

УДК 625.42:656.25

**РОЗРОБЛЕННЯ СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ
ДЛЯ ЕЛЕКТРОДЕПО МЕТРОПОЛІТЕНУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБ'ЄКТНО-
ОРІЄНТОВАНОГО АНАЛІЗУ**

Кандидати техн. наук А. А. Прилипко, С. В. Індик, PhD О. В. Щебликіна,
канд. техн. наук І. М. Сіроклин

**DEVELOPMENT OF A COMPLEX INFORMATION PROCESSING SYSTEM FOR
METRO ELECTRODEPOSITION USING OBJECT-ORIENTED ANALYSIS**

Candidate of Technical Sciences A. A. Prylypko, Candidate of Technical Sciences S. V. Indyk,
PhD O. V. Shchebykina, Candidate of Technical Sciences I. M. Siroklyn

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.213.2025.341904>



***Анотація.** У статті розглянуто проблему розроблення складних систем обробки інформації для електродепо метрополітену з використанням сучасних методів залізничної автоматики та телемеханіки. Запропоновано підхід для створення системи обробки інформації на основі об'єктно-орієнтованого аналізу, який дає змогу структурувати інформаційні потоки, оптимізувати взаємодію між апаратними і програмними компонентами, а також підвищити надійність системи. Розроблена структурна схема системи забезпечує автоматизацію управління рухом електропоїздів, ідентифікацію вагонів і діагностику обладнання.*

Ключові слова: електродепо, метрополітен, об'єктно-орієнтований аналіз, інформаційна система, автоматизація, рухомий склад, діагностика, структурна схема, електронний документообіг.

Abstract. This paper addresses the critical issue of developing complex information processing systems for metro electric depots using modern methods of railway automation and telemechanics. The study proposes a structured approach based on object-oriented analysis, which provides a robust framework for modeling and optimizing the intricate operational environment of a metro depot. The core of this methodology lies in defining key system components as interconnected objects, thereby facilitating a clear decomposition of the problem into manageable parts. The research develops formal information models, including a state machine for rolling stock, to represent wagon movements and transitions between states such as at rest, under inspection, or under repair. This approach is crucial for overcoming terminological ambiguities and ensuring a consistent understanding of operational processes.

A multi-level, component-hierarchical structural diagram of the system is presented, which is designed to integrate various hardware and software elements. This architecture is composed of a field level with sensors and diagnostic complexes, a data collection and processing level with processors and controllers, a central information processing hub with servers and data analysis software, and a user interface level for seamless human-system interaction. This design is aligned with modern SCADA principles, ensuring modularity, scalability, and remote management capabilities.

Furthermore, the article formulates fundamental principles for automating data collection and processing. This includes a shift from traditional scheduled maintenance to a more efficient condition-based monitoring approach, enabling maintenance and repairs to be performed only when necessary, based on real-time diagnostic data. The system incorporates automated wagon identification technologies, such as RFID and video recognition, for accurate tracking of rolling stock within the depot. It also advocates for the implementation of electronic document management to optimize workflows, reduce paperwork, and enhance process transparency. The ultimate goal is to minimize human error and the impact of the human factor, which is a major source of risk in railway operations, thereby significantly improving the safety, reliability, and cost-effectiveness of metro electric depot management.

Keywords: electric depot, metro, object-oriented analysis, information system, automation, rolling stock, diagnostics, structural diagram, electronic document management.

Вступ. Сучасні мегаполіси значною мірою залежать від ефективності та безпеки функціонування систем метрополітену. Електродепо, як операційний хребет будь-якої системи метрополітену, відіграє головну роль у забезпеченні технічного обслуговування, ремонту і логістичної підтримки рухомого складу. Складність цих операцій, що охоплюють різні активи, графіки, персонал і протоколи безпеки, потребує впровадження високотехнологічних систем обробки інформації.

Розроблення складної системи обробки інформації для електродепо

метрополітену створює унікальні виклики, які включають управління гетерогенними даними, оптимізацію розподілу ресурсів, забезпечення моніторингу в реальному часі та інтеграцію різних операційних процесів. Традиційні, монолітні архітектури систем часто неефективні в умовах динамічного та взаємопов'язаного характеру роботи депо. Ефективність, безпека та економічна доцільність експлуатації метрополітену безпосередньо залежать від продуктивності його депо. Отже, розроблення надійних та інтелектуально спроектованих інформаційних систем є першочерговим

завданням для модернізації та оптимізації цих критично важливих об'єктів інфраструктури.

Системи управління рухом поїздів спрямовані на підвищення ефективності експлуатації поїздів через автоматизацію, зосереджуючись на безпеці, зниженні витрат і функціональності. Аналогічно, для систем бронювання квитків, як описано в роботі [1], основними вимогами є масштабованість, надійність і безпека. Хоча ці приклади стосуються ширших транспортних систем, спільним для них є принцип, що складні транспортні системи потребують надійних, добре спроектованих інформаційних систем для досягнення своїх операційних цілей. Для електродепо метрополітену це безпосередньо означає забезпечення швидкого обороту рухомого складу, мінімізацію простоїв та оптимізацію графіків технічного обслуговування. Усі ці аспекти критично залежать від ефективності обробки інформації. Недосконала інформаційна система в електродепо може призвести до значних операційних неефективностей, збільшення витрат на обслуговування та потенційних ризиків безпеки. Це підкреслює нагальну потребу у структурованому та принциповому підході щодо розроблення систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Хоча загальні залізничні системи (бронювання, управління рухом, управління активами) і логістичні/складські системи демонструють застосовність об'єктно-орієнтованого аналізу (ООА) і UML, жодна з них не вирішує комплексно унікальні операційні та інформаційні потреби електродепо метрополітену. Існує значна невідповідність у фокусі досліджень. Системи бронювання залізничних квитків [1] зосереджені на пасажирських послугах і логіці бронювання, а не на управлінні фізичними активами чи технічному обслуговуванні. Системи управління рухом поїздів зосереджені на русі поїздів у реальному часі та високорівневому веденні журналів технічного обслуговування, але не

на детальних процесах MRO (Maintenance, Repair, Overhaul) усередині депо [2]. Інтеграція BIM/GIS для управління залізничними активами [3] насамперед стосується інфраструктурних активів і стикається з проблемами об'єктно-орієнтованої парадигми в управлінні активами без специфічного фокусу на життєвому циклі MRO рухомого складу. Управління даними на основі онтологій [4] пропонує потужні рішення для гетерогенності даних, але не було застосовано комплексно для моделювання всього спектра даних електродепо метрополітену (структурованих, напівструктурованих, неструктурованих) і процесів. Загальні системи управління складом/логістикою [5] не мають спеціалізованих знань предметної сфери та складності, пов'язаної з управлінням високоцінним, критично важливим для безпеки рухомим складом метрополітену та його компонентами. Щодо використання сучасних методів системної інженерії для розроблення складного програмно-апаратного комплексу, то розглянуто застосування ООА в загальному вигляді [6].

Визначення мети та завдання дослідження. Метою дослідження є розроблення комплексної системи обробки інформації (COI) для електродепо метрополітену, яка б використовувала сучасні методи залізничної автоматики і телемеханіки. Ця система має на меті оптимізувати основні операційні процеси, підвищити надійність і безпеку експлуатації рухомого складу, а також забезпечити ефективне управління ресурсами депо, мінімізуючи вплив людського фактора.

Основна частина дослідження. Традиційні підходи щодо аналізу, що зосереджені на функціях і послідовності дій, виявляються недостатніми для моделювання такої складної та взаємозалежної системи, як електродепо. Вони не можуть повною мірою відобразити складні взаємодії між фізичними об'єктами

(поїздами, обладнанням) і абстрактними сутностями (процесами, інформацією).

Об'єктно-орієнтований аналіз, як частина об'єктно-орієнтованої парадигми (ООП), пропонує методологію, що дає змогу моделювати програмне забезпечення навколо даних або «об'єктів», а не навколо логіки та функцій [7]. Такий підхід ідеальний для опису систем, що складаються з незалежних, але взаємодіючих компонентів, із декомпозицією проблеми на менші, керовані частини, що підвищує модульність, покращує обслуговування програмного забезпечення та знижує витрати на розроблення. Ефективність ООА підтверджена численними дослідженнями в галузі транспортних систем, де він застосований для імітаційного моделювання міського дорожнього руху та управління вантажними перевезеннями.

Однією з основних переваг застосування ООА до предметної сфери електродепо є можливість моделювати еволюцію технологій. Історично технічне обслуговування і ремонт базовані на планово-попереджувальній системі (ППР), за якої роботи проводили за жорстким графіком або після досягнення певного пробігу, незалежно від фактичного стану обладнання. Однак сучасні системи діагностики та моніторингу, що використовують датчики, дають змогу переходити до моделі «обслуговування за потребою». Ця нова парадигма передбачає, що рішення про ремонт ухвалюють на основі поточного технічного стану вузлів, виявленого системою. ООА є ідеальним інструментом для моделювання такої гібридної системи, оскільки він дає змогу об'єктам динамічно змінювати свій стан і генерувати події, що є тригером для подальших процесів, а не просто дотримуватися заздалегідь визначеного розкладу. Це трансформує підхід із реактивного на проактивний, значно підвищуючи ефективність і знижуючи витрати.

Об'єктно-орієнтований аналіз передбачає послідовну ітеративну роботу для виділення головних сутностей і моделювання їхньої взаємодії. Перший етап – це аналіз вимог, який у термінах ООА називають «аналізом вимог», він полягає у визначенні та формулюванні економічних процесів, що відбуваються на підприємстві. Це дає змогу чітко окреслити межі системи та її функціональні завдання.

Наступний етап – декомпозиція проблеми на окремі поняття або об'єкти. Це найважливіший крок для створення концептуальної моделі предметної сфери. Згідно з методологією, краще деталізувати модель, ніж недовизначити її, і в разі сумнівів щодо того, чи є сутність окремим поняттям чи лише атрибутом, слід створити окреме поняття.

Одним з ефективних підходів щодо ідентифікації об'єктів і їхніх функцій є «метод неформального опису», також відомий як «метод іменників і дієслів». У цьому підході іменники в описі предметної сфери розглянуто як кандидати для утворення класів, а дієслова – кандидати в операції (методи) над цими класами.

Виходячи з аналізу предметної сфери електродепо [8], можна виділити такі основні елементи:

– іменники (кандидати на класи): Електродепо, Рухомий Склад (включаючи Поїзд і Вагон), Персонал (із підкласами Машиніст, Майстер), Цех, Майстерня, Колія, Система Діагностики, Центр Обробки Даних, Ремонт (ТО, ПР, КР), Датчик, Деталь (Колісна Пара, Гальмове Обладнання);

– дієслова (кандидати на методи): обслуговувати, ремонтувати, діагностувати, контролювати, зчитувати, передавати, приймати, відправляти, керувати, складати звіт, проводити випробування.

На основі розробленої операційної діаграми електродепо (рис. 1) можна уточнити і розширити перелік основних класів, які моделюють динаміку та взаємодію основних сутностей. Діаграма

демонструє, що система складається з фізичних об'єктів, таких як Рухомий склад і Коля, а також абстрактних процесів, як

Технічний огляд і Технічний ремонт, якими керує Машиніст.

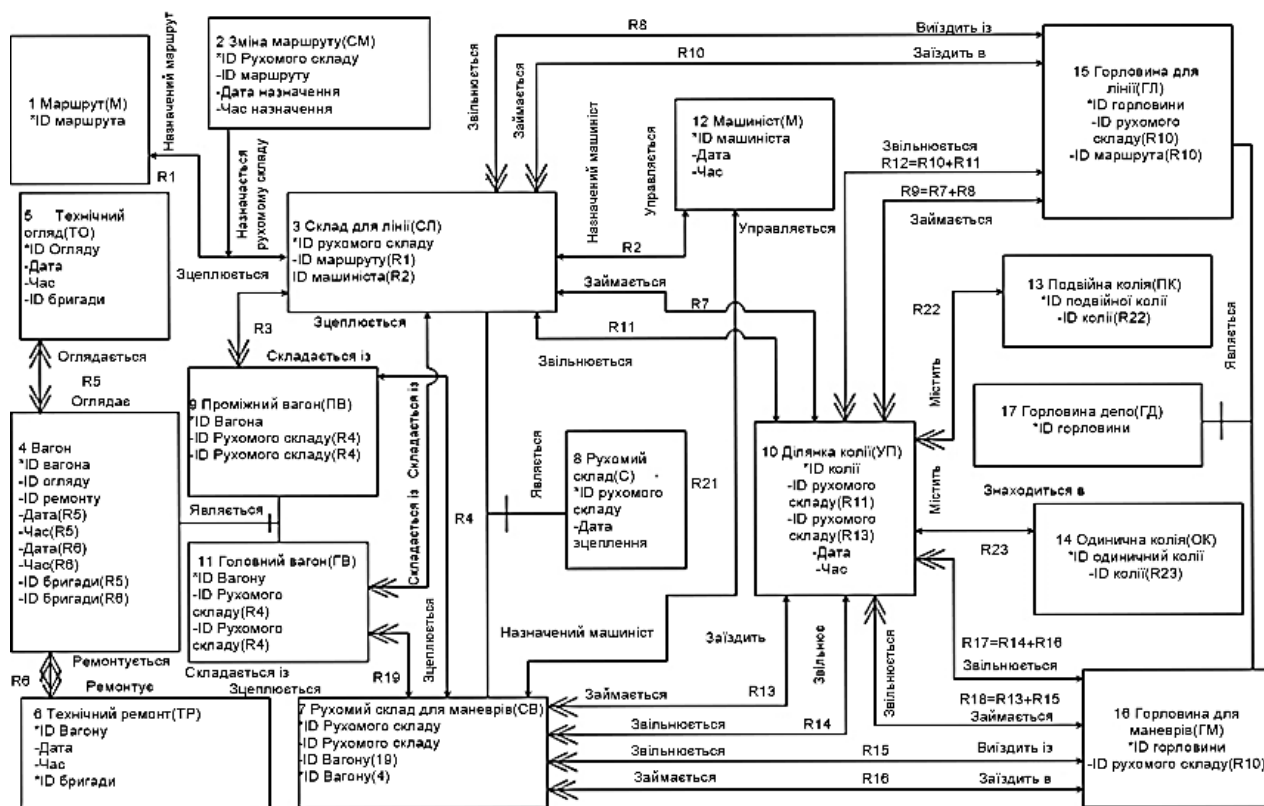


Рис. 1. Операційна діаграма електродепо метрополітену

Клас *Рухомий Склад* (8 Рухомий склад (С)) є центральним об'єктом, який моделює поїзд або окремий вагон, що знаходиться в депо. Він може бути складений із проміжних (9 Проміжний вагон (ПВ)) і головних вагонів (11 Головний вагон (ГВ)). Агрегований об'єкт Рухомий Склад може мати різні стани, наприклад Склад для лінії (СЛ) (3 Склад для лінії (СЛ)) або Рухомий склад для маневру (СВ) (7 Рухомий склад для маневру (СВ)) залежно від його призначення та місця розташування.

Клас *Коля*. Діаграма демонструє важливість класу *Коля* як фізичного ресурсу, який забезпечує переміщення та зберігання рухомого складу. Існує декілька типів колій, що можуть бути змодельовані як підкласи або об'єкти з певними

атрибути (10 Довга колія (УП), 13 Подвійна колія (ПК), 14 Одиночна колія (ОК)).

Клас *Персонал* моделює працівників депо. На діаграмі виділено головний підклас Машиніст (12 Машиніст (М)). Роль Машиніста полягає в управлінні рухомим складом, зокрема виконанні маневрових робіт і передрейсових оглядів [9].

Клас *Ремонт та Огляд*. Діаграма виділяє два основні процеси: Технічний огляд (ТО) (5 Технічний огляд (ТО)) і Технічний ремонт (ТР) (8 Технічний ремонт (ТР)). Ці процеси можуть бути змодельовані як окремі класи, що інкапсулюють інформацію про конкретне завдання. Вони асоціюються з Рухомим Складом і Персоналом, який їх виконує.

Клас *Маршрут* (1 Маршрут (М)) моделює інформацію про конкретну лінію, по якій рухається поїзд. Діаграма також показує процес Зміна маршруту (СМ) (2 Зміна маршруту (СМ)), що вказує на

можливість динамічної зміни атрибутів цього класу.

Нижче наведено узагальнюючу таблицю, що структурує основні класи, їхні атрибути і методи, що є прямим результатом проведеного аналізу.

Таблиця

Узагальнені дані операційної діаграми електродепо метрополітену

Клас	Опис	Основні атрибути	Основні методи
Електродепо	Головна сутність, що інкапсулює територію, інфраструктуру та логістику депо	назва, місткість, колійний_розвиток	прийняти_поїзд(), відправити_поїзд(), організувати_ремонт()
Рухомий Склад	Об'єкт, що складається з вагонів; потребує обслуговування	ідентифікатор_складу, кількість_вагонів, технічний_стан, пробіг	зчепити_вагон(), розчепити_вагон(), призначити_на_маршрут()
Персонал	Абстрактний клас, що являє собою працівників депо; включає підклас Машиніст	прізвище, посада, кваліфікація	управляти_складом(), провести_огляд()
Колія	Фізичний ресурс для руху та відстою рухомого складу	ідентифікатор, стан, тип_колії	зайняти(), звільнити()
Технічний Огляд	Моделює процес перевірки стану рухомого складу	ідентифікатор, дата, статус	оглянути(), сформувати_звіт()
Технічний Ремонт	Моделює процес усунення несправностей	ідентифікатор_ремонту, дата, перелік_робіт	відремонтувати(), зареєструвати_результат()
Центр Обробки Даних	Інформаційна система, що аналізує дані та ухвалює рішення	статус, журнал_подій	отримати_дані_діагностики(), проаналізувати_стан(), ухвалити_рішення_про_експлуатацію()
Маршрут	Інформація про конкретну лінію, по якій курсує поїзд	ідентифікатор_маршруту, кінцеві_станції	змінити_маршрут()

Для подолання нечіткості вимог і термінологічної неузгодженості, що характерно для складних технологічних процесів, розроблення формалізованих моделей є основним етапом. Об'єктно-орієнтований аналіз дає змогу подати систему електродепо як сукупність взаємодіючих об'єктів із певними станами та переходами між ними. Із використанням

UML-діаграм, зокрема діаграм станів, наочно описують динамічну поведінку вагонів [10].

Розроблена діаграма (рис. 2) відображає рух вагонів по депо як кінцевий автомат, де кожен вагон знаходиться в одному з дискретних станів. Перехід між станами ініційований подією, що відбувається в системі.

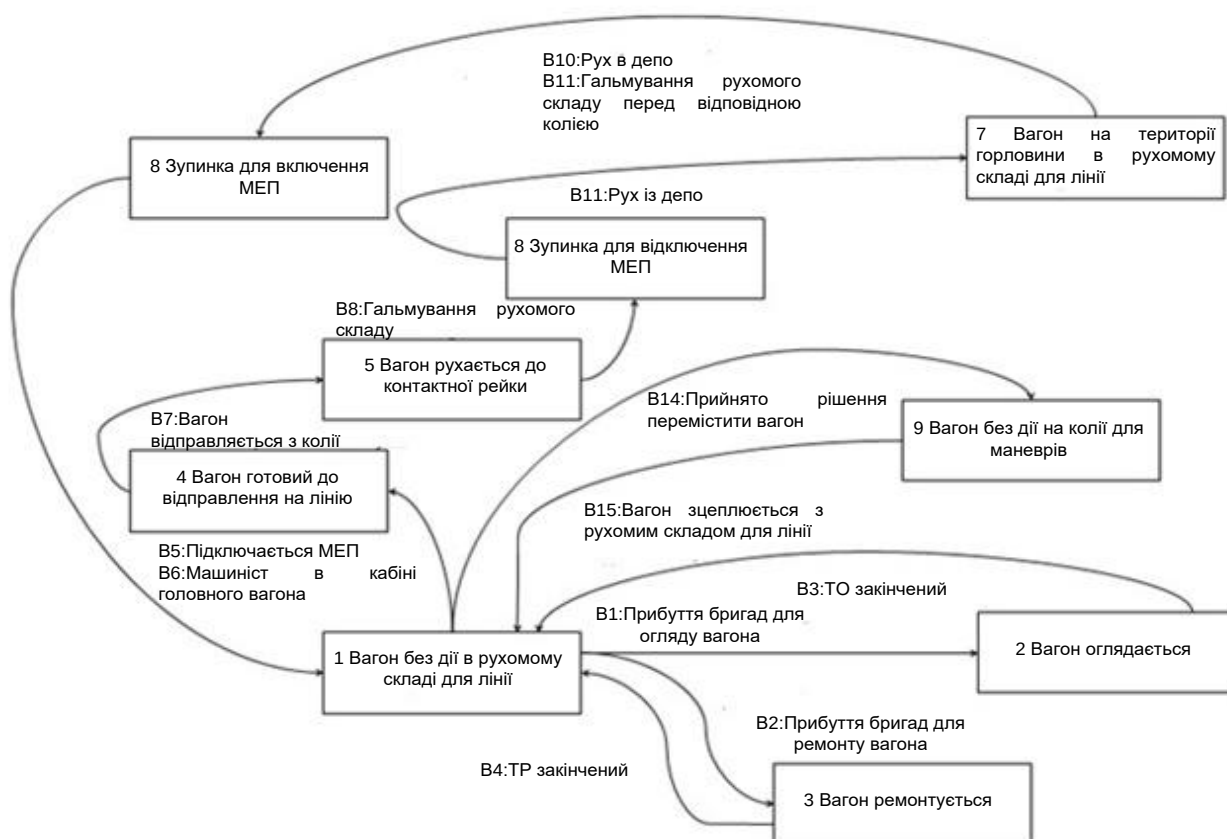


Рис. 2. Діаграма переходів у стани для об'єкта «вагон для лінії»

На основі цієї діаграми можна виділити основні стани та переходи для об'єкта Вагон.

Основні стани:

1. Вагон без дії в рухомому складі для лінії: вагон знаходиться у складі, але не виконує активних дій. Це може бути початковим станом після прибуття з лінії або після завершення ремонту.

2. Вагон під оглядом: вагон проходить планову перевірку стану вузлів, що виконує бригада.

3. Вагон у ремонті: вагон знаходиться на ремонтній позиції для проведення технічного ремонту.

4. Вагон готовий до відправлення на лінію: вагон пройшов усі необхідні перевірки та готовий до виїзду.

5. Вагон рухається до контактної рейки: поїзд рухається до виїзду на лінію.

7. Вагон на території у рухомому складі для лінії: вагон знаходиться на території депо, у складі, призначеному для експлуатації на лінії.

8. Зупинка для ввімкнення МЕР: зупинка для підключення механічної частини електропоїзда.

9. Вагон без дії на колії для маневрів: вагон знаходиться на маневрових коліях, очікуючи на причеплення або переміщення.

Переходи між станами (ініційовані подіями):

В1. Прибуття бригад для огляду: ініціює перехід вагона зі стану 1. Вагон без дії... до стану 2. Вагон оглядають.

В2. Прибуття бригад для ремонту: ініціює перехід вагона зі стану 1. Вагон без дії... до стану 3. Вагон ремонтують.

В4. ТР закінчений: після завершення технічного ремонту вагон переходить зі стану 3. Вагон ремонтують у стані 1. Вагон без дії....

В5. Підключають МЕР: ініціює перехід вагона зі стану 1. Вагон без дії... у стан 4. Вагон готовий..., що є підготовчим етапом перед виїздом.

В6. Машиніст у кабіні: машиніст займає місце в кабіні, після чого поїзд переходить зі стану 4. Вагон готовий... у стан 5. Вагон рухається....

В13. ТО закінчений: після завершення технічного огляду вагон переходить зі стану 2. Вагон оглядають у стані 1. Вагон без дії....

В14. Ухвалено рішення перемістити вагон: переводить вагон зі стану 9. Вагон без дії на колії для маневрів до станів 1. Вагон без дії... 2. Вагон оглядають або 3. Вагон ремонтують.

В15. Вагон зчеплюють із рухомим складом для лінії: переводять вагон зі стану 1. Вагон без дії... у стан 7. Вагон на території.

Розроблена структурна схема системи (рис. 3) побудована на основі вище перелічених моделей за ієрархічним принципом і складається з декількох

основних рівнів, що забезпечують збір, обробку та передавання даних. Включає локальний комп'ютер 1, з'єднаний із сервером 10, пристрій узгодження 2, процесори збору інформації та ідентифікації вагонів 3, які з'єднані з антенами зчитування, а також блоки узгодження (підсилювачі-перетворювачі) 4, які обробляють дані від первинних датчиків на рейках (точкові підлогові датчики – ТПД) [11, 12].

Результати. Результати дослідження є багатограничними та охоплюють поставлені завдання, формуючи цілісний підхід щодо розроблення системи управління електродепо.

Проведений детальний об'єктно-орієнтований аналіз предметної сфери дав змогу ідентифікувати основні класи, такі як Електродепо, Рухомий Склад, Персонал і Колія. Аналіз їхніх атрибутів, методів і взаємозв'язків заклав міцну концептуальну основу для подальшого розроблення програмного забезпечення.

Для формалізації динамічної поведінки рухомого складу розроблена модель у вигляді кінцевого автомата. Ця модель чітко визначає основні стани вагона (Вагон без дії, Вагон оглядають, Вагон ремонтують) і переходи між ними, що ініційовані такими подіями, як Прибуття бригад для огляду або ТО закінчений. Це забезпечує єдине розуміння процесів у депо та є основою для побудови алгоритмів управління.

Розроблена структурна схема системи обробки інформації є багаторівневою та ієрархічною, що відповідає принципам сучасних SCADA-систем.

Висновки. Розроблення складної системи обробки інформації для електродепо метрополітену з використанням об'єктно-орієнтованого аналізу забезпечує структурований і гнучкий підхід щодо вирішення основних операційних викликів. Запропоновані інформаційні моделі та багаторівнева архітектура системи закладають надійний фундамент для створення ефективного

програмного забезпечення, здатного до масштабування та інтеграції з іншими системами метрополітену.

Впровадження автоматизованих процесів, таких як постійна діагностика рухомого складу та електронний документообіг, дає змогу перейти від застарілої планово-попереджувальної системи ремонту до обслуговування за фактичним станом обладнання. Це призводить до суттєвого підвищення надійності та безпеки, оптимізації витрат і мінімізації простоїв рухомого складу.

Найголовніше, що є критично важливим для такої складної та відповідальної галузі, як залізничний транспорт, – це автоматизація рутинних операцій, що значно знижує ризик людських помилок.

Отже, результати дослідження демонструють, що запропонована система є не просто інструментом автоматизації, а стратегічним рішенням для модернізації та оптимізації роботи електродепо, що відповідає сучасним вимогам безпеки та ефективності.

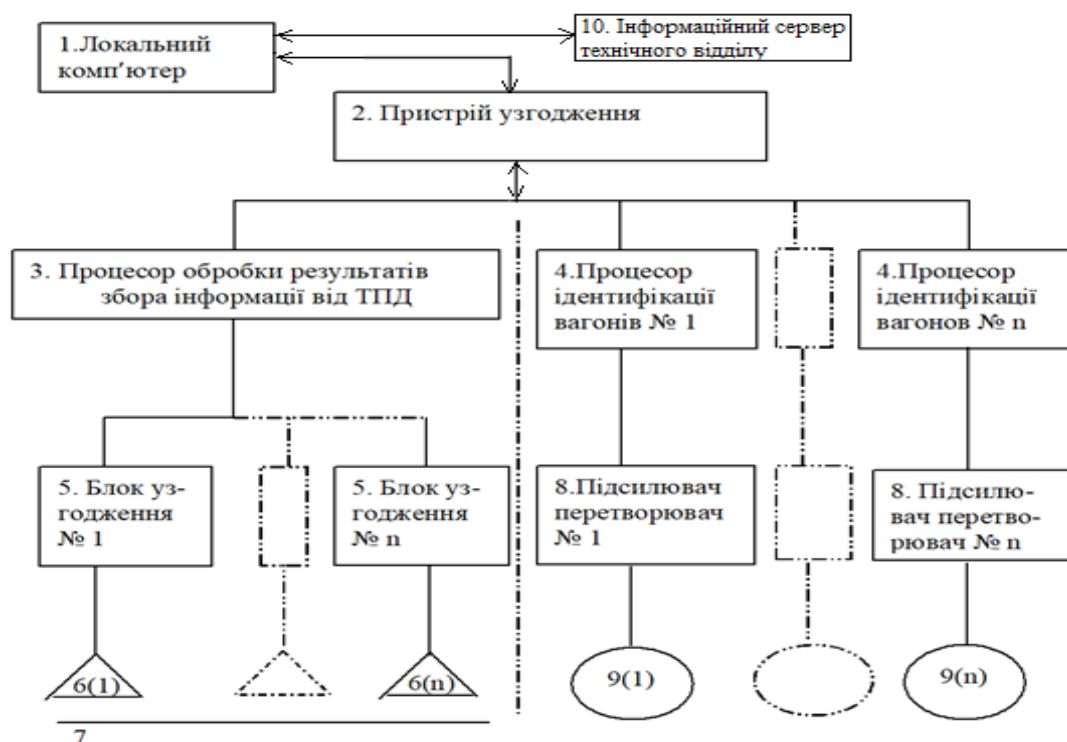


Рис. 3. Структурна схема системи з використанням ТКД

Список використаних джерел

1. Object Oriented Analysis and Design - IOE Syllabus - Easy Explanation online web tutorials. URL: <https://ezexplanation.com/course/content/object-oriented-analysis-and-design/a-case-study-report-on-railway-reservation-system> (дата звернення: 11.08.2025).
2. ooad casestudy - Control System: Traffic Management / Use Case – Scribd. URL: <https://www.scribd.com/document/844859191/ood-casestudy> (дата звернення: 11.08.2025).
3. Mattia Mangia, Carla Di Biccari, Mattias Roupé, Towards a Framework for Railway Network Assets Management Based on BIM/GIS Integration. 2023 Author(s). P. 431-442. CC BY NC 4.0. DOI 10.36253/979-12-215-0289-3.42.

4. Jingfu Wei, An investigation into applying ontologies to the UK railway industry. *A thesis submitted to the University of Birmingham*. University of Birmingham. May 2021.
 5. Самчук Л. М., Повстяна Ю.С., Гулієва Н. М. (2025). UML-аналіз та розробка інформаційної системи складського обліку автозапчастин. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 59. С. 213-220. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-59-27>.
 6. Прилипко А. А. Використання сучасних методів системної інженерії при розробленні складного програмно-апаратного комплексу. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2002. № 4, 5. С. 100-105.
 7. Шлеєр С., Меллор С. Об'єктно-орієнтований аналіз: моделювання світу в станах: пер. з англ. Київ: Діалектика, 1993. 240 с.
 8. Електродепо метрополітену – Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Електродепо_метрополітену (дата звернення: 19.08.2025).
 9. Основи технології ремонту локомотивів: конспект лекцій/ Ю. М. Дацун, О. В. Клименко, М. В. Максимов, В. М. Данько. Харків: УкрДАЗТ, 2014. Ч. 1. 69 с.
 10. Використання UML діаграм для аналізу і проектування інформаційних систем. URL: <https://pns.hneu.edu.ua/mod/resource/view.php?id=170677> (дата звернення: 20.08.2025).
 11. Моделювання точкових колійних датчиків з підвищеною завадостійкістю / А. А. Прилипко, С. О. Змій, О. А. Бойнік. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2019. № 5. С. 32-39. DOI: 10.18664/ikszt.v24i5.181334.
 12. Змій С. О., Воліченко І. Г., Турчинов Р. В. Розроблення точкового колійного датчика для визначення параметрів руху поїздів. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2016. № 11. С. 63–65.
-

Прилипко Андрій Андрійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6126-1085>. Тел.: +38(057) 730-10-32. E-mail: prilipkooa@kart.edu.ua.

Індик Сергій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортного зв'язу, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3124-8722>. Тел.: +38(057) 730-10-82. E-mail: indyk.serhii@kart.edu.ua.

Щебליкіна Олена Вікторівна, PhD, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8304-2921>. Scopus Author ID: 57203618885. E-mail: sov@kart.edu.ua.

Сіроклин Іван Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9978-8261>. Тел.: +38 (067) 975 78 78. E-mail: seroklin@kart.edu.ua.

Prylypko Andrii, Associate Professor of the Department of Automation and Computerized Train Control, Cand. tech. Sciences, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6126-1085>. Tel.: +38(057) 730-10-32. E-mail: prilipkooa@kart.edu.ua.

Indyk Serhii Volodymyrovych, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Transport Communications, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3124-8722>. Tel.: +38(057) 730-10-82. E-mail: indyk.serhii@kart.edu.ua.

Olena Shchablykina, Associate Professor, Department of Automation and Computerized Train Control, PhD, Ukrainian State University of Railway Transport, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8304-2921>. Scopus Author ID: 57203618885. E-mail: sov@kart.edu.ua.

Ivan Siroklyn, Associate Professor of the Department of Automation and Computerized Train Control, Cand. tech. Sciences, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9978-8261>. Tel.: +38 (067) 975 78 78. E-mail: seroklin@kart.edu.ua.

Статтю прийнято 04.09.2025 р.