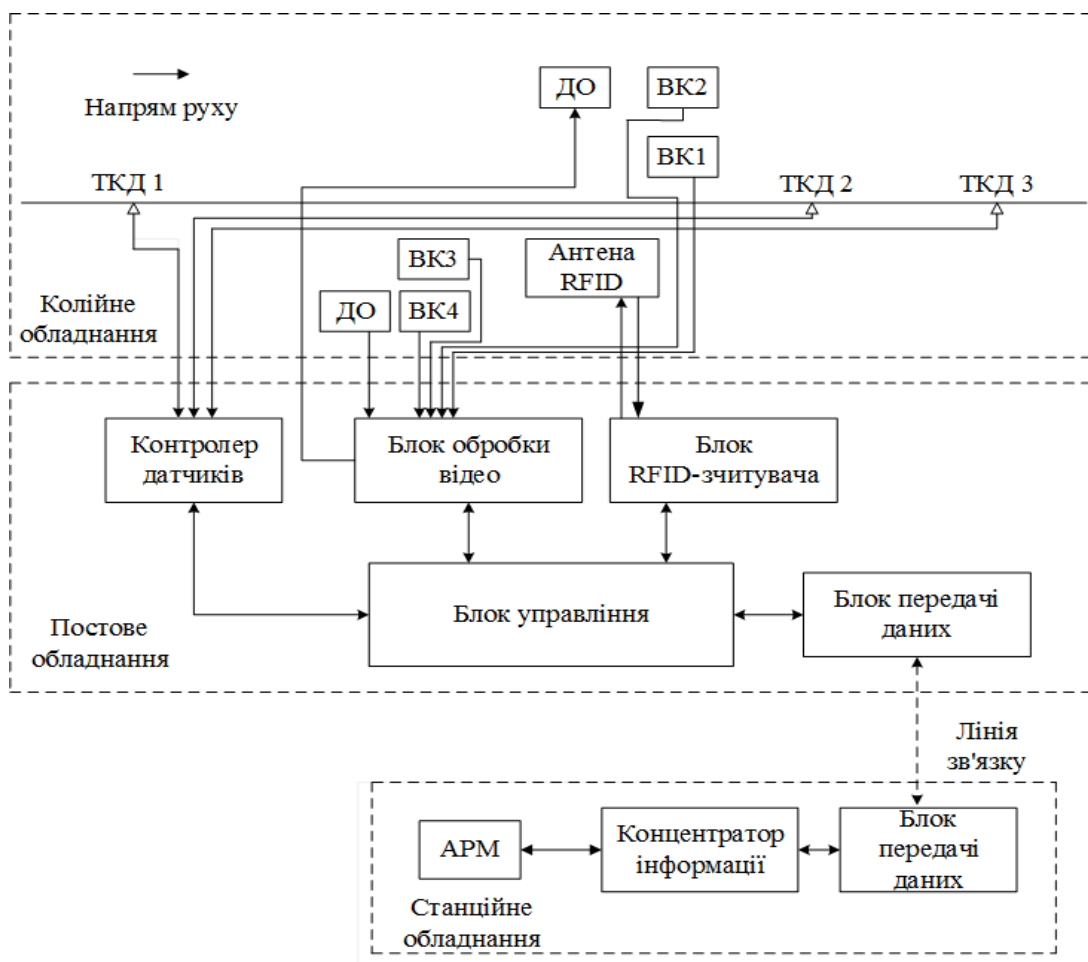


Рис. 8. Схема організації системи автоматичної ідентифікації рухомого складу

Станційне обладнання, яке з'єднане з постовим через лінію зв'язку, включає модуль передавання інформації, центральний агрегатор даних і автоматизовані робочі місця (АРМ) [7].

Процес зчитування побудований за таким принципом: уздовж залізничної колії, у ключових точках (вхід/вихід зі станцій чи депо), встановлені спеціальні датчики для виявлення наближення поїздів – точкові

колійні датчики (ТКД1-ТКД3). Вони активуються, коли поїзд входить у зону контролю. Спочатку система шукає кодові бортові датчики (КБД). У разі їх наявності на вагонах ідентифікація відбувається через радіочастотний метод. Якщо ж датчики не знайдені, використовують оптичну систему ідентифікації. У цьому випадку, коли поїзд наближається до контрольної зони, активується перший точковий колійний датчик (ТКД1).

Потім по черзі вмикаються ТКД2 і ТКД3, а одночасно запускаються відеокамери, які захоплюють зображення номерів вагонів. Отримані відеодані передаються до спеціального блока обробки відео, який виконує розпізнавання номерів. Контролер датчиків, який отримує сигнали від ТКД і обробляє дані з усіх точок зчитування залізничного вузла, передає отриману інформацію до блока управління, виконуючи такі основні функції: реєстрація вагонів, що потрапили в зону зчитування; визначення кількості осей і класифікація типів вагонів; облік кількості вагонів у складі. Блок управління через підключений блок передавання даних і лінію зв'язку передає ідентифікаційну інформацію про вагони на станційне обладнання. Концентратор інформації формує комплексне повідомлення, яке включає унікальний восьмизначний код рухомого засобу, коди країни і власника, а також дані про станцію, пункт зчитування, напрямок і час проходження разом із переліком вагонів, що складають поїзд [7]. Ці дані направляють до автоматизованого робочого місця оператора (АРМ).

Якщо під час проходження поїзда виявлені кодові бортові датчики (КБД), інформацію про рух вагонів зчитують за допомогою RFID-антени, яка передає дані на блок RFID-зчитувача. Потім отримані дані передають на блок управління, через блок передавання даних вони потрапляють до станційного обладнання, а далі на АРМ для подальшої обробки [7].

Процес функціонування системи автоматичної ідентифікації та діагностики рухомого складу відбувається згідно з алгоритмом, зображеним на рис. 9.

Система має різні режими роботи, серед яких тестування, вимірювання та передавання даних. Якщо рухомий склад відсутній, система автоматично переходить у режим самодіагностики, де перевіряють працездатність усіх вузлів і компонентів. Потім відбувається контроль щодо наявності вільної контрольної ділянки. У разі її вільності самотестування триває до моменту, поки поїзд не потрапить на цю ділянку. Як тільки поїзд потрапляє на контрольовану ділянку, відстежувану колійними датчиками, система автоматично змінює режим із самодіагностики на вимірювання. Спочатку перевіряють, чи є денне світло. Якщо його недостатньо, буде ввімкнено освітлювальне обладнання. В іншому випадку система негайно переходить до процесу опитування датчиків.

Після активації точкового колійного датчика ТКД1 система перевіряє наявність кодового бортового датчика (КБД) на вагоні. Якщо на вагоні виявлено RFID-датчик, сигнал буде прийнято через спеціалізовану антену RFID. У разі відсутності RFID-датчика система переходить до іншого етапу – активації відеокамер для візуальної фіксації номера вагона. Далі, з проходженням поїзда через точкові датчики ТКД2 і ТКД3, відбувається підрахунок осей і вагонів, що дає змогу визначити кількість одиниць рухомого складу в поїзді [7].

Паралельно з цим контролюють вільність контрольованої ділянки, що забезпечує точність виявлення і унеможливорює помилки для ідентифікації. Після виконання цієї процедури система автоматично розпізнає номери вагонів, обробляє їх і передає інформацію до станційного обладнання для подальшої роботи з даними, що забезпечує ефективне управління рухомим складом [7].

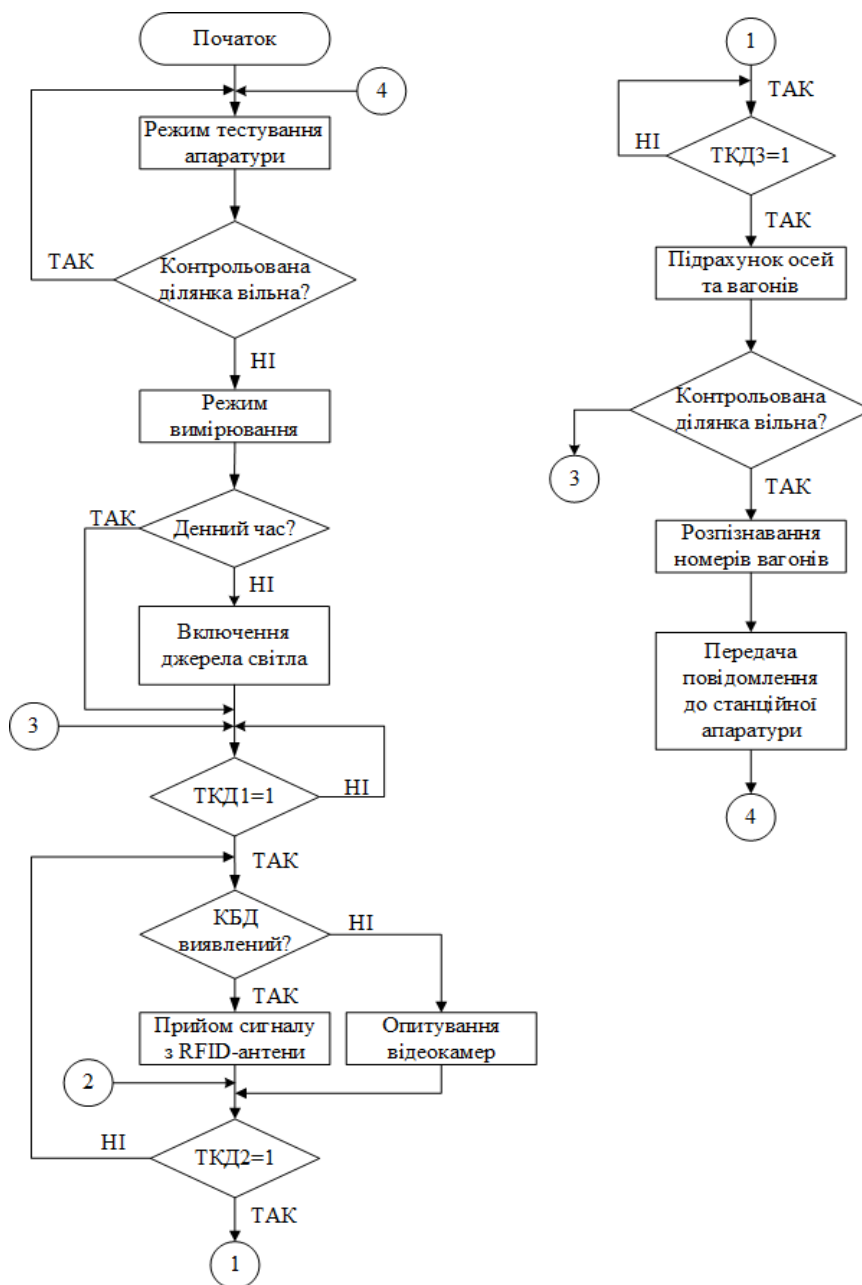


Рис. 9. Алгоритм роботи системи для автоматичної ідентифікації та моніторингу стану рухомих одиниць

Відстань між крайніми осями на середині вагона більша, що є важливим фактором для точного визначення кінця складу.

Така структура дає змогу ефективно визначати місце розташування хвоста вагона і обчислювати загальну кількість вагонів у складі. Цей процес відповідає

формулі $b_i < a < c$, де b_i – це відстань між осями візка, a та c – відповідно відстань між осями посередині і крайніми точками вагона [7].

Для вирішення цієї цього завдання було запропоновано спеціалізований алгоритм, який наведено на рис. 10.

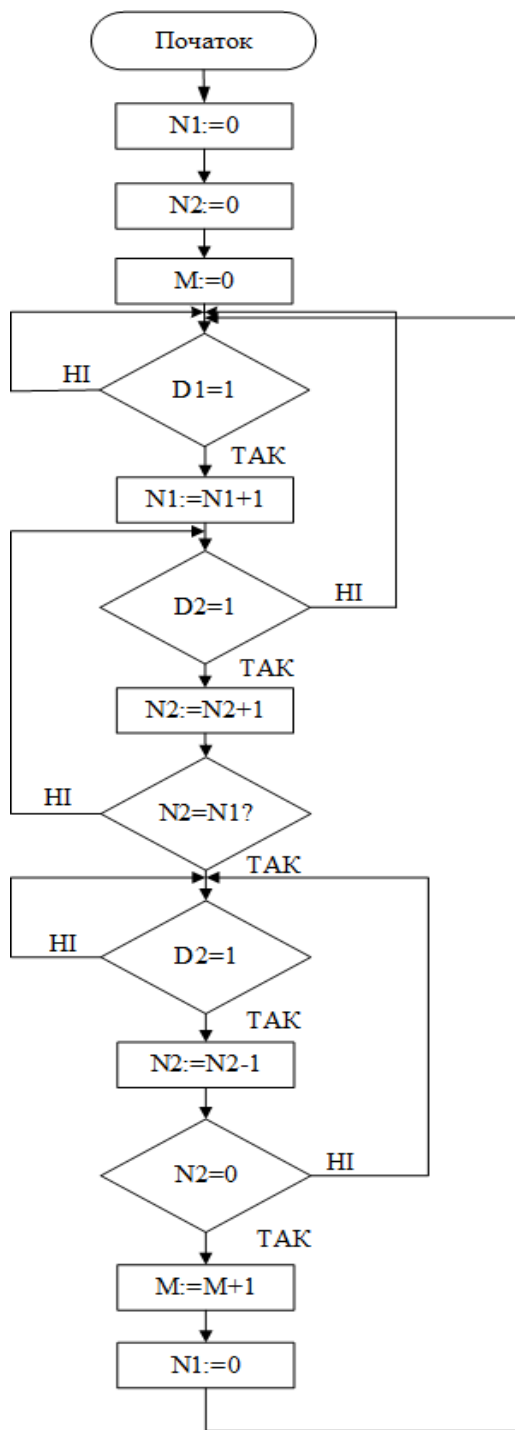


Рис. 10. Алгоритм обчислення кількості вагонів

Він здійснює точний підрахунок вагонів на основі виміряних даних. Алгоритм використовує кілька важливих лічильників: N1 і N2, які реєструють кількість осей, що проходять через датчики Д1 і Д2 відповідно. За цими параметрами

обчислюють загальну кількість вагонів, позначену як M [7]. Надійність роботи систем СЗАТ, оснащених датчиками для підрахунку осей, переважно залежить від точності та достовірності отримуваної первинної інформації. Помилки в

підрахунку осей рухомого складу можуть призвести до збоїв у контролі за тепловим станом букс у таких експлуатованих системах, як ДИСК-Б, ПОНАБ і АСДКБ. На сьогодні є декілька різних конструктивних і схемних рішень датчиків за типом, принципом роботи і методами обробки первинних даних.

Датчики серії ДПД призначені для використання в системах залізничної автоматики та метрополітену, де вони точно фіксують момент проходження осі колеса рухомого складу через центр датчика. Конструкція цих датчиків включає чутливий елемент – колійний датчик ДПД, а також спеціалізований кріпильний механізм для надійного закріплення датчика на рейці [14].

Різновиди датчиків [14]. Серія включає датчики типів ДПД-01, ДПД-02, ДПД-03 і ДПД-03Т, призначені для встановлення на рейки Р65 та Р75. Для рейок Р50 використовують модифікації ДПД-01М, ДПД-02М, ДПД-03М і ДПД-03ТМ.

1. Датчики серії ДПД-01 генерують аналоговий вихід у вигляді двополосного імпульсного сигналу з почерговою полярністю (дві напівхвилі). Перемикання полярності відбувається з проходженням осі колеса через відповідний центр датчика.

2. Датчики серії ДПД-02 пропонують два варіанти вихідних сигналів: імпульс струму, який з'являється в колі живлення під час проходження осі колеса через центр датчика, та аналоговий сигнал у вигляді двох відповідних почергових напівхвиль.

3. Датчики серії ДПД-03 мають два виходи сигналу, на кожному з яких із проходженням колеса генерується спадний імпульс напруги. Ці сигнали зсунуто за часом. Коли вісь колеса проходить через центр датчика, напруга на обох виходах зрівнюється. Якщо колеса немає, напруга на виходах залишається постійною і досягає максимального рівня.

4. Датчики серії ДПД-03Т також мають два виходи, але, на відміну від ДПД-03, кожен із цих виходів видає струм.

Монтують датчики за допомогою спеціальної кріпильної системи, що включає струбцину та кронштейн. Кронштейн є основною точкою опори для фіксації самого датчика, забезпечуючи його стійке положення. Струбцина у свою чергу гарантує надійне закріплення датчика на рейці, мінімізуючи будь-які рухи або зміщення під час роботи. Вона також дає змогу точно відрегулювати розташування датчика в обох площинах – вертикальній і горизонтальній, що забезпечує оптимальну точність вимірювань. Така система кріплення дає змогу забезпечити безперебійну роботу датчиків навіть в умовах високих механічних навантажень і різних експлуатаційних факторів [14]. Розглянемо пристрій для реєстрації проходження колісних пар типу ДПД-01 (рис. 11) [14].



Рис. 11. Зовнішній вигляд датчика для фіксації проходження коліс по колії

Проектування підсистеми оптичної ідентифікації рухомих одиниць на базі нейронної мережі

Процеси та інструменти оптичної ідентифікації вагонів постійно еволюціонують і набирають популярності у сфері моніторингу рухомого складу на великих промислових об'єктах, а також у системах обліку вантажів і продукції, що переміщують залізничним транспортом. Структурну схему організації підсистеми оптичної ідентифікації зображено на рис. 12 [18].

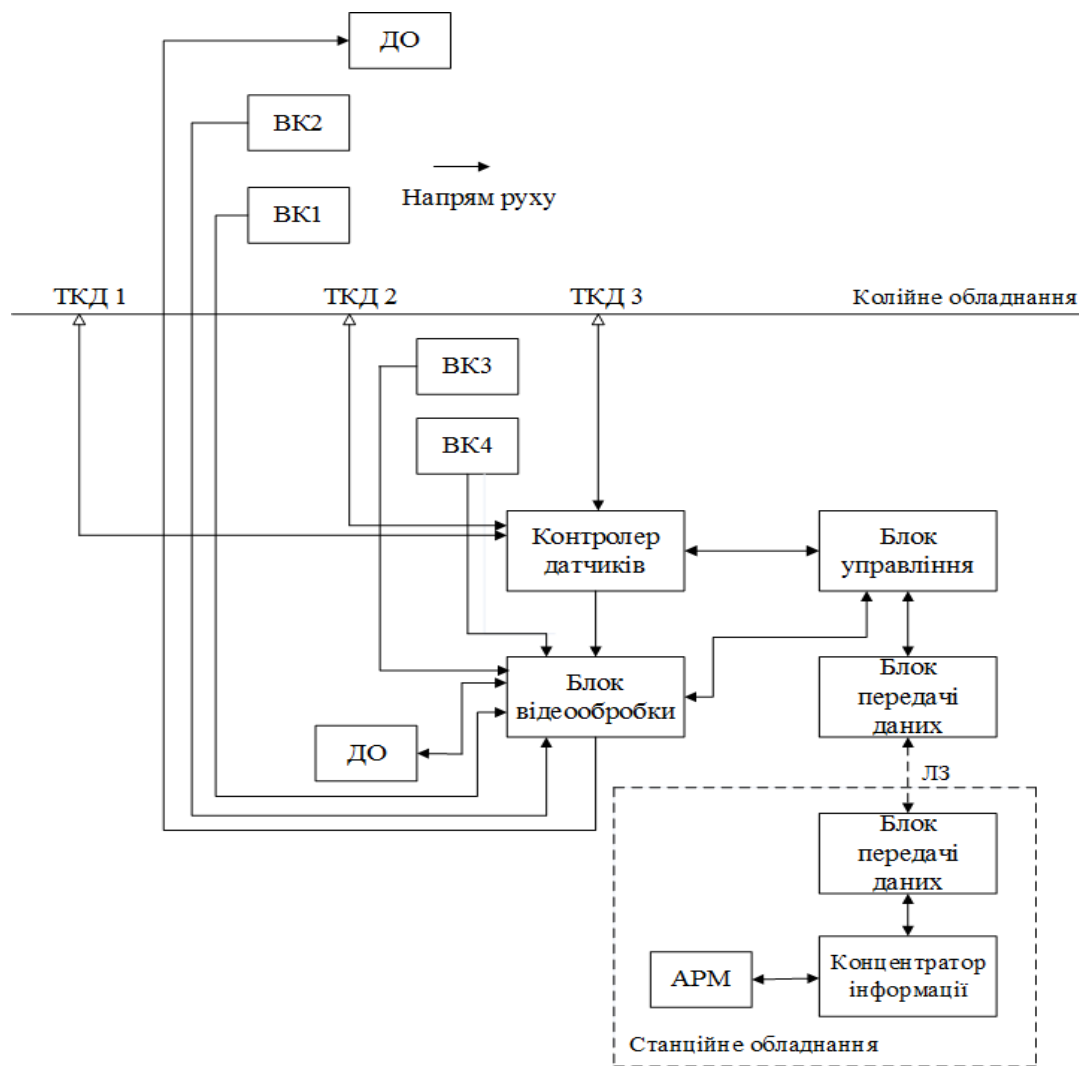


Рис. 12. Організаційна структура підсистеми оптичного розпізнавання

Процес ідентифікації символів на номерних табличках вагонів передбачає розпізнавання буквено-цифрових знаків, які містяться на зображенні.

Для цього використовують графічні дані, отримані на етапі виділення символів, що слугують вхідною інформацією для аналізу. На рис. 13 подано розроблений алгоритм автоматизованого розпізнавання вагонних номерів [18].

Під час цього етапу нейронна мережа аналізує кожен фрагмент зображення, зокрема кожен окрему цифру, визначаючи її межі та форму. Завдяки застосуванню методу поетапного поділу зображення,

алгоритм забезпечує високу точність навіть у випадку, коли зображення може бути деформованим чи спотвореним через різні фактори, такі як неправильне освітлення, викривлення або завади в самому зображенні, наприклад шум. Цей підхід дає змогу забезпечити надійне і стабільне розпізнавання символів на зображенні за допомогою нейронної мережі, навіть за умов поганої якості зображення. Також слід зазначити, що на кожному етапі алгоритм застосовує ефективні методи корекції, що дає змогу адаптуватися до різних варіантів спотворень і завад.

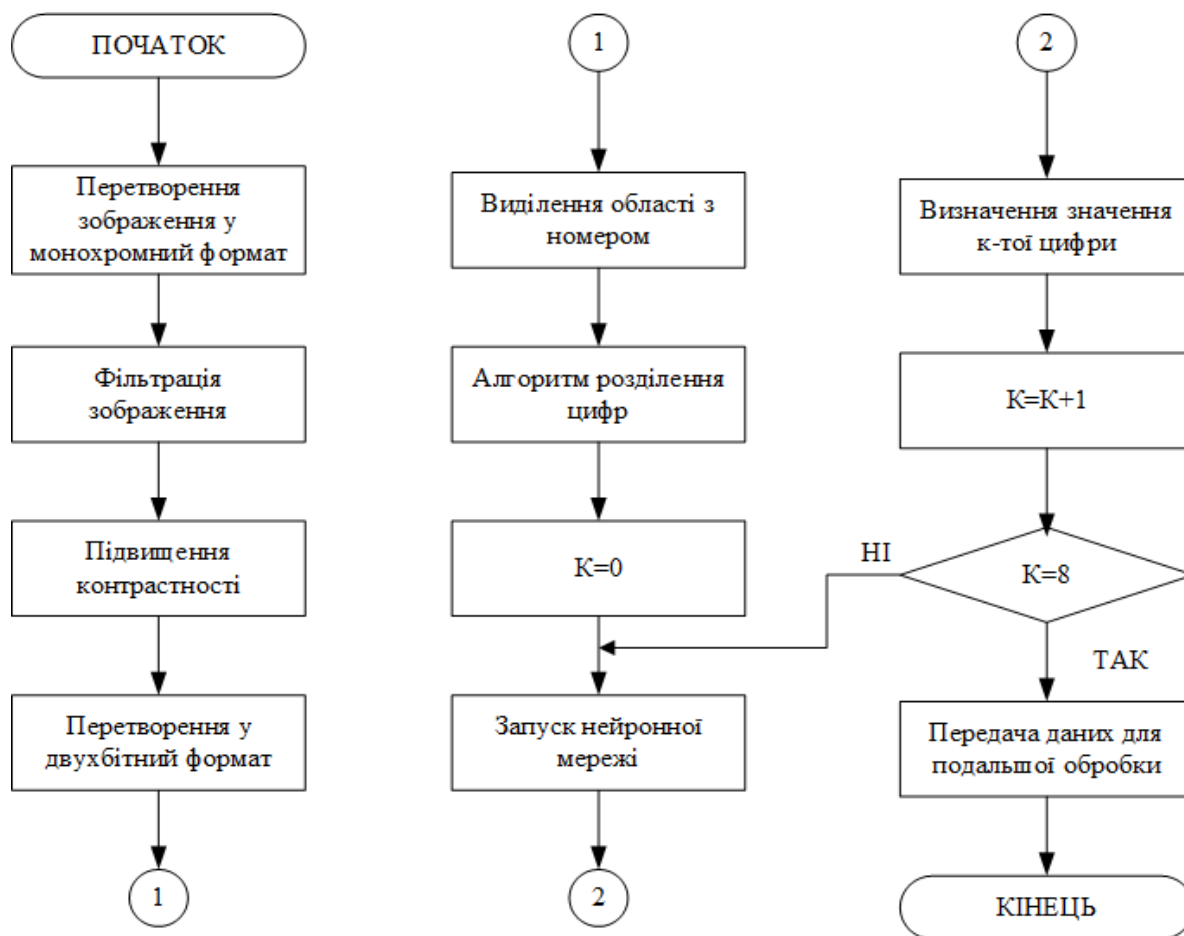


Рис. 13. Алгоритм автоматизованої ідентифікації рухомого складу

Нейронна мережа постійно оптимізує свої дії, поступово уточнюючи межі символів і їхнє розташування. Цей процес включає не тільки фіксацію пікселів, що відповідають одиничним значенням, але і детальне оцінювання зв'язків між пікселями для коректного розпізнавання складних чи нестандартних цифр. Отже, методика поділу цифр забезпечує точне визначення кожної цифри в номері вагона, незалежно від умов зображення. Алгоритм ефективно справляється з різними типами зображень, включаючи такі, що мають дефекти чи спотворення. Схему алгоритму поділу цифр подано на рис. 14 [18].

У таких мережах деякі входи нейронів позначені як зовнішні дані, а деякі виходи – як зовнішні результати. Основна функція нейронної мережі полягає в тому, щоб на основі наданих вхідних даних отримати

певні вихідні результати, де зміну цих виходів контролюють за допомогою встановлених зв'язків між нейронами. Класифікацію штучних нейронних мереж подано на рис. 15, а конфігурацію на рис. 16 [16]. Проте перед тим як розглянути класифікацію, варто пояснити деякі терміни, використовувані в цій галузі, хоча й нема єдиного стандарту. Основний нейрон являє собою адаптивний або квадратичний суматор, який функціонує за допомогою активаційної функції. Цей нейрон отримує кілька входів, з яких обчислюють зважену суму, що через активаційну функцію формує вихідний сигнал [3]. Шар нейронів – це група нейронів, які мають спільні вхідні сигнали. Водночас кількість нейронів у певному шарі не залежить від інших шарів (рис. 17) [3].

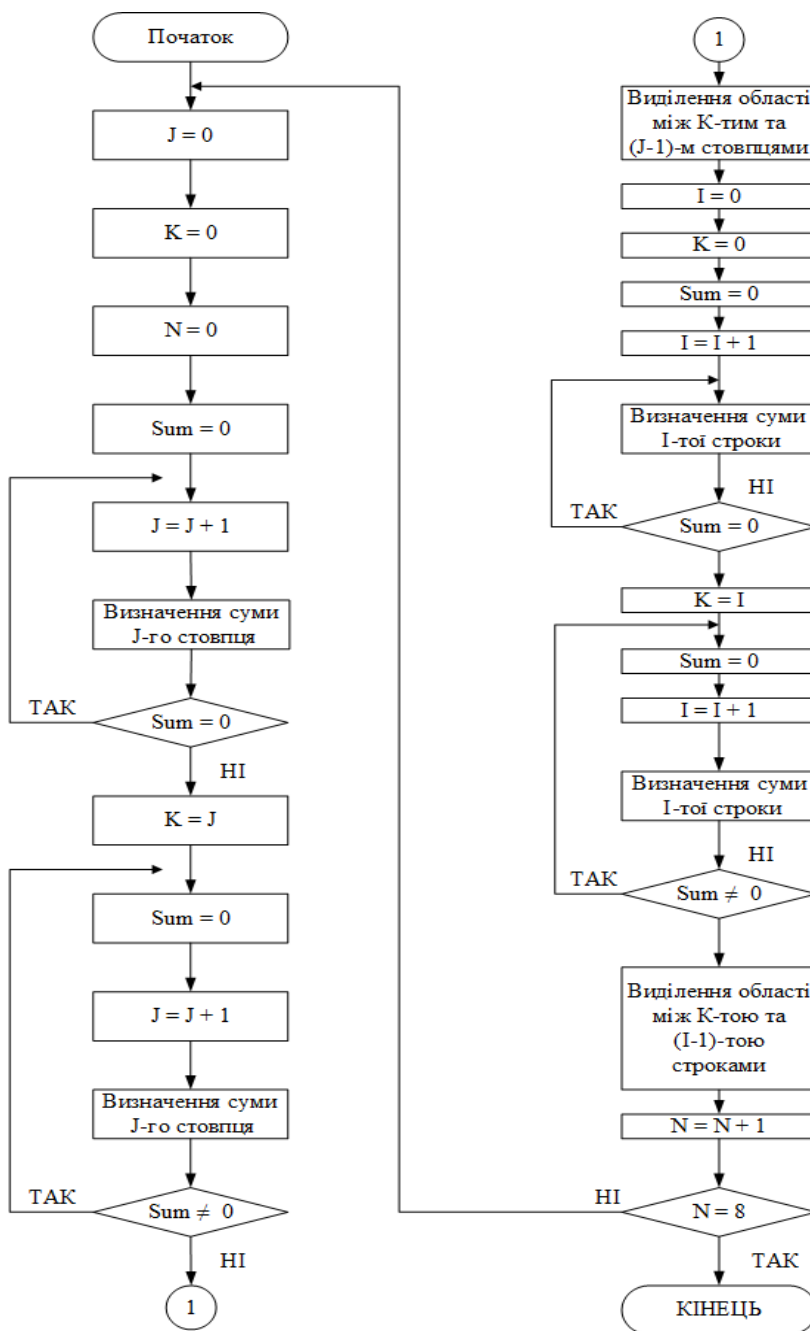


Рис. 14. Алгоритм поділу цифр

Хоч інколи точки розгалуження можна трактувати як частину вхідної структури, правильніше вважати вхідним перший шар нейронів, що мають вагові коефіцієнти і здійснюють первинне оброблення відповідних вхідних сигналів [3]. Вихідний шар – нейрони цього шару формують результати роботи мережі, визначаючи

кінцевий вихід, кількість нейронів у якому відповідає кількості елементів вихідного вектора [3].

Прихований шар складається з усіх нейронних шарів, розміщених між вхідним і вихідним шарами, і відповідає за проміжну обробку даних [3].

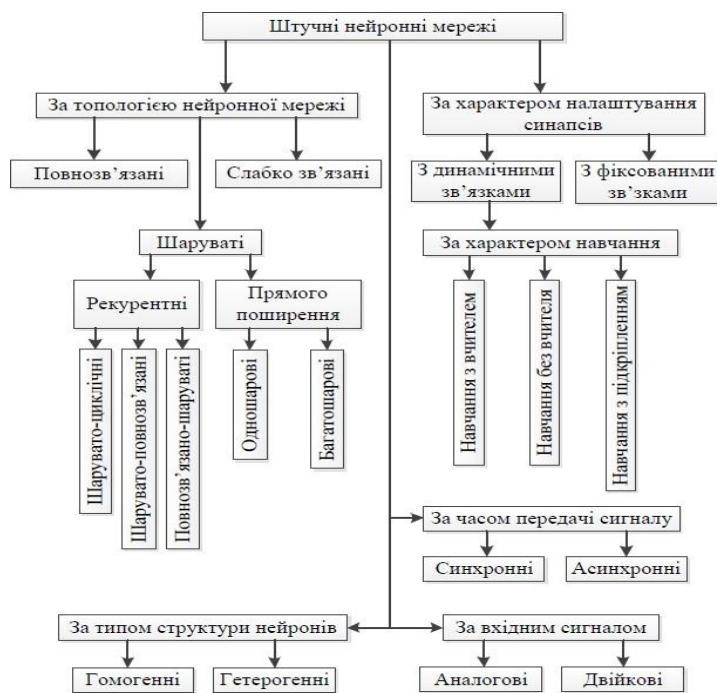


Рис. 15. Система класифікації нейронних мереж

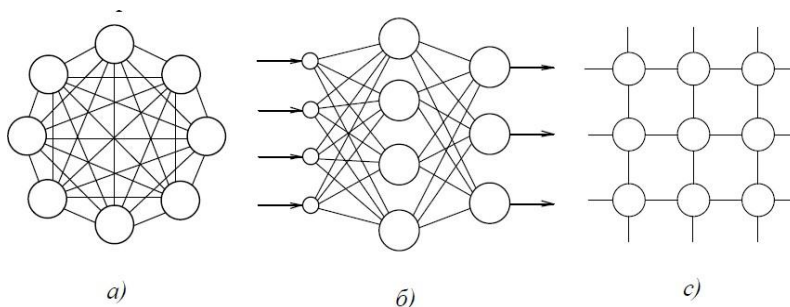


Рис. 16. Конфігурація нейронних мереж: а – мережа з повним взаємозв'язком; б – багатоетапна мережа; с – мережа з частковими зв'язками

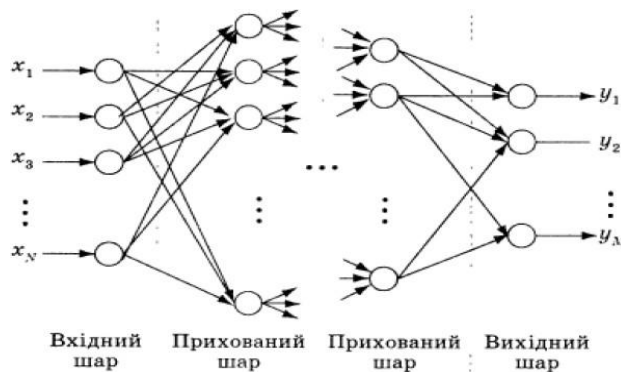


Рис. 17. Структура ШНМ

Нейронні мережі можуть бути класифіковані за кількома критеріями, що включають структуру зв'язків між нейронами, специфіку моделі нейрона, а також методи навчання мережі. Зокрема, за структурними ознаками мережі поділяють на неповнозв'язні (шаруваті), де нейрони одного шару з'єднані лише з нейронами

наступного шару, і повнозв'язні, де існує зв'язок між кожним нейроном і всіма іншими нейронами. Крім того, мережі можуть мати різні типи з'єднань: випадкові, де зв'язки утворені на основі ймовірності, або регулярні, де зв'язки організовані за певною схемою (рис. 18, 19).

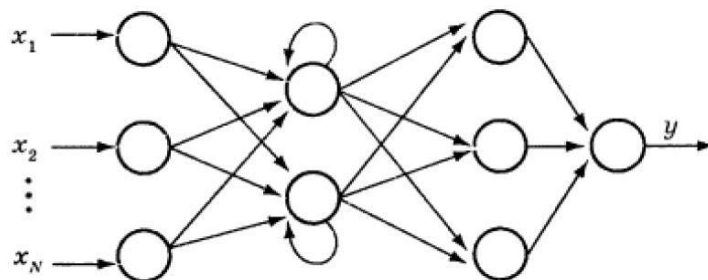


Рис. 18. Мережа з прямими зворотними зв'язками

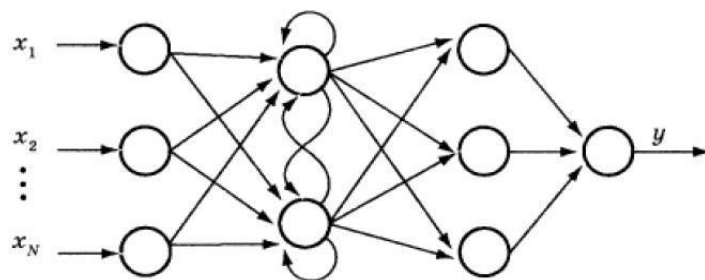


Рис. 19. Нейронна мережа з латеральними з'єднаннями

Висновки. Системи автоматичної ідентифікації рухомого складу здатні автоматично зчитувати номери вагонів та оперативно обробляти отриману інформацію. Впровадження таких інноваційних технологій забезпечує значне покращення в роботі залізничних перевезень. Однією із основних переваг є підвищення точності та швидкості збору і обробки даних про стан вагонних і локомотивних парків, що дає змогу здійснювати більш оперативну звітність. Крім того, завдяки зменшенню потреби в людському ресурсі для ручного збору даних можна значно скоротити штат працівників.

Водночас система сприяє впровадженню безпаперових інформаційних технологій, що робить процеси більш зручними, зменшує витрати на документообіг і підвищує ефективність управління. Пропоновано використовувати комбіновану систему, яка поєднує дві технології ідентифікації: оптичну та радіочастотну. Радіочастотна ідентифікація має більшу точність і дає змогу ефективно працювати в умовах, де оптичне розпізнавання може бути ускладнене. Проте для вагонів, не оснащених RFID-транспондерами, використовуватимуть систему оптичного розпізнавання. Для реалізації цієї технології

були розроблені оптимізовані алгоритми обробки зображень. Пропонований метод на основі нейронних мереж забезпечує високу точність і швидкість розпізнавання номерів вагонів зображеннями. Цей підхід дає змогу автоматизувати процес ідентифікації, значно знижуючи ймовірність помилок, характерних для традиційних методів. Алгоритм нейронної мережі здатний ефективно обробляти великі обсяги даних,

забезпечуючи оперативне розпізнавання номерів у реальному часі, що критично важливо для інфраструктури транспорту. Результати моделювання показують, що система працює стабільно за різних умов, навіть за змінних освітлювальних і погодних умов. Це дає змогу застосовувати її в широкому спектрі реальних завдань, де потрібна висока надійність і швидкість обробки.

Список використаних джерел

1. Хопфілд Дж. Дж. Нейрони з градуйованою відповіддю володіють колективними обчислювальними властивостями, подібними до властивостей двостатусних нейронів. *Праці Національної академії наук США*. 1984. Т. 81. С. 3088–3092.
2. Косько Б. Двонаправлена асоціативна пам'ять. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. 1987. Vol. 18. P. 49–60.
3. Адаменко В. О., Мирських Г. О. Штучні нейронні мережі в задачах реалізації матеріальних об'єктів. *Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія «Радіотехніка. Радіоапаратобудування»*. 2011. № 47. С. 182.
4. Zhang Y., Wang L. & Li Y. (2017). Розпізнавання номерних знаків транспортних засобів: принципи, проблеми та застосування. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 18(4). 1102–1111.
5. ДСТУ Б В.2.3-29:2011. Габарити наближення будівель і рухомого складу залізниць колії 1520 (1524) Чинний від 2012.12.01. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2012. 50 с.
6. Герстінг Й. Інформаційні технології в обчислювальній техніці: підручник. 2016. С. 250–280.
7. Адамс М., Джонсон Т. Вантажні залізничні вагони. London: Routledge, 2018. 280 p.
8. Діагностування пристроїв залізничної автоматики та агрегатів рухомих одиниць: підручник / за ред. А. Б. Бойника. Харків: ПП Видавництво «Нове слово», 2008. 304 с.
9. Дранишников Л. В. Інтелектуальні методи в управлінні: навч. посіб. Кам'янське: ДДТУ, 2018. 416 с.
10. Технології безконтактної ідентифікації: комплексний посіб. / Д. Сміт, Р. Джонсон. 2nd ed. New York: Wiley, 2019. 350 p.
11. Метьюз П., Лі Л. Інтегровані системи безпеки: Проектування, управління та технології. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier, 2020. 400 p.
12. Pidgeon M. E. B., Spencer T. J. L. Технологія RFID та її застосування. 2nd ed. London: Wiley, 2016. 350 p.
13. Коцовський В. М. Нейронні системи: навч. посіб. Ужгород, 2013. 250 с.
14. Кошовий С. В., Кошовий М. С., Трубочанінова К. А. Автоматична система діагностичного контролю температури буксових вузлів рухомих одиниць залізничного транспорту – АСДК-Б: навч. посіб. Харків: УкрДАЗТ, 2005. 66 с.
15. Левін Д. Ю. Основи управління транспортними процесами: підручник. Вид. 2-ге. Нью – Йорк: Transport Press, 2017. 280 с.
16. Міркес Е. М. Нейронні комп'ютери: Проект стандартизації. London: Springer, 2001. 350 p.

17. Грін Д., Картер Р. Системи автоматичного розпізнавання номерних знаків (ALPR): Принципи та застосування. 2nd ed. Berlin: Springer, 2020. 320 p.
 18. Оптична ідентифікація об'єктів рухомого складу в задачах управління залізничними перевезеннями / Е. В. Алієв та ін. *Автоматизація в промисловості*. 2009. № 5. С. 49–54.
 19. Русакова О. А. Автоматична система ідентифікації транспортних засобів: PALMA: методичні вказівки. Берлін: Springer, 2016. 40 с.
 20. Томпсон Р., Міллер П. Сучасні методи відстеження та моніторингу вантажів. 3rd ed. New York: Wiley, 2018. 250 p.
-

Ананьєва Ольга Михайлівна, доктор технічних наук, професор кафедри автоматизації та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: ananeva@kart.edu.ua. ORCID: 0000-0001-6686-8249.

Лазарев Олексій Владленович, старший викладач кафедри автоматизації та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: lazal@kart.edu.ua. ORCID: 0000-0002-0186-5896.

Слепченко Олександр Олександрович, бакалавр, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: slepchenko_2023@kart.edu.ua. ORCID: 0009-0000-8488-9086.

Парфьонов Роман Олегович, бакалавр, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: roma2372@ukr.net. ORCID: 0009-0004-7776-6220.

Ananieva Olha M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Automation and computer telecontrol of trains, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: ananeva@kart.edu.ua. ORCID: 0000-0001-6686-8249.

Lazariev Oleksii Vladlenovych, Senior Lecturer, Department of Automation and computer telecontrol of trains, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: lazal@kart.edu.ua. ORCID: 0000-0002-0186-5896.

Oleksandr Slepchenko, bachelor, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: slepchenko_2023@kart.edu.ua. ORCID: 0009-0000-8488-9086.

Parfenov Roman O., bachelor, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: roma2372@ukr.net. ORCID: 0009-0004-7776-6220.

Статтю прийнято 23.05.2025 р.