

*Академія технічних наук України*

**ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
ТА ЛОГІСТИКА**

*КОЛЕКТИВНА МОНОГРАФІЯ*

Видавець Кушнір Г.М.  
Івано-Франківськ – 2025

УДК 656

Т 65

*Рекомендовано до друку Вченою Радою наукової установи  
Академія технічних наук України (протокол № 10 від 03.02.2025 року)*

Рецензенти:

завідувач кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»  
Одеського національного морського університету,  
доктор технічних наук, професор **О.В. Кириллова**  
завідувач кафедри «Транспортні технології» НУ «Запорізька політехніка»  
доктор технічних наук, професор **С.М. Турпак;**  
завідувач кафедри «Автомобілі» Національного транспортного університету  
доктор технічних наук, професор **В.П. Сахно.**

Т 65      **Транспортні технології та логістика:** колективна монографія / заг.  
ред. Р.А. Хабутдінова. – Академія технічних наук України. – Івано-  
Франківськ : Видавець Кушнір Г.М. – 2025. – 208 с.  
ISBN 978-617-7926-72-5

У монографії розглянуто питання транспортних технологій та логістики мультимодальних транспортних систем і інтермодальних перевезень в умовах трансформації, вказано сучасні тенденції і перспективи розвитку вантажних та пасажирських перевезень, зазначено умови функціонування та розвитку транспортно-експедиторської діяльності в умовах конкуренції, наведено перспективи впровадження інтелектуального аналізу транспортних систем, зазначено ефективність техніко-технологічного аналізу інноваційних проектів автомобільних перевезень, а також перспективи впровадження технологій «зеленої» транспортної логістики.

**УДК 656**

**ISBN 978-617-7926-72-5**

© Віктор Мироненко, 2025

© Юлія Сілантьєва, 2025

© Ігор Хмельов, 2025

© Тетяна Грушевська, 2025

© Олександр Процик, 2025

© Академія технічних наук України, 2025

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	4
<b>Віктор Мироненко. МУЛЬТИМОДАЛЬНІ ПАСАЖИРСЬКІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ.....</b>	<b>6</b>
<b>Юлія Сілантьєва. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ .....</b>	<b>43</b>
<b>Ігор Хмельов. ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЕКТІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ .....</b>	<b>77</b>
<b>Тетяна Грушевська. ДОСЛІДЖЕННЯ ЧИННИКІВ ВПЛИВУ НА ФОРМУВАННЯ ПАСАЖИРОПОТОКІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПРИМІСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ .....</b>	<b>115</b>
<b>Олександр Процик. ТЕХНОЛОГІЇ «ЗЕЛЕНОЇ» ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ .....</b>	<b>161</b>

## ПЕРЕДМОВА

Розвиток транспортної системи держави нерозривно пов'язаний з розвитком та вдосконаленням транспортних технологій та логістики. Розвиток транспортних технологій та логістики також стає важливим фактором в умовах швидких змін у світі, де глобальна конкуренція, зміни клімату та інші виклики вимагають нових, інноваційних підходів до організації та управління транспортною системою.

Розглянуті питання в монографії стосовно мультимодальної транспортної системи та інтермодальних перевезень в умовах трансформації, транспортно-експедиторської діяльності в умовах конкуренції, інтелектуального аналізу транспортних процесів, техніко-технологічного аналізу інноваційних проектів автомобільних перевезень та технологій «зеленої» транспортної логістики взаємопов'язані між собою з урахуванням теорії автомобільно-транспортної технології.

Мультимодальна транспортна система та інтермодальні перевезення в умовах трансформації, транспортно-експедиторська діяльність в умовах конкуренції, техніко-технологічний аналіз інноваційних проектів автомобільних перевезень та впровадження принципів зеленої логістики можуть мати значний вплив на розвиток держави.

Мультимодальна система з використанням автомобільної транспортної технології є ще більш ефективним способом забезпечення транспортних потреб в економіці держави. Її вплив на економіку впливає в зменшенні витрат на транспортування, збільшенні обсягів перевезень, сприяє розвитку транспортної інфраструктури збільшенню зайнятості населення та інше.

Транспортно-експедиторська діяльність є важливим елементом логістичного ланцюга та має великий вплив на розвиток економіки держави в умовах конкуренції. Транспортно-експедиторські компанії забезпечують ефективний транспортний процес доставки вантажів між різними країнами та регіонами, допомагаючи підприємствам економити кошти на транспортуванні та зберіганні товарів.

Транспортно-експедиторська діяльність спонукає розвиток економіки держави шляхом поліпшення організації транспортних послуг та забезпечення надійності та якості перевезень. Вона може допомогти зменшити витрати на логістику та забезпечити максимальний рівень задоволеності клієнтів.

Техніко-технологічний аналіз інноваційних проєктів автомобільних перевезень забезпечує більш ефективне використання техніки та технологій у галузі транспорту, зменшенню витрат на транспортування та зниженню впливу на довкілля.

Впровадження принципів «зеленої» логістики може допомогти зменшити вплив транспорту на навколишнє середовище та сприяти створенню більш стійкої економіки. Застосування зеленої логістики може забезпечити ефективне використання ресурсів, зменшення витрат та створення конкурентоспроможної транспортної системи.

Загальний ефект впровадження в транспортну систему принципів мультимодальної системи, транспортно-експедиторської діяльності, техніко-технологічного аналізу інноваційних проєктів автомобільних перевезень та впровадження принципів зеленої логістики може мати дуже великий і довгостроковий вплив на економіку держави.

# Мультимодальні пасажирські перевезення

Віктор Мироненко

*Державний університет інфраструктури та технологій  
м. Київ, Україна*

Покращення якості життя населення значною мірою залежить від розвитку сфери послуг. У контексті жорсткої конкуренції в транспортному обслуговуванні великих міст ключову роль для пасажирів відіграють мультимодальні перевезення. Вони інтегрують різні види транспорту в єдиний ланцюг, що дозволяє доставляти пасажирів «від дверей до дверей» та забезпечує новий, приємний досвід, який пасажирів будуть бажати повторити. Це робить подорожі більш ефективними, безпечними, екологічними, зменшує труднощі, оптимізує час у дорозі та знижує витрати. Мультимодальні перевезення набувають усе більшої популярності в світі завдяки їхній здатності об'єднувати різні транспортні засоби для доставки пасажирів. Це сприяє оптимізації логістичних процесів та підвищенню ефективності перевезень. Мультимодальні перевезення відкривають пасажирів нові можливості транспортних сполучень та змінюють спосіб подорожування.

Основними характеристиками мультимодальних пасажирських перевезень є:

- багатофункціональність, тобто поєднання декілька видів транспорту для перевезення пасажирів, що надає гнучкість у виборі маршрутів;
- єдиний перевізний документ, який спрощує процес оформлення подорожі та дозволяє пасажирів здійснювати подорож без додаткових формальностей при зміні транспорту;
- оптимізація часу і зручності, яка досягається завдяки поєднанню найшвидших і найбільш ефективних видів транспорту на кожному етапі маршруту;

- покращена координація між різними перевізниками, що знижує ризик затримок і полегшує логістичне планування подорожей;
- екологічність, оскільки завдяки використанню залізничного та громадського транспорту зменшується кількість шкідливих викидів у атмосферу.

Розвиток сервісу у пасажирських перевезеннях у перспективі стає ключовим чинником для залучення більшої кількості користувачів транспортними послугами та підвищення рентабельності перевезень незалежно від форми власності та характеру діяльності пасажирських компаній [1]. Для забезпечення високого рівня сервісу в перевезеннях пасажирів необхідні відповідні технічні засоби та інфраструктура.

Таким чином, високий рівень сервісу в пасажирських перевезеннях потребує не лише відповідної технічної підтримки та інфраструктури, але й орієнтації на потреби клієнтів. Наприклад, сектор пасажирських перевезень у Європейському Союзі сьогодні є дуже орієнтованим на клієнта [2]. Транспортні оператори усвідомили, що наявність задоволеного клієнта означає, що пасажир повернеться, щоб знову скористатися послугою, і збільшить загальний дохід транспортного оператора. У сфері залізничних перевезень пасажирів за останнє десятиліття були спроби поставити пасажирів в центр уваги процесу залізничних перевезень, але в цілому ці зусилля були дуже повільними. Прискорена комерціалізація європейського ринку транспортних послуг останніми роками змушує залізничні компанії, які займаються пасажирськими перевезеннями, шукати нові способи підвищення привабливості послуг для потенційних користувачів та економічної ефективності експлуатаційної діяльності. Ці цілі досягаються збільшенням швидкості руху поїздів та пасажиромісткості рухомого складу, розширенням діапазону та покращенням якості обслуговування пасажирів.

В зарубіжних країнах, як і в нашій країні, існує жорстка конкуренція між різними видами пасажирського транспорту. Характерною особливістю роботи залізничного транспорту в сучасних умовах у всіх країнах світу є його активна участь у внутрішньоміських перевезеннях. Тому в останні роки існуючі міські залізниці в багатьох

великих містах світу інтенсивно розвиваються, модернізуються, забезпечуються новим комфортабельним рухомим складом.

Наразі залізничні пасажирські перевезення стали ключовим видом транспортних послуг в більшості країн Європи. Мережа залізничних сполучень постійно розширювалася, що дозволило на забезпечення більш ефективного та зручного транспорту для мільйонів людей. У цей період залізниця стала предметом технологічних та наукових вдосконалень. Наприклад, у 1960-х роках в Європі була запроваджена електрифікація залізниць, що дозволило знизити витрати на паливо та поліпшити якість транспорту. Також, з'явилася можливість використовувати швидкісні поїзди, що забезпечили зручність та швидкість перевезень [3].

Ефективне управління пасажирськими перевезеннями залежить від використання сучасних систем керування, які відповідають вимогам транспортного ринку. Пасажирські перевезення мають великий потенціал для розвитку й можуть стати фінансово вигідним напрямком бізнесу. Вони також відіграють важливу роль у формуванні позитивного іміджу Компанії. Проте функціонування цього сегменту значною мірою залежить від державної політики, оскільки наразі тарифи на пасажирські перевезення є збитковими. Майбутні зміни до законодавства повинні передбачати компенсацію збитків від пасажирських перевезень за рахунок державного або місцевих бюджетів.

## 1. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ НА РИНКУ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Інтеграція цифрових рішень, інноваційні підходи до управління перевезеннями, модернізація рухомого складу, а також розвиток мультимодальних систем транспортування формують основи технологічного транспортного обслуговування на ринку пасажирських перевезень. Основною метою є забезпечення зручності, швидкості та надійності для пасажирів, а також оптимізація операцій для транспортних компаній.

Розвиток технологій значно вплинув на ефективність транспортного обслуговування у сфері пасажирських перевезень. На сучасному транспортному ринку цей аспект стає критично важливим для підвищення якості обслуговування пасажирів, оптимізації витрат, підвищення безпеки та екологічності.

Оскільки попит на зручний, швидкий і надійний транспорт неухильно зростає, транспортні оператори вкладають значні ресурси у вдосконалення сервісів і адаптацію інфраструктури до сучасних умов. Впровадження автоматизованих систем контролю, цифрових платформ для відстеження маршрутів, а також мобільних додатків для координації пасажирських потоків дозволяє забезпечувати якісне та інтуїтивно зрозуміле обслуговування. Дослідження показують, що цифровізація сприяє зниженню операційних витрат, підвищує ефективність роботи транспортних засобів і скорочує час перебування пасажирів у дорозі, що підвищує їхню задоволеність послугами.

Технологічні рішення також забезпечують нові можливості для покращення екологічних показників транспорту за допомогою альтернативних видів палива, електрифікації транспортних мереж та оптимізації маршрутів. Наприклад, системи керування на основі штучного інтелекту й аналізу великих даних (Big Data) дозволяють оперативно реагувати на зміни дорожньої ситуації та оптимізувати навантаження на інфраструктуру. Це дозволяє покращити пасажирський досвід, сприяє безпеці перевезень і робить транспортні послуги доступнішими [4].

Згідно з законами ринкової рівноваги попиту і пропозиції, що визначають ціну та обсяги послуг, які реалізуються на ринку, попит (англ. demand) на залізничні транспортні та супутні послуги має бути повністю покритий їх пропозицією (англ. supply).

Попит на транспортні послуги оцінюється через інтенсивність пасажиропотоку в конкретному сегменті та в певний час, де пасажирам має бути забезпечено посадку у відповідний транспорт (вагони, поїзди) з можливістю дістатися пункту призначення.

Пропозиція транспортних послуг, яка відповідає цьому попиту, визначається кількістю транспортних засобів відповідного типу, що

повинні бути подані в заданий час і місце для здійснення перевезення пасажирів до пункту призначення.

*Інтервал (частота) відправлення поїздів – міра зручності для пасажирів.*

Актуальність теми частоти відправлення поїздів як показника зручності для пасажирів є важливим питанням оптимізації якості обслуговування в транспортній інфраструктурі, що відіграє ключову роль у вдосконаленні пасажирського досвіду та ефективності залізничного транспорту.

Частота відправлення поїздів визначає, як часто поїзди відправляються із залізничного вокзалу, що безпосередньо впливає на комфорт пасажирів. Чим частіше відправляються поїзди, тим менше часу пасажирів змушені витратити на очікування, що підвищує їхнє задоволення. Наприклад, можливість вибрати оптимальний час поїздки зменшує стрес і робить подорож більш приємною. Дослідження показують, що зручний розклад відправлень сприяє формуванню позитивного враження про залізничний транспорт і може стимулювати вибір залізничного транспорту замість автомобіля або інших видів транспорту [5].

Зменшення інтервалів між відправленнями значно знижує час очікування, що, у свою чергу, сприяє зростанню попиту на пасажирські перевезення. Дослідження свідчать, що з підвищенням частоти відправлення зростає й кількість нових пасажирів, які обирають залізницю для своїх поїздок. Наприклад, за даними [6], зменшення інтервалу відправлення на 10 хвилин може призвести до збільшення пасажиропотоку на 20% .

Інтервали відправлення поїздів можуть варіюватися в залежності від напрямку чи маршруту. Для приміського і міського сполучення короткі інтервали є критично важливими для задоволення потреб щоденних поїздок пасажирів, які часто подорожують на короткі відстані. Натомість для місцевого сполучення або ж міжміських маршрутів можуть бути допустимі більші інтервали, оскільки пасажирів можуть планувати поїздки заздалегідь. Наприклад, на міжміських маршрутах зменшення частоти відправлень може не

вплинути на попит, оскільки пасажирів мають можливість спланувати завчасно свої графіки.

Часте курсування поїздів може підвищити експлуатаційні витрати, але одночасно й поліпшує ефективність використання залізничної інфраструктури. Оптимізація інтервалів може допомогти знайти баланс між зручністю для пасажирів і витратами на обслуговування коротких інтервалів. Наприклад, у деяких випадках впровадження сучасних технологій управління графіком дозволяє знизити витрати, зберігаючи при цьому зручність для пасажирів [7].

Досвід інших країн і технологічні рішення можуть виявити різноманітні підходи до підвищення зручності для пасажирів шляхом оптимізації частоти відправлення. Наприклад, в Японії використовуються автоматизовані системи управління, які дозволяють ефективно планувати графік руху поїздів і зменшувати час очікування для пасажирів. Ці технології також допомагають адаптувати частоту відправлення до пікових навантажень, що забезпечує більш комфортні умови для подорожей [8].

У сфері пасажирських перевезень, на відміну від вантажних, спостерігається значна просторово-часова нерівномірність, яка має бути врахована при плануванні транспортного обслуговування. Наприклад, у приміських перевезеннях можна виділити два основних пікових періоди пасажиропотоку впродовж доби: ранішній та вечірній, які особливо виражені у робочі дні, але майже непомітні у вихідні. У випадку міжміських і регіональних перевезень існує кілька пікових періодів протягом року, пов'язаних із літніми відпустками, студентськими канікулами, святами та вихідними.

## II. ДОСЛІДЖЕННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ПАСАЖИРОПОТОКІВ ПРИМІСЬКОГО СПОЛУЧЕННЯ

Кафедрами факультету управління залізничним транспортом на замовлення Укрзалізниці проводилися як натурні дослідження, так і комп'ютерне моделювання нерівномірності пасажиропотоків приміських залізничних перевезень на напрямку Київ – Коростень.

Як і в багатьох інших подібних дослідженнях, було виявлено, що для приміських перевезень характерні два пікові періоди пасажиропотоків: ранішній, коли пасажирів їдуть у напрямку міста Києва, та вечірній, що передбачає повернення з Києва. На ці два періоди припадає близько 90% загального пасажиропотоку за напрямками. Саме в ці часи залізниця може продемонструвати свою найвагомішу технологічну перевагу – здатність забезпечувати високу провізну спроможність та надійність сполучень. Наприклад, електропоїзд може вмістити понад 1000 пасажирів і доставити їх точно за графіком, у той час як автобуси можуть вмістити лише 20–30 пасажирів, а їх час в дорозі, особливо в години «пік», часто є непередбачуваним через затори.

Для маршруту між Ірпінем і Києвом (станція Святошин) встановлені кількісні показники нерівномірності приміського пасажиропотоку. Наприклад, орієнтовна тривалість ранішнього «піку» (коли спостерігається максимальний попит на перевезення) складає 75 хвилин, причому половина пасажирів накопичується на станціях відправлення протягом перших 37 хвилин, а максимальна інтенсивність пасажиропотоку досягає 200 пасажирів на хвилину. Вечірній «пік» є більш «розтягнутим» у часі, триваючи 250 хвилин, де перша половина потоку накопичується до 35 хвилин, а друга – протягом 215 хвилин, з максимальною інтенсивністю 72 пас./хв. Інтенсивність пасажиропотоку (пас./хв.) описується розподілом Вейбула (з різними параметрами – див. Вікіпедію).

Виявлені в ході цього дослідження закономірності можуть бути застосовані не лише для теоретичного аналізу, а й для практичних розрахунків. Для цього слід створити відповідні математичні моделі, які точно відображають технологічні процеси організації пасажирських перевезень.

*Математичні моделі динаміки попиту на пасажирські перевезення*

Математичні моделі, що описують динаміку попиту на пасажирські перевезення, дозволять детальніше розглянути вплив

нерівномірності в приміських перевезеннях на ключові технологічні параметри (на прикладі моделі рис. 1).

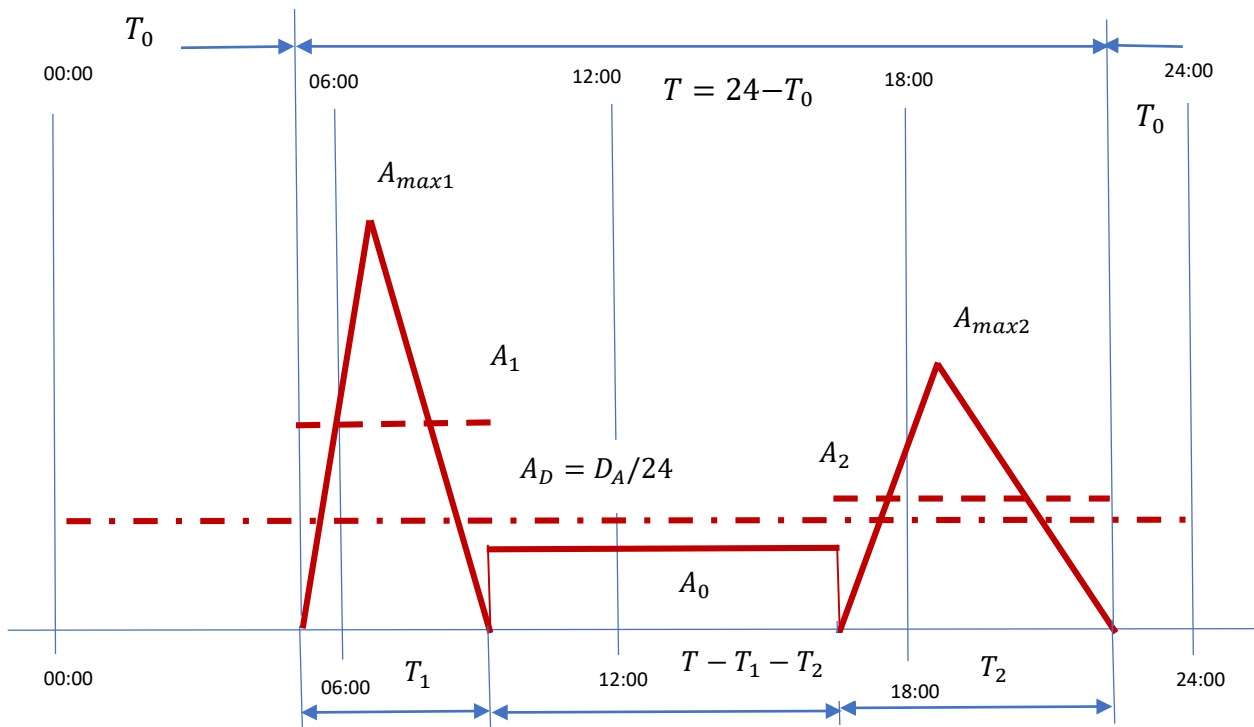


Рисунок 1 – Графічна модель нерівномірності попиту на приміські перевезення

На рис. 1 червоними суцільними лініями зображена спрощена (на основі лінійних залежностей) умовна діаграма зміни інтенсивності попиту на перевезення (пасажиропотоку, пасажирів на годину – пас./год.). Штриховими лініями наведені рівні розрахункової інтенсивності пасажиропотоку в перший період «пік»  $A_1 = A_{max1}/2$  та в другий період «пік»  $A_2 = A_{max2}/2$ , які дорівнюють половині максимальної інтенсивності пасажиропотоку у відповідні періоди «пік»  $A_{maxi}$ .

Інтенсивність пасажиропотоку (попиту на перевезення) у міжпіковий період приймається постійною ( $A_0$ ), а величина її розраховується (у пас./год.)

$$A_0 = \frac{D_A - A_1 T_1 - A_2 T_2}{24 - T_0 - T_1 - T_2}, \quad (1)$$

де  $D_A$  – середньодобові обсяги перевезень (відправлення) пасажирів, пас./доб.;

$$A_1 = \frac{A_{max1}}{2} \quad (2)$$

та

$$A_2 = \frac{A_{max2}}{2}; \quad (3)$$

$A_{maxi}$  – максимальна годинна інтенсивність пасажиропотоку у відповідні ( $i$ -ті, де  $i = 1, 2, \dots, n$ ) періоди «пік», пас./год.;

$T_0$  – тривалість періоду протягом доби, коли перевезення не здійснюються (нічний час), год.;

$T_1$  та  $T_2$  – тривалості, відповідно, першого та другого періодів «пік», год.

Максимальна годинна інтенсивність пасажиропотоку в періоди «пік» та тривалість цих періодів встановлюються в ході маркетингових досліджень, у тому числі натурних спостережень.

Середньодобова годинна інтенсивність попиту на перевезення  $A_D$  розраховується (якщо це потрібно) за формулою

$$A_D = D_A/24. \quad (4)$$

Тепер можна розрахувати рекомендовані інтервали відправлення приміських поїздів

$$I_0 = \frac{n_A}{A_0}; \quad (5)$$

$$I_1 = \frac{n_A}{A_1} k_R \quad (6)$$

та

$$I_2 = \frac{n_A}{A_2} k_R, \quad (7)$$

де  $n_A$  – пасажиромісткість поїзда (номінальна), кількість місць для сидіння;

$k_R$  – коефіцієнт, що враховує заповнення поїзда в години «пік»  
( $k_R = 1,25 - 1,5$ ).

Коефіцієнт  $k_R$  встановлюється шляхом натурних спостережень.

Розраховані за формулою (5, 6, 7) рекомендовані інтервали відправлення є орієнтовними, вони можуть корегуватися в ході розроблення графіка руху поїздів.

*Потреба в рухомому складі – пропозиція послуг перевізника для задоволення попиту.*

У контексті пасажирських перевезень, потреба в рухомому складі є критично важливим елементом, що визначає здатність перевізника пропонувати свої послуги та відповідати на зміну попиту. Рухомий склад, включаючи локомотиви, вагони та інші транспортні засоби, є основним засобом для забезпечення перевезення пасажирів. Його наявність та якість безпосередньо впливають на ефективність обслуговування і задоволеність клієнтів.

Попит на пасажирські перевезення часто коливається в залежності від сезону, часу доби та інших факторів, таких як святкові дні чи події, що впливають на кількість пасажирів. Перевізники повинні адаптувати свій рухомий склад відповідно до цих змін, щоб уникнути ситуацій з переповненістю або, навпаки, недостатньою заповнюваністю транспорту. Для цього необхідно здійснювати аналіз і прогнозування попиту, щоб вчасно планувати необхідну кількість та типи транспортних засобів.

Потреба в рухомому складі тісно пов'язана з пропозицією послуг перевізника. Для задоволення попиту важливо не лише забезпечити наявність достатньої кількості транспортних засобів, але й оптимізувати їх використання. Це вимагає постійного моніторингу, аналізу даних про пасажиропотоки та впровадження новітніх технологій управління. Перевізники, які вміють адаптуватися до змін у попиті, здатні забезпечити високу якість обслуговування та задоволеність своїх клієнтів.

Оскільки можливості варіювання парку рухомого складу (кількість складів поїздів) є обмеженими в порівнянні з оперативним регулюванням інтервалів відправлення, необхідність у рухомому

складі повинна визначатися на основі середньодобових обсягів перевезень протягом року. При цьому слід враховувати коефіцієнти нерівномірності, які відображають коливання попиту на перевезення, пов'язані з літніми відпустками, канікулами, святами та іншими подіями.

Потреба в складах поїздів  $N_{СП}$  прямо залежить від кількості пар поїздів на маршруті  $n_{пм}$ , які відправляються щодоби та часу обороту (обігу) состава на маршруті  $\theta_{пм}$  з урахуванням періодичності його заходу в основне депо приписки для технічного обслуговування та регламентних робіт.

Потрібна кількість пар поїздів на маршруті залежить від розрахункового пасажиропотоку та може бути визначена як

$$n_{пм} = \frac{D_A}{n_A}, \quad (8)$$

де  $D_A$  – середньодобові обсяги перевезень (відправлення) пасажирів, пас./доб.;

$n_A$  – пасажиромісткість поїзда відповідного класу та композиції состава, загальна кількість місць.

Результат розрахунку за формулою (8) округлюється до більшого цілого значення.

Маршрут може бути «маятниковим», коли поїзд курсує між станціями, одна з яких є станцією депо приписки, а друга є станцією обороту, або «кільцевим», коли поїзд курсує по «кільцю», відправляючись зі станції основного депо і повертаючись на цю ж станцію для наступного технічного обслуговування та регламентних робіт. Від організації маршруту та середньої (маршрутної) швидкості на ньому залежить час обороту состава поїзда на маршруті

$$\theta_{пм} = \frac{1}{24} \left[ t_{ТОР} + t_{ОБ} + 2 \sum_{i=1}^m \left( \frac{l_i}{v_i} + \frac{\tau_i}{60} \right) \right], \quad (9)$$

де  $t_{\text{ТОР}}$  – тривалість всіх видів технічного обслуговування (ТО) та регламентних робіт і ремонту, передбачених при заході в основне депо, год.;

$t_{\text{ОБ}}$  – тривалість знаходження состава поїзда на станції обороту, год.;

$m$  – кількість зупинок на маршруті;

$l_i$  – відстань  $i$ -ої ділянки на маршруті, км;

$\tau_i$  – тривалість зупинки поїзда на  $i$ -ій стоянці, хв.

Коли відомі відстань всього маршруту  $L_M$  та маршрутна швидкість на ньому  $V_M$ , тоді формула для розрахунку спрощується

$$\theta_{\text{пм}} = \frac{1}{24} \left( t_{\text{ТОР}} + t_{\text{ОБ}} + 2 \frac{L_M}{V_M} \right). \quad (10)$$

Результат розрахунку за формулою (10) округлюється до більшого цілого значення.

Тепер можна визначити потрібну кількість составів поїздів на маршруті

$$N_{\text{СП}} = 2n_{\text{пм}}\theta_{\text{пм}}. \quad (11)$$

Для цілей теоретичного аналізу використаємо розгорнуту формулу

$$N_{\text{СП}} = \frac{2}{n_A} \frac{D_A}{24} \left( t_{\text{ТОР}} + t_{\text{ОБ}} + 2 \frac{L_M}{V_M} \right). \quad (12)$$

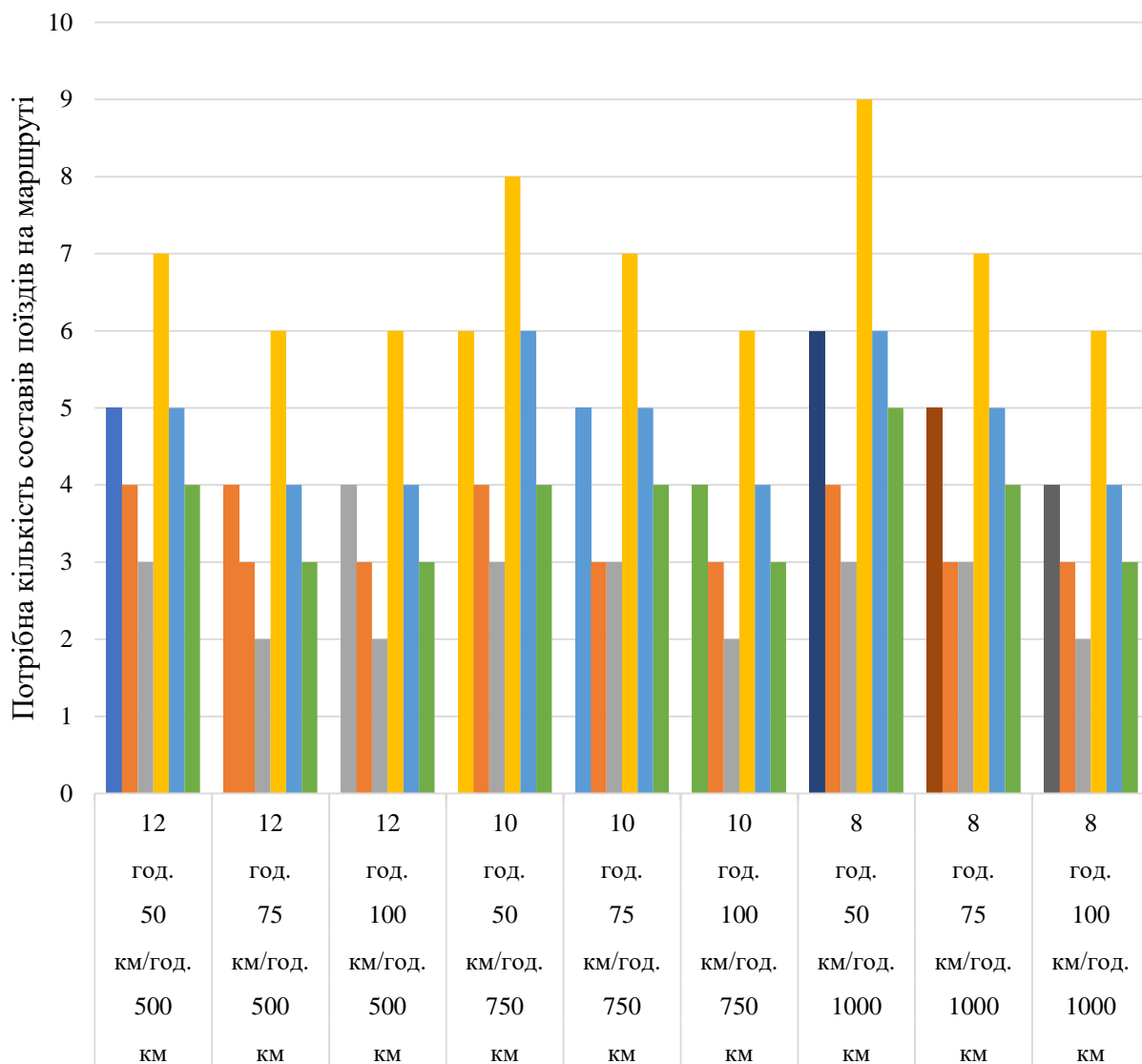
Результати розрахунку за формулою (12) округлюється до більшого цілого значення. Нижче, в табл. 1, наведено приклад розрахунку та аналіз його результатів.

Таблиця 1 – Результати розрахунку потреби в составах поїздів на маршруті залежно від умов організації перевезень

$D_A$ , пас./ доб.	$n_A$ , од.	$N_{СП}$ , од.	500	500	500	750	750	750	1000	1000	1000	$L_M$ , км
			50	75	100	50	75	100	50	75	100	$V_M$ , км/год.
			12	12	12	10	10	10	8	8	8	$t_{ТОР} +$ $t_{ОБ}$ , год.
			0,92	0,78	0,71	1,04	0,83	0,73	1,17	0,89	0,75	$\theta_{ПМ}$ , доб.
500	400	1,25	3	2	2	3	3	2	3	3	2	Потрібна кількість составів на маршруті
500	600	0,83	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
500	800	0,63	2	1	1	2	2	1	2	2	1	
1000	400	2,50	5	4	4	6	5	4	6	5	4	
1000	600	1,67	4	3	3	4	3	3	4	3	3	
1000	800	1,25	3	2	2	3	3	2	3	3	2	
1500	400	3,75	7	6	6	8	7	6	9	7	6	
1500	600	2,50	5	4	4	6	5	4	6	5	4	
1500	800	1,88	4	3	3	4	4	3	5	4	3	

Як видно з табл. 1, потреба в рухомому складі залежить від багатьох чинників, серед них основний – це попит на перевезення (інтенсивність пасажиропотоку в певному місці в певний час), пасажиромісткість рухомого складу, маршрут та час його обороту на маршруті, з урахуванням періодичності та тривалості заходу в депо для технічного обслуговування, регламентних робіт та ремонту. Нижче, на рис. 2, представлені результати розрахунків з табл. 1. З рис. 2 видно, що найбільшою потреба в составах поїздів буває тоді, коли їх пасажиромісткість та маршрутна швидкість мінімальні, а пасажиропотоки – максимальні. Для зменшення потреби у составах при великому пасажиропотоці слід використовувати рухомий склад великої пасажиромісткості та організувати їх рух з максимальними маршрутними швидкостями. Має значення також час знаходження составів в депо та пунктах обороту, він не повинен перевищувати

технологічно необхідних величин, для того щоб час у русі протягом обороту состава був максимально можливим.



Параметри умов організації перевезень

- 1000 пас./доб. 400 місць
- 1000 пас./доб. 600 місць
- 1000 пас./доб. 800 місць
- 1500 пас./доб. 400 місць
- 1500 пас./доб. 600 місць
- 1500 пас./доб. 800 місць

Рисунок 2 – Потрібна кількість составів поїздів на маршруті залежно від умов організації перевезень

При організації пасажирських перевезень важливо враховувати не лише довжину маршруту, швидкість поїзда і час простою в депо, але й інші фактори, що впливають на загальний час обороту. Найголовніше – забезпечити зручний час відправлення та прибуття для пасажирів.

## *Цифрові технології мультимодального пасажирського транспорту*

Цифровізація має вирішальне значення для мультимодального пасажирського транспорту. Частина роботи спрямована на встановлення загальних стандартів для продажу квитків і надання інформації пасажирам. Інша частина полягає в забезпеченні більш ефективного управління трафіком, автоматизації процесів і підвищенні пропускної здатності існуючої інфраструктури.

Сучасний розвиток цифрових технологій значно трансформує сектор пасажирських перевезень, зокрема в мультимодальному транспорті. Цей підхід об'єднує різні види транспорту, такі як залізничний, автомобільний, авіаційний та морський, з метою підвищення зручності та ефективності перевезень.

Впровадження цифрових платформ для мультимодальних перевезень надають можливість планування поїздок, купівлі квитків та отримання інформації в реальному часі. Системи, такі як мобільні додатки та веб-сайти, дозволяють пасажирам безперешкодно організовувати подорожі, комбінуючи різні види транспорту. Наприклад, додатки, які інтегрують інформацію про розклади, затримки і наявність місць у поїздах, автобусах та літаках, суттєво спрощують процес планування поїздок, дозволяючи пасажирам у реальному часі порівнювати різні варіанти транспорту, обирати найбільш зручні маршрути та адаптувати свої плани в залежності від умов руху. Це, в свою чергу, сприяє підвищенню ефективності подорожей, оскільки користувачі можуть уникнути незручностей, пов'язаних із затримками або переповненими транспортними засобами.

Також такі додатки часто пропонують функції резервування квитків, інтеграцію з картами для навігації та можливість отримання рекомендацій на основі уподобань користувача, що робить процес поїздки більш зручним і інтуїтивно зрозумілим. В цілому, ці цифрові рішення відіграють важливу роль у розвитку мультимодального транспорту, забезпечуючи пасажирам комфорт і контроль над їх подорожами.

Використання інтелектуальних транспортних систем (ІТС) дозволяє покращити управління транспортними потоками. Такі системи використовують дані в реальному часі для оптимізації маршрутів, зменшення заторів і підвищення безпеки. Наприклад, технології GPS та аналітики даних допомагають у моніторингу трафіку та прогнозуванні навантаження на різні види транспорту.

Відповідні телекомунікаційні стандарти, такі як 5G, матимуть значно більший вплив на мультимодальний зв'язок і є ключовою складовою системи мобільного зв'язку майбутньої залізниці (FRMCS) для європейської залізничної мережі. Як і у випадку з будь-якою іншою технологією, цифровізація несе в собі як ризики, так і можливості, зокрема в сфері кібербезпеки, що підкреслює важливість забезпечення кіберстійкості транспортних і комунікаційних мереж [9].

Висновок: у Євросоюзі розвиток мультимодальної транспортної системи та досягнення цілей Європейської зеленої угоди (Green Deal) неможливі без залізниць та впровадження цифрових технологій.

В майбутньому постануть проблеми не лише щодо скорочення викидів вуглецю, енергоефективності та екологізації транспорту – нам також доведеться просто перевозити більше за допомогою існуючої інфраструктури.

Цифрові технології також забезпечують інтеграцію різних транспортних засобів в єдину екосистему. Це дозволяє не тільки зменшити час пересадок, але й спростити процес придбання квитків. Завдяки таким платформам, як Mobility as a Service (MaaS), користувачі можуть планувати свої подорожі, використовуючи один додаток, що підтримує всі доступні види транспорту.

*Що таке «мультимодальність як послуга» (MaaS)? – Приклади*

Ця тема стає дедалі актуальнішою в усьому світі і викликає зростаючий інтерес в Україні. Наприклад, єдина транспортна карта (електронний квиток на всі види міського транспорту) у Києві та інших містах вже є успішним першим кроком до створення мультимодальних систем пасажирських перевезень. Проте у світі досягнуто ще вищих стандартів таких систем, тож варто звернути увагу на іноземний досвід, що буде розглянуто далі.

Пасажирський мультимодальний транспорт: приклад концепції мобільності як послуги (MaaS). Як зазначає Ерion Мураті у своїй доповіді «Passenger Multimodal Transport: the case of Mobility-as-a-Service (MaaS)», представлена на 8-й Конференції з регулювання інфраструктури (20-21 червня 2019 року) [10], MaaS – це сучасна транспортна концепція, що об'єднує існуючі та нові послуги мобільності в єдину цифрову платформу. Вона забезпечує персоналізований транспорт «від дверей до дверей» і пропонує можливості для індивідуального планування поїздок та варіанти оплати. У системі MaaS можна придбати одноразовий квиток або місячну підписку, які можуть бути використані для конкретного виду транспорту, наприклад, для поїзда, або для комбінування кількох видів транспорту.

Екосистема MaaS складається з таких компонентів: клієнти (користувачі, пасажири); провайдери платформи MaaS, які розробляють та пропонують рішення (зазвичай це мобільний додаток), створюючи пакети на основі потреб клієнтів; провайдери даних, які постачають, обмінюються та використовують дані, що є критично важливими для роботи системи MaaS; транспортні оператори (перевізники різних видів транспорту).

Європейське законодавство про права пасажирів охоплює сектора повітряного, залізничного, водного транспорту та автобусів. Однак, коли подорож передбачає мультимодальний транспорт (коли пасажир використовує різні види транспорту для завершення однієї подорожі), права пасажирів не можуть бути гарантовані, якщо інцидент на одному з сегментів впливає на наступний, якщо його обслуговує інший вид транспорту.

Наразі мультимодальні пасажирські перевезення не мають єдиної правової бази: кожен вид транспорту має свої специфічні правила, визначені на національному або європейському рівнях. Відсутність єдиних норм щодо компенсації та відшкодування збитків, а також правил, що регулюють мультимодальні туристичні ланцюги (зміна маршруту чи допомога при пересадці між видами транспорту),

ускладнює ситуацію. Права пасажирів і відповідальність перевізників відрізняються в залежності від виду транспорту.

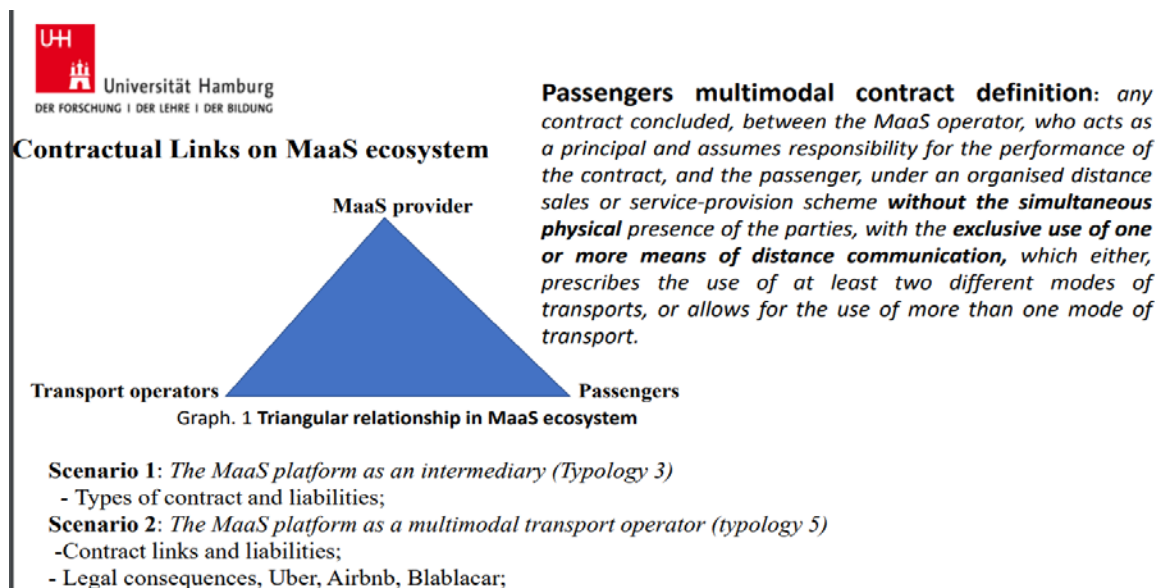


Рисунок 3 – Фрагмент презентації мультимодального пасажирського транспорту (мобільність як послуга МaaS)

Договір мультимодального пасажирського перевезення – це будь-який договір, укладений між оператором МaaS, який діє як принципал і бере на себе відповідальність за виконання договору, та пасажиром, за організованою дистанційною схемою продажу чи надання послуг без одночасної фізичної присутності сторін, з виключним використанням одного чи кількох засобів дистанційного зв’язку, який або передбачає використання принаймні двох різних видів транспорту, або дозволяє використовувати більше ніж один вид транспорту.

### Суб’єкти (учасники) системи МaaS



Рисунок 4 – Суб’єкти (учасники) системи МaaS

На сайті відомої європейської компанії **Alcatel-Lucent** [11], зазначено, що мультимодальні перевезення створюють новий досвід для пасажирів і змінюють їхній спосіб подорожування. Наприклад, з одним квитком ви можете дістатися до аеропорту на поїзді, а потім прямо до вашого готелю, де ваш багаж вже буде готовий. Незалежно від того, чи називаєте ви це «транспорт 4.0», чи «мультимодальним», у будь-якому випадку ви, як пасажир, виграєте.

Основною метою мультимодальних перевезень є інтеграція різних видів транспорту в єдиний ланцюг, що дозволяє доставити пасажирів «від дверей до дверей» і забезпечити новий досвід, який він знову використає. Це зробить подорожі більш ефективними, безпечними, екологічними і менш складними, а також оптимізує час в дорозі і зменшить витрати.

На сьогоднішній день, для подорожі, що включає пересадку з автобуса на потяг, а потім на літак, необхідно купувати квитки для кожного етапу в кожного перевізника, що не є надійним у світлі зростання кількості подорожуючих. Мультимодальна транспортна система пропонує новий підхід до оптимізації поїздок і спрощення надання послуг для операторів. Хоча технології для забезпечення безперебійного мультимодального транспорту вже існують, більшість послуг все ще надаються в «відключеному» режимі, тому виникає потреба в створенні «підключеного» досвіду для пасажирів.

Для успішної реалізації мультимодальних систем важливо, щоб вони були пов'язані як фізично, так і операційно. Операторам потрібна належна інфраструктура з високоякісними інформаційними системами в режимі реального часу для інтеграції маршрутів, розкладів і тарифів. Це дозволить забронювати весь маршрут за допомогою одного додатку, одного пошуку та одного платежу. Крім того, системи єдиного квитка нададуть перевізникам аналітичні дані для покращення їхніх послуг.

Більше інформації про інформаційні технології в мультимодальному транспорті та розробки компанії Alcatel-Lucent в напрямку «транспорт 4.0» можна знайти за посиланням [12].

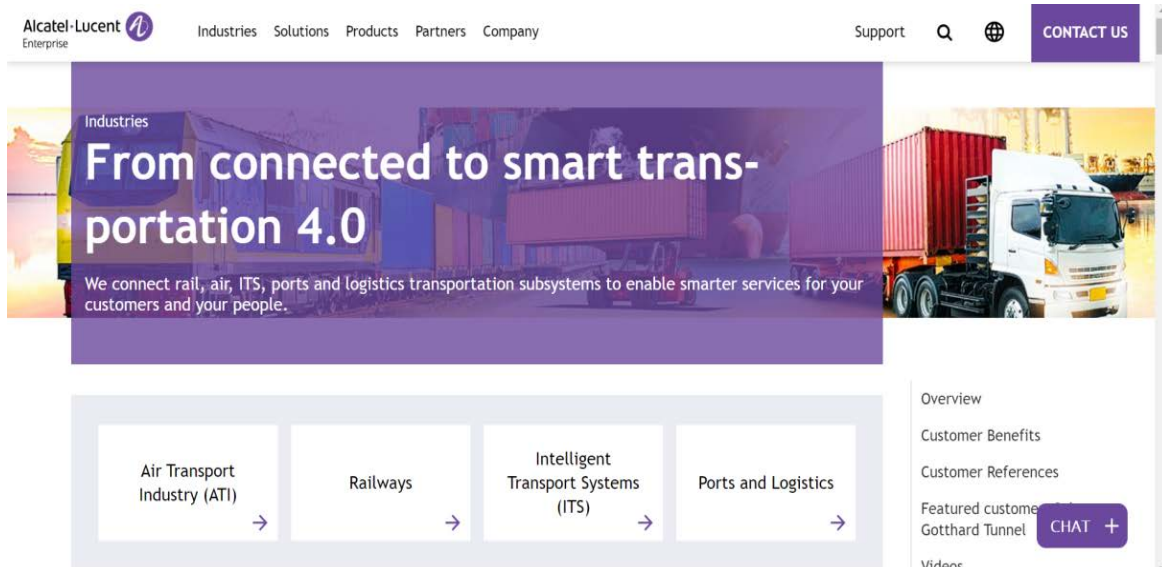


Рисунок 5 – Фрагмент розробки інформаційних технологій мультимодального транспорту

Ще один із світових лідерів у сфері техніки та технологій для транспорту, компанія SIEMENS, активно займається питаннями мобільності, зокрема інтермодальною мобільністю [13].

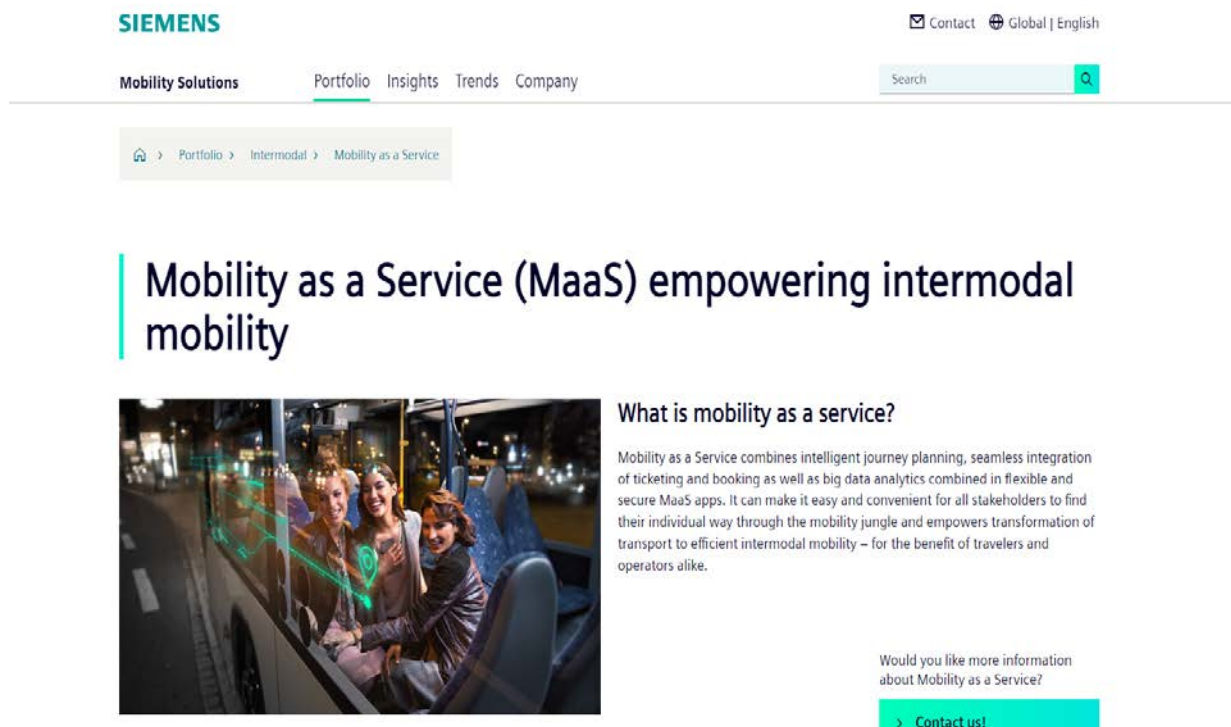


Рисунок 6 – Фрагмент мобільності як послуга (MaaS), що розширює можливості інтермодальної мобільності

Відповідь на запитання «Що таке мобільність як послуга?» виглядає наступним чином: Мобільність як послуга інтегрує інтелектуальне планування подорожей, повну систему продажу квитків та бронювання, а також аналітику великих даних у гнучких і безпечних програмах МaaS. Це спрощує і робить зручним для всіх учасників процес знаходження індивідуального маршруту в складному світі мобільності, а також сприяє перетворенню транспорту в ефективну інтермодальну систему на користь як пасажирів, так і операторів.

На основі короткого огляду світового досвіду можна стверджувати, що концепція МaaS інтегрує транспортні та інформаційні технології в єдиній мультимодальній системі, що забезпечує максимальну зручність для пасажирів і, відповідно, сприяє підвищенню пасажиропотоку для транспортної системи.

### III. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЯК СИСТЕМИ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Математична модель перевезень як системи масового обслуговування є важливим інструментом для аналізу та оптимізації транспортних процесів. У цій моделі основна увага приділяється опису взаємодії між пасажирями (клієнтами) і транспортними засобами (обслуговуючими системами).

Основні елементи моделі:

– **прибуття пасажирів:** модель зазвичай використовує розподіл Пуассона для опису випадкових інтервалів між прибуттями пасажирів, що дозволяє визначити інтенсивність попиту;

– **обслуговування:** час обслуговування, тобто час, який транспортний засіб витрачає на перевезення пасажирів, часто моделюється за допомогою експоненційного розподілу;

– **система обслуговування:** це може бути одноканальна система (один вид транспорту) або багатоканальна система (кілька видів транспорту).

Математична модель допомагає у визначенні необхідної кількості транспортних засобів для задоволення попиту. За допомогою моделювання можна передбачити години пік і відповідно скорегувати графіки роботи транспортних засобів. Також за допомогою математичної моделі можна оцінити якість обслуговування. Вона дозволяє оцінити ймовірність затримок або черг, що є важливим для покращення обслуговування пасажирів.

Використання математичних моделей систем масового обслуговування в перевезеннях забезпечує ефективне управління транспортними потоками, сприяє підвищенню комфорту для пасажирів та оптимізації витрат на експлуатацію.

В якості прикладу розглянемо метрополітен з точки зору теорії транспортних процесів та систем.

Його можна описати як систему масового обслуговування (СМО). Теорія масового обслуговування (ТМО) вивчає процеси, що виникають у системах з високою кількістю запитів на обслуговування, де головною практичною метою є мінімізація черг і скорочення часу очікування. В англійських джерелах цю теорію часто називають «теорія черг» – queuing theory, що підкреслює її зв'язок з управлінням потоками клієнтів, які очікують на обслуговування. ТМО є особливо корисною для транспортних систем із високою пропускну здатністю, таких як метрополітен, де у години пік утворюються черги на входах до станцій, скупчення і тіснява на ескалаторах та платформах.

Процес перевезення пасажирів у метрополітені можна описати вербально (словами) як надання можливості всім пасажирам, які хочуть відправитися з даної станції, сісти в поїзд, після того, як з нього вийшли всі пасажири, що прибули на дану станцію – і все це повинно відбутися протягом короткого часу зупинки поїзда на станції.

Опишемо цей процес математично, використовуючи основні параметри СМО – інтенсивність обслуговування ( $\mu$ ) та інтенсивність вхідного потоку заявок на обслуговування ( $\lambda$ ), де в якості заявок виступають пасажири. В якості обслуговуючого пристрою (каналу обслуговування) виступає поїзд, який прибув на станцію і зупинився для висадки та посадки пасажирів.

Інтенсивність обслуговування можна визначити як кількість пасажирів, які можуть сісти в поїзд після того, як з нього вийшли пасажирів, які прибули на дану станцію, протягом часу зупинки поїзда

$$\mu = m_B^{\Pi} n_D^B R_D - \frac{A_{\text{ВИХ}}^{\text{СТ}}}{t_{\text{ЗС}} N_{\Pi}^T}, \quad (13)$$

де  $m_B^{\Pi}$  – кількість вагонів в електропоїзді;

$n_D^B$  – кількість дверей у вагоні;

$t_{\text{ЗС}}$  – тривалість зупинки поїзда на станції, хв.;

$R_D$  – пропускна спроможність одних дверей вагона, пасажирів за хв. (розраховується на основі ДБН В.2.3-7:2018) [14];

$$R_D = r_D^{1M} B_D; \quad (14)$$

$r_D^{1M}$  – пропускна спроможність дверей в розрахунку на 1 м їх ширини, пасажирів за хв.;

$B_D$  – ширина дверей вагона, м;

$A_{\text{ВИХ}}^{\text{СТ}}$  – кількість пасажирів вихідного потоку, які прибули на станцію поїздами за період часу  $T$  і повинні вийти зі станції;

$N_{\Pi}^T$  – кількість пар поїздів, що зупиняються на станції протягом часу  $T$  (в метрополітені приймається 15-хвилинний період максимального пасажиропотоку).

Інтенсивність вхідного потоку заявок на обслуговування ( $\lambda$ ) визначається як

$$\lambda = \frac{A_{\text{ВХ}}^{\text{СТ}}}{t_{\text{ЗС}} N_{\Pi}^T}, \quad (15)$$

де  $A_{\text{ВХ}}^{\text{СТ}}$  – кількість пасажирів вхідного потоку на станцію, що надійшла за період часу  $T$  (у хв.) на станцію і повинна бути відправлена поїздами.

Відношення  $\lambda$  до  $\mu$  – це коефіцієнт (рівень) завантаження (зайнятості) каналу обслуговування  $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ .

Цей коефіцієнт не може мати від'ємного значення, звідки визначається мінімально необхідна кількість пар поїздів протягом часу  $T$

$$N_{\Pi}^{T\text{мін}} = \frac{A_{\text{вих}}^{\text{ст}}}{m_{\text{в}}^{\Pi} n_{\text{д}}^{\text{в}} R_{\text{д}} t_{\text{зс}}} . \quad (16)$$

Коефіцієнт завантаження  $\rho = 1$  означає, що канал обслуговування постійно зайнятий, а значить, черга заявок на обслуговування зростає до безкінечності, або ж заявки покидають систему.

З умови  $0 < \rho < 1$ , опускаючи проміжні викладки, визначимо, що потрібна кількість пар поїздів за період часу  $T$

$$\frac{A_{\text{вх}}^{\text{ст}} + A_{\text{вих}}^{\text{ст}}}{m_{\text{в}}^{\Pi} n_{\text{д}}^{\text{в}} t_{\text{зс}} R_{\text{д}}} < N_{\Pi}^T < N_{\Pi}^{T\text{макс}} , \quad (17)$$

де

$$A_{\text{вх}}^{\text{ст}} = n_{\text{вх}}^{\text{ес}} r_{\text{вх}}^{\text{ес}} T; \quad (18)$$

$$A_{\text{вих}}^{\text{ст}} = n_{\text{вих}}^{\text{ес}} r_{\text{вих}}^{\text{ес}} T; \quad (19)$$

$n_{\text{вх}}^{\text{ес}}$ ,  $n_{\text{вих}}^{\text{ес}}$  – кількість ескалаторів (або сходів, якщо нема ескалаторів), що працюють протягом періоду  $T$  відповідно на вхід (спуск) або вихід (підйом);

$r_{\text{вх}}^{\text{ес}}$ ,  $r_{\text{вих}}^{\text{ес}}$  – пропускна спроможність ескалатора (або сходів, якщо нема ескалаторів), що працюють протягом періоду  $T$  відповідно на вхід (спуск) або вихід (підйом), пасажирів за хв.;

Останні дві формули відображають той факт, що на станції не може бути більше пасажирів, ніж туди дістається ескалаторами (сходами), так само зі станції не може вийти більше пасажирів, ніж можуть пропустити ескалатори (сходи), тому саме пропускна спроможність ескалаторів (сходів), а також місткість та частота руху електропоїздів, якими прибувають та відправляються пасажирів, визначають кількість пасажирів на станції.

$N_{\Pi}^{T_{\max}}$  – максимальна пропускна спроможність метрополітену у парах поїздів за період  $T$  (виходячи з визначеної ДБН величини 40 пар поїздів за годину).

Будемо розглядати максимальну пропускну здатність лінії метрополітену 40 пар поїздів на годину, а також величину максимального 15-хвилинного пасажирського потоку в годину «пік» в умовах нормальної експлуатації, а також на випадок евакуації пасажирів з урахуванням даних, наведених нижче в табл. 1 (на основі відповідної таблиці ДБН) [14]. Отже, для розрахунків приймемо  $T=15$  хв., а  $N_{\Pi}^{T_{\max}}=10$  пар поїздів за 15 хвилин.

Для максимального пасажиропотоку, що очікується в годину «пік», слід враховувати коефіцієнт нерівномірності розподілення пасажирських потоків за годину, що становить:

- для пересадочних станцій, а також станцій, що тяжіють до залізничних і автобусних вокзалів, стадіонів, транспортно-пересадочних вузлів – 1,4;
- для решти станцій – 1,2.

Таблиця 2 – Пропускна здатність ділянок руху і провізна здатність обладнання в умовах нормальної експлуатації

Ділянка руху пасажирів і обладнання на станціях і в вестибюлях	Ширина шляху, м	Пропускна (провізна) здатність, люд./год	
		за нормальної експлуатації	у разі евакуації
Дверний проріз	0,9	3200	4000
Сходи у разі:			
- одностороннього руху вгору;	1	3000	3500
- одностороннього руху вниз;	1	3500	4000
- двостороннього руху вгору та вниз	1	3200	-
Ескалатор у разі:	1	6800	8200
- номінальної швидкості стрічки не більше ніж 0,75 м/с;			
- номінальної швидкості стрічки 0,50 м/с	1	5000	6000

Для подальших розрахунків приймемо, за нормальної експлуатації, мінімальну пропускну спроможність одних сходів на вхід і одних – на вихід, що складе  $3000 + 3500$  людей за годину або разом 1625 пасажирів за 15-хвилинний період.

Максимальну пропускну спроможність та кількість пасажирів на станції приймемо виходячи з умови роботи двох ескалаторів на вхід і одного – на вихід (чи навпаки), що дасть  $2 \cdot 6800 + 1 \cdot 6800 = 20400$  людей за годину або разом 5100 пасажирів за 15-хвилинний період.

З урахуванням коефіцієнта нерівномірності пасажиропотоків 1,4 визначимо, що кількість пасажирів на станції протягом 15-хвилинного періоду може коливатися в межах  $A_{\text{ВХ}}^{\text{СТ}} + A_{\text{ВИХ}}^{\text{СТ}} = 2275 \div 7140$  пасажирів за 15-хвилинний період.

Виходячи з табл. 2,  $r_{\text{д}}^{1\text{М}}$  – пропускну спроможність дверей (вагона) в розрахунку на 1 м їх ширини, пасажирів за хв., визначається як 3200 людей за годину для дверного прорізу шириною 0,9 м, отже при ширині 1 м це буде,  $3200:0,9 = 3556$  пасажирів за годину. Через одні двері вагона шириною  $B_{\text{д}} = 1,2$  м за годину може вийти і зайти  $3556 \cdot 1,2 = 4267$  пасажирів, або  $R_{\text{д}} = 71$  пасажир за 1 хвилину чи 24 пасажира за 20 с ( $t_{\text{зс}} = 0,33$  хв.) зупинки поїзда на станції.

Кількість вагонів в електропоїзді  $m_{\text{в}}^{\text{п}} = 5$ , кількість дверей в кожному вагоні  $n_{\text{д}}^{\text{в}} = 4$ , отже за час зупинки 20 с з поїзда можуть вийти та в нього зайти  $5 \cdot 4 \cdot 24 = 480$  пасажирів, і це – виходячи з умов нормальної експлуатації.

Однак треба враховувати, що в години «пік» бувають максимальні пасажиропотоки, коли висадка з поїздів і посадка пасажирів в поїзди відбуваються в прискореному темпі. Це вимагає збільшувати як інтенсивність проходу пасажирів через двері ( $R_{\text{д}}$ ), так і змушує, інколи, затримувати відправлення поїзда (збільшується  $t_{\text{зс}}$ ). Тому при розрахунку на умови максимальних пасажиропотоків з великою їх нерівномірністю в години «пік» треба виходити з максимальної інтенсивності проходу пасажирів крізь двері вагонів (4000 людей за годину, як при евакуації, та незначної, на 5 с, затримки поїзда при висадці-посадці пасажирів). Це приводить до величин  $R_{\text{д}} = 89$  пасажирів

за 1 хвилину чи 37 пасажира за 25 с ( $t_{zc} = 0,42$  хв.) зупинки поїзда на станції. Тоді з поїзда можуть вийти та в нього зайти  $5 \cdot 4 \cdot 37 = 740$  пасажирів, і це – виходячи з умов годин «пік» та максимальної нерівномірності пасажиропотоків.

Повертаючись до вихідної формули (16) розрахуємо потрібну кількість пар поїздів для 15-хвилинного періоду годин «пік» з максимальним пасажиропотоком

$$\max N_{\Pi}^{T=15\text{хв.}} = \frac{7140}{5 \cdot 4 \cdot 0,42 \cdot 89} = 9,55 < N_{\Pi}^{T_{\max}} = 10 \text{ пар поїздів.}$$

Для мінімального пасажиропотоку (2275 пасажирів за 15-хвилинний період) в нормальних умовах експлуатації результат розрахунку буде  $4,85 = 5$  пар поїздів для 15-хвилинного періоду (20 пар поїздів за годину, або 50% максимальної пропускнуєї спроможності метрополітену).

Таким чином, дана методика розрахунку повністю відповідає як вимогам нормативного документу (ДБН В.2.3-7:2018) [14], так і реальним умовам роботи метрополітену.

Математичне моделювання систем масового обслуговування для перевезень, зокрема пасажирських перевезень у метрополітені, є ефективним інструментом для оптимізації роботи транспортної інфраструктури. Використання таких моделей дозволяє точно оцінити інтенсивність пасажиропотоку та кількість ресурсів, необхідних для забезпечення безперебійного обслуговування пасажирів, з урахуванням варіацій попиту у різні періоди.

Водночас, сфера застосування систем масового обслуговування виходить за межі звичайних пасажирських перевезень і охоплює критично важливі розрахунки для евакуації людей у надзвичайних ситуаціях. Такі розрахунки в екстремальних умовах є ключовими для забезпечення безпеки постраждалих чи тих, кому загрожує небезпека, зокрема в зонах бойових дій чи природних катастроф.

#### IV. РОЗРАХУНКИ СПРОМОЖНОСТЕЙ ЕВАКУАЦІЇ ЛЮДЕЙ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ЯК СИСТЕМИ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Особливим видом перевезень людей (тобто різновидом пасажирських перевезень, які здійснюються в екстремальних умовах) є евакуація постраждалих або тих, кому загрожує небезпека, із зон надзвичайних ситуацій, у тому числі із зон бойових дій.

При моделюванні різноманітних систем масового обслуговування широко використовується показниковий закон розподілу [18], при якому випадкова величина  $T$  – інтервал часу між двома послідовними подіями – розподілена за показниковим законом, тобто її густина розподілу має вигляд:

$$f(t) = \begin{cases} 0, & t < 0; \\ \lambda e^{-\lambda t}, & t \geq 0 \end{cases}, \quad (20)$$

де  $\lambda$  – інтенсивність вхідного потоку подій, тобто кількість подій в одиницю часу.

Показниковий закон розподілу має тільки один параметр  $\lambda$  (величина, обернена математичному сподіванню випадкової величини  $t$ ), що спрощує його використання для теоретичного аналізу та практичних розрахунків. Крім того, показниковий (експоненціальний, англ. exponential) розподіл має властивість «відсутності пам'яті».

Наприклад, якщо  $T$  – це час, який потрібно чекати, перш ніж відбудеться певна подія, то ймовірність того, що подія відбудеться протягом інтервалу часу довжиною  $t$ , не залежить від того, скільки часу ( $\tau$ ) уже минуло без події, а залежить тільки від довжини інтервалу  $t$ :

$$P(T \leq \tau + t \mid T > \tau) = P(T \leq t). \quad (21)$$

Такий розподіл часто використовується для надання імовірнісних відповідей на такі питання, як:

Скільки часу мине, перш ніж у певному регіоні станеться землетрус?

Як довго нам потрібно чекати, поки клієнт заїде до нашого магазину?

Скільки часу машина працюватиме без поломки?

Усі ці питання стосуються часу, який потрібно чекати, перш ніж відбудеться певна подія [19].

Ще одною властивістю показникового розподілу, важливою з практичної точки зору, є те, що більш ймовірним є більш часте настання подій (з меншим інтервалом часу між ними), ніж більш рідке (з більшим інтервалом). При такому розподілі ймовірність випадкової величини часу, що пройшов між послідовними подіями, в проміжку від 0 до 5 хвилин є завжди вищою, ніж її потрапляння в проміжок від 5 до 10 хвилин, хоча сама тривалість інтервалу (5 хв.) лишається незмінною. Тобто такий розподіл може моделювати найбільш тяжкі (екстремальні) умови функціонування системи, коли події, на які вона має реагувати, з більшою ймовірністю відбуваються частіше, ніж рідше.

Подіями вважається надходження в систему вимог, які потребують обслуговування. В сучасних реаліях України, Ізраїлю та інших країн, що живуть в умовах чи під загрозою війни, більш ніж актуальним є надання імовірнісних відповідей на інші питання, ніж сформульовані вище (а, б, с), а саме:

– Скільки часу пройде до наступної ракетної атаки і який район міста вона вразить?

– Скільки треба мати команд рятувальників і засобів для реагування на наслідки диверсійних дій чи ворожих ударів по цивільній і транспортній інфраструктурі?

– Скільки треба мати транспортних засобів, предметів гуманітарної допомоги та персоналу при евакуації населення із вражених надзвичайними ситуаціями районів в безпечні місця?

Тут наведені приклади подій, які трапляються під час війни і надзвичайних ситуацій. Очевидно, що при розрахунках сил та засобів реагування на такі події треба виходити з того, що вони можуть траплятися скоріше частіше (ніж нам хотілось би), ніж рідше, а

тривалість ліквідації наслідків цих подій буде значно відхилитися від певного розрахункового часу. В теоретичному аспекті – це є підставою до застосування математичних моделей систем масового обслуговування (СМО) типу М/М/1 для розрахунку параметрів таких систем, а в практичному – надає більшої стійкості системі сил та засобів реагування на такі події.

Проте тут цей математичний апарат буде модифікований, щоб врахувати можливі екстремальні умови функціонування СМО, коли одного каналу обслуговування (обслуговуючого пристрою, приладу, сервера) явно недостатньо, і треба визначити їх кількість  $X$ , виходячи з того, що час обслуговування одним сервером одної вимоги значно перевищує інтервал між їх надходженнями в систему.

З теорії масового обслуговування відомо, що для СМО типу М/М/1 час перебування вимоги в системі (очікування плюс обслуговування)  $W$  складає

$$W = \frac{\rho^2}{(1-\rho)\lambda} + \frac{1}{\mu}, \quad (22)$$

де  $\lambda$  – інтенсивність вхідного потоку вимог на обслуговування (величина, обернена середньому значенню інтервалу часу між надходженнями вимог на обслуговування);

$\mu$  – інтенсивність обслуговування вимог (величина, обернена середньому часу обслуговування вимоги);

$0 \leq \rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$  – коефіцієнт завантаження окремого каналу обслуговування.

Введемо величину  $\alpha$ , ( $0 \leq \alpha = \frac{\lambda}{\mu}$ ), яка, в загальному випадку, може бути  $\alpha \geq 1$ , і це означає, що одного каналу обслуговування (сервера) недостатньо, тому треба збільшення їх кількості до  $X$ .

Цю кількість можна визначити як

$$X = \lambda W = \lambda \left[ \frac{\rho^2}{(1-\rho)\lambda} + \frac{1}{\mu} \right]. \quad (23)$$

Тоді, з урахуванням умови  $0 \leq \rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$ , треба визначити коефіцієнт завантаження окремого каналу як

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu X}. \quad (24)$$

Підставивши це значення в праву частину рівняння  $X = \lambda \left[ \frac{\rho^2}{(1-\rho)\lambda} + \frac{1}{\mu} \right]$  та здійснивши перетворення, отримаємо наступне кубічне рівняння відносно  $X$ :

$$X^3 - 2\frac{\lambda}{\mu}X^2 + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 X - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 = 0. \quad (25)$$

Після підстановки  $\alpha = \frac{\lambda}{\mu}$  маємо:

$$X^3 - 2\alpha X^2 + \alpha^2 X - \alpha^2 = 0. \quad (26)$$

Це рівняння буде розв'язано пізніше відомим точним аналітичним методом (формула Кардано і ін.), але спочатку зробимо це графічним методом, результати застосування якого є більш наочними і зрозумілими для аналізу.

При застосуванні графічного методу потрібна кількість каналів обслуговування визначається з рівняння (27), похідного від (26):

$$X = \frac{\alpha^2}{\left(1 - \frac{\alpha}{X}\right)X^2} + \alpha, \quad (27)$$

права частина якого залежить від  $\alpha$  та  $X$ , а ліва – дорівнює  $X$ .

Розрахуємо значення функції двох аргументів  $Y = f(\alpha, X)$ , що знаходиться у правій частині рівняння  $Y = \frac{\alpha^2}{(1-\frac{\alpha}{X})X^2} + \alpha$ .

Результати наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Значення  $Y = \frac{\alpha^2}{(1-\frac{\alpha}{X})X^2} + \alpha$

$\alpha$ , коефіцієнт завантаження каналу	$X$ , кількість каналів як змінний параметр моделі				
	1	1,5	2	2,5	3
0,25	0,333	0,283	0,268	0,261	0,258
0,5	1,000	0,667	0,583	0,550	0,533
0,75	3,000	1,250	0,975	0,879	0,833
1	#	2,333	1,500	1,267	1,167
1,25	#	5,417	2,292	1,750	1,548
1,5	#	#	3,750	2,400	2,000

#Примітка: Результат розрахунку – поза межами області допустимих значень.

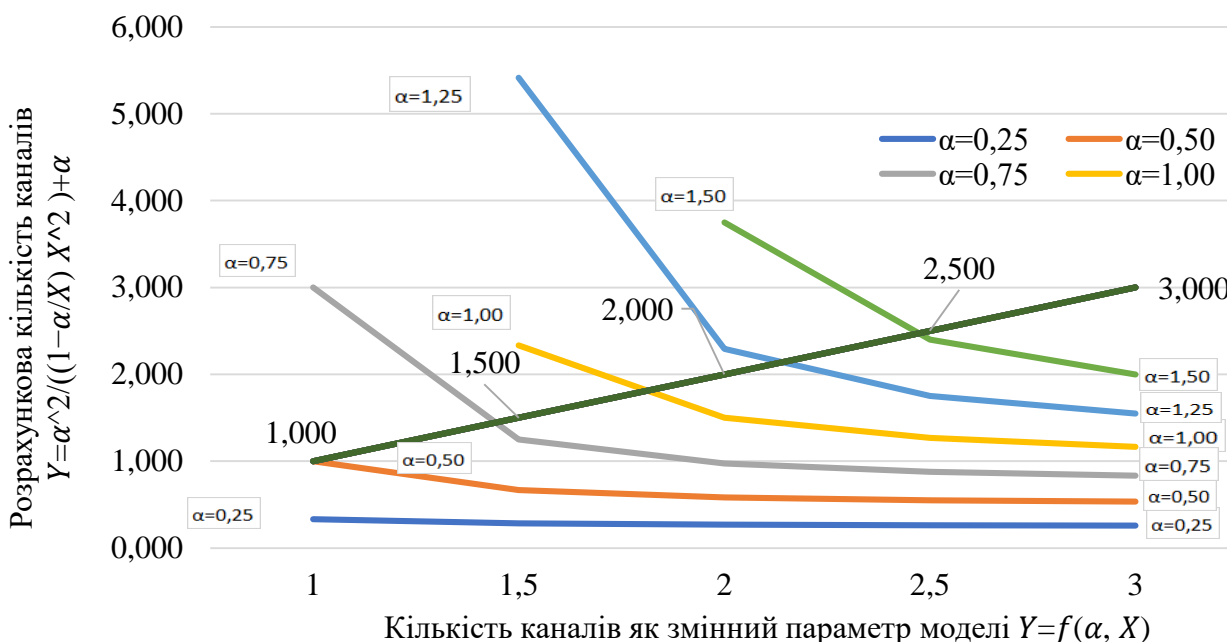


Рисунок 7 – Графічне розв'язання рівняння для визначення потрібної кількості каналів обслуговування (евакуаційних пасажирських транспортних засобів та бригад)

Низхідні шість кривих на рис. 7 відображають розрахункові значення функції  $Y = f(\alpha, X)$ , отримані за наведеною вище формулою для правої частини рівняння. Висхідна пряма відображає ліву частину рівняння (27), а саме  $Y = X$ , незалежну від  $\alpha$ . Точки перетину цієї прямої з кривими, що відповідають різним  $\alpha$  ( $\alpha=0,250, \dots, \alpha=1,500$ ), в проєкції на вісь абсцис  $X$ , дають пошукувані значення потрібної кількості каналів обслуговування.

Опрацювання результатів, отриманих графічним методом, показує цікаву та корисну закономірність. Виявлено, що графічне рішення дає теоретичні значення  $X$ , що мають задовольняти рівнянню (27), які систематично на певний відсоток більше, ніж значення, отримані традиційним методом розрахунку – шляхом визначення коефіцієнту навантаження каналу  $\alpha = \frac{\lambda}{\mu}$ , з округленням результату до більшого цілого. Ця закономірність відображена на рис. 8, з якого видно, що в дослідженому діапазоні значень  $\alpha$  згаданий відсоток запасу кількості каналів порівняно з величиною, отриманою традиційним розрахунковим шляхом, складає від 100% при мінімальному значенні  $\alpha = 0,5$  до 65,3% при збільшенні до  $\alpha = 1,5$ .

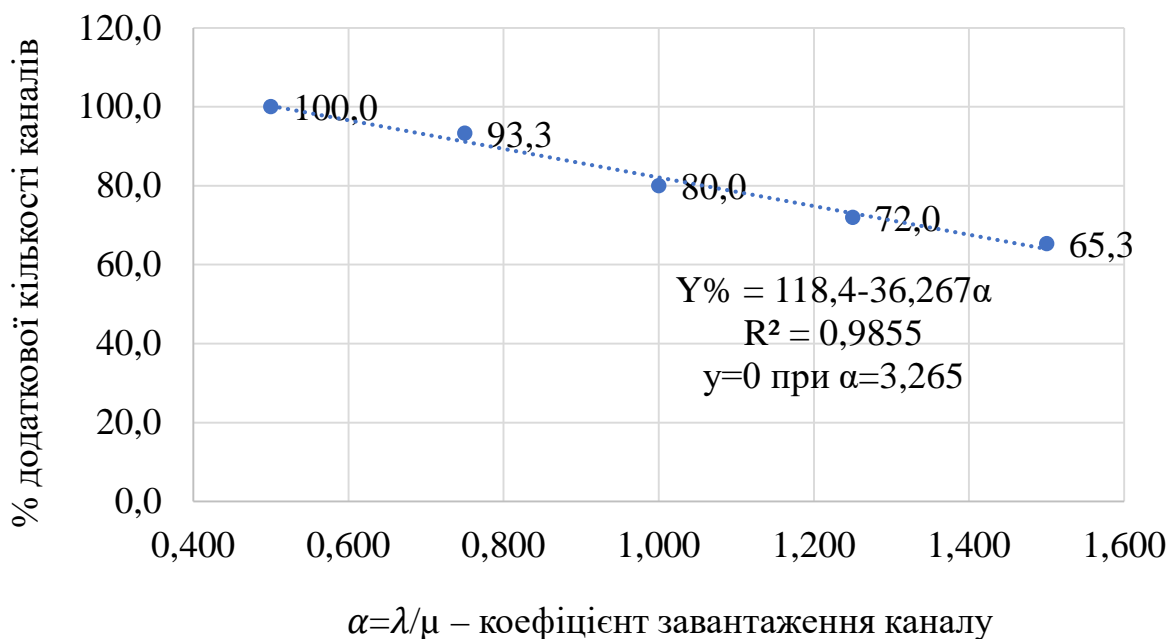


Рисунок 8 – Відсоток  $Y\%$  додаткової кількості каналів (евакуаційних пасажирських транспортних засобів) залежно від коефіцієнту завантаження каналу

Для аналітичного розв'язання рівняння  $X^3 - 2\alpha X^2 + \alpha^2 X - \alpha^2 = 0$  приведемо його до канонічного виду

$$y^3 + py + q = 0, \quad (28)$$

для чого спочатку перетворимо на рівняння виду  $aX^3 + bX^2 + cX + d = 0$  шляхом підстановок  $a = 1; b = -2\alpha; c = \alpha^2; d = -\alpha^2$ .

Алгоритм розв'язання кубічного рівняння в канонічному виді добре відомий з XVI століття як метод Кардано. Наші алгебраїчні викладки згідно з цим методом наведені нижче.

$$\text{Коефіцієнти рівняння: } q = \frac{\alpha^3}{3} \left(1 - \frac{16}{9}\right) - \alpha^2; p = -\frac{\alpha^2}{3};$$

Дискримінант рівняння  $D = \left(\frac{q}{2}\right)^2 + \left(\frac{p}{3}\right)^3$ ; якщо  $D > 0$ , то рівняння має один дійсний корінь та два комплексних (котрі до області допустимих значень не потрапляють). Єдиний дійсний корінь визначається як

$$y = \sqrt[3]{-\left(\frac{q}{2}\right)^2 + \sqrt{D}} + \sqrt[3]{-\left(\frac{q}{2}\right)^2 - \sqrt{D}}. \quad (29)$$

Для того, щоб повернутися до вихідного рівняння, треба зробити зворотні підстановки, тоді отримаємо «теоретичне» значення  $X_{th}$  розрахованої аналітичним методом кількості каналів обслуговування:

$$X_{th} = y - \frac{1}{3} \left(\frac{b}{a}\right) = y + \frac{2}{3} \alpha. \quad (30)$$

$\alpha$	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25
$X_{tr}$	1	1	1	1	2	2	2	2	3
$q$	-0,067	-0,282	-0,672	-1,259	-2,069	-3,125	-4,452	-6,074	-8,016
$p$	-0,021	-0,083	-0,188	-0,333	-0,521	-0,750	-1,021	-1,333	-1,688
$D$	0,001	0,020	0,113	0,395	1,065	2,426	4,916	9,136	15,885
$y$	0,007	0,049	0,159	0,394	1,618	2,547	3,327	4,142	5,011
$X_{th}$	0,174	0,383	0,659	1,060	2,451	3,547	4,494	5,476	6,511
$X_{pr}$	1	1	1	2	3	4	5	6	7

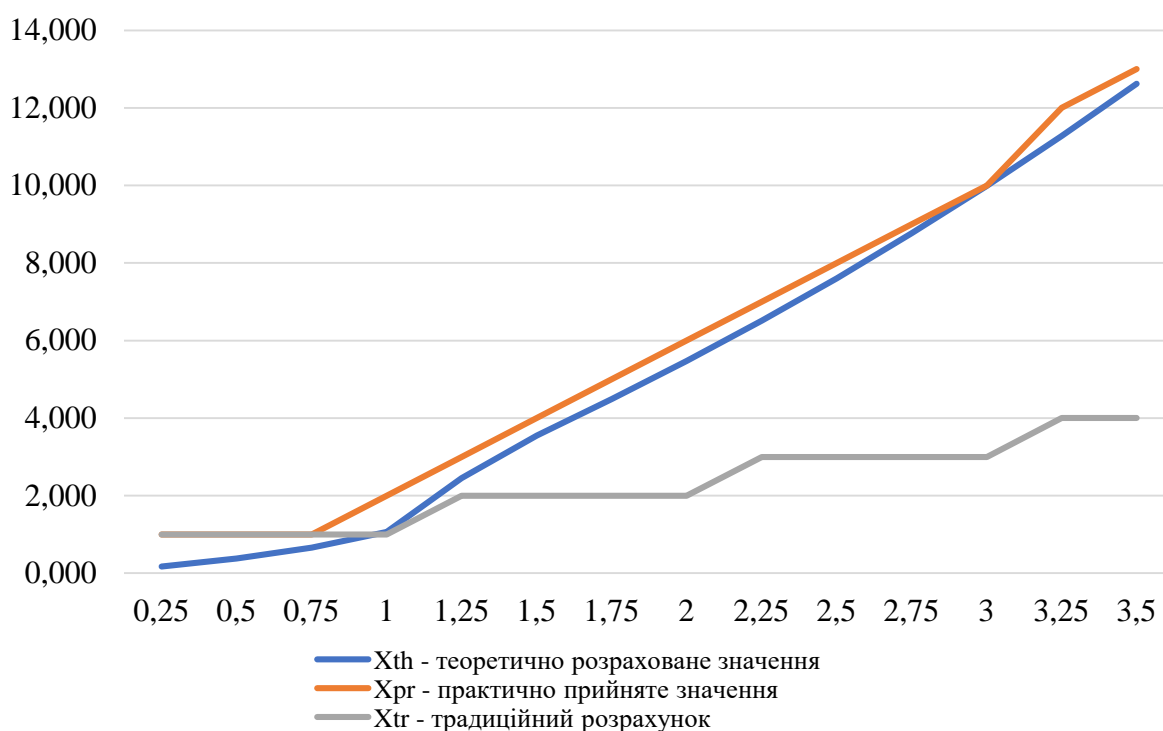


Рисунок 9 – Результати аналітичних розрахунків потрібної кількості каналів (евакуаційних пасажирських транспортних засобів) обслуговування надзвичайних ситуацій

Модель перевезень, заснована на ТМО, надає можливість аналізувати важливі параметри, такі як час обслуговування та затримок, що допомагає мінімізувати утворення черг та уникнути скупчення людей у пікові години. Це важливо як для підвищення ефективності використання рухомого складу, так і для забезпечення комфорту та безпеки пасажирів.

Загалом, системи масового обслуговування є фундаментальною складовою для проектування та управління сучасними транспортними системами, що дає змогу поліпшити якість послуг та адаптувати їх до змін у пасажирському попиті. Це підтверджує необхідність подальшого розвитку математичних моделей у транспортній сфері для досягнення оптимального функціонування транспортних систем у динамічних умовах.

- [1] Jorge Chica-Olmo, Héctor Gachs-Sánchez, Carmen Lizarraga Route effect on the perception of public transport services quality. *Transport Policy*. Volume 67. 2018. Pages 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.03.024>
- [2] Audrone Minelgaite, Renata Dagiliūtė, Genovaitė Liobikienė The Usage of Public Transport and Impact of Satisfaction in the European Union. *Sustainability* 2020, 12, 9154; doi:10.3390/su12219154. [www.mdpi.com/journal/sustainability](http://www.mdpi.com/journal/sustainability)
- [3] The development of international passenger rail transport. URL: <https://unece.org/transport/publications/development-international-passenger-rail-transport>
- [4] Research and Innovation for the Railways of Europe. URL: <https://rail-research.europa.eu/about-shift2rail/>
- [5] Logistics and multimodal transport. URL: [https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/logistics-and-multimodal-transport\\_en](https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/logistics-and-multimodal-transport_en)
- [6] Boosting passenger preference for rail. 2022. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights/boosting-passenger-preference-for-rail>.
- [7] Shuo Zhao, Jinfei Wu, Zhenyi Li, Ge Meng Train Operational Plan Optimization for Urban Rail Transit Lines Considering Circulation Balance. *Sustainability* 2022, 14(9), 5226. <https://doi.org/10.3390/su14095226>.
- [8] Tailored Travel: Using AI to Improve Passenger Experience in Rail. URL: <https://www.hitachirail.com/blog/2024/tailored-travel-using-ai-to-improve-passenger-experience-in-rail/>
- [10] Making the multimodal dream come true. URL: <https://www.eurocontrol.int/article/making-multimodal-dream-come-true> (дата звернення: 10.10.2024).
- [11] Passenger Multimodal Transport: the case of Mobility-as-a-Service (MaaS). URL: <https://fsr.eui.eu/murati-e-passenger-multimodal->

- transport-the-case-of-mobility-as-a-service-maas/ (дата звернення: 10.10.2024).
- [12] Multimodal transportation is creating a fully connected experience for passengers, and changing the way we travel. URL: <https://www.al-enterprise.com/en/blog/seamless-multimodal-transport> (дата звернення: 10.10.2024).
- [13] From connected to smart transportation 4.0. URL: <https://www.al-enterprise.com/en/industries/transportation> (дата звернення: 10.10.2024).
- [14] Mobility as a Service (MaaS) empowering intermodal mobility. URL: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/intermodal/mobility-marketplace.html> (дата звернення: 10.10.2024).
- [15] ДБН В.2.3-7:2018 Метрополітени. Основні положення. [Чинний від 2019-09-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2019. 70 с. (Інформація та документація).
- [16] Liang, Y., Lan, C., Dan, T. et al. Research on supply and demand matching model of transportation modes in MaaS system of integrated passenger transport hub based on deep learning. *Soft Comput* 27, 5973–5983 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08065-4>
- [17] Rahman Mashrur, Gurumurthy Krishna Murthy, Kockelman Kara M. Impactsofflexitimeondeparturetimechoiceforhome-basedcommutingtripsinAustin, Texas // *Transportation Research Record*. 2021. №2676. p. 446-459. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/03611981211035757>
- [18] Tavassoli Ahmad, Mesbah Mahmoud, Shobeirinejad Ameneh Modelling passenger waiting time using large-scale automatic fare collection data: An Australian casestudy // *Transportation Research Part F*. 2018. №58. p. 500-510. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.06.037>
- [19] Sheldon M. Ross Introduction to Probability Models Tenth Edition. 2010. ISBN: 978-0-12-375686-2. URL: [https://faculty.ksu.edu.sa/sites/default/files/introduction-to-probability-model-s.ross-math-cs.blog\\_.ir\\_.pdf](https://faculty.ksu.edu.sa/sites/default/files/introduction-to-probability-model-s.ross-math-cs.blog_.ir_.pdf)
- [20] Exponential distribution. URL: <https://www.statlect.com/probability-distributions/exponential-distribution>

# Інтелектуальний аналіз транспортних процесів

Юлія Сілантьєва

*Академія технічних наук України*

*Київ, Україна*

Матеріали розділу подані для самостійної підготовки здобувачів до практичних занять в рамках освітніх компонентів, програми яких передбачають вивчення інформаційних технологій для модернізації транспортних процесів в системі автомобільних вантажних перевезень.

На сьогодні прискорення виконання зовнішньоторговельних угод щодо постачання товарів вимагає більш уважного й чіткого узгодження роботи великої кількості учасників, задіяних в процесі укладання договорів купівлі-продажу, підготовки товару до відвантаження, перевезення за участю різних видів транспорту, інформаційного та документального обміну, митних, фінансових і страхових операцій тощо. Тобто всіх тих етапів, які забезпечують успішність виконання транспортних процесів для системи вантажних перевезень (як міжнародних, так і внутрішніх). З огляду на спрощення такого узгодження між учасниками транспортного процесу через підвищення рівня автоматизації процесів, використання нових транспортних та інформаційних технологій, зменшення навантаження нетарифних заходів регулювання зовнішньоекономічної діяльності, що значно покращує реалізацію угод, все ще залишаються невизначеності, які постійно загрожують зривами строків й умов постачання або додатковими витратами ресурсів. Такі невизначеності можна встановити й спрогнозувати, застосовуючи методи науки про дані та процеси. Одним з розділів науки про процеси є інтелектуальний аналіз процесів, який пропонує широкий спектр інформаційних технологій й інструментів для моделювання та пошуку вирішення поставлених задач модернізації певного процесу в заданих умовах.

## I. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ПРОЦЕСІВ (PROCESS MINING)

Вражаюче зростання цифрового всесвіту, відображене у терміні «Big Data», дає змогу фіксувати, демонструвати й аналізувати *події*. Події можуть відбуватися всередині механізму (наприклад, банкомату або системи сканування багажу), в межах інформаційної системи підприємства (наприклад, розміщення клієнтом замовлення або подання митної декларації в митні органи), в лікарні (наприклад, аналіз крові), в соціальній мережі (наприклад, обмін повідомленнями електронною поштою або у Telegram), в елементах транспортної системи (наприклад, покупка проїзних білетів, перетин пункту пропуску з автоматичною фіксацією автомобільних номерів чи стягування плати за проїзд автомобільними шляхами) тощо. Подіями можуть бути «події з життя», «події в машині» або «події в організації». Термін Інтернет подій (IoE) відноситься до всіх відкритих даних про події (рис.1, [1]).

IoE складається з:

- *Інтернет контенту* (IoC), тобто вся інформація, створена людьми для розширення знань щодо конкретних предметів. IoC включає веб-сторінки, статті, енциклопедії (наприклад, Вікіпедія), YouTube, електронні книги, новинні стрічки тощо.
- *Інтернет людей* (IoP), тобто всі дані, пов'язані із соціальною взаємодією. IoP включає електронну пошту, Facebook, Twitter, форуми, LinkedIn тощо.
- *Інтернет речей* (IoT), тобто всі фізичні об'єкти, підключені до мережі. IoT включає всі предмети, які мають унікальний ідентифікатор і присутні в структурі, подібної до Інтернету.
- *Інтернет розташування або локацій* (IoL), який відноситься до всіх даних, що мають геопросторовий вимір. З поширенням мобільних пристроїв дедалі більше подій мають атрибути місцезрештування або руху.

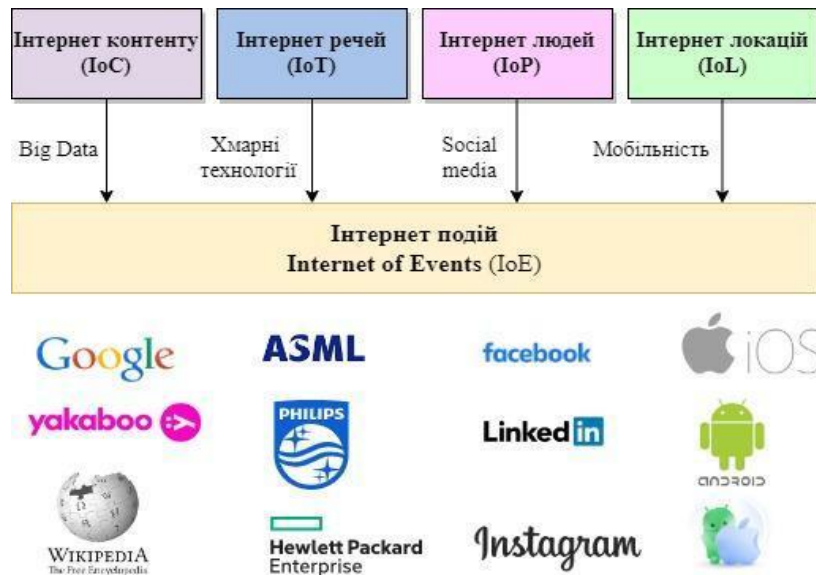


Рисунок 1 – Приклади Internet-джерел, що генерують дані про події

Складові ІоЕ перетинаються (наприклад, посилання на місцезрештування об'єкту на веб-сторінці або географічне розташування пристрою, з якого було надіслано пост в соціальну мережу).

*Інтелектуальний аналіз процесів* спрямований на осмислене використання даних про події, наприклад, для надання інформації, виявлення «вузьких місць», прогнозування проблем, реєстрації порушень, рекомендацій щодо контрзаходів та оптимізації процесів. Вхідні дані для інтелектуального аналізу процесів – це *журнал подій*, який можна розглядати як окремий обсяг наявних даних про певні події. Наприклад, журнал подій може містити перелік всіх подій, пов'язаних з усіма клієнтами компанії, і використовуватися для визначення дорожньої карти співпраці з окремим клієнтом чи певною підмножиною клієнтів.

*Наука про дані* – це міждисциплінарна область (рис. 2, [2]), метою якої є перетворення даних на реальну цінність. Дані можуть бути структурованими або неструктурованими, великими за обсягом або обмеженими, статичними або поточковими. Дані можуть бути представлені у вигляді прогнозів, автоматизованих рішень, моделей. Наука про дані включає отримання, підготовку, дослідження, перетворення, зберігання та пошук даних, обчислювальну

інфраструктуру, представлення пояснень та прогнозів, а також використання результатів роботи з даними з урахуванням етичних, соціальних, юридичних та ділових аспектів.



Рисунок 2 – Складові науки про дані

На рис. 2 орієнтовно наведені основні складові науки про дані. Дисципліни перетинаються і розрізняються за розміром. Крім того, їхні кордони не є чіткими та змінюються з часом. Їхні коріння дуже різні, наприклад, інтелектуальний аналіз даних виник поруч із базами даних, а машинне навчання розпочало свій розвиток у співтоваристві з штучним інтелектом, виникнення ж обох дисциплін не пов'язано зі статистикою. Наукова фантастика першою познайомила світ із концепцією роботів із розумом людини. Незважаючи на різне коріння, три дисципліни виразно перетинаються. Умовні складові науки про дані наступні:

- *Статистику* можна розглядати як джерело науки про дані. Дисципліна, як правило, поділяється на описову статистику (для узагальнення вибіркового даних, використовуючи такі поняття, як середнє значення, стандартне відхилення, частота) та логічну

статистику (використання вибіркового даних для оцінки характеристик усіх даних або для перевірки гіпотези).

- *Алгоритми* мають вирішальне значення в будь-якому підході до аналізу даних. Спрощено, алгоритм – це скінченний набір кроків для досягнення бажаного результату [3]. Алгоритми бувають рандомізовані і ймовірнісні, детерміновані й недетерміновані, примітивні і складені, онлайн і офлайн, евристичні тощо. Для розробки програмного забезпечення використовують алгоритми для баз даних, розподілених обчислень, виділення пам'яті, роботи з дисками та комп'ютерною мережею. Для машинного навчання розроблені алгоритми для навчання з вчителем/без вчителя, з підкріпленням, напівавтоматичне, глибинне навчання та ін. Комбінаторика, інформатика, обчислювальна математика також використовують власний широкий спектр алгоритмів. Коли набори даних збільшуються, складність алгоритмів стає першочерговою проблемою. Apriori, MapReduce, PageRank – приклади реалізації різних типів алгоритмів.

- *Інтелектуальний аналіз даних* можна визначити як «аналіз (зазвичай, великих) наборів даних для пошуку непередбачуваних зв'язків та узагальнення даних новими способами, зрозумілими та корисними для власника даних» [4]. Вхідні дані, зазвичай, наводяться у вигляді таблиці, а вихідними можуть бути правила, кластери, деревоподібні структури, графіки, рівняння, шаблони тощо. Очевидно, що інтелектуальний аналіз даних базується на статистиці, базах даних та алгоритмах. Порівняно зі статистикою, тут увага зосереджена на масштабованості та практичному застосуванні.

- *Машинне навчання* стосується питання, як побудувати комп'ютерні програми, які автоматично покращуються з досвідом. Різниця між інтелектуальним аналізом даних і машинним навчанням неоднозначна. Сфера машинного навчання виникла в рамках штучного інтелекту за допомогою таких методів, як нейронні мережі. Термін «машинне навчання» позначає алгоритми, які дають комп'ютерам можливість навчатися без явного програмування.

- *Інтелектуальний аналіз процесів (process mining)* додає до машинного навчання та інтелектуального аналізу даних перспективи з точки зору процесу. Інтелектуальний аналіз процесів зіставляє дані про події (тобто спостерігає поведінку) і моделі процесів (наприклад, з використанням мереж Петрі або моделей BPMN).

- *Предиктивна аналітика (прогнозування)* – це практика вилучення інформації з існуючих наборів даних для визначення закономірностей та прогнозування майбутніх результатів і тенденцій. Для створення прогнозів, існуючі підходи щодо отримання корисної інформації та навчання застосовуються у бізнес-контексті. Предиктивна аналітика тісно пов'язана з бізнес-аналітикою.

- *Бази даних* використовуються для зберігання даних. Системи управління базами даних (СУБД) мають дві основні цілі: структурування даних для легкого керування ними та забезпечення масштабованості й надійної роботи. Донедавна нормою були реляційні бази даних і SQL. Через зростаючий обсяг різномірних даних з'явилися розподілені бази даних і NoSQL.

- *Розподілені системи* забезпечують інфраструктуру щодо аналізу. Розподілена система складається з взаємодіючих компонентів, які координують свої дії задля досягнення спільної мети. Деякі завдання аналізу надто великі або надто складні для виконання на одному комп'ютері. Такі завдання можна розділити на безліч дрібних завдань, які можна виконувати одночасно на різних обчислювальних вузлах. Масштабованість може бути реалізована шляхом спільного використання та/або розширення набору обчислювальних вузлів.

- *Візуалізація/ візуальна аналітика* поєднує методи автоматизованого аналізу з інтерактивною візуалізацією для ефективного розуміння проблем та прийняття рішень на основі дуже великих і складних наборів даних.

- *Бізнес-моделювання* надає економічної цінності даним для досягнення компаніями успіху.

- *Наука про поведінку (біхевіористика)* – це системний аналіз поведінки людини. Соціальні науки вивчають процеси соціальної системи та відносини між людьми в суспільстві.

- *Конфіденційність, захищеність, етика* є ключовими складовими захисту окремих осіб та організацій від «некоректних» методів дослідження даних. Дані повинні бути точними та безпечно зберігатися, не допускаючи несанкціонованого доступу. Поряд з конкретними порушеннями конфіденційності та безпеки, тут також досліджуються поняття і правила етичні поведінки.

Наука про процеси – це загальний термін для більш широкої дисципліни, яка поєднує знання з інформаційних технологій та знання з управлінських наук для покращення та управління операційними процесами. Підходи науки про дані, як правило, не залежать від процесу, тоді як підходи науки про процеси, як правило, засновані на моделях з урахуванням «доказів», прихованих у даних. Умовні складові науки про процеси наступні:

- *Стохастика* пропонує набір методів аналізу випадкових процесів. Поведінка процесу чи системи моделюється з допомогою випадкових величин, що дозволяє проводити аналіз. Добре відомі підходи включають моделі Маркова, системи масового обслуговування та імітаційне моделювання. Їх можна використовувати для аналізу часу очікування, надійності, використання тощо у контексті стохастичних процесів.

- *Методи оптимізації* спрямовані на надання «кращої» альтернативи (наприклад, найдешевшої чи найшвидшої) з великого або нескінченного набору альтернатив. Розглянемо, наприклад, наступне питання: за наявності переліку міст та відстаней між кожною парою міст, який можливий найкоротший маршрут, що проходить через кожне місто рівно один раз і повертається у вихідне місто? Для максимально ефективною відповіді на подібні питання було розроблено безліч методів оптимізації. Добре відомі підходи включають лінійне програмування (Linear Programming), цілочисельне лінійне програмування (Integer Linear Programming, ILP), задачі виконання обмежень (Constraint Satisfaction Problem) та динамічне програмування (Dynamic Programming).

- *Управління операціями й дослідження операцій* пов'язані з проектуванням, контролем та управлінням продуктами, процесами,

послугами та ланцюжками постачань. *Дослідження операцій* зосереджується на аналізі математичних моделей. *Управління операціями* ближче до промислового інжинірингу та бізнес-адмініструванню.

- *Управління бізнес-процесами* – це дисципліна, яка поєднує підходи до розробки, виконання, контролю, вимірювання та оптимізації бізнес-процесів. Зусилля з управління бізнес-процесами (BPM), як правило, акцентовані на явних моделях процесів (наприклад, мережі Петрі або моделі BPMN), які описують потік управління, а також інші аспекти процесів (ресурси, дані, функції тощо).

- *Інтелектуальний аналіз процесів* використовується для визначення моделей процесів з урахуванням даних про події. Відтворюючи ці дані, можна виявити вузькі місця та наслідки недотримання вимог. Порівняно з основними підходами BPM, основна увага приділяється не моделюванню процесів, а використанню даних про події. Терміни Workflow Mining (WM), Business Process Intelligence (BPI) і Automated Business Process Discovery (ABPD) використовуються для позначення орієнтованих на процеси підходів, заснованих на даних.

- *Удосконалення бізнес-процесів* – це загальний термін для багатьох підходів, спрямованих на покращення процесів. Прикладами є загальне управління якістю (TQM), Kaizen, (Lean) Six Sigma, теорія обмежень (TOC) та реінжиніринг бізнес-процесів (BPR). Насправді, можна стверджувати, що вся наука про процеси спрямована на удосконалення процесів.

- *Автоматизація процесів та управління робочими процесами* зосереджені на розробці інформаційних систем, що підтримують операційні бізнес-процеси, включаючи маршрутизацію та розподіл роботи. Система управління робочими процесами (WFM) керується моделлю, тобто моделі процесу достатньо для налаштування інформаційної системи та запуску процесу. В результаті, змінити процес можна, змінивши відповідну модель процесу.

- *Формальні методи та теорія паралелізму* засновані на теоретичній інформатиці, зокрема, логічних обчисленнях, формальних мовах, теорії автоматів та семантики мов програмування. Формальні

методи використовують низку мов для опису процесів. Прикладами є системи переходів, мережі Петрі, обчислення процесів, такі як CSP, CCS та  $\pi$ -числення, темпоральна логіка (Linear Temporal Logic, LTL та Computation Tree Logic, CTL) та діаграми станів. Інструменти перевірки моделей, такі як SPIN, можна використовувати для перевірки логічних властивостей, наприклад, відсутність взаємоблокувань. Паралелізм ускладнює аналіз, але також необхідний: елементи процесу чи системи можуть виконуватися одночасно та потенційно взаємодіяти один з одним. Мережі Петрі були одним з перших способів формалізації для моделювання та аналізу паралельних процесів. Багато підходів до BPM, WFM та інтелектуального аналізу процесів засновані на подібній формалізації.

Інтелектуальний аналіз процесів можна розглядати як засіб подолання розриву між наукою про дані та наукою про процеси (рис. 3, [2]).

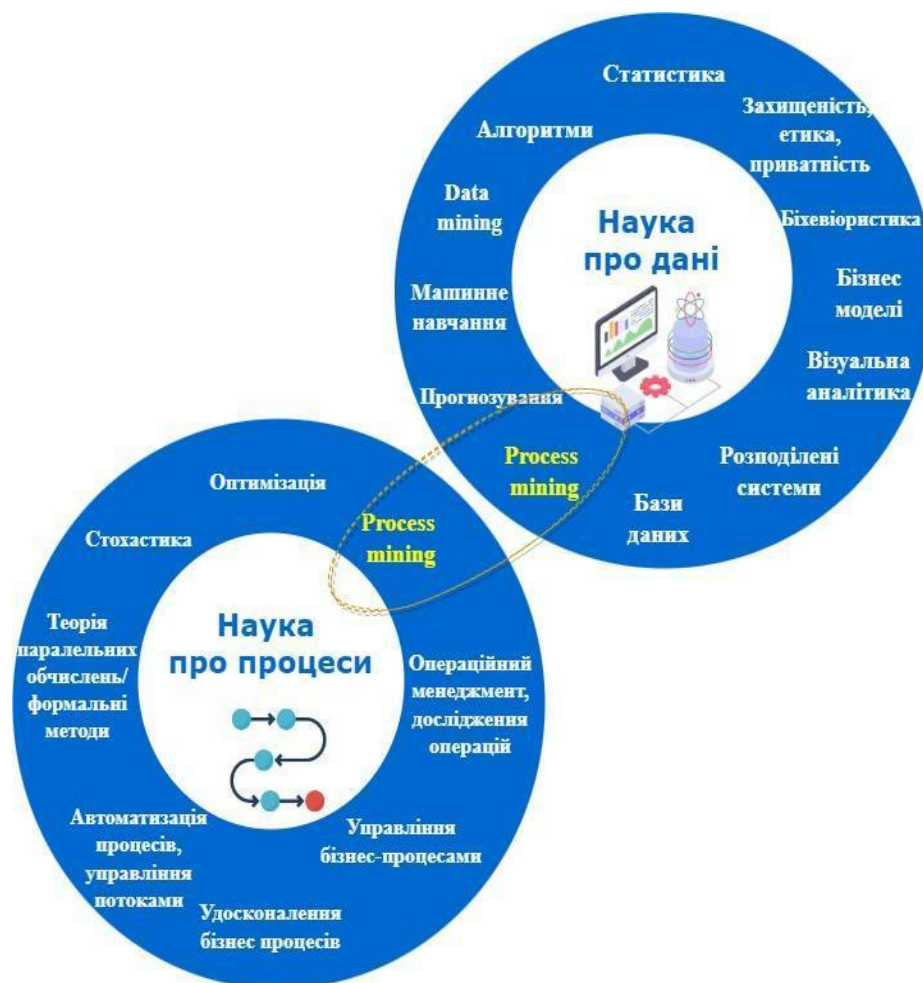


Рисунок 3 – Інтелектуальний аналіз процесів(process mining) як зв'язок між наукою про дані та наукою про процеси

Тобто, інтелектуальний аналіз процесів шукає зіставлення між даними про події (тобто поведінкою, що спостерігається) і моделями процесів (створеними вручну або виявленими автоматично). Інтелектуальний аналіз даних, статистика та методи машинного навчання не враховують повномірні й багатофункціональні моделі процесів. Підходи науки про процеси орієнтовані на процес, але часто зосереджені на моделюванні, а не на вивченні даних про події. Унікальне положення складової науки про процеси – інтелектуального аналізу процесів – робить її потужним інструментом для використання зростаючої доступності даних і удосконалення процесів на всіх його етапах.

Існують різні нотації моделювання процесів: модель станів і переходів (transition system), мережі Петрі, мережі робочих процесів (WF-nets), YAWL, BPMN, EPCs, причинно-наслідкові мережі (Causal nets), дерево процесів (Process Trees). Відносно легко автоматично перевести результати аналізу процесу в потрібну нотацію. Наприклад,  $\alpha$ -алгоритм генерує мережу Петрі, яку легко перетворити в модель BPMN, модель BPEL або діаграму активності UML.

## II. ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ МЕРЕЖ ПЕТРІ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ

Мережі Петрі є найстарішою та найкраще розвиненою мовою моделювання паралельних процесів. Графічні позначення мережі Петрі є інтуїтивно зрозумілими та простими (рис. 4), а також виконуваними, і для їх аналізу можна використовувати різні методи. Мережа Петрі – це двочастковий граф, що складається з позицій і переходів. Структура мережі є статичною, але, для мережі можна використати маркери (іноді можна зустріти інші назви – токени або мітки), які будуть переміщатися мережею згідно із заданими правилами. Стан мережі Петрі визначається розподілом маркерів на позиціях і називається її маркуванням. У початковому маркуванні, показаному на рис. 4, є лише один маркер на стартовій позиції, хоча їх можна задати в необмеженій кількості в різних позиціях. Крім того, у початковій позиції (позиціях)

маркери можуть з'являтися із заданим інтервалом. На рисунку 4 за допомогою мережі Петрі зображений процес отримання, обробки і прийняття рішення щодо звернення клієнта для отримання компенсації за повернений залізничний квиток.

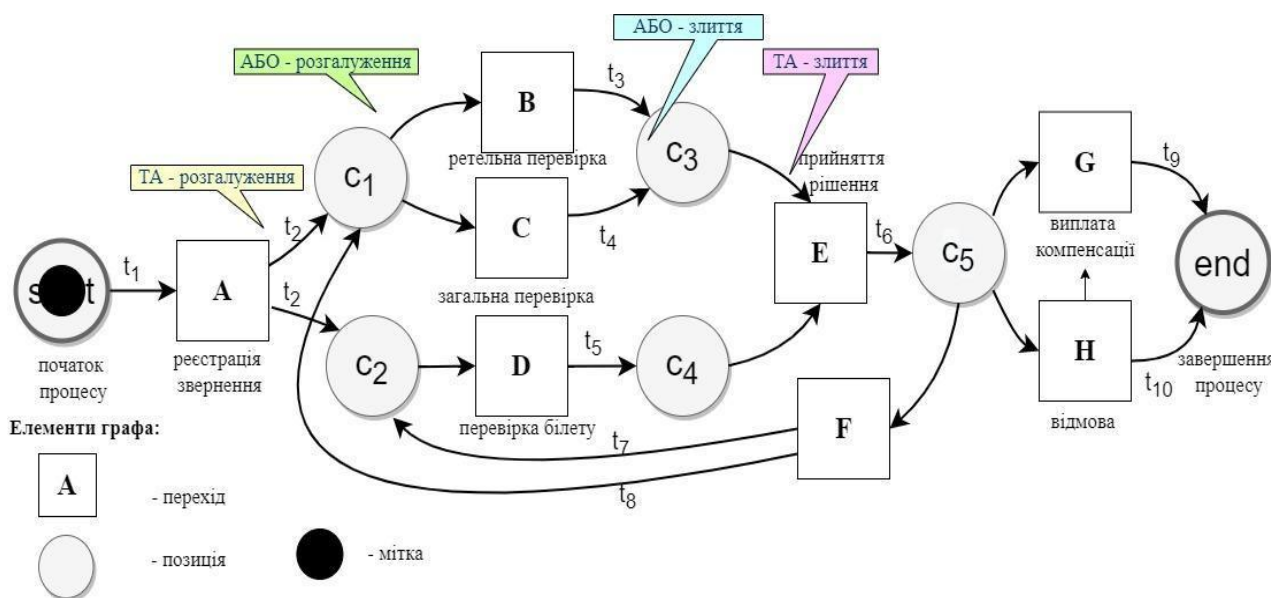


Рисунок 4 – Приклад мережі Петрі з початковим маркуванням

В даному випадку процес починається із реєстрації звернення клієнта (A) в електронну систему продажу залізничних квитків для повернення раніше придбаного квитка і отримання грошової компенсації. Далі відбувається ретельна (B) або стандартна (C) перевірка як ситуації в цілому, так і дійсність квитка (D). Після обох перевірок й отримання необхідних підстав приймається рішення (E) або відправити справу на доопрацювання з уточненням даних, або виплатити компенсацію, або відмовити.

Формалізованою мовою мережа Петрі – це триплет  $N = (P, T, F)$ , де  $P$  – скінченна множина позицій,  $T$  – скінченна множина переходів, і  $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$  – набір спрямованих дуг. Промаркована мережа Петрі – це пара  $(N, M)$ , де  $N = (P, T, F)$  – мережа Петрі, а  $M \in B(P)$  – мультимножина на множині  $P$ , що позначає маркування мережі.

Відповідно, мережу Петрі, показану на рис. 4, можна формалізувати наступним чином: позиції  $P = \{start, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, end\}$ ,

переходи  $T = \{A, B, C, D, E, F, G, H\}$  і направлені дуги  $F = \{(start, A), (A, c_1), (A, c_2), (c_1, B), (c_1, C), (c_2, D), (B, c_3), (C, c_3), (D, c_4), (c_3, E), (c_4, E), (E, c_5), (c_5, F), (F, c_1), (F, c_2), (c_5, G), (c_5, H), (G, end), (H, end)\}$ . Початковим маркуванням, показаним на рис. 4, є  $[start]$ , тобто набір, що містить лише один маркер (мітку). Динамічна поведінка такої промаркованої мережі Петрі визначається наступним правилом спрацьовування: *перехід увімкнений, якщо кожна з його вхідних позицій містить маркер*. Увімкнений перехід може запускатися, споживаючи один маркер з кожної позиції входу і створюючи один маркер для кожної вихідної позиції (якщо над дугами не вказана їх кількість). Отже, у вищенаведеному прикладі перехід А вмикається при позначенні  $[start]$ . Запуск А призводить до маркування  $[c_1, c_2]$ , тобто споживається один маркер, а виробляються два. При позначенні  $[c_1, c_2]$  перехід А більше не вмикається. Тепер стали активними переходи В, С і D. З позначення  $[c_1, c_2]$ , запуск В призводить до маркування  $[c_2, c_3]$ . Тут D все ще увімкнений, але В і С – більше ні. Через конструкцію циклу, що включає F, існує багато послідовностей запуску, які починаються з  $[start]$  і закінчуються  $[end]$ .

Мультимножина (ще зустрічається «сумка» чи комплект) – набір елементів, в якому кожен елемент може зустрічатися кілька разів. Наприклад,  $[A^1, B^2, C^3, D^2, E^1]$  – це мультимножина з дев'ятьма елементами: один А, два В, три С, два D і один Е.

Припустимо, що початкове маркування –  $[start^5]$ . Запуск А призведе до позначення  $[start^4, c_1^1, c_2^1]$ . При цьому позначення А все ще увімкнене, оскільки досі ще має 4 мітки. Повторний запуск А призводить до позначення  $[start^3, c_1^2, c_2^2]$ . Перехід А може спрацювати п'ять разів поспіль, що призводить до позначення  $[c_1^5, c_2^5]$ . Після першої активації А також активуються В, С і D, які можуть запускатися одночасно.

Для формалізації правила спрацьовування введемо позначення вхідних (вихідних) позицій (переходів). Нехай  $N = (P, T, F)$  – мережа Петрі. Елементи  $P \cup T$  називаються вузлами. Вузол  $x$  є вхідним вузлом іншого вузла  $y$  тоді і тільки тоді, коли існує спрямована дуга від  $x$  до  $y$  (тобто  $(x, y) \in F$ ).

Якщо модель містить велику кількість паралельних дій або кілька маркерів знаходяться в одному місці, то система переходів набагато більша, ніж мережа Петрі. Насправді, промаркована мережа Петрі може мати нескінченну кількість доступних станів.

Так, позначена мережа Петрі на рис. 5 (а) складається лише з однієї позиції та одного переходу. Тим не менш, відповідна перехідна система має нескінченно багато станів. У цьому прикладі перехід  $t$  постійно ввімкнено, оскільки він не має місця введення. Тому він може помістити будь-яку кількість маркерів у позицію  $p$ . Мережа Петрі на рис. 5 (b) має дві дуги, а не одну, і тепер єдиним доступним станом є  $[p]$ . Позначена мережа Петрі на рис. 5 (c) показує ефект паралельності. Відповідна система переходів має  $6^5 = 7776$  станів і 32 400 переходів.

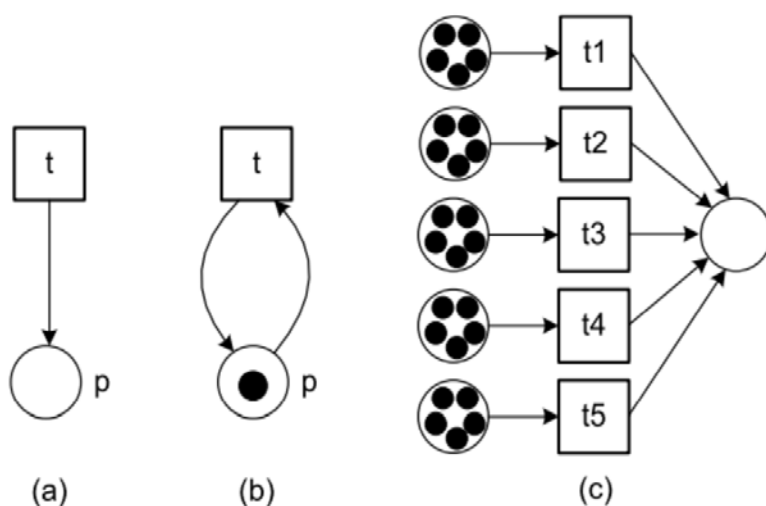


Рисунок 5 – Стани мережі Петрі: (а) із нескінченним простором станів; (b) лише з єдиним досяжним станом; (c) із 7776 досяжними станами

На рис. 6 показано, яким чином модель на рис. 4 може бути розширена за допомогою додавання іншої інформації (наприклад, тривалість події та/або експертність виконавця операції).

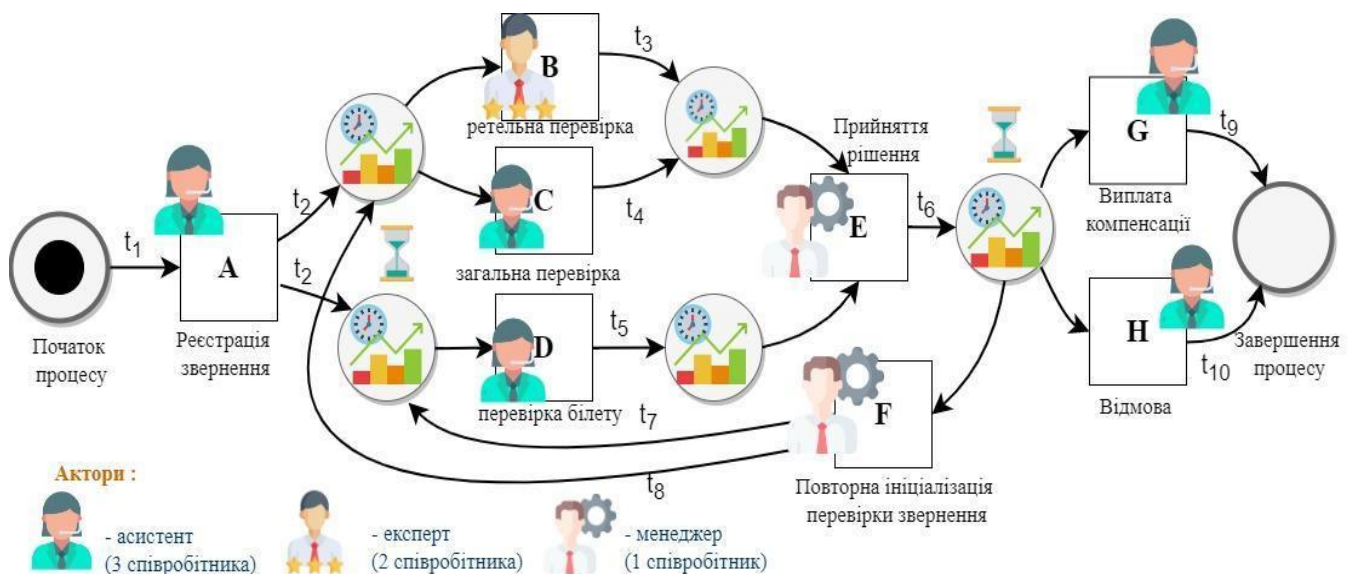


Рисунок 6 – Розширена модель процесу виплати компенсації за повернення залізничного квитка

Модель процесу розширюється на цьому прикладі (рис. 6) наступними додатковими аспектами:

- ❖ з точки зору організації – які організаційні ролі та які ресурси забезпечують певну діяльність;
- ❖ з точки зору події – які характеристики події вплинули на конкретне рішення;
- ❖ з точки зору витрат часу – де вузькі місця в процесі;

*Журнал подій* може визначити ролі в організації (співробітники з подібними повноваженнями). Ці ролі можна використати, щоб зв'язати конкретних людей із певною роботою. З журналу подій також можна витягнути й візуалізувати інформацію про характеристики процесу (наприклад, мінімальний чи середній час між двома послідовними діями), а також правила й умови прийняття певних рішень під час реалізації технологічного процесу. Журнал подій може бути сформований для різних цілей:

1. *Перевірка відповідності*: розбіжності між журналом і моделлю можна виявити та визначити кількісно шляхом повторного відтворення журналу. Наприклад, відтворення певної поведінки на моделі, показує, що окремий необхідний етап періодично пропускається.

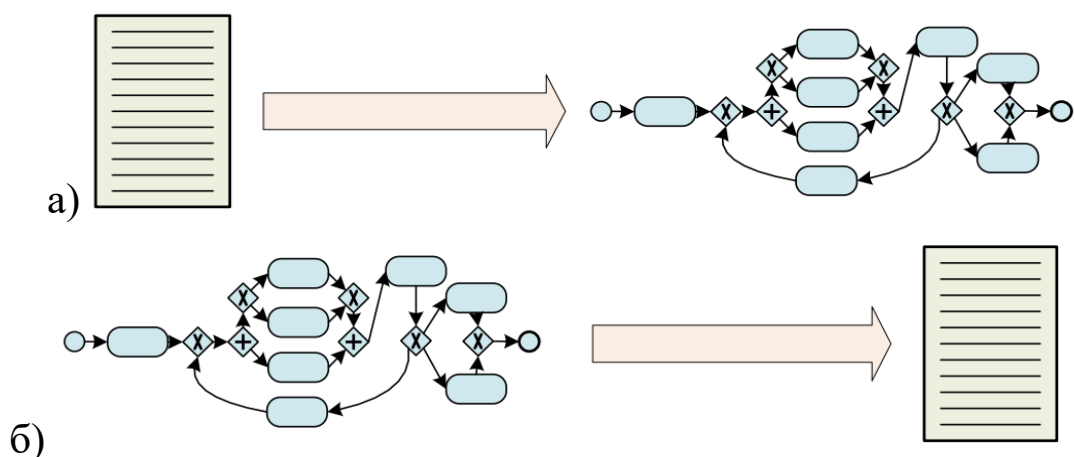
2. *Розширення моделі для визначення частоти:* відтворюючи журнал, можна побачити, які частини моделі відвідують частіше. Такий спосіб моделювання можна використовувати для виявлення «вузьких місць» процесу.

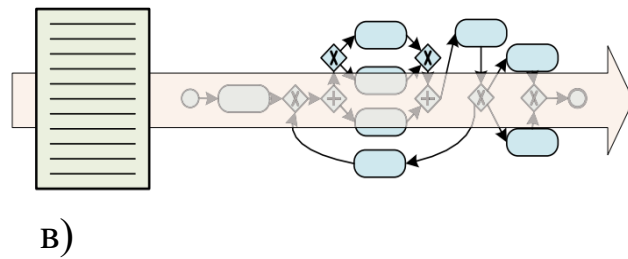
3. *Тимчасове виділення окремих підпроцесів із включенням додаткової інформації і виключенням нерелевантної інформації:* відтворюючи тільки проблемні ділянки моделі, які масштабуються за рахунок додавання тимчасової інформації, можна більш коректно визначити причини виникнення "вузьких місць".

4. *Побудова прогнозних моделей.* Відтворюючи журнали подій, для різних станів моделі можна робити конкретні передбачення. Наприклад, прогнозна модель, отримана шляхом відтворення багатьох випадків, може показати, що очікуваний час до завершення після ввімкнення стану E (рис. 6) становить 5 годин.

5. *Оперативна підтримка.* Відтворення не обмежується історичними даними про події. Можна також відтворити часткові сліди запусчених справ для виявлення відхилень під час виконання. Отже, може бути згенероване попередження про відхилення справи до завершення процесу. Так само можна передбачити час обробки, що залишився, або ймовірність відхилення справи. Такі прогнози також можна використовувати для рекомендації наступних кроків щодо удосконалення процесу.

Способи поєднання журналів подій (або інших джерел інформації, що містять приклад поведінки) і моделей процесів наведено на рис.7.





Діагностика  
 Прогнозування  
 Рекомендації  
 Частота виконання  
 певної послідовності  
 Оперативна підтримка

Рисунок 7 – Способи поєднання журналів подій і моделей процесів:  
 а) побудова моделі на основі прикладів поведінки (журналу подій);  
 б) створення поведінки на основі побудованої моделі; в) використання журналу подій і моделі процесу як вхідних даних для аналізу процесу

Основна ідея моделювання на основі журналу подій полягає в тому, щоб багаторазово запускати модель і таким чином збирати статистичні дані та довірчі інтервали. В останньому випадку (рис. 7, в) журнал подій відтворюється поверх моделі процесу.

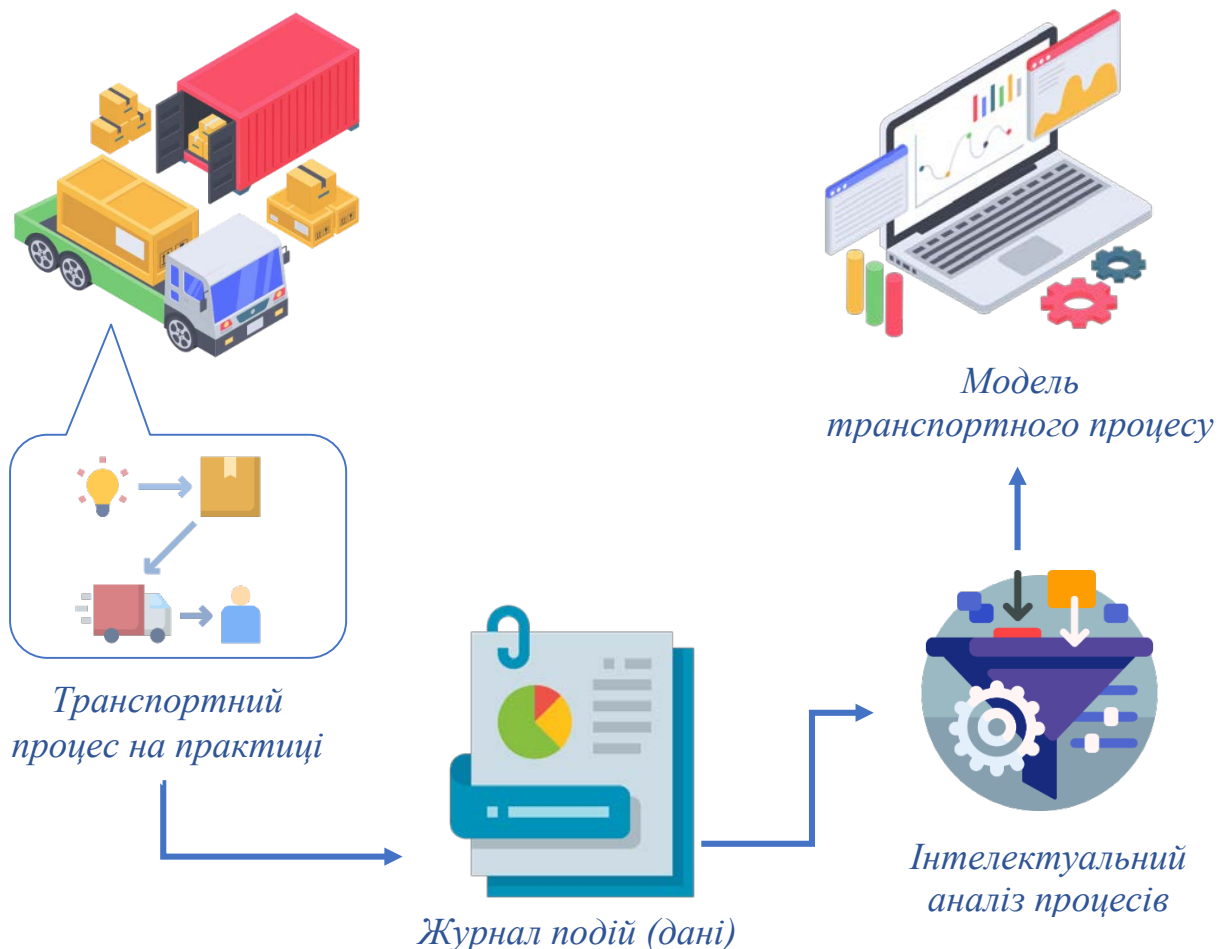


Рисунок 8 – Схема використання журналу подій для моделювання транспортних процесів

В результаті використання журналу подій під час моделювання процесів (рис. 8) можна вирішити наступні проблеми:

- ✓Виявлення неефективних операцій;
- ✓Демонстрація відповідності моделі реальному процесу;
- ✓Затримки, які виникають під час процесу;
- ✓Існування відхилень від нормованих значень параметрів процесу;
- ✓Чіткий аналіз деталей процесу;
- ✓Контроль за виконанням поставлених цілей (наприклад, останній етап процесу має завершитись через 5 діб).

Мережі Петрі мають міцну теоретичну основу та можуть добре враховувати паралелізм. Крім того, існує широкий спектр потужних методів та інструментів аналізу [5]. Очевидно, що ця спрощена модель має проблеми із врахуванням аспектів, пов'язаних з даними та часом. Тому було запропоновано різні типи мереж Петрі високого рівня. Кольорові мережі Петрі (CPN) є найбільш широко використовуваним формалізмом на основі мереж Петрі, який може мати справу з аспектами, пов'язаними з даними та часом [6]. Маркери CPN несуть значення даних (різні типи даних візуалізують через кольори). Позначка часу вказує ранній час, коли маркер (мітка) може бути використаний. Переходи можуть призначати затримку для маркерів. Таким чином можна змодельовати час очікування та обслуговування. CPN може бути ієрархічною, тобто переходи можуть бути розкладені на підпроцеси. Таким чином, можна структурувати великі моделі. CPN Tools – це набір інструментів, який забезпечує підтримку моделювання та аналізу CPN.

Інтелектуальний аналіз процесів на основі теорії мереж Петрі також використовується в транспортній галузі. Широкий спектр міжнародних дослідницьких компаній пропонують удосконалювати технологічні процеси в різних напрямках діяльності логістичних, транспортних, посередницьких компаній і державних установ.

Якщо мільйони людей/вантажовласників щодня користуються різними видами транспорту, таким компаніям важко проаналізувати і зробити висновки про те, як найкраще їх підтримати. Process Mining може допомогти транспортним агентствам і організаторам дорожнього руху, наприклад,:

- визначити оптимальний розподіл між видами транспорту
- визначити кращі місця для паркування
- моделювати зміни моделей подорожей
- оптимізувати автобусні маршрути
- звести до мінімуму потребу в зміні транспортних засобів або видів транспорту.

*Транспортні компанії* можуть визначити закономірності транспортних процесів та основні причини:

- порожнього пробігу,
- часу простою транспортних засобів,
- інших затримок,
- збільшення використання ресурсів.

*Індивідуальні мандрівники* також можуть відстежувати свої власні подорожі та отримати вигоду, наприклад, від:

- пропозицій щодо спільного використання автомобілів, якщо дані вказують на те, що інші мандрівники можуть підвезти;
- попереджень про зайнятість, щоб уникнути заторів або переповнених транспортних засобів громадського транспорту під час пандемії COVID-19;
- пропозицій щодо маршрутів, які залежать від багатьох критеріїв, таких як швидкість, безпека, зручність, вплив на клімат;
- пропозицій щодо інтермодальних маршрутів з урахуванням доступності видів транспорту на основі даних попередніх поїздок. Наприклад, у Google Maps фіксується інформація, що мандрівник використав велосипед для подолання «останньої милі» до пункту призначення, тому на зворотному шляху також пропонує скористатись велосипедом.

### III. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕРЕЖ ПЕТРІ

Для реалізації інтелектуального аналізу процесів на сьогодні існує близько 40 програмних продуктів, представлених в різних регіонах світу у комерційних, академічних й відкритих версіях. Вивчення можливостей цих інструментів, а також наявність версій з відкритим кодом дозволяє обрати необхідне програмне забезпечення для моделювання різноманітних транспортних процесів.

Огляд поширеного програмного забезпечення для моделювання процесів з використанням інтелектуального аналізу процесів наведений в таблиці 1 [5].

Таблиця 1 – Коротка характеристика програмного забезпечення, доступного для користувачів у сфері інтелектуального аналізу технологічних процесів

Програмне забезпечення	Версії	Коротка характеристика
<p style="text-align: center;">Apromore</p> 	<p>комерційна академічна <i>відкрита</i></p>	<p>Програмне забезпечення з відкритим кодом створено експертами в області процесного майнінгу у 2009 року. Переваги: інтуїтивно зрозумілий дизайн, розширена функціональність процесів і підключення до різноманітних джерел даних.</p>
<p style="text-align: center;">ARIS Process Mining</p> 	<p>комерційна академічна</p>	<p>ARIS Process Mining автоматично відтворює реальний процес на основі даних про процес. Візуальні компоненти та параметри вибору дозволяють аналізувати процес під різними кутами.</p>
<p style="text-align: center;">bupaR</p> 	<p><i>відкрита</i></p>	<p>Інтегрований пакет з відкритим вихідним кодом для обробки та аналізу даних бізнес-процесів. bupaR забезпечує підтримку різних етапів аналізу процесу, таких як імпорт і попередня обробка даних про події, статистичні обчислення, візуалізація процесу та перевірка відповідності.</p>

Продовження таблиці 1

Програмне забезпечення	Версії	Коротка характеристика
<p>BusinessOptix</p> 	<p>академічна</p>	<p>Моделювання та аналіз процесів, сценарії трансформації, дошки Kanban, документація. BusinessOptix надає інформацію, необхідну для виявлення та визначення процесів, визначення можливостей для вдосконалення та моделювання майбутніх процесів. Дані, отримані BusinessOptix, сприяють прийняттю кращих рішень і забезпечують впевненість у тому, що майбутні вдосконалення процесу базуються на емпіричних даних.</p>
<p>Celonis</p> 	<p>комерційна академічна</p>	<p>Програмне забезпечення для аналізу й підвищення продуктивності бізнес процесів з використанням методів інтелектуального аналізу процесів, системи управління виконанням (EMS)</p>
<p>Datricks</p> 	<p>комерційна</p>	<p>Використовуючи технологію штучного інтелекту, яка розкриває раніше невідомі ризики, фінансові компанії можуть ретельніше проводити.</p>
<p>DCR Portal</p> 	<p>комерційна академічна <i>відкрита</i></p>	<p>Динамічне реагування на умови (DCR) – це графічна нотація процесу на основі обмежень для адаптивного керування справами. На відміну від традиційних нотацій моделювання бізнес-процесів, які зазвичай засновані на потоках, що описують переходи між станами, що викликаються подіями, DCR натомість зосереджується на зборі правил бізнесу та відповідності, що обмежують порядок подій. Таким чином, DCR відображає логіку процесу, а не просто кілька можливих шляхів, які практично рідко відповідають реальності.</p>
<p>Disco</p>	<p>комерційна академічна</p>	<p>Програмне забезпечення для моделювання мереж Петрі, BPMN</p>
<p>eDromos</p> 	<p>комерційна академічна <i>загально-доступна</i></p>	<p>Програмне забезпечення документує, моделює та прогнозує бізнес-процеси для підвищення продуктивності, зниження витрат, кращого розуміння неефективності.</p>

Продовження таблиці 1

Програмне забезпечення	Версії	Коротка характеристика
<p>EverFlow</p> 	комерційна	Інструмент технологічного майнінгу, який дозволяє аналізувати процес у реальному житті, виявляти вузькі місця, обґрунтовувати заходи подолання різних типів неефективності.
<p>Explora Process</p> 	комерційна	Збирання та інтерпретація даних для прогнозування бізнес-можливостей та формування нових підходів, орієнтованих на клієнтів.
<p>FortressIQ</p> 	комерційна	<b>Платформа виявлення процесів. Об'єднує комп'ютерний зір, обробку природної мови (NLP), штучний інтелект (AI) та машинне навчання (ML), щоб автоматично виявляти, відображати, моделювати та документувати всі процеси та завдання, що виконуються на підприємстві співробітниками організації.</b>
<p>Kofax</p> 	комерційна	Поєднання моніторингу та аналізу процесів, з візуалізацією, аналітикою та інтеграцією даних в єдине рішення для наскрізної демонстрації продуктивності та відповідності.
<p>Livejourney</p> 	комерційна	Зв'язування даних зі своїми ІТ-системами, візуалізація того, що насправді відбувається, отримання сповіщення в режимі реального часу про відхилення процесу, аналіз першопричин, моделювання майбутніх шляхів за допомогою модуля прогнозування, вимірювання рентабельності інвестицій та ефективності змін.

ProM (Process Mining framework) – це розширюваний фреймворк з відкритим вихідним кодом, який підтримує широкий спектр методів формування процесів у формі плагінів. Він не залежить від платформи, оскільки реалізований на Java. Розробники постійно підтримують практичні застосування ProM, а також запрошують дослідників і розробників зробити власний внесок у вигляді нових плагінів. [7] Структура ProM (рис. 9):

- *Об'єкти даних (1)*, які розміщені на вкладці «workspace» (2),
- *Плагіни*, доступ до яких можна отримати через вкладку «run» (3),
- *Візуалізатори*, доступ до яких можна отримати через вкладку «visualizer» (4).

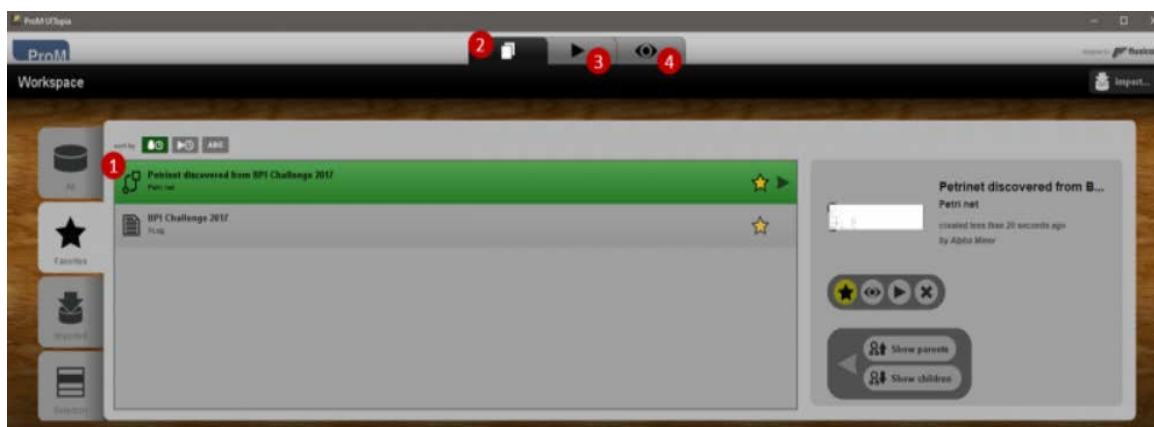


Рисунок 9 – Структура ProM

Об'єкти даних, плагіни та візуалізатор організовані в пакети, які встановлюються за допомогою менеджера пакетів. Об'єкти складаються з журналу подій і моделей процесів. ProM надає кілька типів моделей процесів: мережі Петрі та діаграми BPMN. Плагіни створені для фільтрування журналу подій, виявлення процесів, підтвердження відповідності, удосконалення моделей. Візуалізатори створені для всіх типів об'єктів.

Інструмент RapidMiner дозволяє виконувати робочі процеси у зв'язці з фреймворком ProM6. Таким чином, будь-який алгоритм виявлення, встановлення відповідності або розширення ProM6 може використовуватися RapidMiner в процесі інтелектуального аналізу даних.

Інструмент моделювання Disco виконує наступні функції (рис. 10):

- 1) Автоматичне виявлення процесу.
- 2) Анімація технологічної карти.
- 3) Перегляд статистики в Disco із використанням інтерактивних діаграм і докладної інформації про кожну діяльність, ресурс і значення атрибута.

- 4) Перегляд повної історії відповідних кейсів із визначенням стандартних і нестандартних випадків.
- 5) Фільтрування даних для зосередження на певній проблемі.
- 6) Управління проектами.

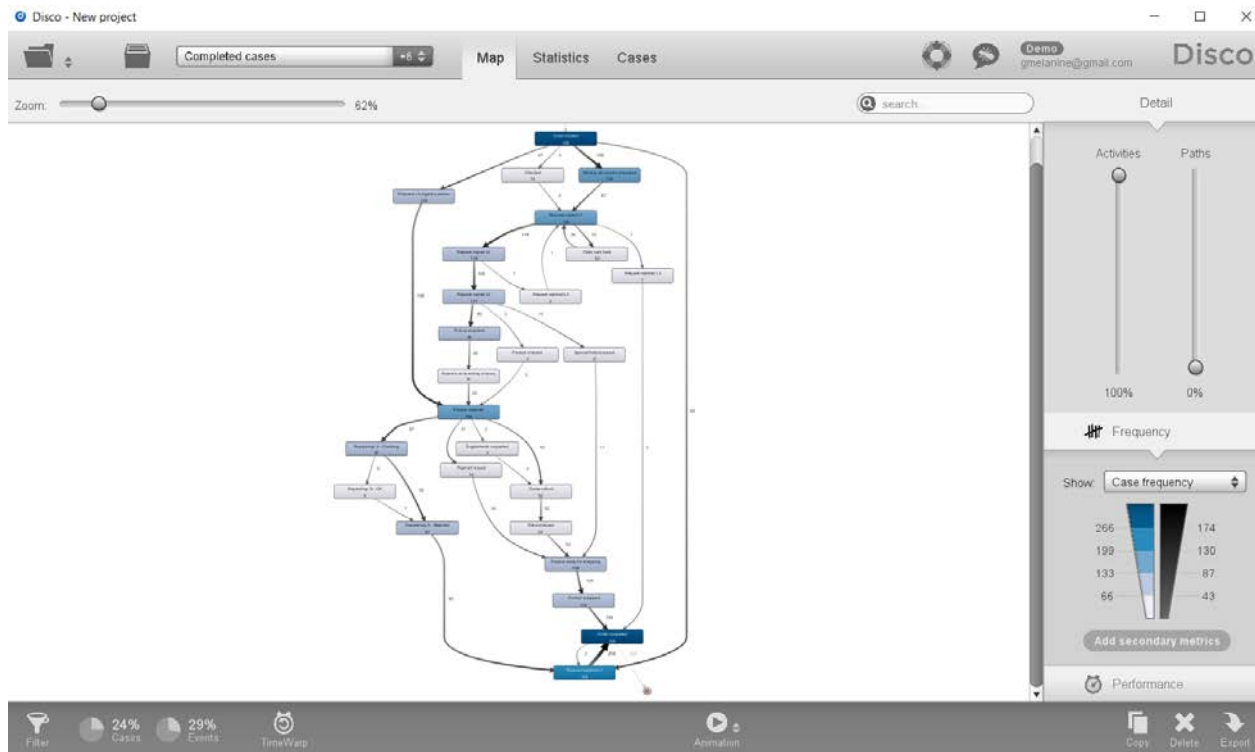


Рисунок 10 – Робоче вікно Disco

Отже, інструменти й нотації інтелектуального аналізу процесів надають можливість бізнес-аналітикам, менеджерам, та виконавчим директорам широкі можливості щодо підвищення ефективності бізнес процесів в організації, а також:

- ✓ виявлення неефективних операцій;
- ✓ демонстрація відповідності моделі реальному процесу;
- ✓ витрати ресурсів під час реалізації процесу;
- ✓ існування відхилень від нормованих значень параметрів процесу;
- ✓ чіткий аналіз деталей процесу;
- ✓ контроль за виконанням поставлених цілей;
- ✓ прогнозування та ін.

Існують різні нотації моделювання процесів: модель станів і переходів (transition system), мережі Петрі, мережі робочих процесів (WF-nets), YAWL, BPMN, EPCs, причинно-наслідкові мережі (Causal nets), дерево процесів (Process Trees). Відносно легко перевести результати моделювання з однієї нотації в іншу.

Надалі для моделювання транспортних процесів була обрана нотація мереж Петрі, яка має всі вище перелічені функції. Заснована в 40-х роках минулого століття, ця теорія має розвиток й практичне застосування для різних сфер діяльності людини – там, де складні процеси потребують постійного моніторингу, ретельного аналізу, прогнозування ефективності й результативності їх виконання.

Вивчення можливостей інструментів, а також наявність версій з відкритим кодом обумовило вибір програмного забезпечення для подальшого моделювання транспортних процесів - ProM, Disco [7].

#### IV. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ МЕРЕЖ ПЕТРІ

Для прикладу виділимо з транспортно-технологічної схеми всього процесу доставки вантажів автомобільним транспортом одну ділянку цього процесу – переміщення товарів на транспортному засобі в режимі імпорту від міжнародного пункту пропуску на території України до митниці призначення.

Важливим етапом доставки вантажів у міжнародному сполученні є митне оформлення вантажів і транспортних засобів, що перетинають митний кордон України. Розвиток митної справи України передбачає інтенсифікацію автоматизації процесу документального оформлення зовнішньоторговельних угод, у тому числі для митних цілей за допомогою Єдиної Автоматизованої Інформаційної Системи (ЄАІС) митних органів України. Спрощена процедура митного оформлення товарів, що переміщують від митниці відправлення на міжнародному пункті пропуску України (МПП) до митниці призначення, наведена на рисунку 11.

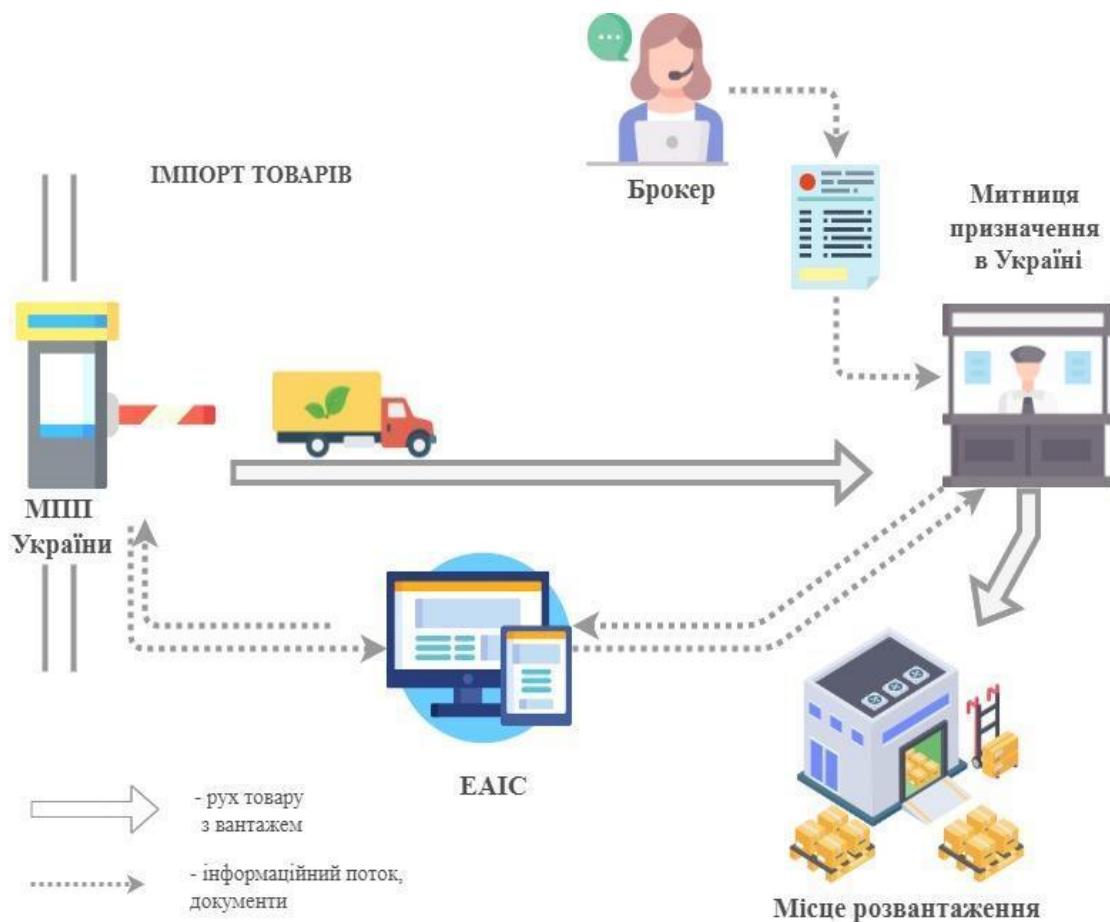


Рисунок 11 – Спрощена схема контролю за переміщенням товарів на митній території України в режимі імпорту

Від ефективності процедур оформлення товарів залежить ефективність всього процесу доставки, успішність завершення зовнішньоторговельних угод, і, відповідно, привабливість ведення бізнесу в Україні.

Основний параметр для дослідження – середня тривалість виконання операцій в рамках вищенаведеного процесу. На основі зібраних точних і приблизних характеристик про окремі операції для 7 однотипних кейсів був сформований журнал подій (рис. 12, [8]). У такому журналі ідентифікаторами визначені код кейсу, назва операції в кейсі, час початку і завершення виконання даної операції, виконавець операції і його/її експертність.

Case	Activity	StartTime	EndTime	EmployeeRole	Employee
1	Обробка запиту на декларування вантажу в режимі і...	1/12/21 10:15	1/12/21 12:25	Агент	Ганна
2	Підготовка комерційних документів	1/12/21 13:00	1/13/21 16:00	Агент	Ганна
3	Заповнення МД, електронний підпис	1/13/21 16:00	1/13/21 17:30	Агент	Ганна
4	Відправка документів і МД у митницю призначення	1/13/21 17:40	1/13/21 18:00	Агент	Ганна
5	Форматологічний контроль декларації	1/14/21 10:00	1/14/21 10:45	Інспектор	123
6	Підвѣдження прийняття МД до оформлення	1/14/21 10:45	1/14/21 11:00	Інспектор	123
7	Отримання копій товаросупровідних документів	1/12/21 17:00	1/12/21 18:00	Агент	Ганна
8	Отримання інформації про прибуття ТЗ з вантажем н...	1/13/21 13:00	1/13/21 13:15	Агент	Ганна
9	Митне оформлення ТЗ з вантажем на МПП	1/13/21 13:00	1/13/21 15:00	Інспектор МПП	222
10	Рух ТЗ з вантажем від МПП до митниці призначення	1/13/21 15:00	1/13/21 23:00	Водій	Олександр
11	Митний огляд на митниці призначення	1/14/21 13:00	1/14/21 14:00	Інспектор	123
12	Митний контроль ТЗ з вантажем на митниці призначе...	1/14/21 12:00	1/18/21 15:00	Інспектор	123
13	Санітарний контроль	1/14/21 16:00	1/14/21 16:30	Санітарний інспектор	124
14	Огляд тари, перевірка документів виробника тари	1/14/21 12:00	1/14/21 12:30	Інспектор	123
15	Подання заяви на фітосанітарний контроль	1/14/21 13:00	1/14/21 13:30	Агент	Ганна
16	Оплата фітосанітарного контролю	1/14/21 13:30	1/14/21 13:40	Агент	Ганна
17	Проведення фітосанітарного контролю, видача серти...	1/15/21 11:30	1/15/21 12:30	Фіто інспектор	125
18	Перевірка фітосанітарного сертифікату	1/15/21 12:30	1/15/21 12:40	Інспектор	123
19	Перевірка умов контракту	1/14/21 15:00	1/14/21 15:30	Інспектор	123
20	Перевірка товаросупровідних документів	1/14/21 15:30	1/14/21 16:00	Інспектор	123
21	Видача водію оформленого пакету документів	1/18/21 15:00	1/18/21 15:30	Інспектор	123
22	Виїзд ТЗ з вантажем з митниці призначення до місця...	1/18/21 15:30	1/18/21 15:40	Водій	Олександр
23	Сплата митних платежів	1/14/21 10:00	1/14/21 10:30	Агент	Ганна
24	Перевірка сплати митних платежів	1/14/21 16:30	1/14/21 17:00	Інспектор	123
25	Перевірка кодів УКТЗЕД	1/14/21 16:00	1/14/21 16:30	Інспектор	123
26	Обробка запиту на декларування вантажу в режимі і...	1/13/21 11:30	1/13/21 12:30	Агент	Віктор
27	Підготовка комерційних документів	1/13/21 14:00	1/13/21 18:00	Агент	Віктор
28	Заповнення МД, електронний підпис	1/14/21 9:00	1/14/21 11:30	Агент	Віктор
29	Відправка документів і МД у митницю призначення	1/14/21 11:30	1/14/21 12:00	Агент	Віктор
30	Форматологічний контроль декларації	1/14/21 14:00	1/14/21 15:00	Інспектор	223
31	Підвѣдження прийняття МД до оформлення	1/14/21 15:00	1/14/21 15:15	Інспектор	223

Рисунок 12 – Журнал подій для моделювання процесу декларування товарів (витяг)

На основі схеми процесу (рис. 11), журналу подій обраних для аналізу кейсів (рис. 12) і визначених параметрів транспортних процесів розроблені моделі (рис. 13, 14, 15), які дозволили дослідити проблемні випадки виконання цих процесів в ситуаціях, коли вони не є очевидними.

Складність зв'язків між етапами спрощеного для задач моделювання процесу демонструє рисунок 13. Застосунок також дає можливість спростити процес, максимально узагальнюючи процес і відкидаючи ті етапи, які зустрічаються рідше (рисунок 14).

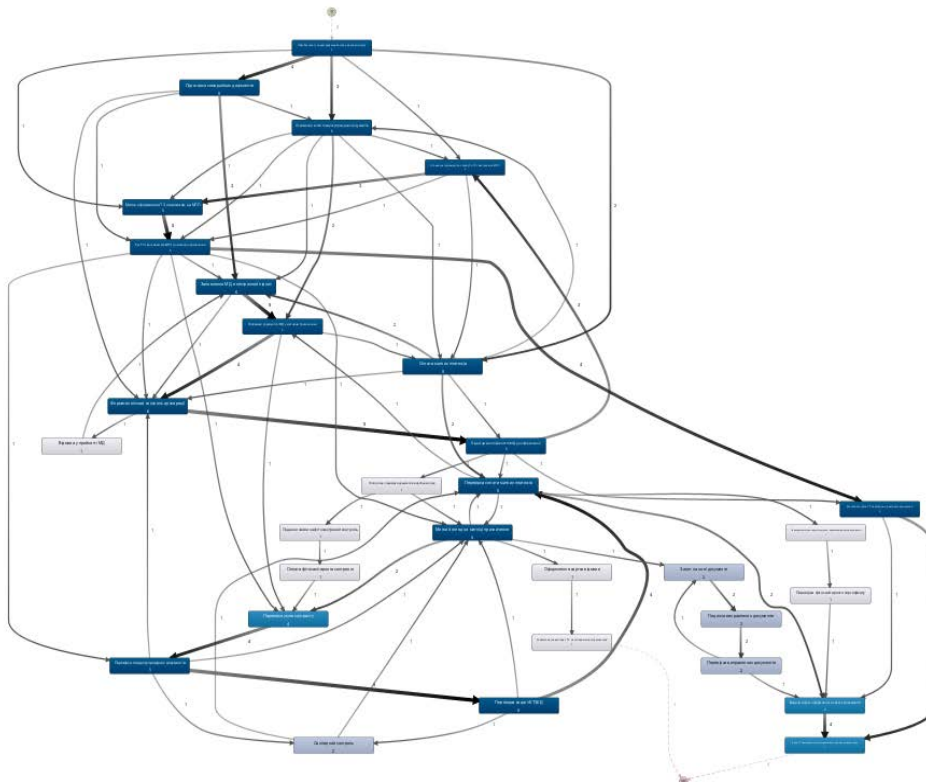


Рисунок 13 – Аналіз процесу контролю за доставкою на основі журналу подій (загальний вигляд зменшеної у розмірі карти 5 кейсів)

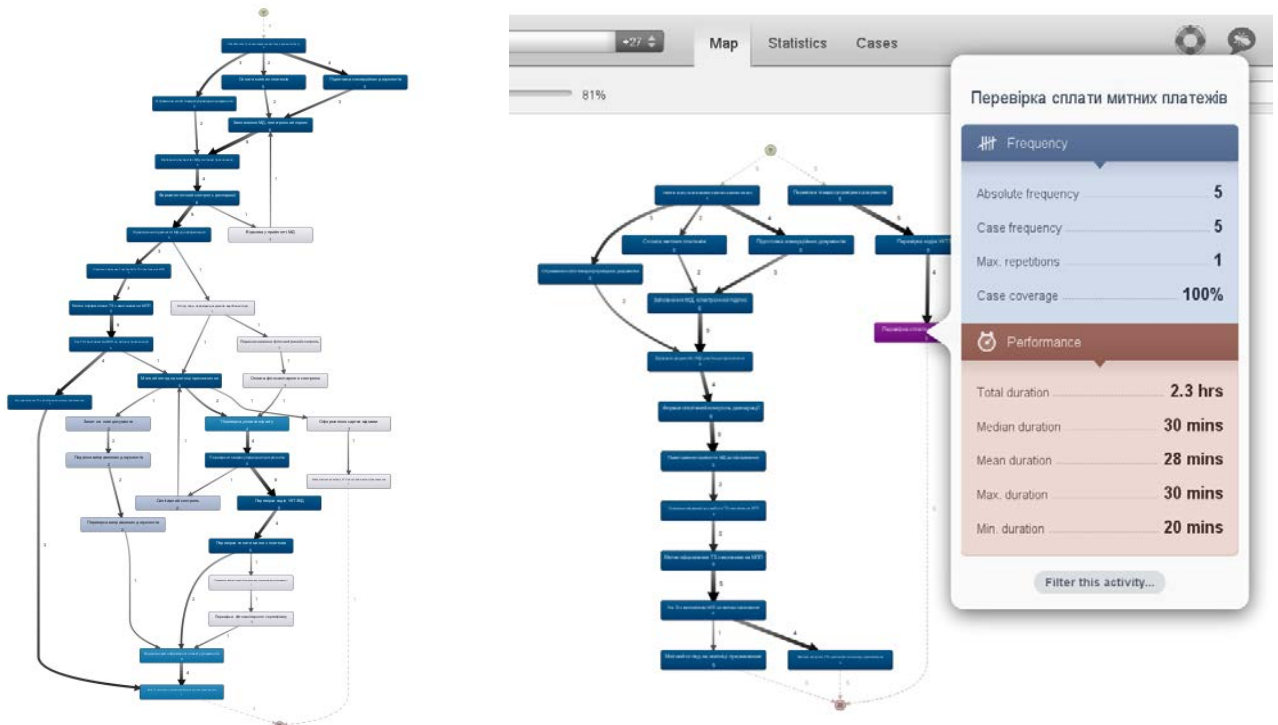


Рисунок 14 – Фільтрування процесу: події, які виконуються найчастіше

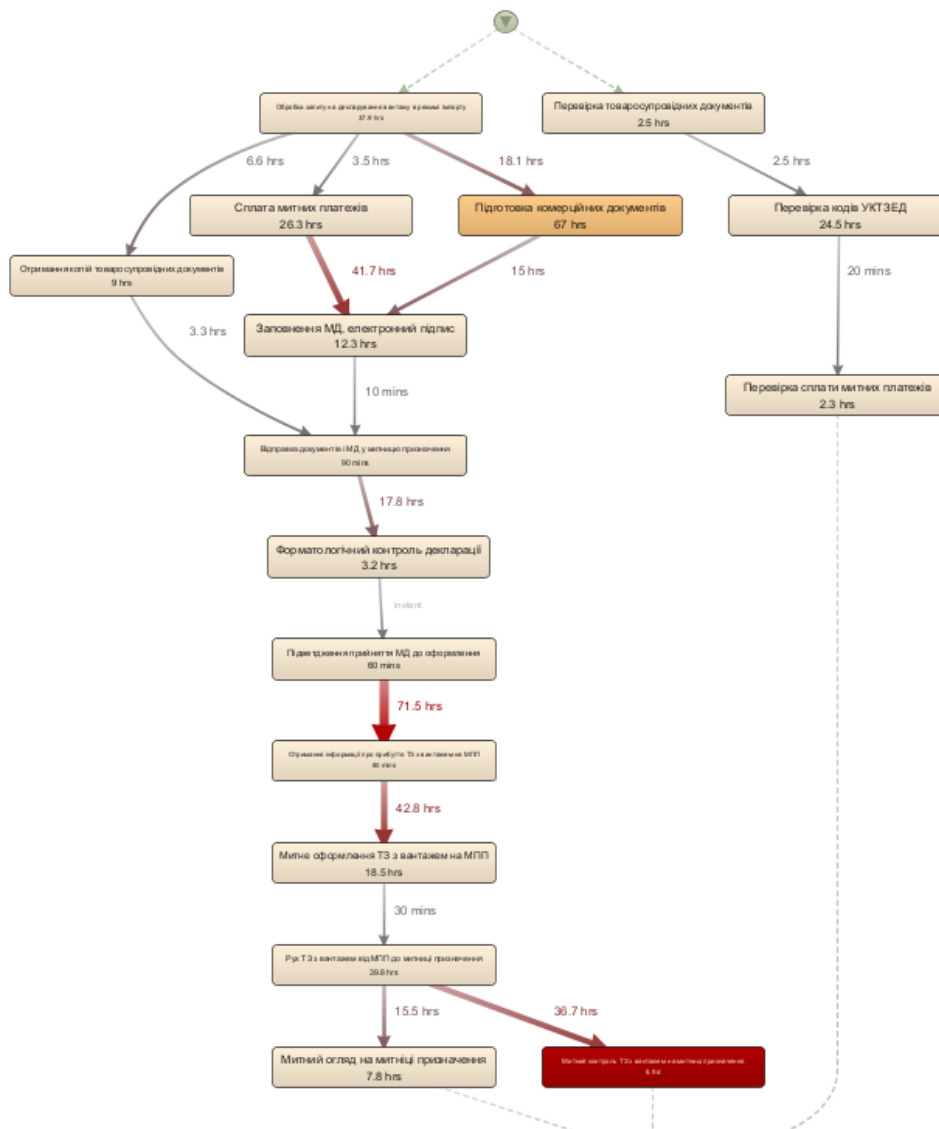


Рисунок 15 – Визначення ефективності процесу контролю за доставкою (тривалість виконання операцій)

Отже, за допомогою програмного забезпечення, яке імплементує моделювання процесів на основі теорії мереж Петрі, для заданого прикладу виділимо ті операції процесу, які тривають найдовше порівняно з іншими (рис. 16). Таким чином, у подальшому аналізуючи конкретні операції, менеджери можуть під час спілкування з виконавцями чи експертами визначити причини затримок у виконанні чи тривалість операції. Крім того, для визначеного процесу визначимо нормативні значення загальної тривалості (наприклад, 4 години на митне оформлення партії товару в митниці призначення) й окремо виділимо ті випадки, які перевищують ці нормативи.

При детальному аналізі визначених кейсів було встановлено, що значні затримки часу відбуваються під час декларування товарів, що потребують проходження фітосанітарного контролю (рис. 16), при чому затримка виникла не через безпосередню тривалість перевірки, а тривалу передачу документів інспектору митного посту.

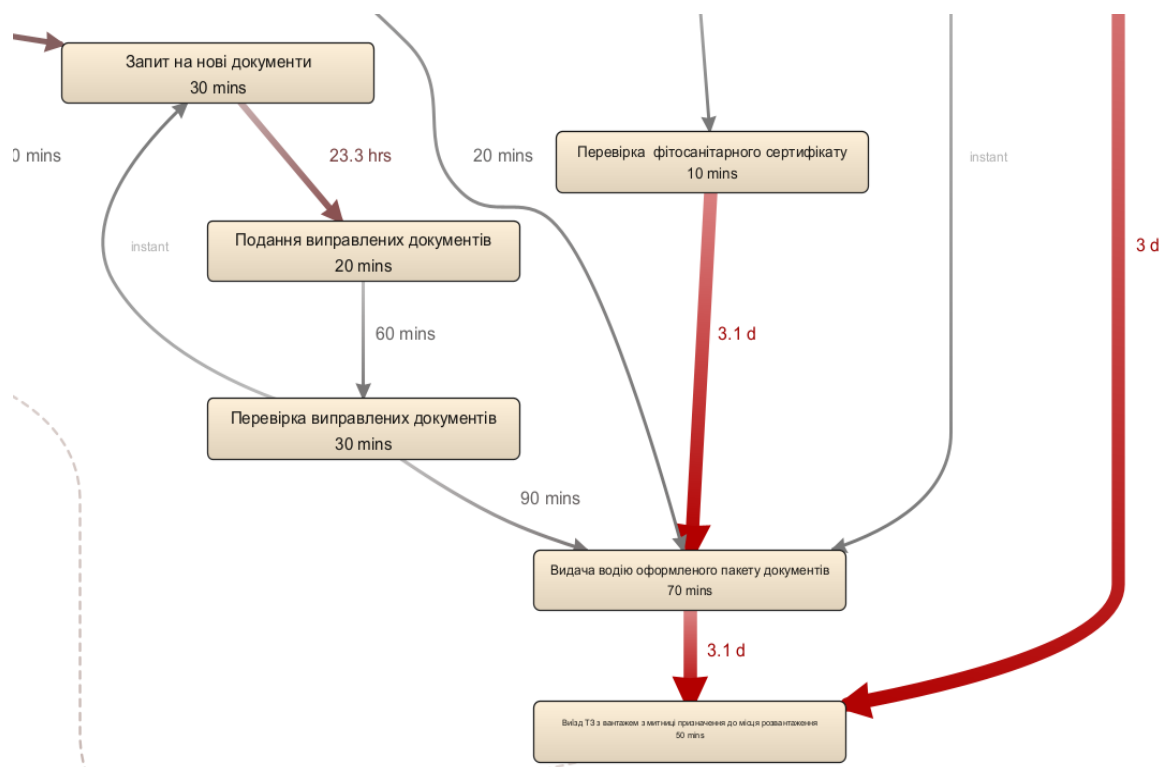


Рисунок 16 – Приклад реалізації функції програмного забезпечення з виділення однієї ділянки мережі з операціями, на які витрачається найбільше часу (витяг)

Окремі можливості програмного забезпечення щодо аналізу процесу продемонстровані лише у невеликій кількості, достатній для учбових цілей (рис.17-21).

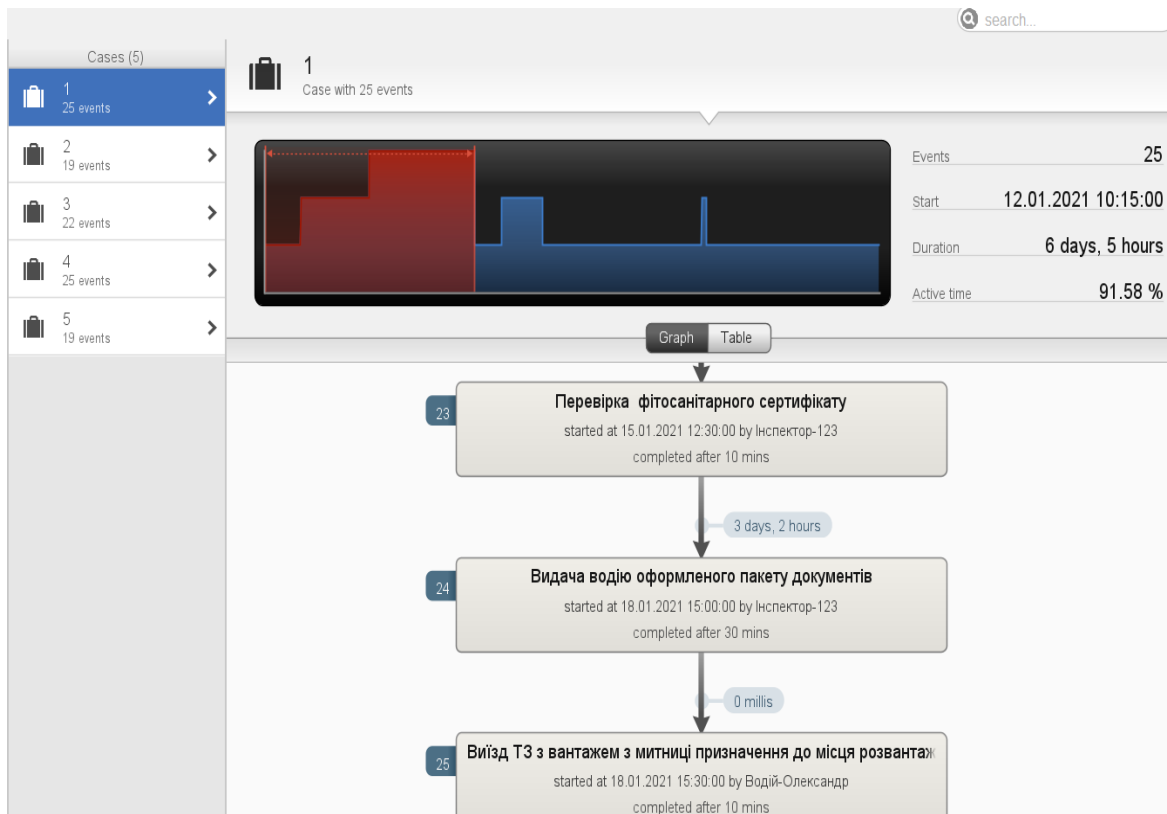


Рисунок 17 – Аналіз кейсу №1 із значною затримкою у виконанні операції

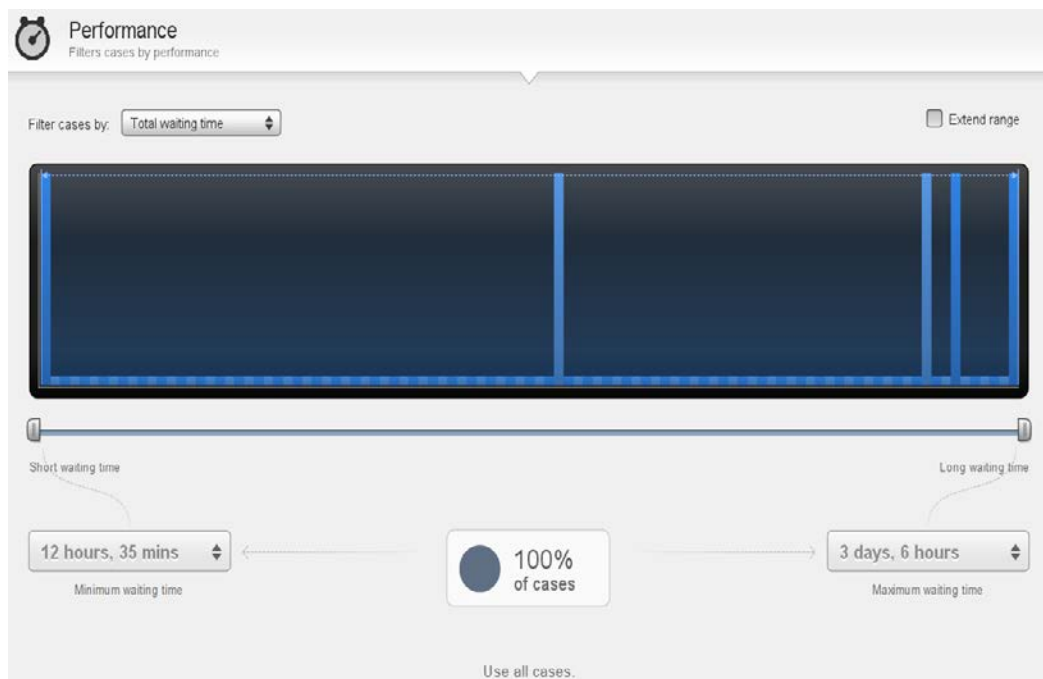


Рисунок 18 – Статистичний аналіз всіх кейсів: час очікування

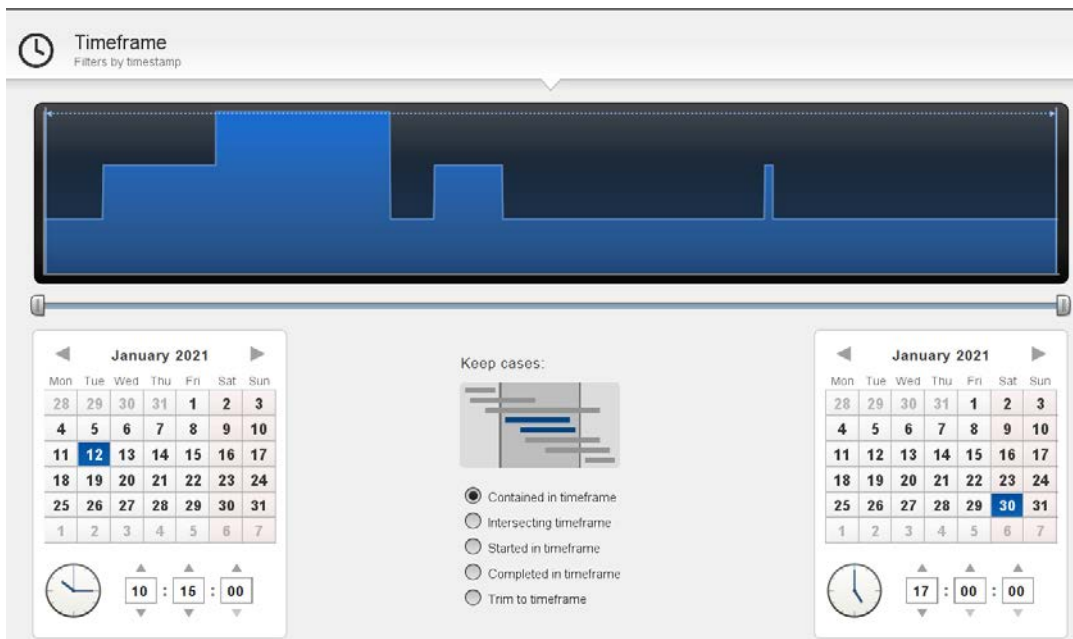


Рисунок 19 – Статистичний аналіз всіх кейсів: календар подій

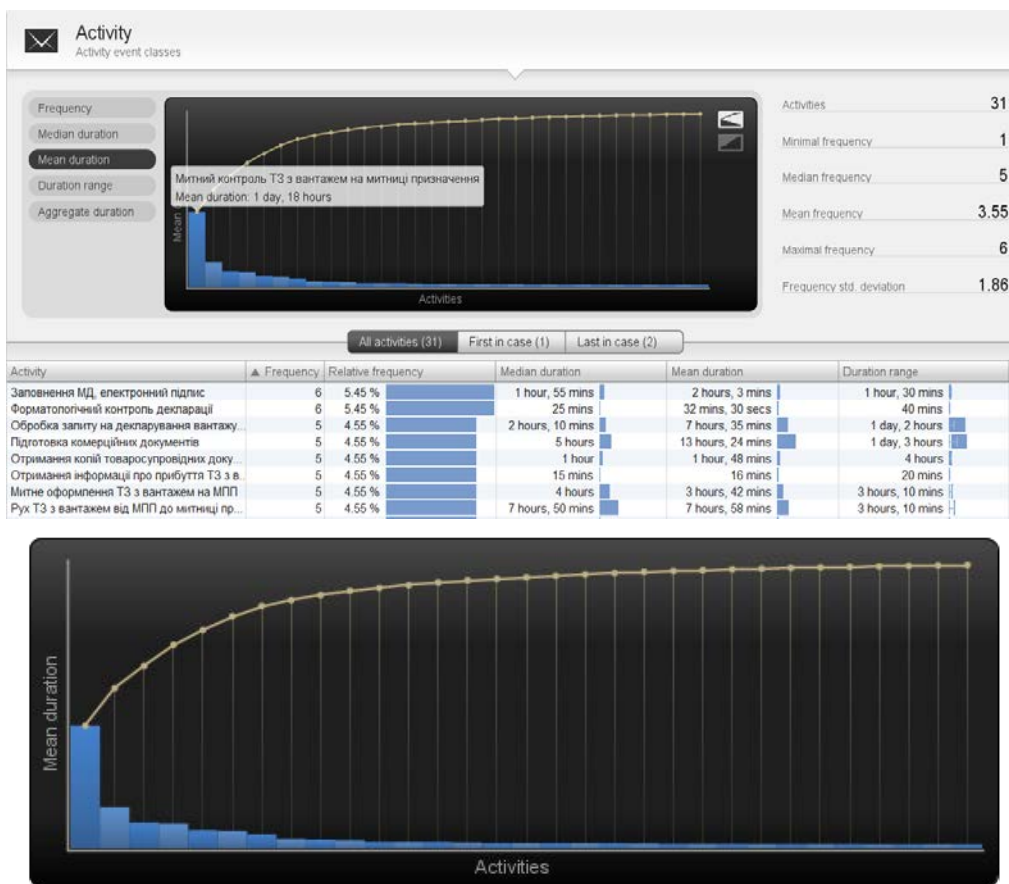


Рисунок 20 – Статистичний аналіз всіх кейсів: середня тривалість виконання кожної з операцій

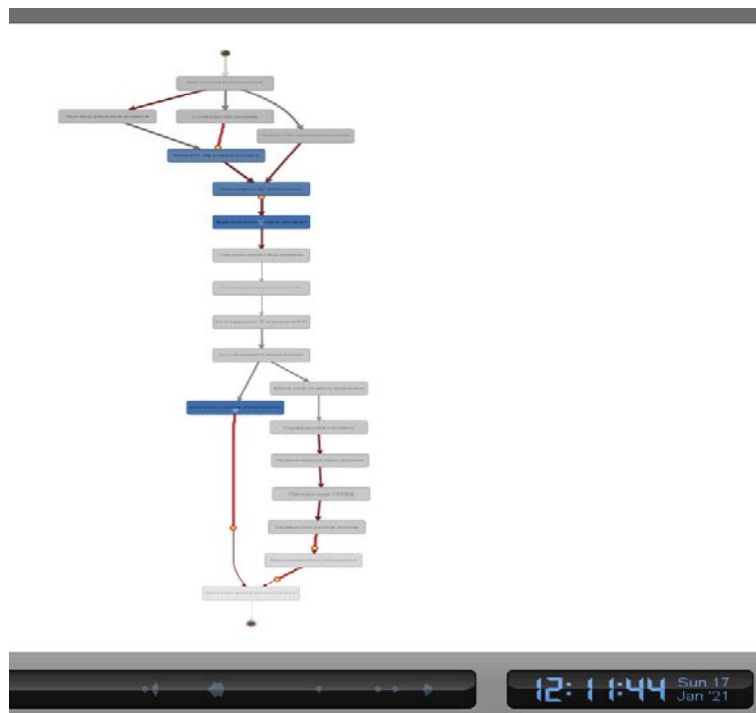


Рисунок 21 – Демонстрація динаміки процесу в режимі реального часу (витяг)

Отже, враховуючі поставлені задачі дослідження, за допомогою спеціалізованих інструментів інтелектуального аналізу процесу визначено:

- як саме виглядає процес: побудова карти подій і виділення певних «проблемних» етапів процесу за критерієм середньої тривалості їх виконання (наприклад, фітосанітарний контроль в структурі митного контролю в митниці призначення);

- чи є відхилення у процесі виконання контролю (співставлення законодавчо визначеної процедури й фактично виконаних етапів процесу митного контролю товарів): у наведеному прикладі невиконання обов'язкових операцій не виявлено;

- чи виконані визначені в законодавчих документах нормативи проведення митного контролю: у прикладі середній час завершення митної операції перевищив нормативи (більше доби замість 4 годин). У подальшому необхідно детальніше дослідити вже не час виконання операцій митними службами, а час очікування перевірки і тривалість подання необхідних для перевірки документів.

## ВИСНОВКИ

Для підсумку, в матеріалах розділу спершу формується загальна уява про *інтелектуальний аналіз процесів* (eng. process mining) як засобу подолання розриву між наукою про дані та наукою про процеси, далі наводяться приклади нотацій, за допомогою яких можна побудувати моделі процесів і провести необхідний аналіз результатів моделювання з урахуванням певних ділових аспектів. Мережі Петрі є найстарішою та найкраще розвиненою для цього нотацією. Ця теорія має розвиток й практичне застосування для різних сфер діяльності людини, у тому числі для сфери вантажних автомобільних перевезень, – саме там, де складні процеси потребують постійного моніторингу, ретельного аналізу, прогнозування результативності їх виконання. Запропоновані експертними спільнотами інструменти імплементації теорії мереж Петрі, такі як ProM, надають можливість бізнес-аналітикам і менеджерам широкі можливості щодо підвищення ефективності бізнес процесів в організації за рахунок виявлення неефективних операцій, демонстрації витрат ресурсів під час реалізації процесу, існування відхилень від нормованих значень параметрів процесу, чіткого аналізу деталей процесу, контролю за виконанням поставлених цілей, прогнозування тощо. Для прикладу в матеріалах розділу був схематично наведений спрощений процес митного контролю за переміщенням товарів через митний кордон України, на основі якого була побудована мережа Петрі й виділені ті його операції, які тривали найдовше порівняно з іншими, а також встановлені факти затримок у виконанні окремих операцій. Крім того, після визначення нормованих значень загальної тривалості процесу, окремо виділено ті кейси, які перевищують ці нормативи. Надалі це можна використати для багатостороннього аналізу ситуацій і зниження ризиків ведення бізнесу.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Wil Van der Aalst. Data Scientist: The Engineer of the Future/Proceedings of the I-ESA Conference, volume 7 of Enterprise Interoperability (2014), 14 pages.
- [2] Wil Van Der Aalst M.P., Christian Stahl. Modeling Business Processes: A Petri Net-Oriented Approach (Information Systems)/ The MIT Press; Illustrated edition (2011) - 386 pages.
- [3] Dictionary of Algorithms and Data Structures/ The National Institute of Standards and Technology(NIST). Доступно з: [<https://xlinux.nist.gov/dads/>]
- [4] Lars Reinkemeyer et al. Process Mining in Action: Principles, Use Cases and Outlook. / Springer Nature Switzerland AG, 2020 – 150 pages.
- [5] Інформаційний ресурс ProcessMining. Доступно з: <http://www.processmining.org>[in English]
- [6] Інформаційний ресурс Colored Petri Nets. Доступно з: <http://cpntools.org/> [in English]
- [7] Інструмент моделювання Disco. Доступно з: <https://fluxicon.com> [in English]
- [8] Iuliia Silantieva, Nataliia Katrushenko, Bohdana Kushym. Ensuring effectiveness in handling the movement of goods and passengers by enhancing information and communication technologies/ Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference (2019), Ternopil, Ukraine. Доступно з: <https://zenodo.org/records/3387287> [in English]

# Техніко-технологічний аналіз інноваційних проектів автомобільних перевезень

Ігор Хмельов

*Національний транспортний університет*

*м. Київ, Україна*

## I. ІСНУЮЧІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Подальший розвиток автотранспортної системи визначається відповідністю її технічних і технологічних інновацій концепції комплексного енерго- та ресурсозбереження на транспорті [1]. Крім того, комплексне вдосконалення техніки та технологій для автомобільного транспорту є основним напрямом підвищення довгострокової конкурентоспроможності транспортної пропозиції вітчизняних транспортних компаній.

У літературі розрізняють організаційний та технологічний підходи до аналізу транспортних проектів. Методологія організаційного підходу описана в [2]. Він базується на принципах вибору рухомого складу:

- 1) адаптація типу рухомого складу до типу вантажу;
- 2) адаптація розміру вантажної партії до вантажопідйомності рухомого складу;
- 3) відповідність технічного вигляду транспортного засобу дорожнім і транспортним умовам перевезень;
- 4) забезпечення економічної ефективності.

Ця методологія має ряд недоліків. По-перше, вона не враховує зміни технічних параметрів у часі. По-друге, вона враховує лише організаційний вплив на масу вантажу (пасажирів). Однак необхідно враховувати вплив людини та машини, оскільки ці впливи призводять до споживання енергії та ресурсів [3]. Існуючі методи враховують лише результат впливу, тому можливий вибір рухомого складу лише за критерієм витрат часу без урахування трансформації енергії та

ресурсів. По-третє, економічне обґрунтування передбачає, що інвестиції конвертуються у витрати без урахування взаємодії людини і машини. Тому технологічні рішення не відповідають принципам енерго- та ресурсозбереження і високих технологій на транспорті.

Розробки в галузі вдосконалення транспортних технологій та енергозбереження в транспортному процесі ведуться як в Україні, так і в західних країнах. В нашій країні користуються популярністю наукові праці Говоруценка М. Я., Воркута А.І., Хабутдінова Р. А., Безбородової Г. Б., Кошарного М.Ф., Маяка М. М., Великанова Д. П. та інших вчених. Недоліком сучасних методів аналізу автомобільних перевезень є те, що вони базуються на розрахункових схемах доставки вантажів (рис. 1). На цьому рисунку використані наступні умовні позначення: T1, T2, T3, Tk - транспортні термінали за схемою доставки вантажів.

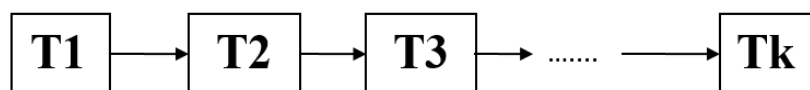


Рисунок 1 – Схема доставки вантажів (існуючі методи)

Основним припущенням цієї схеми є те, що в транспортних процесах розглядають не функціонування транспортного засобу як складної машини з багатьма технічними параметрами і закономірностями робочих процесів, а наявність рухомого віртуального кузова з вантажем в транспортних терміналах.

Обмеженість застосування методів теорії транспортних процесів для вирішення проблем енерго- та ресурсозбереження зумовлена їх методологічною неадекватністю, оскільки вони однобічно розглядають автомобіль лише як перевізний засіб. У базовій розрахунковій схемі транспортного циклу енерго- та ресурсозатратна фаза руху замінюється умовним актом перевезення вантажу з постійною (технічною) швидкістю. Це означає, що неможливо проаналізувати енерго- та ресурсоефективність транспортного засобу на основі моделі його транспортного використання. А завдання оцінки

натуральних і фізичних витрат транспортного засобу в транспортному процесі є практично нездійсненним [4].

Внаслідок однобічності противитратного підходу в економіці прийнята умовна фізична міра споживання на одну їздку – геометричний пробіг автомобіля [5]. При цьому, через недостатню інформативність вихідна схема розрахунку не враховує енергоємність транспортної роботи в процесі руху, яка спрямована на забезпечення безпеки та продуктивності транспорту. Вартісна оцінка споживання транспортних засобів здійснюється на основі умовного фізичного вимірника транспортної роботи. Однобічність такої оцінки виключає можливість енергозберігаючого аналізу конструктивних і технічних інновацій у майбутньому транспортному процесі. Отже, відсутня база знань для прогнозування та управління енергозберігаючою якістю майбутньої транспортної роботи. Відсутність адекватного методичного забезпечення призводить до низької ефективності процесу вирішення найважливішого народногосподарського завдання – економії енергії та ресурсів за рахунок проектно-технічних інновацій при розробці транспортних засобів та проектуванні типів транспортних засобів.

Питання ефективності транспортних засобів розглядаються у теоріях автомобіля [6], транспортних процесів і систем [2], експлуатаційних властивостей автомобіля [7] та економіки вантажних автомобільних перевезень [8]. Кожна з цих теорій ставить різні цілі і, відповідно, використовує різні методи для визначення ефективності транспортного засобу. Висновки та рекомендації цих теорій є неповними і не відповідають концепції енерго- та ресурсозбереження, оскільки не враховують особливостей (парадоксів) транспорту як галузі матеріального виробництва (рис. 2).

Тому концепція технологічно сталого розвитку автомобільного транспорту не може бути реалізована за допомогою існуючих методів теорії транспортних процесів та економічного аналізу. Ці теорії є технологічно виродженими і не дозволяють аналізувати процеси енергетичного перетворення виробничих ресурсів, оскільки базуються

на логіці та методології споживання простих транспортних послуг у процесах вантажних перевезень.



Рисунок 2 – Парадокси транспорту

Методологічна неадекватність існуючих теорій щодо технологічної концепції розвитку зумовлена особливостями їх розрахункових схем:

а) враховується споживання транспортного продукту для кожної їздки без урахування продуктивного (продуктостворюючого) ефекту транспортних технологій;

б) транспортні засоби присутні в операціях доставки у вигляді самохідних кузовів, але не функціонують;

в) математичні моделі ефективності транспортних засобів не враховують характеристики техніки та технології і за замовчуванням припускають, що ці характеристики залишаються незмінними з часом;

г) фізичне переміщення транспортного засобу під час транспортування ототожнюється з його віртуальним переміщенням у схемі доставки;

д) складні процеси перетворення технологічних ресурсів у фізичний транспортний продукт замінюються простим актом списання їх вартості у витрати;

е) замість транспортної операції враховується її результат у вигляді події доставки.

Показники ефективності транспортного засобу, що використовуються в теорії автомобіля, також не відповідають розробленій концепції, оскільки ця теорія, по-перше, не враховує транспортний рух автомобіля, а по-друге, не дозволяє проводити однокритеріальну оптимізацію конструкції. Крім того, розрахункові схеми, на яких базується вищезгадана теорія, мають наступні недоліки для оцінки енерго- та ресурсоефективності автомобіля [5]. Неможливо описати рух узагальненого транспортного засобу з гнучкою структурно-параметричною організацією, оскільки рівняння руху доводиться розв'язувати заново для кожного базового варіанту конструкції. Графоаналітичний підхід, прийнятий в теорії транспортних засобів, не дозволяє розробити методи безперервного параметричного і структурного аналізу конструкцій з використанням комп'ютерної обробки даних. Відсутня стандартизована концепція опису різних фаз руху транспортного засобу (постійна швидкість, прискорення, накат і гальмування двигуном) як елементів роботи АТЗ. Не враховується пристосованість тягового зусилля ведучих коліс багатовісних систем до трансмісії та дороги. Проаналізована розрахункова схема базується на теорії стаціонарного руху транспортного засобу, яка не може бути використана для оцінки енергетики безперервного нестаціонарного процесу. Основною причиною, що обмежує використання розрахункових схем теорії автомобіля для аналізу процесів енергоспоживання, є однобічність розгляду автомобіля як технічного засобу.

У теорії транспортних процесів для визначення ефективності автомобільних перевезень використовують годинну продуктивність і

собівартість. Кожен з цих показників має всі недоліки, згадані вище. Ці показники використовуються для оцінки ефективності автомобільного транспорту. Вони враховують вплив лише одного конструктивного параметра – вантажопідйомності – та ігнорують інші показники. Такий підхід дозволяє вирішувати задачі організації вантажних перевезень, але він не вирішує технологічні задачі.

У економічній галузі найпоширенішими критеріями ефективності є прибуток і витрати. Недоліками методів економічного аналізу є припущення, що параметри автомобілів та технології залишаються незмінними (так звані «freezing technologies»), а також дуже спрощена схема використання технологічних ресурсів транспорту. У цій схемі витрати на ресурси списуються в експлуатаційні витрати, так що за допомогою цих методів можна аналізувати лише фінансову частину, тоді як технологічні задачі залишаються нерозв'язаними.

Отже, у дисциплінах з економіки автобудування та автомобільного транспорту витратний та ресурсозберігаючий підходи ототожнюються. Як наслідок, єдині вартісні схеми є неадекватними для розрахунку споживання ресурсів у ринковому довгостроковому прогнозуванні. В той же час, найважливішим довгостроковим попитом споживачів автомобільних перевезень є натурально-речовинна (а не вартісна) мінімізація енерго- та ресурсоемності перевезень.

## II. РОЗРАХУНКОВІ СХЕМИ ТА МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

При здійсненні автомобільних перевезень (АП) Україна є споживачем на світовому ринку автотранспортних засобів (АТЗ) та палива, які є носіями технологічних (матеріальних) ресурсів автотранспорту. Технологічні ресурси транспорту являють собою виробничий потенціал матеріальних і людських факторів транспорту. Ресурси поділяються на технічні (транспортні засоби), енергетичні (паливо), трудові (водії) та фізичні (дорожнє покриття та атмосферний кисень). Технологічне перетворення (використання) ресурсів складається з наступних етапів:

1) надходження в рухову операцію згідно з проявами їх властивостями в енергетичних модифікаціях;

2) об'єднання ресурсів відповідно до технологій людино-машинної роботи;

3) трансформація у фізичний транспортний продукт в результаті людино-машинних впливів на вантажі (пасажирів).

Режимні ресурси транспорту використовуються шляхом їх заміщення багатофазними транспортними процесами протягом енергетично обумовленого часу [5]. Таким чином, схема створення транспортної продукції є енергетичною (рис. 3). Параметрами автомобіля як носія ресурсів є властивості продуктоутворюючого засобу праці та процесоутворюючого знаряддя технологічних процесів (процедур).

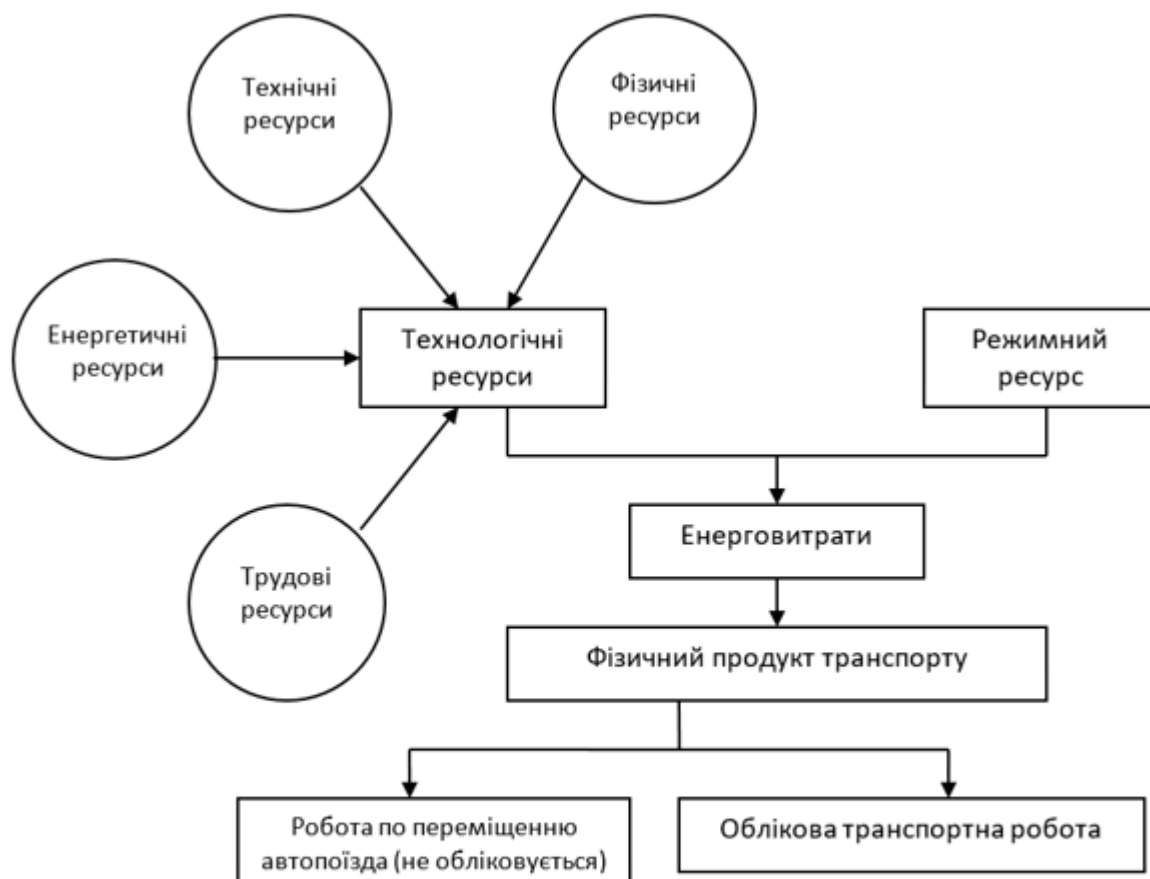


Рисунок 3 – Енергетична схема перетворення ресурсів у процесі транспортування

У цій схемі носії технологічних ресурсів транспорту (в спорядженому АТЗ) в поєднанні з фізичними та режимними ресурсами перетворюються в енергетичні затрати на переміщення експлуатаційної маси транспортного засобу. Енергетичні затрати потім перетворюються на фізичний продукт (керовані імпульси кількості руху транспортного засобу). Частка цих імпульсів є транспортною роботою з переміщення вантажу. Чим вище загальне споживання енергії, тим довша відстань. Чим вища інтенсивність споживання енергії, тим вища швидкість руху АТЗ і тим менше витрачається режимних ресурсів транспорту (фактор часу в дорозі).

Аналіз літературних джерел за темою дослідження дозволяє зробити висновок, що існуючі методи визначення ефективності роботи АТЗ базуються на критеріях противитратної ефективності вантажних перевезень, які мають низку недоліків. По-перше, вони не враховують сукупність властивостей автомобіля як носія технічних ресурсів автотранспорту, прояви яких визначають енергетичні процеси трансформації ресурсів і утворення фізичного транспортного продукту. По-друге, в теоріях транспортного процесу та економіки замість багатофазного процесу перетворення технологічних ресурсів в якості витрат розглянуто спрощений акт списання їх ціни у витрати. По-третє, міра транспортної роботи (тонно-кілометр) позбавлена фізичного змісту, так як відображає функціональну схему АТЗ тільки як засобу перевезень (в розрахунковій схемі транспортного циклу – самохідного кузова, рис. 4):  $q\gamma_{cm}l$  - вантажопідйомність автомобіля і ступінь її використання;  $l$  - відстань перевезення вантажів.

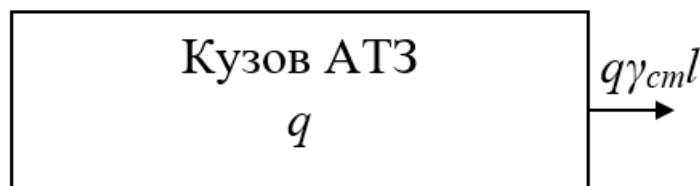


Рисунок 4 – Схематичне зображення транспортного засобу як самохідного кузова

У зв'язку з вищезазначеним, в сучасних умовах розвитку ринку автотранспортних послуг необхідно знайти інші критерії оцінки ефективності роботи транспортних засобів, які б враховували функції автомобіля як носія технічних ресурсів автотранспорту (рис. 5).



СМ – складна машина;

ОУР – об'єкт управління рухом;

ПЗ – перевізний засіб;

ОТО – об'єкт технічного обслуговування;

ЗТВ – знаряддя технологічних впливів;

МОПР – матеріальна основа процесів перетворення ресурсів;

ТКТ – технологічний капітал транспорту.

Рисунок 5 – Схема функціонування автомобіля як носія технічних ресурсів транспорту

Таким чином, існуючі дисципліни аналізують окремі аспекти функціонування транспортних засобів. Закономірності функціонування автомобіля як складної машини розглядаються в теорії автомобіля, поведінка автомобіля як транспортного засобу описується в теорії транспортних процесів. У роботах проф. Хабутдінова Р. А. [4,

5] використовуються наступні методи оцінки ефективності автомобіля як носія технічних ресурсів транспорту (АНТРТ):

а) енергетична система для перетворення транспортних ресурсів;

б) технологічна схема взаємозамінності багатofункціональних АНТРТ;

в) математичні моделі для аналізу енерго- та ресурсоефективності автотранспорту в узагальненому вигляді.

Необхідно зазначити, що поняття «енерго- і ресурсоефективність» відображає енергоефективність АНТРТ при виконанні транспортних операцій з урахуванням низки характеристик, наведених на рис. 5. У вказаних роботах представлено загальну методологію підвищення енерго- та ресурсоефективності загального типу транспортного засобу. Вони не враховують специфіку експлуатації транспортних засобів та технологічних процесів у міжнародних перевезеннях.

Відповідно до обраного об'єкта дослідження в даній роботі розроблено методику підвищення ефективності автопоїздів за енергетичним критерієм, яка базується на розрахункових схемах енерго- та ресурсоефективності транспортного засобу [5]. Основна ідея цієї методики полягає в підвищенні техніко-технологічної якості перевезень, яка визначається значенням показника енергоефективності транспорту (співвідношення між виконаною транспортною роботою та витратами енергії або палива). В існуючих методиках споживання енергії не визначається, а споживання палива розраховується на основі нормативів.

Для аналізу технічних інновацій на автомобільному транспорті було запропоновано схему структурно-параметричної організації конструкції транспортного засобу (СПОКА), згідно з якою процес руху транспортного засобу з вантажем (пасажирами) забезпечується роботою двох основних пристроїв конструкції транспортного засобу: енерго-перетворюючого і вантажо-несучого (рис. 6). Перший трансформує хімічну енергію палива в кінетичну енергію вантажу (пасажирів), а другий передає вагу вантажу на дорогу через колеса. Іншими словами, модульність засобів перетворення енергії і засобів

перевезення забезпечує загальний підхід до конструкції транспортного засобу. Прогрес в перетворенні енергії та транспортуванні вантажу, які забезпечуються цією концепцією транспортного засобу, гарантуються цілеспрямованим вибором структури та параметрів його функціональних модулів. Гнучкість технічного вигляду транспортного засобу в межах опису елементів типорозмірного ряду рухомого складу (РС) базується на представленні структури транспортного засобу у вигляді певного набору ознак структурно-параметричної організації конструкції транспортного засобу. Вибір ознак та параметрів цих об'єктів повинен забезпечувати максимізацію енергоефективності конструкції транспортного засобу. В даному випадку модуль енергоперетворення енергії (ЕППА) являє собою окремий бортовий транспортний засіб (рис. 6, а) або сідельний тягач (рис. 6, б). Транспортні модулі (ВНПА) – це кузов тягача та причепа (причіпний АТЗ) або кузов напівпричепа (сідельний АТЗ). На даному рисунку використовуються наступні елементи:

Д – двигун;

МТЕ – модуль трансформування енергії;

МРЕ – модуль розподілу енергії;

КТМ – колісний тяговий модуль;

ЕППА – енергоперетворюючий пристрій;

ВНПА – пристрій вантажонесення бортового автомобіля-тягача;

К – кузов;

О – рама;

ПД – підвіска;

ВХМ – ведучий ходовий модуль;

$Q$  – потік палива, що витрачається за час операції;

$G_B$  – маса вантажу;

$G_e$  – експлуатаційна маса АТЗ;

$P_m$  – сила тяги;

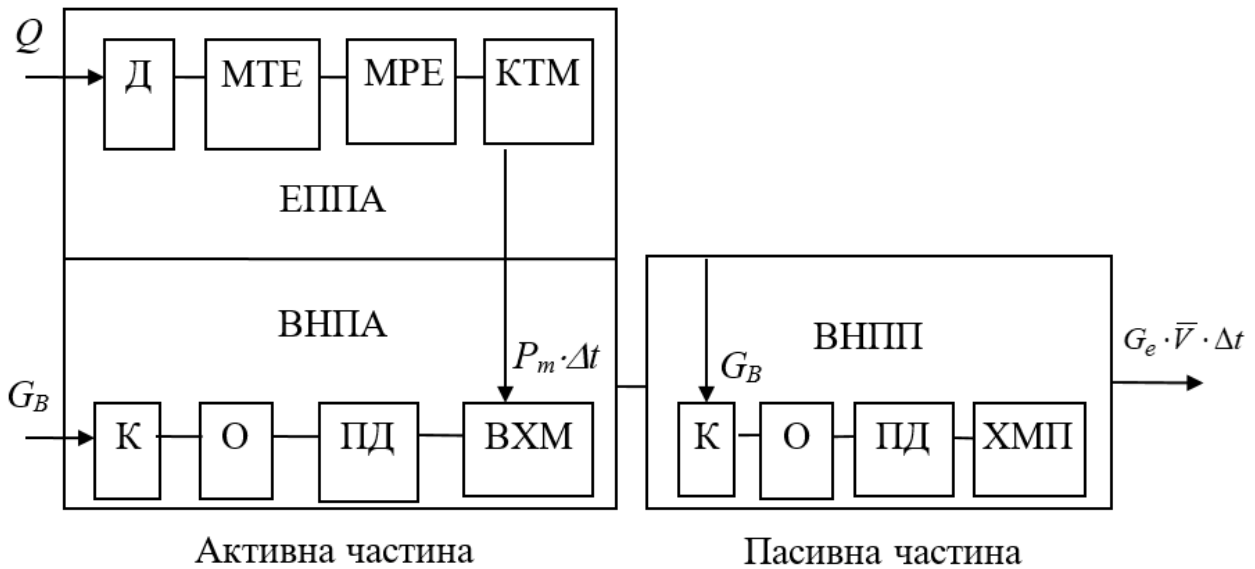
$\Delta t$  – час операції;

$\bar{V}$  – середня швидкість АТЗ;

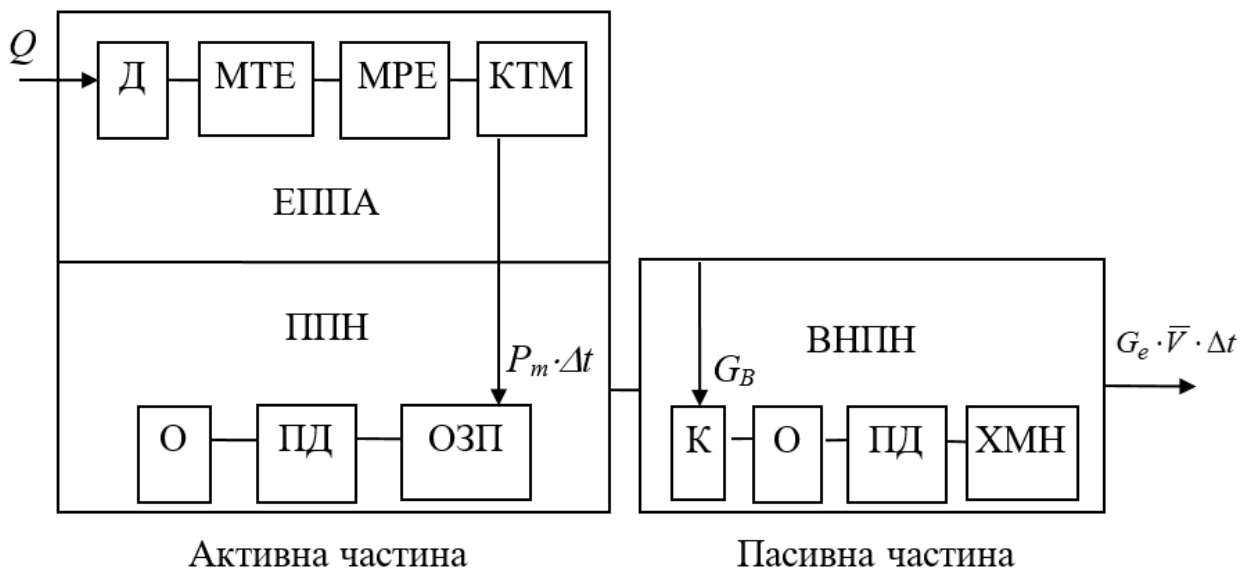
ВНПП – пристрій вантажонесення причепа;

ХМП – ходовий модуль причепа;

ППН – пристрій поєднання сидельного тягача з напівприцепом;  
 ОЗП – опорно-зчіпний пристрій;  
 ВНПН – пристрій вантажонесення напівпричепа;  
 ХМН – ходовий модуль напівпричепа.



а)



б)

Рисунок 6 – Схематичне зображення структурно-параметричної організації конструкції причіпного (а) та сидельного (б) автопоїздів

На відміну від схеми самохідного кузова (див. рис. 4), СПОКА має у своїй структурі одинадцять (дванадцять) конструктивних модулів, які забезпечують перетворення внутрішньої енергії транспортного засобу та формування фізичного транспортного продукту:

$$W_{\phi} = \sum_{i=1}^n G_{\phi i} V_i \Delta t_i. \quad (1)$$

У кожному транспортному процесі, таким чином, проявляється здатність СПОКА перетворювати енергію і транспортні ресурси у фізичний продукт  $W_{\phi}$ . Важливу роль СПОКА в транспортному процесі слід враховувати не тільки при аналізі транспортних технологій, але й при визначенні схем кругообігу капіталу на транспорті. В економічній теорії прийнята схема обліку кругообігу капіталу (рис. 7, б). Вона передбачає, що авансований капітал відразу трансформується у витрати, минаючи фазу його матеріальної форми в ресурсах і подальшого перетворення у фізичний продукт.

Це означає, що всі потоки вартості, задіяні у створенні та експлуатації об'єктів автомобільних перевезень, компенсуються доходами, які визначаються транспортним тарифом. А це визначає частку транспортних витрат у ціні перевезеного товару і, відповідно, конкурентоспроможність власника товару при його реалізації. Таким чином, у системі відтворення автотранспортних послуг існують взаємопов'язані та взаємозалежні потоки створення вартості, які, в свою чергу, залежать від ступеня пристосованості конструкції транспортного засобу до економії транспортних ресурсів на стадії експлуатації. Послуги автомобільного транспорту – це товар, якість якого є індивідуальною, враховуючи специфічні конструктивні, транспортні, дорожні та економічні фактори транспортного процесу. Метою транспортної галузі є максимізація прибутку від перевезень шляхом забезпечення певної ресурсної ефективності транспортних засобів, що визначає конкурентоспроможність транспортної компанії. Придатність транспортного засобу до підвищення енерго- та

ресурсоефективності перевезень розглядається як енергоресурсна якість (ЕРЯ) автотранспортних послуг, рівень якої визначається показником енерго- та ресурсоефективності транспортного процесу [3].

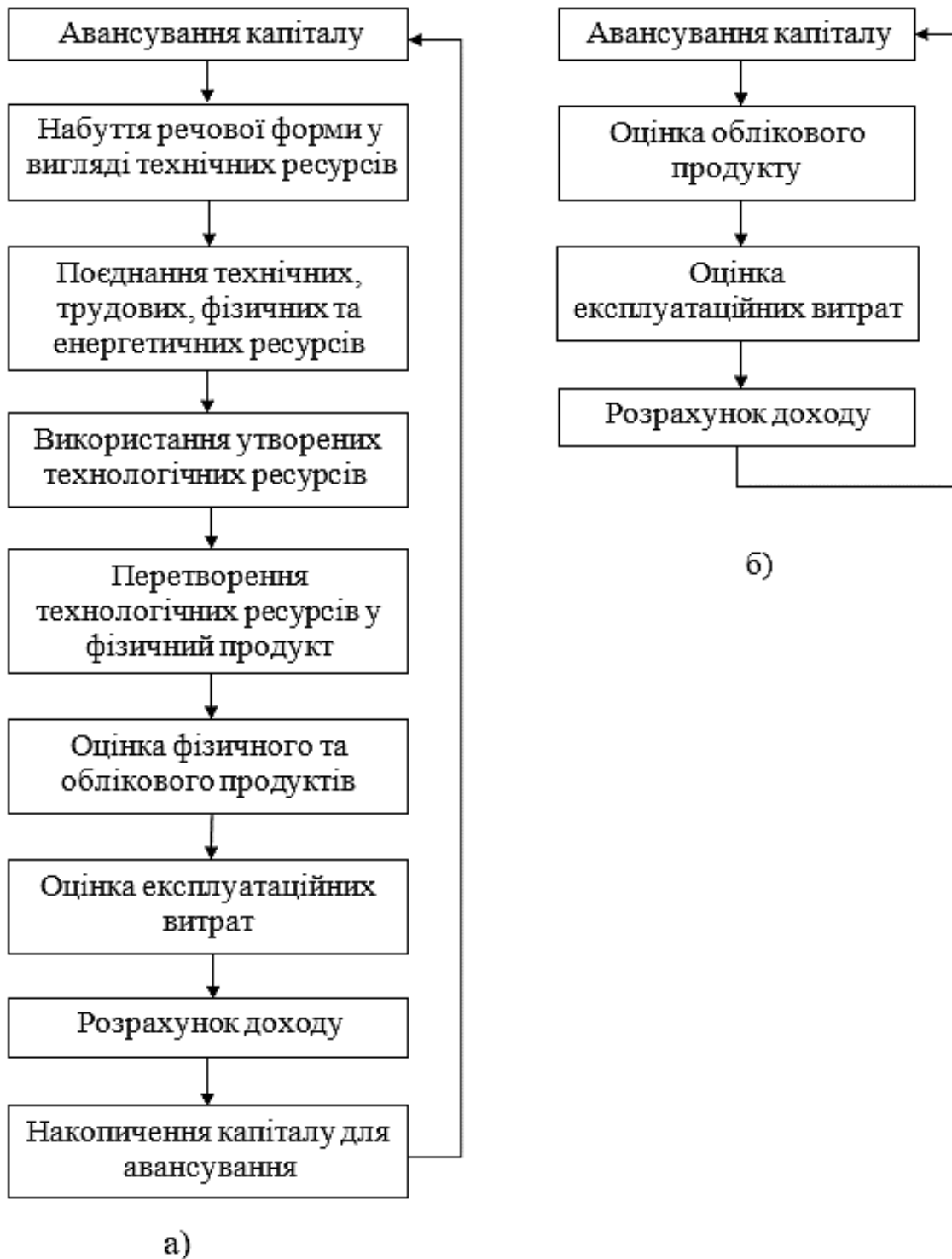


Рисунок 7 – Схеми кругообігу капіталу у виробництві (а) та бухгалтерському обліку (б)

Показником технологічного рівня вантажних перевезень є співвідношення між виконаною транспортною роботою та відповідними витратами енергії (чи палива). Транспортно-технологічна якість транспортного засобу являє собою сукупність експлуатаційних характеристик і технічних параметрів, що характеризують придатність транспортного засобу для підвищення технологічного рівня перевезень [14]. З метою створення енерго- і ресурсозберігаючих технологій технічні (конструктивні) параметри транспортного засобу мають гарантувати оптимальність наступних показників транспортно-технологічної якості: транспортну енергоефективність ( $P_{ep}$ ); енергетичну результативність технологічних впливів на предмет перевезень ( $TB$ ).

Методика обґрунтування транспортно-технологічної якості АТЗ повинна ґрунтуватися на концепції економії енергії та ресурсів на різних етапах життєвого циклу транспортного засобу. Водночас ця методика застосовується на етапі експлуатації транспортного засобу, який пов'язаний з корисним використанням транспортного засобу – виконанням транспортних операцій. Останні по суті складаються з переміщення транспортного засобу з вантажем. Кількісною мірою руху є енергія. З точки зору механіки транспортних засобів, кількість спожитої енергії, таким чином, відповідає виконаній транспортній роботі. Основою транспортного процесу є трансформація внутрішньої енергії двигуна  $E_{дв}$  в імпульс кількості руху вантажу (рис. 8), що відповідає дискретній транспортній роботі  $\Delta W$ :

$$E_{дв} \rightarrow P_m \Delta t \rightarrow q \gamma_{cm} V \Delta t \rightarrow \Delta W. \quad (2)$$

Отже, автомобіль як продуктоутворюючий інструмент технологічних впливів оцінюється значеннями імпульсів тягового зусилля  $P_m \Delta t$ . Підсумком цих впливів є транспортна робота  $W(\Delta l)$ , яка визначена для характерного пробігу  $\Delta l$ . На додаток до наведених вище пояснень слід зазначити, що імпульс тягового зусилля  $P_m \Delta t$  є зовнішнім фактором руху транспортного засобу з точки зору фізики руху колісних транспортних засобів.

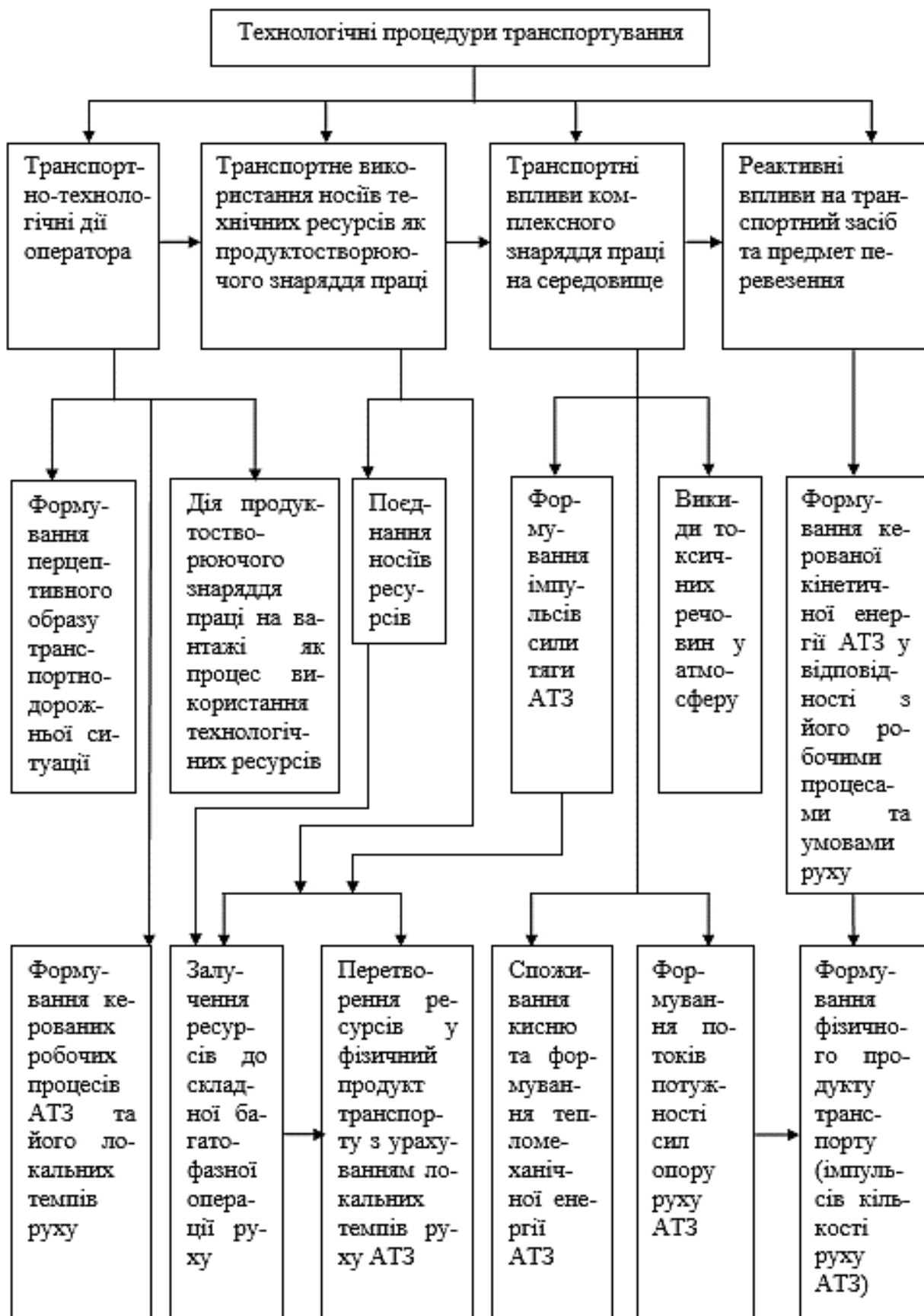


Рисунок 8 – Структура технологічних процедур формування транспортного продукту

З точки зору транспортних технологій, величина  $P_m \Delta t$  є технологічним фактором транспортного продукту, оскільки вона перетворюється у величину кількості руху експлуатаційної маси транспортного засобу  $G_e$ :

$$P_m \Delta t \rightarrow G_e V. \quad (3)$$

Показником результативності технологічних впливів є співвідношення між дискретною транспортною роботою  $W(\Delta l)$ , яка відповідає характеристиці руху АТЗ  $\Delta l$ , та величиною імпульсів тягового зусилля АТЗ  $P_m \Delta t$ :

$$TB = \frac{W(\Delta l)}{P_m \Delta t^2} \rightarrow opt, \quad (4)$$

Показник результативності технологічного впливу є проміжним етапом у визначенні енергоефективності транспортного засобу, проте він дає можливість проаналізувати ефективність технологічних впливів, що являють собою суть автотранспортних технологій. Цей показник  $TB$  слід розглядати у взаємозв'язку з показником енергоефективності.

Для розробки математичної моделі показника енергоефективності було використано метод аналогій з еталонним прототипом АТЗ [5]. Останній є розрахунковою моделлю ідеального транспортного засобу і не змінюється в наступні 20 – 30 років. Протягом цього періоду завдання безперервного вдосконалення транспортного засобу вирішується як поступове наближення його показників транспортно-технологічної якості до еталонного прототипу [3].

Для визначення показника енергоефективності розроблена енергетично нормалізована схема транспортного процесу між терміналами Т1, Т2, Т3...Тк (рис. 9). На відміну від існуючої схеми (див. рис. 1) вона враховує процеси перетворення енергії в транспортних операціях.

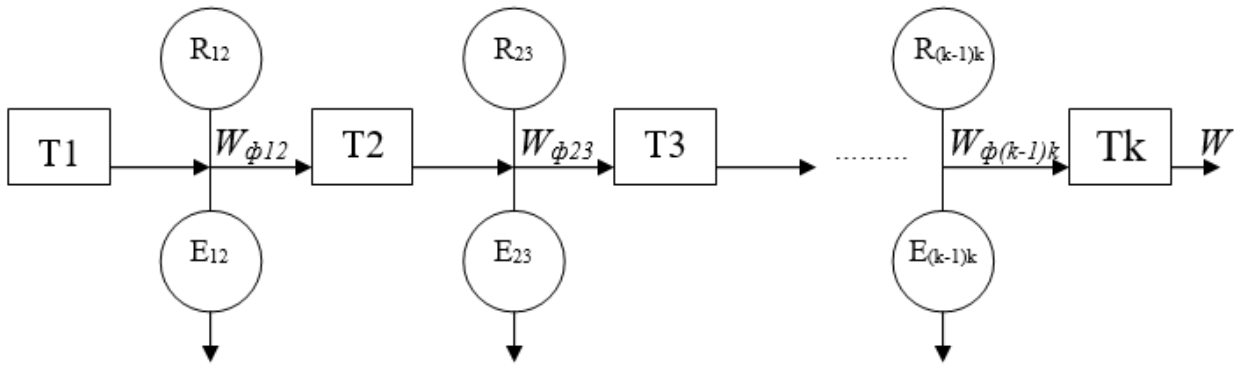


Рисунок 9 – Схема перевезення відповідно до енергетичної моделі перетворення ресурсів (R) транспорту у фізичний продукт  $W_\phi$  та споживання енергії (E)

Порівнюючи енергетичні показники автомобіля з показниками його еталонного прототипу, визначають енергетичні коефіцієнти пробігу та швидкості. Потім вони використовуються для створення моделі енергоефективності транспортного засобу. Цей показник є співвідношенням між транспортною енерговіддачею даного АТЗ у тестовій операції  $\rho$  та транспортною енерговіддачею еталонного АТЗ у еталонній операції  $\rho_{em}$ :

$$\Pi_e = \frac{\rho}{\rho_{em}} = \frac{K_v \gamma_{cm}}{K_e (\eta_q + \gamma_{cm})} \rightarrow \max, \quad (5)$$

де  $K_v$  – коефіцієнт швидкості (відношення середньої швидкості АТЗ в тестовому циклі до швидкості еталонного АТЗ);

$\gamma_{cm}$  – коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності;

$K_e$  – енергетичний коефіцієнт пробігу (співвідношення між витратою палива даного АТЗ в циклі та витратою палива еталонного АТЗ, який рухається з постійною еталонною швидкістю);

$\eta_q$  – коефіцієнт спорядженої маси АТЗ.

Крім того, енергетичний еквівалент для пробігу  $l_e$ , швидкості  $V_c$  та часу руху  $t_{pe}$  АТЗ визначаються шляхом порівняння транспортного засобу з еталонним прототипом:

$$\begin{aligned} l_e &= l \cdot K_e, \\ V_c &= V_{em} \cdot K_v, \\ t_{pe} &= t_p \cdot K_t, \end{aligned} \quad (6)$$

де  $l$ ,  $V_{em}$ ,  $t_p$  – пробіг АТЗ на маршруті (м), еталонна швидкість (дорівнює 40 км/год) та час руху (с);

$K_e$ ,  $K_v$ ,  $K_t$  – енергетичні коефіцієнти пробігу, швидкості та часу руху автомобіля.

Показники (6) використовуються у формулах продуктивності та собівартості, відомих з теорії транспортних процесів. Для врахування затримок при в'їзді в місто в цих моделях також вводиться час затримки (очікування)  $t_3$ , який задається в діапазоні 0...12 год. В результаті отримано енергоеквівалентні показники продуктивності  $W_{GE}$  та собівартості  $S_{WE}$ :

$$W_{GE} = \frac{q \gamma_{cm} l_{ei}}{t_p K_t + t_{np} + t_3} = K_w W_\Gamma, \quad (7)$$

де  $l_{ei}$  – довжина пробігу АТЗ з вантажем за їздку, км;

$t_p$  – час руху АТЗ, год.;

$t_{np}$  – час простою АТЗ при навантаженні-розвантаженні, год;

$t_3$  – час затримки (очікування) при в'їзді у місто внаслідок обмежень руху, с;

$K_w$  – енергетичний коефіцієнт годинної продуктивності АТЗ:

$$\begin{aligned} K_w &= \frac{K_v}{X_\partial (K_e - 1) + 1}, \\ K_v &= c_1 x^2 + c_2 x + c_3, \\ K_e &= b_1 x^2 + b_2 x + b_3, \end{aligned}$$

де  $X_\partial$  – частина часу руху АТЗ у підсумковому часі їздки  $t_i$ :

$$X_\partial = \frac{t_p}{t_i} = \frac{t_p}{t_p + t_{np} + t_3}$$

$W_T$  – годинна продуктивність АТЗ, ткм/год.,

$$S_{WE} = \frac{C_{зм} l_{\partial i} K_e + C_{noc} (t_p K_t + t_{np} + t_3)}{W_i} = K_s S_W, \quad (8)$$

де  $C_{зм}$  – змінні витрати на 1 км пробігу, гр./км;

$C_{noc}$  – постійні витрати на 1 годину роботи, гр./год;

$W_i$  – транспортна робота АТЗ за їздку, ткм;

$K_s$  – енергетичний коефіцієнт собівартості перевезень:

$$K_s = K_e \left( s_1 + s_2 \frac{C_{noc}}{C_{зм}} \right),$$

$$K_e = b_1 x^2 + b_2 x + b_3$$

де  $s_1, s_2$  – коефіцієнти, які враховують експлуатаційні фактори перевезень;

$S_W$  – собівартість виконання 1 ткм транспортної роботи, гр./ткм,

$x$  – значення конструктивного параметра.

Удосконалення використання АТЗ в енергетично нормалізованій схемі автотранспортної операції відбувається згідно критеріїв:

$$W_{TE} \rightarrow \max, \quad S_{WE} \rightarrow \min \quad (9)$$

Перевагою запропонованої моделі є те, що енергетичні показники  $K_e$  і  $K_t$  при розв'язанні завдань організації перевезень встановлюються рівними одиниці. Ці коефіцієнти враховуються при вирішенні організаційно-технологічних завдань. Щоб визначити ці коефіцієнти розроблено математичні моделі та методи моделювання [3]. Вони

можуть бути використані для вирішення технологічних та організаційних задач автомобільних перевезень враховуючи еволюцію конструктивних параметрів автомобілів, транспортних умов та характеристик дороги.

Рівень АТЗ як науково-технічного продукту визначається показником споживчої якості  $P_{ca}$ , який є мультиплікативною функцією п'яти показників споживчої якості:

$$P_{ca} = P_{ep} \cdot P_{\partial} \cdot P_{emc} \cdot P_{me} \cdot TB, \quad (10)$$
$$P_{ep} \geq P_{epj}, P_{\partial} \geq P_{\partial j}, P_{emc} \geq P_{emcj}, P_{me} \geq P_{mej}, TB \geq TB_j,$$

де  $P_{ep}$  – показник енергоефективності АТЗ;

$P_{\partial}$  – показник довговічності (відношення амортизаційного пробігу даного АТЗ до його середнього значення для сегменту АТЗ);

$P_{emc}$  – показник ресурсної неоднорідності конструкції АТЗ, який залежить від агрегатної структури транспортних засобів, нормативного пробігу агрегатів, а також їх цін;

$P_{me}$  – показник товарної економічності, який являє собою відношення середньої ціни АТЗ у даному сегменті ринку до ціни конкретного АТЗ;

$TB$  – коефіцієнт енергетичної результативності технологічного впливу АТЗ у тестовій операції;

$j$  – коефіцієнт, що показує обмеження характеристик споживчої властивості у сегменті АТЗ.

Використовуючи розроблені математичні моделі показників транспортно-технологічної якості автотранспортних засобів, наступним етапом є техніко-технологічний аналіз впливу змін технічних параметрів, транспортних і дорожніх умов транспортування на технологічний рівень перевезень.

### III. БАГАТОВАРІАНТНИЙ АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОРЕСУРСНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Основна ідея управління розвитком рухомого складу (РС) в дорожньо-транспортній системі полягає в забезпеченні економії енергії та ресурсів під час створення та експлуатації автотранспортного засобу (АТЗ). Під час дорожнього руху енергоємність перевезень визначається технічними характеристиками транспортного засобу, дискретно-нерівномірними видами руху та характеристиками дорожнього покриття. Щоб врахувати ці фактори, моделюється робота транспортних засобів у міських, міжміських та змішаних циклах. Енергетичні коефіцієнти ефективності транспортного засобу в цих циклах співставляються з енергетичними коефіцієнтами еталонного прототипу в еталонному режимі. Математична модель функціонування транспортного засобу в тестовому режимі базується на аналітичних залежностях його дискретної кінематики, динаміки та енергетики. Таким чином, вдалося створити модель для узагальненої тестової операції, яка підходить для оцінки конкуруючих варіантів АТЗ. З іншого боку, можна варіювати режими дискретного руху транспортного засобу та характеристики дороги. Ці особливості моделі дозволяють підбирати послідовності випробувань відповідно до конкретного режиму експлуатації транспортного засобу і гарантують, що методи оцінки експлуатації для проектування транспортного засобу узгоджуються з методами випробувань їздового циклу, широко використовуваними в автомобільній промисловості.

При моделюванні руху транспортного засобу в тестових умовах експлуатації на електронно-обчислювальній техніці відповідно до плану робіт імітуються характеристики дискретної кінематики, динаміки та енергетики модульного АТЗ. Результатом моделювання є відтворення роботи (експлуатації) автотранспортного засобу та перевірка відповідності конструктивної придатності АТЗ до концепції збільшення енерго- та ресурсоефективності проектів перевезень.

Новизною методики, що дозволяє досягти цієї мети, є те, що автомобіль як динамічний транспортний засіб розглядається з точки

зору споживача дорожньо-транспортної системи. Останнє вимагає комплексної оцінки технічної придатності автомобіля як складної машини, об'єкта управління дорожнім рухом і перевізного засобу. Такий підхід є необхідним, оскільки з точки зору економічної теорії під ресурсами розуміють запаси транспортної праці в спорядженому транспортному засобі. Транспортна робота – це механічна категорія (переміщення вантажів чи пасажирів). Вимірником переміщення транспортного засобу з вантажем є енергія. Тому врахування транспортного засобу як динамічного засобу транспортної роботи дає можливість проаналізувати складний процес перетворення енергії та ресурсів, беручи до уваги наступне:

1) процеси експлуатації транспортного засобу як складного технічного пристрою та об'єкта управління дорожнім рухом;

2) техніко-економічне використання транспортного засобу в транспортному процесі з урахуванням аналізу конструктивної досконалості транспортного засобу та його економічної ефективності.

Цілі моделювання полягають у наступному:

1) створення подібних варіантів конструкції та параметрів в межах цільної уніфікованої моделі модульної структури транспортного засобу;

2) відтворення руху АТЗ відповідно до встановленої операційної карти;

3) оцінка видів структурно-параметричної організації конструкції АТЗ;

4) виявлення варіанту, який досягає найвищої енергоефективності транспортного засобу;

5) створення аналітичного транспортного циклу та розрахунок індексів енергетичної продуктивності та витрат.

Втрати енергії та палива в тестовому циклі розраховуються згідно закономірностей впливу робочих процесів конструкції АТЗ на потік його потужності  $N(t)$ , а також питомої витрати палива  $g(t)$ . Витрати енергії під час тестової експлуатації визначаються наступним чином:

$$E_{II} = \sum_{i=1}^{n_y} \left( \int N_{yi} dt + c_{1i} \right) + \sum_{i=1}^{n-n_y} \left( \int N_i(t) dt + c_{2i} \right), \quad (11)$$

де  $N_y, N$  – потужність двигуна відповідно при сталому та несталому русі АТЗ, кВт;

$n$  – кількість фаз тестової операції;

$n_y$  – кількість фаз сталого руху;

$t$  – тривалість фази тестової операції, с;

$c_1, c_2$  – коефіцієнти інтегрування.

Втрати палива в тестовому режимі розраховується за наступною формулою:

$$Q_{II} = \sum_{i=1}^{n_y} \left( \int N_{yi} g_{yi} dt + c_{3i} \right) + \sum_{i=1}^{n-n_y} \left( \int N_i(t) g_i(t) dt + c_{4i} \right), \quad (12)$$

де  $g_y, g$  – питома витрата палива двигуна відповідно при сталому та несталому русі АТЗ,  $\frac{\Gamma}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$ ;

$c_3, c_4$  – коефіцієнти інтегрування.

Наразі технічна політика світових виробників транспортних засобів є такою, що визначити зрівняльні переваги одного чи іншого варіанту конструкції методами теорії автомобіля досить складно. Вирішити цю проблему допомагає чутливість математичних моделей енергоефективності транспортних засобів. При цьому конкретизується найважливіший для експлуатації транспортних засобів елемент – ефект зміни технічних характеристик на енергетичний вихід транспортного проекту. На практиці таке завдання аналізу з'являється при виборі транспортного засобу з декількох варіантів одного типу конструкції, які відрізняються один від одного лише характеристиками однієї з конструктивних особливостей або одним параметром. У параметричному аналізі можна розглядати групу подібних транспортних засобів, які, за інших рівних умов, відрізняються лише характеристиками одного параметра.

Формалізація задачі однопараметричного аналізу конструкції складається наступним чином. Задано набір варіантів конструкції одного типорозміру ( $q = \text{const}$ ), які відрізняються значеннями будь-якої характеристики модулів конструктивної основи транспортного засобу (двигуна, трансмісії, головної передачі, коліс тощо). Необхідно визначити варіант конструкції транспортного засобу, який забезпечує умову максимальної енергоефективності транспортного засобу під час тестової експлуатації:

$$P_{ep} \rightarrow \max. \quad (13)$$

Коефіцієнти транспортно-технологічної якості АТЗ розраховуються в результаті імітаційного моделювання його роботи в умовах тестової операції руху [3], схема якої наведена на рис. 10. Значення максимальної швидкості АТЗ у циклі визначається наступним чином:

$$V_m = V_r(h_g, u_{kr}) + \Delta V_s(n_n) \quad (14)$$

$$\Delta V_s = \sum_{i=1}^{n_n} \Delta V_i$$

де  $V_r$  – кінцева найменша швидкість АТЗ;

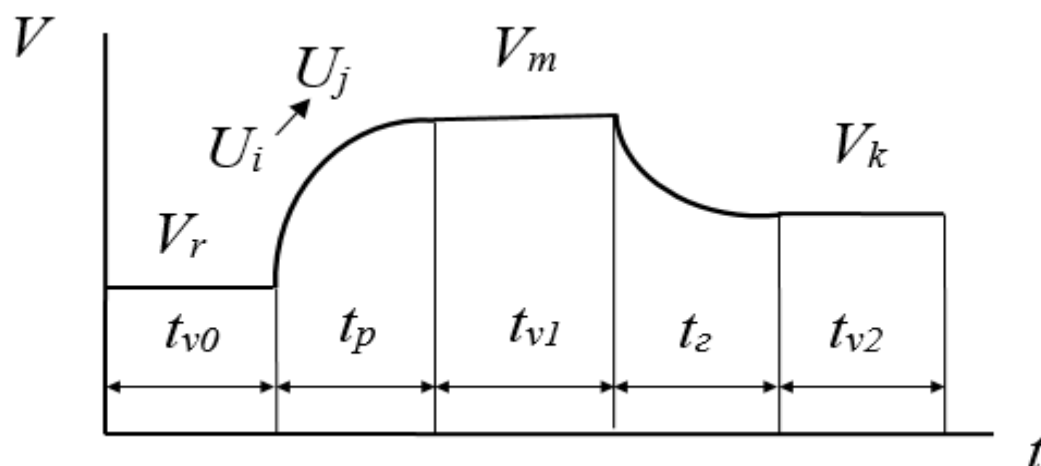
$\Delta V_s$  – загальне зростання швидкості у фазі;

$\Delta V_i$  – збільшення швидкості на  $i$ -й передачі при розгоні АТЗ, яке пояснюється динамікою розгону АТЗ і послідовністю трудових впливів водія;

$n_n$  – число передач, які задіяні при розгоні згідно з вказаною операційною картою (для визначення  $n_n$  використовується спеціальна підпрограма);

$h_g$  – відносне знаходження педалі надання палива паливним насосом,  $h_g \in (0;1)$ ;

$U_{kr}$  – передавальне число коробки передач, що відповідає  $V_r$ .



$V_r, V_m, V_k$  – задані значення швидкості сталого руху автопоїзда (початкова, максимальна та кінцева відповідно);

$t_{v0}, t_{v1}, t_{v2}$  – тривалість фаз руху АТЗ при швидкостях відповідно  $V_r, V_m, V_k$ ;

$U_i \dots U_j$  – передаточні числа коробки передач, які використовуються при розгоні АТЗ в діапазоні швидкостей  $V_r \dots V_m$ ;

$t_p, t_2$  – тривалість фаз руху АТЗ при розгоні та гальмуванні відповідно.

Рисунок 10 – Карта тестової операції руху

Для кожного з розроблених варіантів конструкції транспортного засобу за результатами моделювання були отримані значення їх транспортно-технологічних показників якості [3].

#### IV. МЕТОДИКА ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ МАЙБУТНІХ ПРОЕКТІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Проекти автомобільних перевезень (АП) пов'язані з авансуванням капіталу на відновлення технічних ресурсів транспорту [3]. Для прийняття інноваційних рішень використовуються математичні моделі транспортного прибутку. При цьому на основі моделей прибутку минулих періодів враховується комерційна рентабельність проекту перевезень та зміна грошової маси в часі (дисконтування,

компаундування) [9]. Однак, вартісні моделі прийняття рішень не відображають техніко-технологічну сторону інновацій, оскільки мають ряд недоліків. У літературі [10] для визначення критеріїв ефективності використовують дві групи методів: статичні (прості) та динамічні (методи дисконтування). Перші мають простий алгоритм розрахунку і можуть бути використані для швидкої оцінки проекту. Однак ці методи мають такі недоліки: вони не враховують майбутню вартість грошей і сильно залежать від нормативної економічної ефективності. Друга група методів враховує фактор часу, але вимагає детального прогнозу грошових потоків. Крім того, ці методи не можуть бути використані для вирішення технологічних задач аналізу проектів АП.

Слід також зазначити, що існуючі методи проектного аналізу були прийняті за аналогією з іншими сферами матеріального виробництва (непарадоксальними) без урахування вищезгаданих особливостей засобів праці та способу виробництва. З іншого боку, ці методи також не враховують суті процесу створення продукту, оскільки розглядають лише акти його споживання. Вони також не враховують фізичні явища перетворення енергії під час складного руху транспортних засобів по дорожній мережі, які визначають транспортні процеси і визначають матеріальну сутність технологій. Можна зробити висновок, що існуючі методи аналізу конструкцій транспортних засобів можуть бути використані лише для вирішення економічних та фінансових завдань. У цьому контексті для вирішення задачі техніко-технологічного аналізу проектів АП використовується теорія енерго- та ресурсоефективності АТЗ [15].

Комплексне вирішення задач удосконалення організації і технології перевезень на основі принципів експлуатаційної раціональності технічних і організаційних інновацій представлено у вигляді блок-схеми (рис. 11). Перший етап – це формування блоків вихідних даних. При цьому вихідні дані про організацію доставки, що використовуються в існуючих методиках, доповнюються даними, які враховують технічну і технологічну новизну проектів АП.

Початкова інформація щодо організації доставки включає:  
- вид вантажу (відповідно до класифікації вантажу);

- тип контейнера, пакування і методи консолідації вантажних місць, які мають велике значення для планування і організації процесів завантаження і розвантаження у вантажовідправника і вантажоодержувача, а також для обліку і перевірки кількості вантажу;
- довжину ділянок маршруту перевезення;
- розташування вантажовідправників, вантажоодержувачів, терміналів, проміжних пунктів і відстані між ними;
- інформація про можливі обмеження руху на певних ділянках маршруту з метою розробки альтернативних варіантів.

Вихідні дані для аналізу транспортних технологій включають:

1. Конкуруючі варіанти конструкції АТЗ. Для розробки конкуруючих варіантів конструкції АТЗ використовується схема його модульної структурно-параметричної організації. Послідовно змінюючи значення різних характеристик модулів транспортного засобу, отримуємо ряд варіантів конструкції транспортного засобу.

2. Розподіл пробігу АТЗ при різних режимах руху. Останнім часом на практиці все частіше використовується транспортна схема, при якій міжнародна доставка і доставка до одержувачів здійснюється одним і тим же транспортним засобом. У зв'язку з цим збільшується час експлуатації транспортних засобів в міських умовах, які відрізняються від магістральних доріг (особливо з точки зору тривалості циклу). Оскільки експлуатація транспортного засобу в різних умовах впливає на його енергоефективність, до вихідних даних додається блок інформації про розподіл пробігу транспортного засобу в різних режимах руху (міський та магістральний).

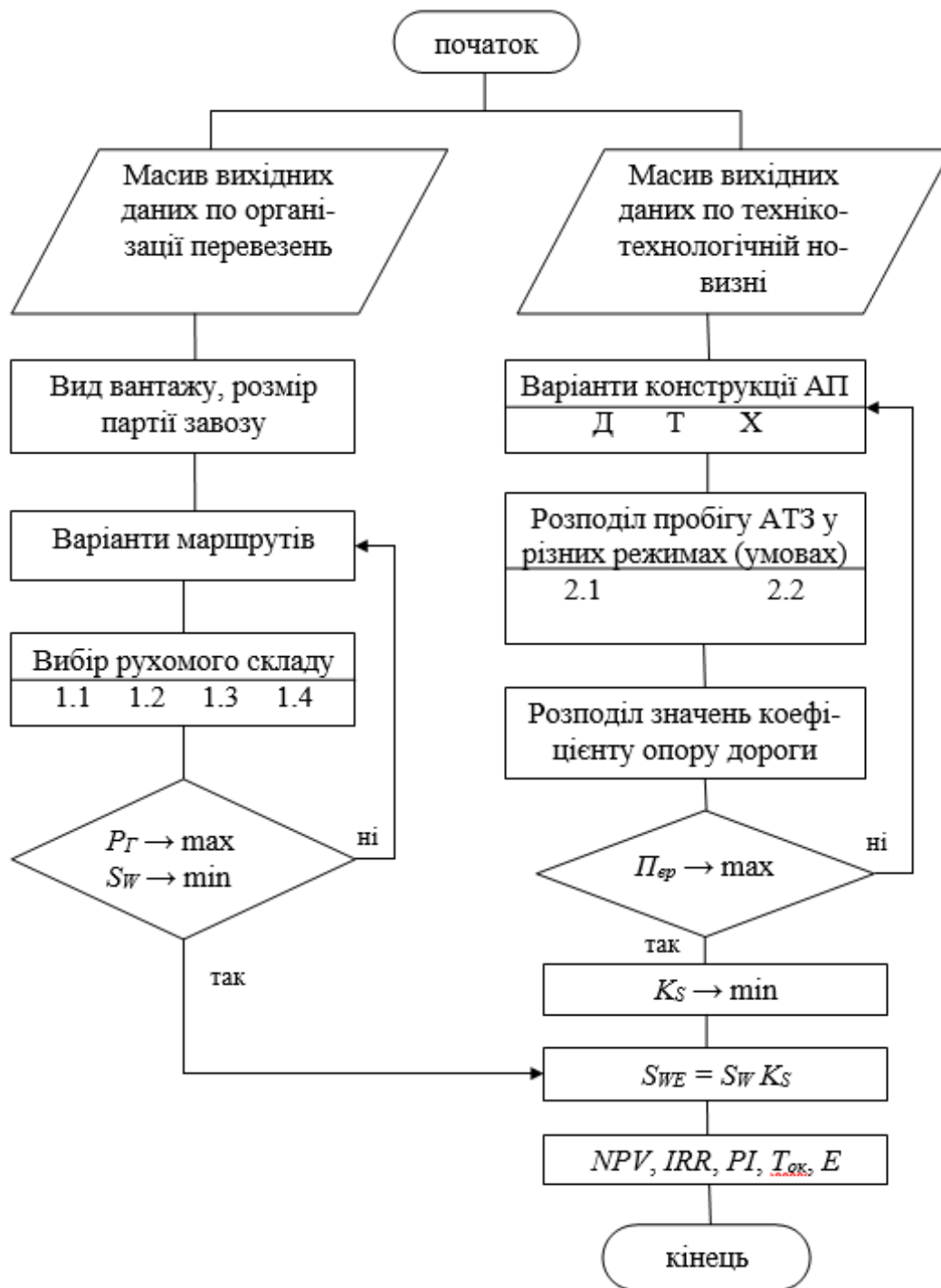


Рисунок 11 – Блок-схема розв'язання задачі обґрунтування організаційно-технологічних проектів вантажних автомобільних перевезень

На рисунку використані наступні позначення:

- 1.1 – вантажопідйомність АТЗ;
- 1.2 – вид кузова;
- 1.3 – вид АТЗ;

1.4 – модульна структура АТЗ;  
Д – двигун;  
Т – трансмісія;  
Х – ходова частина;  
2.1 – міський режим;  
2.2 – магістральний режим;  
 $P_T$  – годинна продуктивність АТЗ;  
 $S_W$  – собівартість перевезень;  
 $P_{ep}$  – показник енергетичної ефективності АТЗ;  
 $K_S$  – енергетичний коефіцієнт собівартості;  
 $S_{WE}$  – енергоеквівалентний показник собівартості;  
 $NPV$  – чиста теперішня вартість;  
 $IRR$  – внутрішня норма рентабельності;  
 $PI$  – індекс прибутковості;  
 $T_{ок}$  – період окупності проекту;  
 $E$  – енергоресурсозберігаючий ефект.

3. Розподіл значень коефіцієнту опору дороги. Під час перевезення від вантажовідправника до вантажоодержувача транспортний засіб поступово проходить всі ділянки маршруту, кожна з яких характеризується різним станом дорожнього покриття. Як вже зазначалося, характеристики дорожнього покриття впливають на показники транспортно-технологічної якості транспортного засобу. Тому для аналізу технічної та технологічної новизни проектів АП необхідно враховувати розподіл значень коефіцієнта дорожнього опору на різних ділянках дороги. У цьому випадку для розрахунків можна використовувати середньозважене значення цього коефіцієнта.

Наступним кроком є визначення оптимального маршруту доставки, необхідної вантажопідйомності транспортного засобу та його експлуатаційних показників (годинна продуктивність, собівартість 1 ткм транспортної роботи). Також на цьому етапі аналізуються різні варіанти конструкції транспортного засобу для заданих умов та обирається той, який максимізує показник енергоефективності  $P_{ep}$  [11]. На третьому етапі визначаються

енергетичний коефіцієнт собівартості  $K_s$  та енергоеквівалентна собівартість  $S_{WE}$  перевезень, які характеризують ефективність технічних і технологічних інновацій [12]. Заключним етапом є проектний аналіз АП. На цьому етапі визначаються фінансові показники, що характеризують організацію доставки вантажів та комерційну доцільність проекту АП [13].

Таким чином, розроблена методика є доповненням до існуючих методів обґрунтування та вибору РС. При вирішенні організаційних питань вантажних перевезень енергетичні коефіцієнти математичних моделей не враховуються (вони приймаються рівними одиниці). При вирішенні завдань удосконалення технологій АП ці коефіцієнти враховуються. Іншими словами, представлена методика дозволяє реалізувати більш загальний підхід до вирішення задачі підвищення ефективності автотранспортних технологій.

Останніми роками при аналізі економічної ефективності використання складної техніки набули поширення методи, що базуються на визначенні вартості життєвого циклу. Це пов'язано з тим, що сучасні умови розвитку економіки характеризуються кризовими явищами, зростанням інфляції та індексів цін, зміною банківських процентних ставок тощо [9]. Витрати на експлуатацію транспортного засобу змінюються з часом. У зв'язку з цим ефективність інвестицій в оновлення (заміну) транспортних засобів визначають на основі вартості їх життєвого циклу, використовуючи метод приведення майбутніх витрат до базової дати (як правило, до першого року експлуатації). Однак ці методи базуються на моделюванні минулих прибутків та очікуваних обсягів перевезень, тому вони не дозволяють оцінити технічні та технологічні інновації при обґрунтуванні проектів оновлення (заміни) транспортних засобів. У зв'язку з цим у цій роботі розроблено методику для вирішення цієї задачі, яка долає вищезазначені недоліки. Реалізація методики передбачає послідовне вирішення завдань, які зведені до трьох етапів (рис. 12).

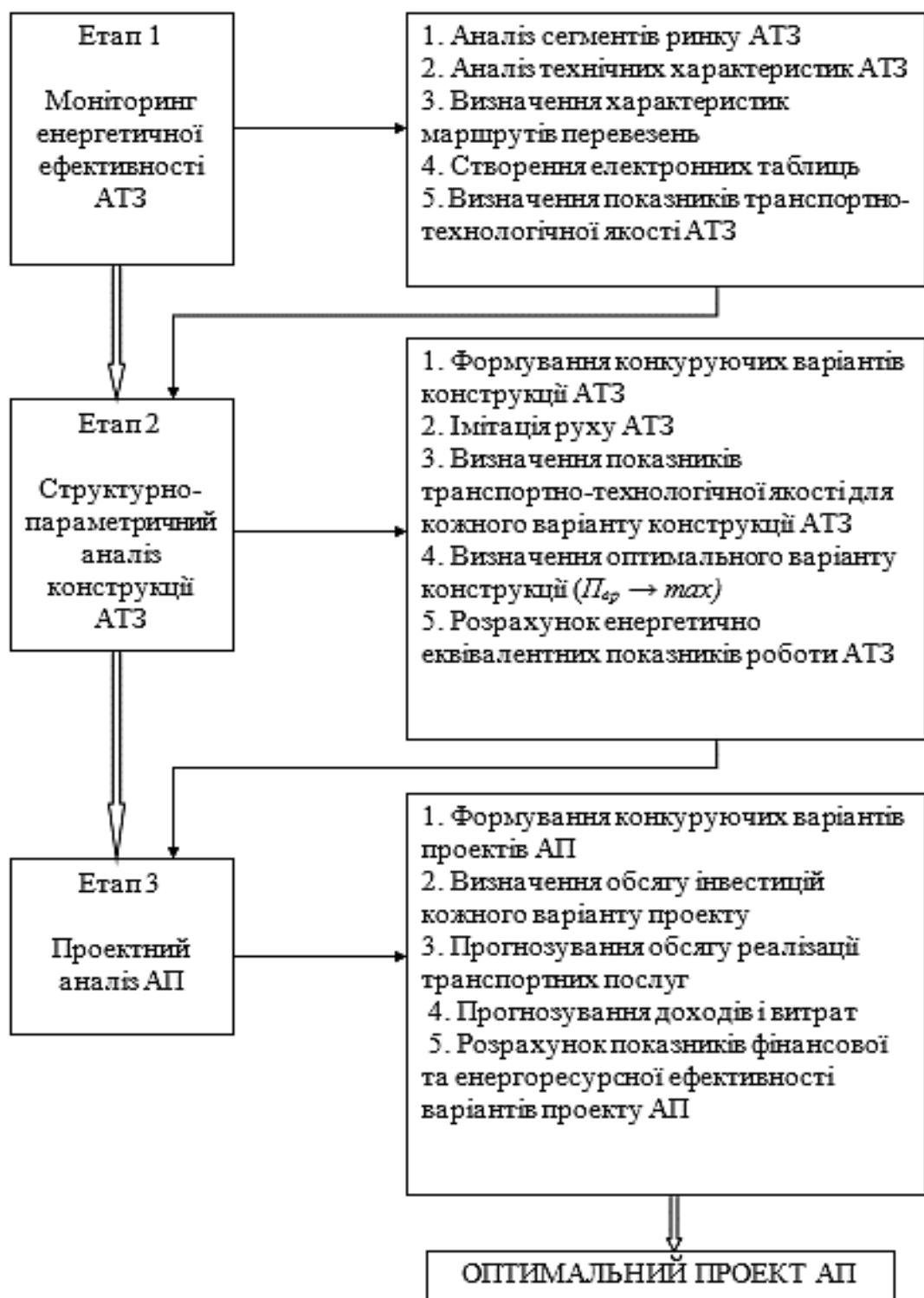


Рисунок 12 – Методика обґрунтування майбутніх проектів автомобільних перевезень

Перший етап – це моніторинг енергоефективності транспортних засобів. Мета моніторингу – визначення і прогнозування відповідності конструктивних параметрів транспортних засобів, представлених на

ринку, вимогам енерго- і ресурсозберігаючих автотранспортних технологій. У цьому контексті на цьому етапі збирається технічна інформація про нові моделі транспортних засобів, аналізуються їхні технічні характеристики та визначаються особливості маршрутів перевезень.

Для забезпечення порівняльного аналізу споживчих якостей і характеристик АТЗ у межах сегментів ринку розроблено таблиці з використанням програмного пакету EXCEL. Основним призначенням цих таблиць є запис, зберігання і автоматизація розрахунку показників транспортно-технологічної якості АТЗ, а також систематизація детальних характеристик для обґрунтування нового РС. Для цього розроблено математичні моделі показників енергоефективності  $P_{ep}$  та результативності технологічних впливів  $TB$ , які використовуються для класифікації АТЗ з точки зору їх придатності до енергозберігаючих транспортних технологій.

Ці таблиці використовуються для створення вихідних даних для другого етапу дослідження – структурно-параметричного аналізу конструкції транспортного засобу. Метою цього етапу є визначення закономірностей впливу параметрів конструкції транспортного засобу, умов перевезень та характеристик доріг на показники якості перевезень та технології. Для цього за допомогою електронних таблиць створюються конкуруючі варіанти конструкції транспортного засобу та моделюються шляхом імітації руху транспортного засобу відповідно до заданого плану експлуатації. Потім розраховуються транспортно-технологічні показники якості для кожного варіанту конструкції транспортного засобу та визначається варіант, який максимізує енергоефективність транспортного засобу ( $P_{ep} \rightarrow \max$ ). Для цього оптимального варіанту визначаються показники ефективності транспортного засобу на розрахунковому маршруті в енергетичному еквіваленті. Ці дані також можуть бути використані на наступному етапі дослідження.

Заключним етапом є проектний аналіз АП, метою якого є порівняння альтернативних рішень і проектів та розробка оптимального проекту в умовах обмежених ресурсів. На першому етапі

формується конкуруючі (альтернативні) варіанти проекту АП, що відрізняються організаційними та/або техніко-технологічними характеристиками. Для кожного з варіантів визначається рівень інвестицій, необхідний для реалізації проекту. Потім прогнозується обсяг реалізації транспортних послуг. Для цього використовується один з наступних методів:

- 1) простий метод аналізу тренду (на основі поточних і минулих даних);
- 2) метод аналізу частки ринку;
- 3) метод колективного аналізу керівників та спеціалістів (метод експертних оцінок);
- 4) метод розширення ринку;
- 5) метод тестового маркетингу;
- 6) метод статистичного аналізу (заснований на використанні статистичних моделей).

На основі прогнозних цін (тарифів) на вантажні перевезення складається кошторис майбутніх доходів і витрат проекту. Після цього розраховуються фінансові показники та показники енергоефективності проектів АП. Для забезпечення технологічної конкурентоспроможності проекту перевагу слід надавати показникам енергоефективності, тобто оптимальним є проект, який мінімізує енергетичний показник собівартості ( $S_{WE} \rightarrow \min$ ).

Підсумовуючи, можна сказати, що нова методика базується на теорії енерго- та ресурсоефективності в секторі автомобільного транспорту. Це дозволяє аналізувати транспортні процеси не тільки з точки зору їх організації, але й з точки зору технології, вводячи енергетичні коефіцієнти в існуючі моделі показників ефективності вантажних перевезень. Якщо завданням не є аналіз технології перевезень, енергетичні коефіцієнти приймаються рівними одиниці (не враховуються); якщо є необхідність оцінити технологічні інновації в транспортних проектах, ці коефіцієнти враховуються. Цей метод дозволяє більш узагальнено підійти до вирішення задачі підвищення ефективності технологій вантажних перевезень.

## ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що існуючі методи аналізу автомобільних перевезень базуються на розрахункових схемах вантажних перевезень, які використовують вартісний (противитратний) підхід до збільшення їх ефективності. Вадю цих схем є те, що вони враховують лише одну технічну характеристику транспортного засобу – його вантажопідйомність. Однак ринок транспортних засобів пропонує види конструкцій з великим діапазоном зміни їх параметрів, які не враховуються існуючими розрахунковими схемами. Тому вони можуть розв'язувати тільки завдання організації доставки вантажів, а задачі збільшення технологічного рівня транспорту не можуть бути вирішені.

2. На основі теорії енерго- та ресурсоефективності транспортного засобу запропоновано критерії транспортно-технологічної досконалості транспортних засобів, які є показниками енергоефективності транспортного засобу та результативності його технологічного впливу. Ці показники ефективності, на відміну від існуючих, дозволяють врахувати сутність транспортних технологій – сукупність людино-машинних впливів спорядженого транспортного засобу на вантажні маси при створенні транспортної продукції, а також науковий опис цих впливів. Для аналізу впливу конструктивних параметрів, умов транспортування та характеристик доріг розроблено модульну схему структурно-параметричної організації транспортного засобу загального типу та енергетично адаптовану схему транспортного процесу, яка передбачає порівняння енергетичних характеристик конкретного транспортного засобу з енергетичними характеристиками еталонного прототипу.

3. Розроблено розрахункову схему тестової рухової операції перевезень, що розглядає процеси трансформації енергії і ресурсів на автомобільному транспорті. Вона забезпечує реалізацію нового підходу до вибору транспортних засобів з урахуванням дослідження впливу низки чинників (конструкція, експлуатація, дорога) на енерго- та ресурсоефективність транспортного засобу.

4. Запропоновано удосконалену методику проектного аналізу автотранспортних засобів, яка враховує їх технічні та технологічні інновації за критеріями енерго- та ресурсоефективності. Дана методика дозволяє врахувати не тільки динаміку фінансових характеристик з часом, але й технічні особливості транспортного засобу. При цьому запроваджено загальний методичний підхід до розв'язання складних організаційно-технологічних завдань з покращення перевезень. Він дає можливість поєднати переваги від покращення організації перевезень за вартісними критеріями та створення перспективного рухомого складу за енергетичними критеріями. Запропоновані в роботі математичні моделі можуть бути використані в подальшому для комплексного вирішення проблем організації перевезень та вдосконалення технологій АП.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Хмельов І. В. Методика маркетингового аналізу параметрів автопоїздів для міжнародних вантажних перевезень. *Проблеми транспорту : зб. наук. праць*. Київ, 2007. № 4. С. 20 – 22.
- [2] Воркут А. И. Грузовые автомобильные перевозки. Київ : Вища школа, 1986. 447с.
- [3] Хмельов І. В. Підвищення енергоресурсної ефективності вантажних міжнародних автомобільних перевезень: дис. ... кандидата техн. наук : 05.22.01. Київ : НТУ, 2009. 190 с.
- [4] Хабутдінов Р. А. Концептуальна характеристика транспортної системи та її інтегративної властивості. *Управління проектами, системний аналіз і логістика*. 2006. № 3. С. 153 – 157.
- [5] Хабутдінов Р. А., Коцюк О. Я. Енергоресурсна ефективність автомобіля. Київ : УТУ, 1997. 137 с.
- [6] Автомобілі. Теорія експлуатаційних властивостей : навчальний посібник / В. В. Біліченко, О. Л. Добровольський, В. О. Огневий, Є. В. Смирнов. Вінниця : ВНТУ, 2017. 163 с.
- [7] Кисликов В. Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. Київ : Либідь, 2006. 400 с.
- [8] Економіка міжнародних транспортних перевезень / М. І. Данько та ін. Харків : Олант, 2004. 352 с.
- [9] Воркут Т. А. Проектний аналіз. Київ : Український центр духовної культури, 2000. 440 с.
- [10] Пелихов Е. Ф. Экономическая эффективность инноваций. Харків : НУА, 2005. 171 с.
- [11] Хмельов І. В. Методика аналізу придатності автопоїздів до енергозберігаючих технологій міжнародних вантажних перевезень. *Вісник Національного транспортного університету*. 2006. Вип. 13, ч. 2. С. 216 – 219.
- [12] Хмельов І. В., Гальона І. І., Даниленко І. В. Метод аналізу енергетичної ефективності транспортних операцій. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. *Наук. журнал*. Київ : НТУ, 2023. Вип. 1 (55). С. 287 – 294.

- [13] Хмельов І. В. Методика проектного аналізу оновлення рухомого складу за енергетичним критерієм. *Збірник доповідей 9 міжнародної науково-практичної конференції «Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики»*. – Київ : Автоекспо. 2007. С. 201 – 204.
- [14] Хмельов І. В. Метод техніко-технологічного аналізу автомобілів з урахуванням еволюції їх конструктивних параметрів. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні : Науковий журнал*. – Запоріжжя : Національний університет «Запорізька політехніка», 2021. Вип. 2. С. 81 – 85.
- [15] Хмельов І. В. Аналіз транспортно-технологічної якості автобусів. *Актуальні напрями розвитку технічного та виробничого потенціалу національної економіки : монографія / за ред. В. О. Пінчук, Г. С. Прокудіна*. Дніпро : Пороги, 2021. С. 277 – 282.

# Дослідження чинників впливу на формування пасажиropотоків залізничних приміських перевезень

Тетяна Грушевська

*Державний університет інфраструктури та технологій  
м. Київ, Україна*

## I. АНАЛІЗ ЧИННИКІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПАСАЖИРОПОТОКИ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПРИМІСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Приміські пасажирські перевезення займають важливе соціальне значення і є ключовим сегментом конкурентного ринку транспортних послуг [1]. Це особливо помітно в умовах великих міст, де приміські залізничні перевезення часто конкурують із маршрутними таксі, які пропонують вищий рівень сервісу за схожою вартістю проїзду. Концентрація таких перевезень у мегаполісах та постійне зростання пасажиропотоків пояснюються розвитком сучасних житлових масивів у приміських зонах, котеджних містечок, що інтенсивно розбудовуються навколо Києва та інших великих міст України, організацією рекреаційних зон та спортивно-оздоровчих комплексів, а також зростанням культурного рівня населення.

Сучасні великі міста та міські агломерації стикаються з численними викликами, пов'язаними з ефективною організацією транспортних систем. Серед ключових аспектів транспортного обслуговування мегаполісів є забезпечення належної роботи приміського пасажирського транспорту, який пов'язує центри міст з прилеглими населеними пунктами. Зростання чисельності населення, розвиток приміських зон та зростаючий попит на перевезення вимагають нових підходів до планування та організації таких транспортних систем.

Математичні моделі є потужним інструментом для вирішення завдань оптимізації транспортних потоків, мінімізації витрат на

перевезення та підвищення якості транспортного обслуговування. Вони дозволяють оцінити фактори, що впливають на пасажиропотоки залізничних приміських перевезень, аналізувати різноманітні аспекти транспортних систем, прогнозувати їх розвиток та приймати обґрунтовані управлінські рішення.

Для поїздок у приміському сполученні пасажирів постійно обирають між різними видами транспорту, такими як маршрутні автобуси, таксі, залізничний транспорт або особисті автомобілі. Вибір залежить від низки факторів, що приваблюють або відштовхують пасажирів: час у дорозі, зручність графіків відправлення та прибуття на основні та проміжні станції, комфорт перевезення, вартість проїзду, безпека, незалежність від погодних умов, а також початкові й кінцеві витрати часу, пов'язані з організацією поїздки. З огляду на сучасні тенденції розвитку приміських пасажирських перевезень, важливо враховувати ймовірність вибору пасажиром виду транспорту в умовах конкурентного ринку.

Розвинута залізнична мережа України, що вирізняється високими провізними можливостями, регулярністю та універсальністю перевезень, забезпечує надійність, незалежно від сезону чи кліматичних умов. В умовах жорсткої конкуренції це підкреслює важливість залізничних пасажирських приміських перевезень для транспортного обслуговування великих міст.

Пасажиропотоки залізничних приміських перевезень залежать від низки факторів, які впливають на попит на транспортні послуги в регіоні, розвиток інфраструктури та загальну соціально-економічну ситуацію. Розглянемо фактори, які змінюють обсяги перевезень та структуру пасажиропотоків. Потреби пасажирів можуть бути згруповані та візуалізовані у вигляді піраміди, подібної до «піраміди Маслоу». Практика показує, що коли базові вимоги, такі як безпека та швидкість, на нижніх рівнях піраміди задовольняються належним чином, фокус клієнтів зміщується до потреб на вищих рівнях. Вершина піраміди відображає більший акцент на зручності, комфорті та загальному клієнтському досвіді при використанні транспорту [2].

Ілюстрація з джерела також показує піраміду, аналогічну «піраміді потреб» Маслоу, яку можна назвати «Піраміда потреб пасажира» [2]. Піраміда потреб пасажира представлена на рис. 1.

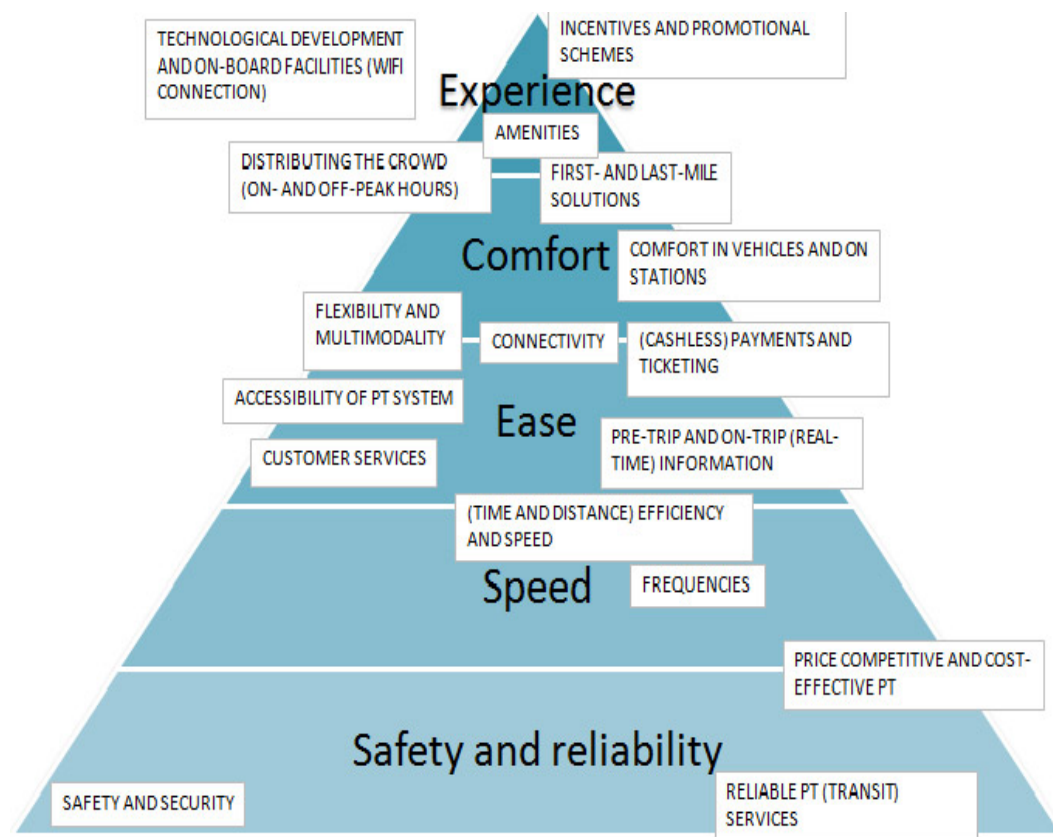


Рисунок 1 – Піраміда потреб пасажира

Цю піраміду можна описати наступним чином (рухаючись знизу до вершини).

Пасажирський транспорт повинен забезпечувати користувачеві (назви «поверхів»): безпеку та надійність; швидкість; простоту використання; комфорт; позитивний досвід, щоб пасажир мав бажання знову скористатися цим транспортом.

Що саме потрібно пасажиру від транспорту, щоб знову обрати його? Ось «таблички» з назвами на поверхах:

1. Надійні послуги перевезень, які пропонує транспорт.
2. Безпека транспорту та пасажирів.
3. Цінова конкурентоспроможність та економічна ефективність (співвідношення «ціна/якість» послуг).

4. Частота руху.
5. Просторово-часова ефективність та швидкість.
6. Послуги для пасажирів.
7. Інформація перед поїздкою та в процесі подорожі (в реальному часі).
8. Доступність транспортної системи.
9. Безготівкові розрахунки та продаж квитків.
10. Колективність системи транспорту (здатність зв'язуватися з іншими системами або ж бути зв'язаною з іншими системами).
11. Гнучкість та мультимодальність.
12. Рішення проблем «першої та останньої милі».
13. Зручності.
14. Уникнення скупчень пасажирів (в пікові години).
15. Схеми стимулювання та пропозиції.
16. Технологічні можливості (Wi-Fi та інші послуги), доступні в поїзді.

Проаналізуємо фактори, що впливають на пасажиропотоки залізничних приміських перевезень, приведені на рис. 2.

Щодо мультимодальності, варто зазначити, що термін «мультимодальні перевезення» стосується перевезення, яке здійснюється двома або більше видами транспорту під управлінням одного оператора мультимодальних перевезень за єдиним контрактом. Наприклад, це може бути «єдиний квиток» на різні види транспорту з однією ціною.

Мультимодальні пасажирські перевезення пропонують більш гнучку та зручну систему для пасажирів, а для перевізників вони створюють можливість переходу від конкуренції між видами транспорту до співпраці. Це, в свою чергу, призводить до синергетичного ефекту у вигляді підвищення якості транспортних послуг і збільшення доходів перевізників.

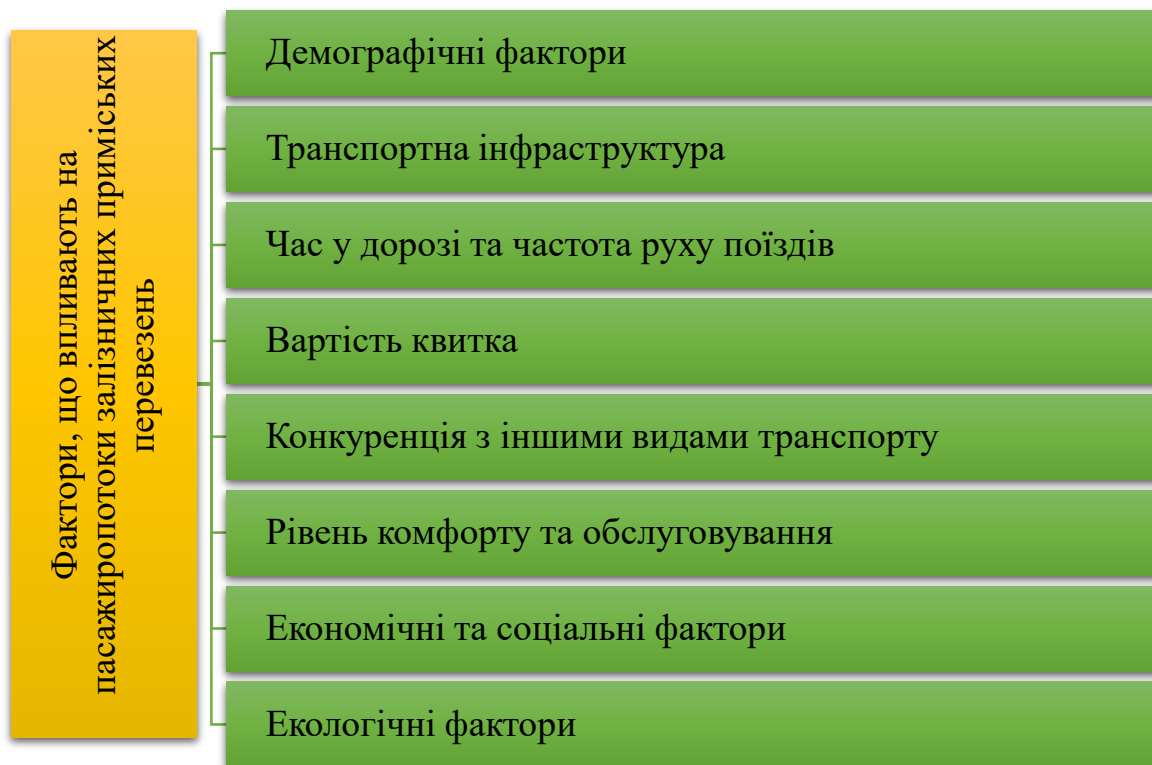


Рисунок 2 – Фактори, що впливають на пасажиропотоки залізничних приміських перевезень

Демографічні фактори відіграють важливу роль у формуванні пасажиропотоків залізничних приміських перевезень. Вони впливають на кількість потенційних пасажирів, їхню мобільність, частоту користування послугами транспорту та загальний попит на перевезення. Детальний аналіз цих факторів допомагає зрозуміти, як зміни в структурі населення можуть змінювати обсяги та динаміку пасажиропотоків.

Загальна чисельність населення у регіоні обслуговування залізниці є основним чинником, що впливає на попит на приміські перевезення. Чим більше людей проживає в передмістях чи на околицях великих міст, тим більше пасажирів може користуватися приміськими поїздами.

Зростання населення в агломераціях, зокрема через міграцію до міст, збільшує пасажиропотоки, оскільки залізничні перевезення часто

є основним видом транспорту для щоденних поїздок на роботу та навчання.

Висока щільність населення на приміських територіях стимулює попит на громадський транспорт, оскільки особистий автомобільний транспорт може бути менш зручним через завантаженість доріг.

В районах із низькою щільністю населення залізничний транспорт може мати менший попит, оскільки населення може віддавати перевагу індивідуальному транспорту.

Висока частка працездатного населення у віці від 18 до 60 років зазвичай сприяє зростанню пасажиропотоків. Працюючі люди регулярно користуються приміськими поїздами для поїздок на роботу, особливо в години пік. Чим більше працюючих мешканців у передмісті, тим більший попит на регулярні перевезення. Люди, що проживають у передмісті, як правило, зберігають місце роботи в центральних районах міста, що стимулює попит на регулярні поїздки.

Молоді люди, зокрема студенти, часто користуються громадським транспортом, оскільки мають обмежені фінансові ресурси на володіння власним транспортом. Студенти, які проживають у передмістях, але навчаються у великих містах, також збільшують пасажиропотоки в години навчального дня. Старше покоління: зі збільшенням частки осіб похилого віку може змінюватися структура попиту на перевезення. Пенсіонери менш часто користуються транспортом у години пік, проте для них важлива наявність зручного та доступного транспорту для поїздок до медичних закладів, магазинів чи для особистих справ. Для цієї групи населення важливо забезпечити комфортні умови пересування.

За даними Головного управління статистики у Київській області [3], у 2022 році автомобільним транспортом було перевезено 52 258 тисяч пасажирів (рис. 3). На сьогодні разом із приміським залізничним транспортом обсяг перевезених пасажирів, а відповідно і ємність ринку приміських та міських пасажирських перевезень у Києві та Київській області, становить приблизно 104 мільйонів пасажирів на рік. Проте, попит на приміські залізничні перевезення значною мірою залишається неплатоспроможним, оскільки більшу частину пасажирів складають

пенсіонери та інші пільгові категорії громадян. Організація цих перевезень повинна з одного боку максимально відповідати потребам пасажирів, а з іншого – забезпечувати ефективне використання транспортних засобів. Проте на практиці не досягається ні одна, ні інша вимога: кількість приміських поїздів скорочується, умови перевезення залишаються незадовільними, і ці проблеми завдають незручностей як пасажирам, так і перевізникам.

На ринку пасажирських перевезень України двома домінуючими видами транспорту є автомобільний і залізничний, кожен з яких займає своє місце («нішу ринку»), взаємодія яких може приймати вид як конкуренції, так і співпраці.

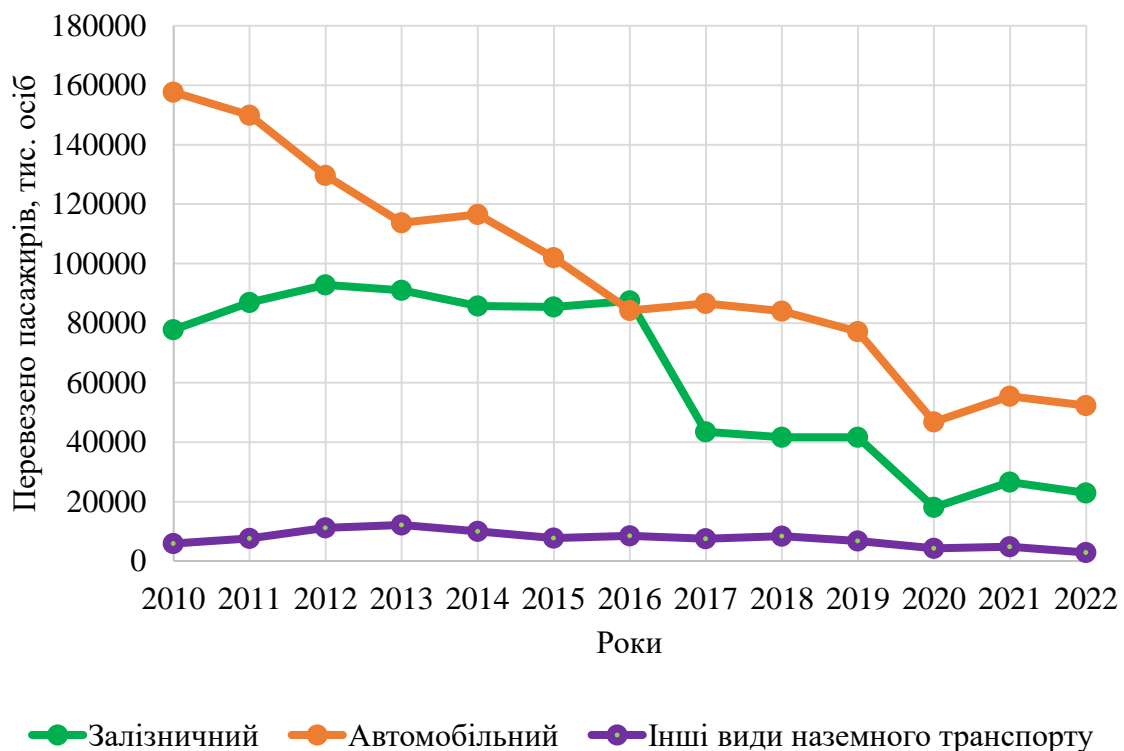


Рисунок 3 – Динаміка перевезень пасажирів різними видами транспорту в межах Київської області за 2010 –2022 роки

Демографічні фактори мають значний вплив на пасажиропотоки залізничних приміських перевезень, оскільки вони визначають кількість, структуру та мобільність потенційних пасажирів. Зміни в чисельності населення, віковій та сімейній структурі, а також міграційні процеси можуть суттєво змінювати потребу в громадському

транспорті, зокрема в залізничних приміських перевезеннях. Розуміння демографічних тенденцій допомагає транспортним компаніям та органам влади планувати розвиток інфраструктури і послуг, що відповідають потребам населення.

Транспортна інфраструктура є одним із ключових факторів, що безпосередньо впливають на обсяги та динаміку пасажиропотоків у залізничних приміських перевезеннях. Якість та ефективність інфраструктури визначають зручність користування залізничним транспортом, час поїздки, безпеку та комфорт пасажирів.

Стан залізничних колій є одним із визначальних факторів розвитку транспортної інфраструктури. Сучасна, добре обслуговувана інфраструктура забезпечує стабільний і безпечний рух поїздів на високих швидкостях, що сприяє зменшенню часу поїздки. У регіонах, де залізнична інфраструктура застаріла або потребує ремонту, відбуваються часті затримки, що знижує привабливість залізничного транспорту для пасажирів. Чим більша протяжність залізничної мережі і чим більше населених пунктів вона охоплює, тим більше пасажирів мають доступ до цього виду транспорту. Якщо залізничні лінії охоплюють ключові міста і передмістя, це сприяє формуванню стабільних пасажиропотоків.

Наявність комфорту на станціях (зали очікування, платформи для маломобільних груп населення, кіоски, місця для паркування велосипедів і автомобілів) сприяє збільшенню пасажиропотоку. На великих вузлових станціях важливо забезпечити швидкий доступ до платформ через ескалатори, травізатори, ліфти та підземні переходи. Добре освітлені станції з розвиненою системою відеоспостереження і охороною сприяють тому, що пасажирів почуваються захищеними і частіше користуються цим видом транспорту, особливо в нічний час.

У великих агломераціях, де більшість людей здійснюють щоденні поїздки на роботу або навчання, невеликі інтервали між поїздами є вирішальним фактором для залучення пасажирів. Приміські поїзди, що курсують рідко або мають нерегулярний графік, можуть не задовольняти потреби пасажирів, що призводить до зниження пасажиропотоків.

Стан рухомого складу має безпосередній вплив на безпеку пасажирів і зниження ризику аварій. Якщо поїзди є застарілими, часто ламаються або не відповідають стандартам безпеки, це може призводити до відтоку пасажирів. А модернізовані та комфортні поїзди, що оснащені кондиціонерами, бездротовим інтернетом, зручними сидіннями та місцями для багажу, навпаки, сприяють привабливості залізничних перевезень. Комфорт під час поїздки, особливо для пасажирів, що здійснюють щоденні поїздки на великі відстані, є важливим фактором, який стимулює вибір залізниці як основного виду транспорту.

Впровадження єдиних квиткових систем, що дозволяють пасажирам користуватися декількома видами транспорту за одним квитком, стимулює попит на залізничні приміські перевезення, роблячи їх частиною інтегрованої транспортної мережі. Сучасні системи продажу квитків через мобільні додатки, термінали або інтернет спрощують процес купівлі квитків, роблячи його швидким і зручним. Це зменшує черги на станціях і дозволяє пасажирам планувати свої поїздки заздалегідь.

Інформаційні системи: Наявність електронних табло з розкладом руху поїздів, мобільних додатків з інформацією про затримки або зміни в розкладі робить користування залізничним транспортом більш зручним. Сучасні інформаційні системи підвищують прозорість роботи залізниці та збільшують довіру пасажирів.

Інтеграція різних видів транспорту забезпечує зручне і швидке пересування, що збільшує пасажиропотоки. Пасажири можуть вибрати комбінований маршрут, де частину шляху долають поїздом, а частину – автобусом чи іншим видом транспорту. Такі інфраструктурні об'єкти як транспортні хаби, забезпечують ефективне пересування пасажирів між різними видами транспорту, включаючи залізничні приміські перевезення. Вони є ключовими вузлами, де інтегруються різні транспортні засоби: залізниця, автобуси, метро, трамваї, автомобільний транспорт і навіть велосипедний. Транспортні хаби суттєво впливають на пасажиропотоки, сприяючи їхньому зростанню та покращенню якості послуг. Забезпечують ефективну взаємодію

кількох транспортних систем та скорочують час пересадок, що робить подорожі більш комфортними і швидкими.

Станції, що є частиною великих транспортних вузлів, де можна пересісти на автобуси, метро, трамваї, підвищують привабливість залізниці для пасажирів. У хабах розміщуються послуги для комфорту пасажирів: інформаційні табло, кафе, магазини, банкомати, термінали для продажу квитків, зони очікування тощо.

Транспортні хаби оптимізують пересадки, що скорочує час подорожі для пасажирів. Завдяки добре організованим пересадкам можна значно зменшити затримки та очікування. Хаби дозволяють розподіляти транспортні потоки, зменшуючи навантаження на центральні райони міст. Це сприяє покращенню транспортної ситуації, зменшенню заторів та загальної екологічної ситуації. Транспортні хаби дозволяють оптимізувати транспортні маршрути, забезпечуючи більш прямі й ефективні сполучення між приміськими районами і центрами великих міст, часто пропонують додаткові послуги (зали очікування, Wi-Fi, термінали для купівлі квитків), що робить поїздки приємнішими та комфортнішими. Це підвищує швидкість обслуговування і збільшує привабливість приміських поїздів. Транспортний хаб однієї із країн Європи представлений на рис. 4.



Рисунок 4 – Транспортний хаб однієї із країн Європи (Центральний вокзал в Амстердамі)

Центральний вокзал в Амстердамі – це один із найбільших транспортних хабів Європи, де поєднуються міжнародні та національні

залізничні лінії, міські трамваї, автобуси, метро та навіть пороми. Така інтеграція різних видів транспорту забезпечує безперебійне пересування пасажирів.

Транспортні хаби є важливими інфраструктурними елементами, що сприяють ефективному переміщенню пасажирів і забезпечують інтеграцію різних видів транспорту. Вони дозволяють оптимізувати пересадки, покращують комфорт та зручність користування залізничними приміськими перевезеннями та сприяють зростанню пасажиропотоків. Інвестиції у розвиток сучасних хабів дозволяють покращити транспортну інфраструктуру і зробити міста більш доступними для мешканців передмість.

Ще одним важливим фактором розвитку приміського залізничного транспорту, який поки що не отримав належної уваги, є розвиток приміської забудови. Розвиток сучасних житлових комплексів у передмісті великих міст є природним результатом економічного зростання. На цей процес впливають численні фактори, серед яких можна виділити як позитивні (створення екологічно чистих житлових зон, зниження транспортного навантаження на місто тощо), так і негативні сторони «субурбанізації» (за аналогією з урбанізацією), такі як підвищене навантаження на природні ресурси і зміна традиційного використання земельних ділянок. Це створює необхідність ретельного планування розвитку міських агломерацій, що включає розміщення нових житлових об'єктів і приміської транспортної інфраструктури [1].

Планування приміських територій має враховувати актуальні тенденції розвитку забудови та відслідковувати їх динаміку. Основні тенденції розвитку ринку котеджної нерухомості включають збільшення кількості та масштабності котеджних містечок, розширення освоєних територій навколо Києва, зростання пропозицій в сегменті економ-класу, а також підвищення вимог до якості інфраструктури та транспортної доступності. Активний розвиток цього ринку частково зумовлений зростанням цін на квартири у Києві. Однак, щоб забезпечити ефективне функціонування котеджних містечок, необхідно приділяти особливу увагу транспортній інфраструктурі. Адже комфорт життя за містом може бути зіпсований тривалими

заторами або затримками на дорозі. В цьому контексті залізничний транспорт виступає оптимальним рішенням завдяки таким характеристикам, як безпека, швидкість, комфорт та доступність вартості послуг.

Якщо розглянути карту розташування котеджних містечок і залізничних ліній, стає очевидним, що більшість містечок розташовані вздовж залізниць Київ-Обухів, Київ-Васильків та Київ-Ірпінь. Це відкриває можливості для підвищення якості приміських залізничних перевезень без необхідності будівництва нових колій.

Розвиток і якість транспортної інфраструктури мають безпосередній вплив на пасажиропотоки залізничних приміських перевезень. Сучасна, добре організована інфраструктура, що забезпечує комфорт, безпеку та зручність пасажирів, сприяє збільшенню кількості користувачів залізничного транспорту. Важливими аспектами є не лише стан залізничних колій і рухомого складу, а й зручність пересадок, інтеграція з іншими видами транспорту та впровадження новітніх технологій.

Час у дорозі, час очікування пасажирів та частота руху поїздів є одними із найважливіших критеріїв при виборі транспорту для поїздок у передмістя [4]. Люди завжди прагнуть мінімізувати час, витрачений на переміщення між роботою, домом, навчанням або іншими важливими місцями. У цьому контексті залізничні перевезення можуть бути більш привабливими порівняно з іншими видами транспорту, особливо у випадках, коли залізничні маршрути пропонують коротший час у дорозі. Завдяки прямим маршрутам, відсутності заторів на дорогах та вищій швидкості руху поїздів, залізничні перевезення можуть забезпечувати швидший спосіб дістатися до пункту призначення порівняно з автомобільним транспортом. Час у дорозі та частота руху поїздів суттєво впливають на вибір виду транспорту, оскільки безпосередньо пов'язані з комфортом, зручністю та ефективністю подорожі. Для багатьох пасажирів важливо мати можливість вибору зручного часу поїздки та мінімізації часу очікування на станції. Висока частота поїздів робить транспортну систему більш гнучкою та зручною для пасажирів. Чим менший

інтервал між поїздами, тим зручніше пасажиром планувати свої поїздки. Якщо поїзди курсують регулярно, з певним тактом (тактовий рух), пасажир може бути менш залежним від точного розкладу і не перейматися через запізнення.

Особливо важливо забезпечити високу частоту руху поїздів в години пік (ранковий і вечірній час), коли найбільша кількість людей користується транспортом для поїздок на роботу або навчання. Недостатня кількість поїздів у ці періоди може призводити до переповнених вагонів, що знижує комфорт поїздок і може зменшити пасажиропотік [6].

Важливим аспектом є синхронізація частоти руху поїздів із розкладом інших видів транспорту (метро, автобуси, трамваї), щоб пасажир міг зручно пересідати без довгого очікування. Це не тільки сприяє збільшенню пасажиропотоку, але й робить залізничні перевезення важливою частиною загальної транспортної системи. Для забезпечення високої частоти руху поїздів потрібні значні інвестиції в закупівлю рухомого складу, обслуговування колій та інфраструктури, а також в оплату праці персоналу. Щоб частота руху поїздів була ефективною, необхідно точне планування графіку, яке враховуватиме час пікових навантажень і потреби пасажирів у різний час доби.

Однією з характерних рис приміських пасажирських перевезень є високий рівень невизначеності та коливання пасажиропотоків, що ускладнює ефективне функціонування системи приміських перевезень [5]. Сучасна організація приміських пасажирських перевезень на залізницях України потребує впровадження системи, здатної адаптувати існуючу технологію до змін на транспортному ринку, з урахуванням специфіки приміських перевезень, зокрема їхньої нерівномірності. Для них характерні виражена сезонна, добова та погодинна нерівномірність пасажиропотоків. Крім того, спостерігається чітка нерівномірність за напрямками, де найбільші потоки зосереджені на маршрутах, що ведуть до великих транспортних вузлів, дачних районів та місць відпочинку.

Також відомо, що для приміських перевезень характерні два пікових періоди пасажиропотоків – ранішній (у бік м. Києва) та

вечірній (виїзд з Києва). На ці періоди припадає близько 90 % всього пасажиропотоку (за напрямками). Саме в такі періоди залізниця може використовувати свою найбільшу технологічну перевагу – забезпечення великої провізної спроможності разом із надійністю сполучень [6]. Для встановлення параметрів накопичення попиту у ранковий період встановлено розподіл пасажиропотоку та накопичення пасажиропотоку, що наведено на рис. 5.

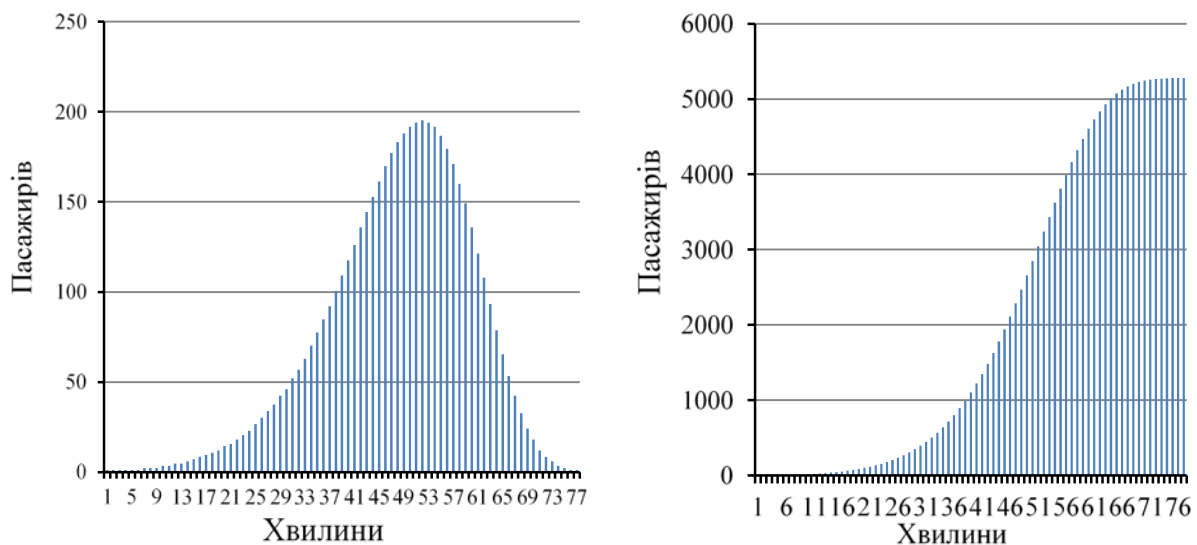


Рисунок 5 – Розподіл пасажирів та щільність накопичення по станції Ірпінь (використано розподіл Вейбула) у ранковий період

Орієнтовна тривалість накопичення попиту складає 75 хв, причому половина потоку накопичується на станціях відправлення за 37 хв.

У вечірній час накопичення попиту підпорядковуються також розподілу Вейбула, але з іншими параметрами, що наведено на рис. 6.

Орієнтовна тривалість накопичення попиту у вечері складає 250 хв, при чому перша половина потоку накопичується до 35 хв, друга половина – за 215 хв.

У передвихідні дні значно зростає кількість пасажирів, які подорожують у вечірні години, що пов'язано з їхніми поїздками до приміських зон для відпочинку та на дачі. У вихідні дні найбільше пасажирів відправляється вранці, а ввечері на головну станцію прибуває велика частина приміського пасажиропотоку. Нерівномірність приміських пасажирських потоків істотно впливає на

необхідну пропускну здатність приміських ділянок, кількість приміських поїздів і потребу в рухомому складі. Тому при подальших розрахунках слід враховувати сезонну, середньотижневу та середньодобову нерівномірність.

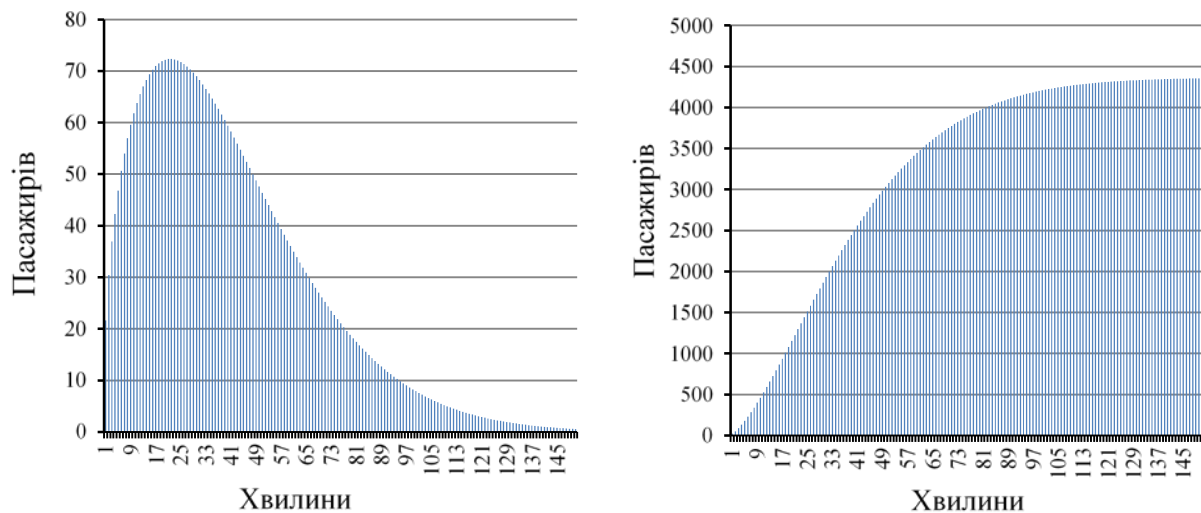


Рисунок 6 – Розподіл пасажирів та щільність накопичення по станції Ірпінь (використано розподіл Вейбула) у вечірній період

Через середньотижневу нерівномірність приміських пасажиропотоків розрахунковими днями приймаються будні та вихідні, враховуючи зростання пасажиропотоків у будні дні та їх зниження на вихідні, окремо для літнього і зимового періодів.

Результати дослідження погодинних коливань приміських пасажиропотоків, що прибувають на головну станцію, встановлених натурно-аналітичним методом були проведені протягом 2021 року та представлені на рис. 7.

Зазначені закономірності приміських перевезень характерні для всіх великих залізничних вузлів, проте особливо яскраво це демонструє графік коливання пасажиропотоку на станції Київ-Пасажирський у Київському залізничному вузлі (рис. 7), який був побудований на основі натурно-аналітичного методу.

Особливу увагу слід приділити погодинній нерівномірності пасажиропотоку протягом доби, що є характерною саме для приміських перевезень. На станції Київ-Пасажирський у напрямку

Фастова було проведено дослідження, яке вивчало формування цієї нерівномірності відповідно до розкладу руху приміських поїздів. Результати дослідження, що відображають погодинний розподіл пасажиропотоку у відносних показниках (порівняно з кількістю сидячих місць у вагонах), за середніми даними жовтня, наведені на рис. 8.

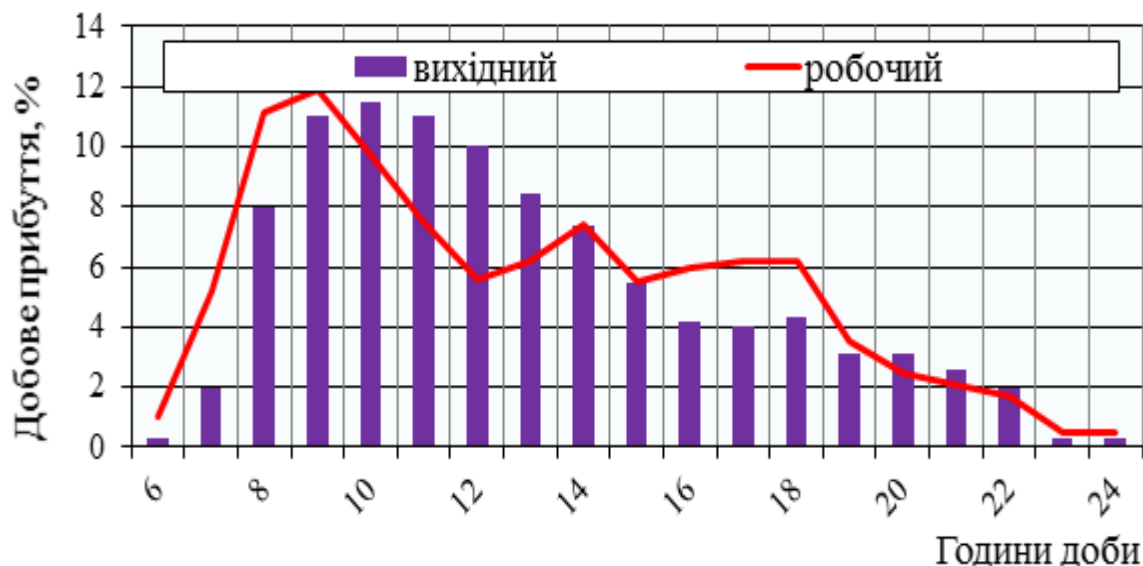


Рисунок 7 – Результати дослідження погодинних коливань приміських пасажиропотоків, що прибувають на головну станцію, встановлених натурно-аналітичним методом

Графік динаміки коливання пасажиропотоку представлений у вигляді діаграми на рис. 8.

Результати дослідження погодинного коливання приміського пасажиропотоку дозволили виявити значну нерівномірність у його розподілі протягом доби. Ця нерівномірність є особливо вираженою в ранкові та вечірні пікові години, коли обсяги перевезень значно перевищують можливості забезпечення комфортних умов проїзду в приміських електропоїздах.

Аналіз погодинного розподілу пасажиропотоку за прибуттям на головну станцію (рис. 8) показав, що найінтенсивніший період перевезень триває з 5 год ранку до 9 год ранку, на який припадає 45% добового пасажиропотоку. Від 9 год ранку до 13 год спостерігається поступове зниження, і частка пасажиропотоку складає 21 % добового

прибуття. Від 13 год до 20 год знову спостерігається зростання інтенсивності перевезень, і частка пасажиропотоку цього періоду становить 34% добового обсягу. Від 22 год до 5 год ранку приміські поїзди не курсують [5].

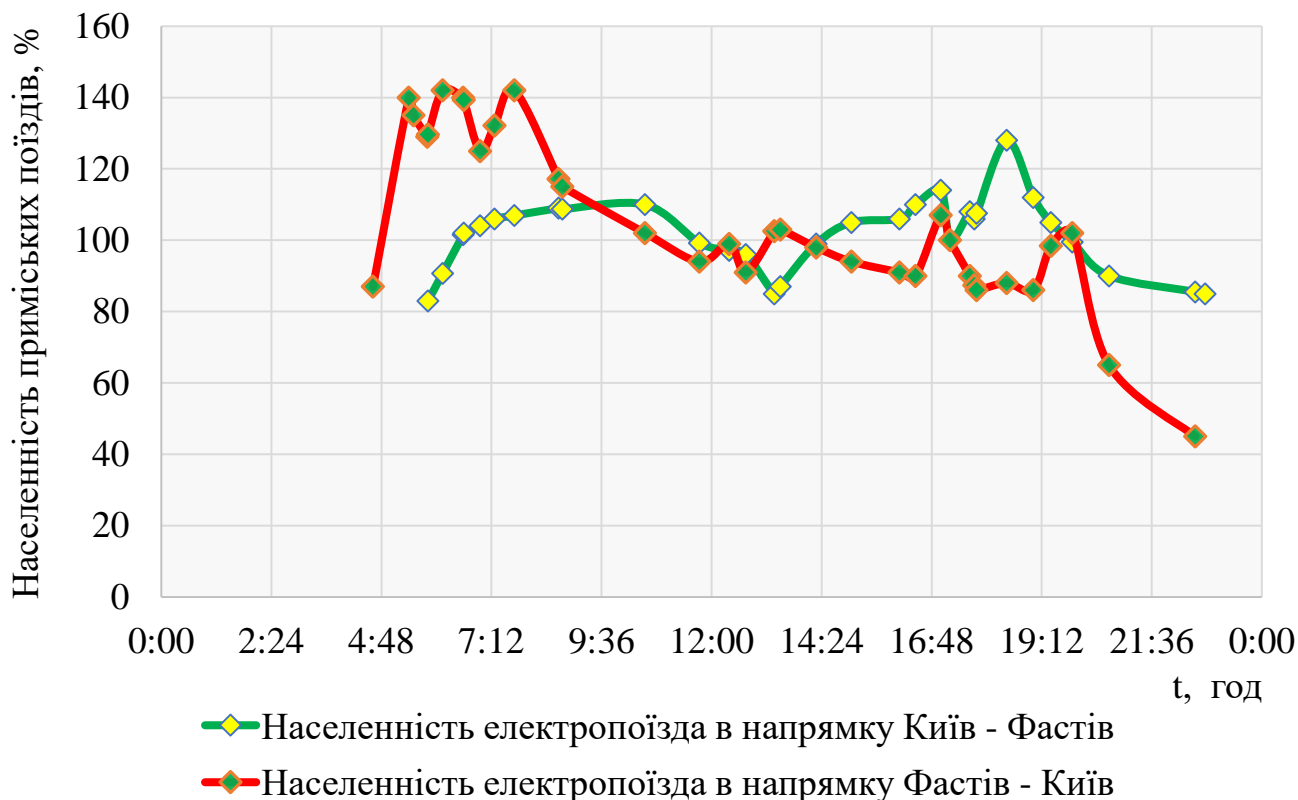


Рисунок 8 – Результати дослідження динаміки погодинного коливання приміського пасажиропотоку у напрямку Київ-Пасажи́рський – Фастів

Дослідження погодинного розподілу пасажиропотоку на відправлення з головної станції у Фастівському напрямку показали, що динаміка має зворотній характер порівняно з прибуттям. Найбільший обсяг пасажирських перевезень припадає на період з 15 год до 19 год, коли 50% добового потоку відправляється зі станції Київ-Пасажи́рський. Ранкове збільшення інтенсивності спостерігається з 6 год до 10 год, досягаючи піку між 7 год та 9 год, і складає 30% добового відправлення. Від 9 год до 13 год кількість пасажирів знижується до 85% від максимальних значень, після чого, з 13 год до 15 год,

відбувається поступове збільшення, яке охоплює 20% добового пасажиропотоку. Частка пасажиропотоку вечірнього пікового періоду з 15 год до 19 год складає 50 % добового відправлення.

Під час пікових годин кількість пасажирів у поїздах на 30 – 40% перевищує номінальну пасажиромісткість, що створює некомфортні умови поїздки. Тому для оцінки умов перевезень у приміських поїздах слід користуватися саме відносними величинами їх населеності [6].

Також у рамках функціонування станції Київ-Пасажирський у Фастівському напрямку було проведено дослідження нерівномірності приміського пасажиропотоку відповідно до розкладу руху приміських поїздів за вересень 2021 року, з розподілом за днями тижня. Результати дослідження представлені у вигляді графіків динаміки коливань приміських пасажиропотоків на рис. 9 та рис. 10.

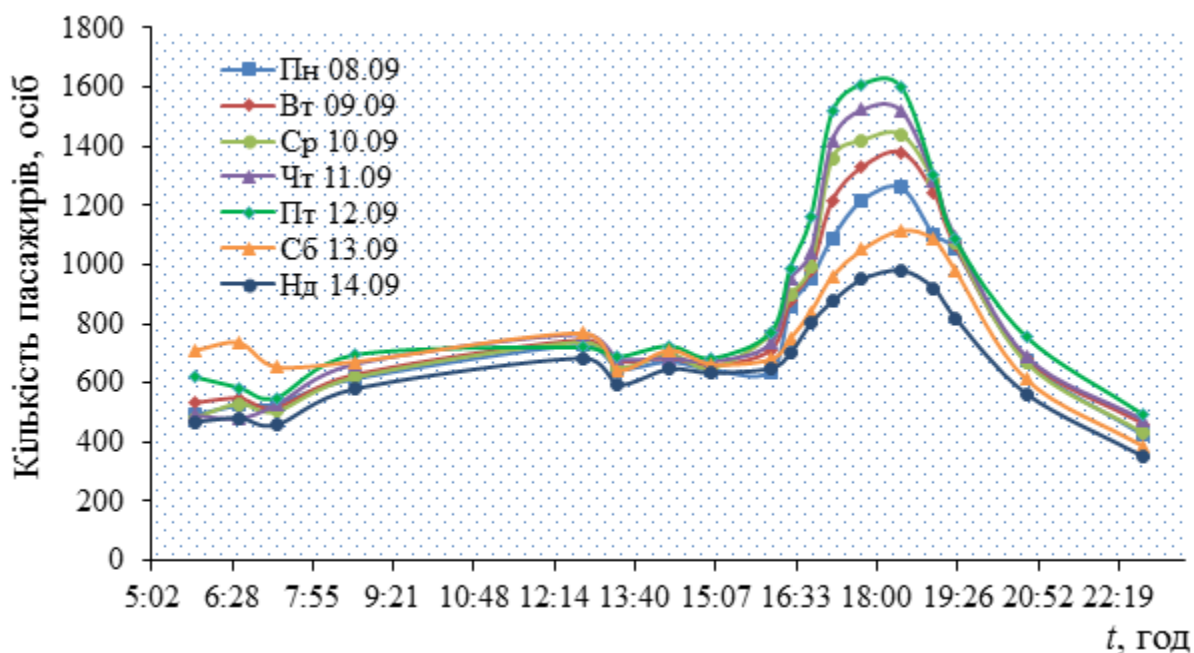


Рисунок 9 – Результати дослідження динаміки відправлення пасажирів у приміському сполученні згідно з розкладом станції Київ-Пасажирський у Фастівському напрямку

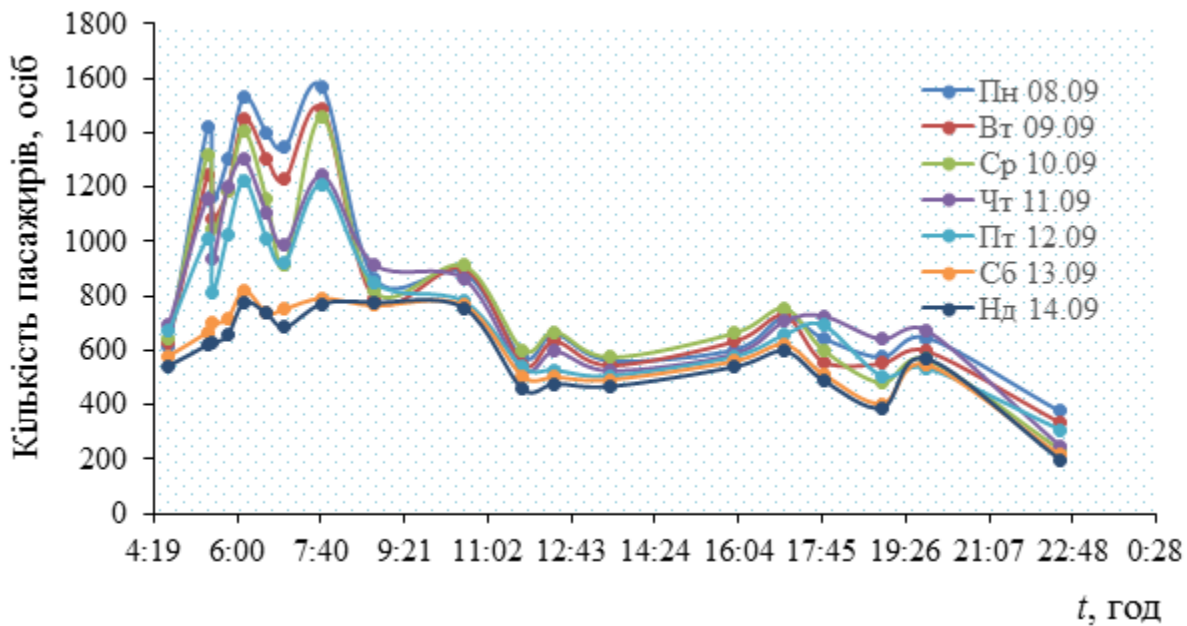


Рисунок 10 – Результати дослідження динаміки прибуття пасажирів в приміському сполученні згідно з розкладом станції Київ-Пасажирський у Фастівському напрямку

Отримані дані про нерівномірність відправлення і прибуття пасажирів можуть бути використані для оптимізації розкладу приміських поїздів організації та роботи кас, оскільки ці параметри залежать від обсягу пасажиропотоку в різні сезони, дні тижня та часу (періоду) доби. Якщо кількість відправлень перевищує реальну потребу, виникає надлишок вільних місць у місцях, що призводить до неефективних витрат. Для уникнення перенаселеності поїздів або їх використання з незаповненими місцями важливо відстежувати коливання пасажиропотоку та коригувати розміри руху на основі статистичних даних і розрахункових даних з поправкою на поточну ситуацію, забезпечуючи задані розміри руху поїздів [5].

Нерівномірний розподіл перевезень створює труднощі для залізниці, ускладнюючи процес організації перевезень і виконання завдань з повного задоволення потреб населення. Це вимагає наявності великих резервів рухомого складу, додаткових трудових ресурсів та пропускної здатності станцій вокзалів та перегонів для освоєння максимальних (пікових) обсягів перевезень.

Час у дорозі та частота руху поїздів є вирішальними факторами, що впливають на пасажиропотоки залізничних приміських перевезень. Вони визначають привабливість цього виду транспорту для користувачів, впливають на комфорт та ефективність пересування, а також забезпечують гнучкість вибору часу поїздки. Оптимізація часу в дорозі та забезпечення регулярного руху поїздів можуть значно підвищити кількість пасажирів і загальну якість обслуговування.

Вартість квитка також впливає на пасажиропотоки залізничних приміських перевезень. Ціна проїзду визначає доступність залізничного транспорту для різних категорій населення та формує попит на послуги. Вартість квитка тісно пов'язана з економічною ситуацією, рівнем доходів населення, а також конкурентоспроможністю залізниці порівняно з іншими видами транспорту [7].

Вартість квитка є вирішальним критерієм для багатьох пасажирів при виборі виду транспорту. Для більшості пасажирів важливо, щоб ціна проїзду не перевищувала їхніх фінансових можливостей. Занадто висока вартість квитка може відштовхнути значну частину населення, особливо тих, хто користується приміськими перевезеннями щодня. Якщо вартість квитка знижується або залишається на низькому рівні порівняно з альтернативними видами транспорту, це стимулює збільшення пасажиропотоку. Пасажири частіше обирають залізницю як дешевший варіант пересування, особливо у випадках, коли регулярні поїздки на автомобілі або автобусі є дорожчими.

Зростання вартості квитка, навпаки, може призвести до зменшення пасажиропотоку, особливо серед людей з низькими доходами або тих, хто регулярно користується залізницею для поїздок на роботу чи навчання. Подорожчання може змусити пасажирів шукати інші, дешевші альтернативи, такі як спільні поїздки автомобілем (BlaBlaCar), маршрутні таксі або автобуси.

У багатьох країнах вартість приміських перевезень регулюється державою. Тарифи можуть бути субсидованими, щоб зробити транспорт доступнішим для населення. Це особливо актуально для приміських маршрутів, які обслуговують пільгові категорії населення.

Державна підтримка допомагає компенсувати частину витрат на утримання інфраструктури та операційні витрати. У випадку відсутності субсидій вартість квитка може значно зрости, що призведе до зниження попиту.

Субсидії мають особливе значення у контексті приміських перевезень, оскільки цей вид транспорту часто використовується соціально вразливими категоріями населення (пенсіонери, студенти, працівники з невисокими доходами). Наявність доступних за ціною приміських перевезень допомагає забезпечити мобільність та доступ до робочих місць, навчальних закладів і медичних послуг.

Окрім субсидій, важливу роль відіграє гнучкість ціноутворення [8]. Це може бути: тарифи на різні класи обслуговування; пропозиція квитків різних класів (економ, бізнес) дозволяє залучати пасажирів із різним рівнем доходу. Це також створює можливості для диференціації послуг, де пасажир може обрати між базовим або більш комфортним варіантом за вищу ціну.

Вартість квитка є важливим фактором, що безпосередньо впливає на пасажиропотоки приміських залізничних перевезень. Її правильне регулювання дозволяє забезпечити доступність залізниці для населення, підтримати стабільність пасажиропотоків та конкурувати з іншими видами транспорту. Ефективне ціноутворення та державна підтримка приміських перевезень можуть забезпечити їхню сталу роботу та розвиток.

Усі ці елементи дозволять комплексно аналізувати фактори, що впливають на пасажиропотоки залізничних приміських перевезень, та представляти їх у візуально доступній формі.

## II. ВПЛИВ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ НА ОРГАНІЗАЦІЮ ПАСАЖИРОПОТОКІВ У ПРИМІСЬКОМУ ЗАЛІЗНИЧНОМУ СПОЛУЧЕННІ

Організація пасажиропотоків у приміському залізничному сполученні є важливою складовою ефективної роботи транспортної системи. Вона безпосередньо залежить від якості та розвитку

транспортної інфраструктури, а також від впровадження сучасних технологій, що забезпечують комфортні умови для пасажирів і високу ефективність перевезень.

Сучасні тенденції в транспортній галузі орієнтовані на впровадження інноваційних рішень, спрямованих на оптимізацію пасажиропотоків. До таких рішень належать автоматизація процесів, впровадження систем управління пасажирським рухом та інтелектуальних систем відстеження поїздів, що дозволяють швидко реагувати на зміни у пасажирському попиті.

Транспортна інфраструктура в цьому контексті є базовим елементом, оскільки вона визначає можливості та обмеження для організації пасажиропотоків. Шляхи сполучення, залізничні станції, транспортно-пересадочні вузли та рухомий склад є ключовими факторами, що впливають на пропускну спроможність транспортної системи та зручність для пасажирів. Водночас рівень розвитку інфраструктури безпосередньо впливає на час подорожі, регулярність руху та доступність транспорту для різних категорій населення [9].

Нині транспортна інфраструктура країни потребує реконструкції та реформування, що передбачає модернізацію транспортно-пересадочних вузлів (ТПВ), вокзалів та рухомого складу, а також необхідність значних інвестицій у технічну та технологічну складові пасажирських перевезень.

Аналізуючи вплив транспортної інфраструктури, важливо враховувати технологічні зміни, які відбуваються у галузі. Сучасні інформаційно-комунікаційні технології дозволяють не лише покращити управління пасажиропотоками, а й підвищити рівень безпеки та комфорту під час подорожі. Транспортна інфраструктура забезпечує взаємодію між різними видами транспорту, дозволяє ефективно керувати транспортними потоками, а також створює умови для розвитку логістики та перевезень. Функціонування всіх видів транспорту спрямоване на задоволення потреб регіонів країни, тому збільшення пасажиропотоків на залізничному транспорті вимагає впровадження комплексних транспортних послуг із відповідним рівнем сервісу [10].

Розвиток транспортної інфраструктури та впровадження сучасних технологій є ключовими чинниками для підвищення ефективності роботи приміського залізничного транспорту та забезпечення стабільного зростання пасажиропотоків, що забезпечують ефективність організації пасажиропотоків у приміському залізничному сполученні. В сучасних умовах зростання мобільності населення питання оптимізації транспортних процесів набуває особливої актуальності. Вдосконалення інфраструктурних об'єктів і застосування інноваційних технологічних рішень не тільки підвищує підвищення якості транспортних послуг, а й впливає на зручність, швидкість та безпеку перевезення пасажирів [11, 12].

З огляду на накопичений досвід вітчизняних та закордонних залізниць, саме у сфері регіональних і приміських залізничних перевезень може виникати серйозна конкуренція між перевізниками різних форм власності: державної, приватної та змішаної. Для того, щоб майбутні залізничні компанії, які займаються приміськими перевезеннями, могли залишитися конкурентоспроможними, важливо проводити дослідження щодо розробки впливу технологій та організаційних рішень на обсяги перевезень в умовах конкуренції, а також методи їх реалізації [12].

Приміське залізничне сполучення є важливою частиною міської та міжміської транспортної системи, яка забезпечує переміщення мільйонів пасажирів щоденно. Головна проблема полягає у забезпеченні швидкого, зручного та безпечного транспортування пасажирів у години пік, коли навантаження на інфраструктуру досягає максимуму.

Одним із ключових факторів є ефективне використання пасажирського рухомого складу, а також підвищення рівня комфорту та зручностей для пасажирів.

Пропускна здатність інфраструктури також має суттєвий вплив на технологію та організацію пасажиропотоків у приміському залізничному сполученні. Залізничні колії – це основний елемент інфраструктури, що визначає, скільки поїздів може курсувати одночасно на певній ділянці. Пропускна здатність залізничних колій,

станцій та вокзалів визначає максимальну кількість пасажирів, яку може обслуговувати система протягом певного часу. Недостатня пропускна здатність призводить до затримок, збільшення інтервалів між поїздами, скупчення пасажирів на станціях та платформах.

Однією з проблем залізничної інфраструктури є недостатня кількість колій на певних ділянках. Рішенням може бути додаткове будівництво паралельних колій або підвищення автоматизації руху поїздів для збільшення пропускної здатності.

Наприклад: у Великій Британії реалізується проект High Speed 2 (HS2), що передбачає будівництво нових швидкісних залізничних ліній. Це дозволить зняти частину навантаження з основних залізничних магістралей і значно скоротити час пересування між великими містами.

Модернізація станцій може значно підвищити пропускну здатність. Наприклад, будівництво нових платформ або подовження існуючих дозволить одночасно обслуговувати більше пасажирів.

Транспортно-пересадочні вузли та хаби займають важливе місце в раціональній організації пасажиропотоків та мають суттєвий вплив на технологію та організацію пасажиропотоків у приміському залізничному сполученні.

Транспортні хаби (вузли) – це місця, де пересаджуються пасажирів з одного виду транспорту на інший. Їх роль у формуванні пасажиропотоків полягає в забезпеченні зручності пересадок, що скорочує час на пересування та підвищує ефективність системи загалом. Наприклад, транспортно-пересадочні вузли можуть об'єднувати залізничні, автобусні та трамвайні лінії, що забезпечує більшу гнучкість пасажирів у виборі маршруту. Такі вузли значно полегшують організацію пасажиропотоків, адже пасажирів мають можливість швидко переміщуватися між різними маршрутами.

Наприклад: Хаб Чаталлет-ле-Аль у Парижі об'єднує лінії приміських поїздів RER, метро та автобусні маршрути. Це дозволяє легко пересуватися по місту, знижуючи навантаження на дорожню мережу.

Інтеграція залізничного транспорту з іншими видами транспорту (автобуси, метро, велосипедні доріжки) сприяє кращій організації пасажиропотоків. Розробка спільних пересадкових станцій, координація розкладів і спрощення пересадок роблять користування громадським транспортом привабливішим і зручнішим. Відень створив інтегровану транспортну систему, де приміські поїзди, метро та трамваї працюють в єдиній мережі з єдиною системою оплати. Це значно полегшило переміщення пасажирів по місту та з передмість.

Інформаційні технології мають значний вплив на організацію пасажиропотоків у приміському сполученні, допомагаючи підвищити ефективність перевезень, поліпшити якість обслуговування пасажирів та оптимізувати управління транспортною інфраструктурою. Основними напрямками впливу інформаційних технологій на організацію пасажиропотоків є: автоматизація та управління розкладом руху поїздів, моніторинг та аналітика пасажиропотоків, оптимізація маршрутів та інфраструктури та інше.

Автоматизація та управління розкладом руху поїздів (Traffic Management Systems, TMS) дозволяють оптимізувати маршрути та розклад руху поїздів на основі реальних даних про потоки пасажирів, ситуацію на коліях і погодні умови. Це сприяє зниженню затримок і зростанню ефективності використання інфраструктури.

Інтелектуальні транспортні системи (ITS) використовують аналіз даних для прогнозування пікових навантажень та коригування розкладу у реальному часі [13]. Стратегію регулювання руху поїздів і пасажиропотоку та підхід до оптимізації в режимі реального часу розроблено завдяки інформаційним технологіям на основі ітераційного нелінійного програмування (INP) у поєднанні з релаксацією Лагранжа (LR) у рамках рухомого горизонту (RH) [14]. Реалістичні тематичні дослідження показують, що запропонований підхід може зменшити відхилення поїзда від початкового розкладу, час очікування пасажирів і ризик накопичення пасажирів на платформі приблизно на 84,92 %, 30,34 % і 61,42 % у порівнянні із загальним правилом. Крім того, час обчислення для реалістичного великомасштабного експерименту є прийнятним для реалізації в реальному часі [14].

Сучасні системи автоматизації, такі як European Rail Traffic Management System (ERTMS) та Automatic Train Operation (ATO), дозволяють значно підвищити ефективність управління залізничним рухом, мінімізуючи людський фактор [15]. ERTMS – це система управління рухом поїздів, що дозволяє автоматизувати сигналізацію, зменшувати інтервали між поїздами та підвищувати безпеку. Впровадження ERTMS на швидкісних лініях дозволило збільшити частоту руху поїздів на лінії Париж – Ліон, що значно знизило затримки та підвищило пропускну здатність. Автоматичне регулювання інтервалів між поїздами дозволяє уникнути затримок і скупчення пасажирів на платформах.

Автоматизація систем управління поїздами (TMS) і використання інтелектуальних транспортних систем (ITS) значно оптимізують маршрути, розклади, знижуючи затримки та покращуючи інфраструктурну ефективність. Завдяки впровадженню інформаційних технологій, використанню різноманітних методів прогнозування досягнуто значного скорочення відхилень у розкладі та часі очікування пасажирів.

Ці інновації доповнюються впровадженням електронних квиткових систем, що дозволяють пасажирам легко бронювати квитки онлайн. Це зменшує черги та сприяє оптимізації пасажиропотоку, особливо у пікові періоди, що забезпечує ще більшу ефективність транспортної системи.

Впровадження електронних квитків значно зменшує черги на касах і спрощує процес купівлі квитків. Пасажири можуть купувати квитки заздалегідь через мобільні додатки або термінали самообслуговування. Наприклад, використання системи NFC або QR-кодів дозволяє пасажирам миттєво проходити через турнікети [12]. Ці системи також надають доступ до динамічних тарифів, що дозволяє краще регулювати пасажиропотоки під час пікових періодів. Системи онлайн-бронювання допомагають організаторам транспорту відстежувати поточний попит та коригувати кількість рейсів.

Приклад: Лондонська система Oyster Card дозволяє пасажирам швидко проходити через турнікети, зменшуючи час очікування на

станціях. Це особливо корисно в години пік, коли потоки пасажирів досягають свого максимуму.

Сучасні табло на станціях інформують пасажирів про час прибуття та відправлення поїздів у реальному часі. Це допомагає краще орієнтуватися в розкладі та уникати скупчення на платформах. У багатьох європейських країнах, де поїзди курсують часто, традиційні зали очікування не завжди присутні. Замість цього, пасажирів можуть користуватися лавками, розташованими в головних залах або на платформах. У країнах Східної та Південної Європи зали очікування все ще збереглися на великих станціях, проте вони зазвичай невеликі за площею.

Платформи в Європі зазвичай не мають нумерації, нумеруються лише колії. Платформи поділяються на сектори, кількість яких може варіюватися від двох до шести залежно від країни [16]. Найчастіше використовуються чотири або шість секторів, позначених літерами А, В, С, D, Е, F. Кожен поїзд далекого сполучення зупиняється так, що певні вагони стають у визначені сектори: наприклад, вагони першого класу – у сектори А та В, а вагони другого класу – у сектори С, D та Е.

На Європейських вокзалах зручно та логічно влаштовано і розміщено інформацію про поїзди, що дозволяє без знання мови орієнтуватися у приміщеннях та платформах, на спеціальному табло висвічується номер перону, на якому зупиниться поїзд, ця ж інформація є на квитку (рис. 11). Перед виходом на платформу встановлюють автомати для компостування квитків [17].

Спеціальні діаграми із зазначенням розташування вагонів на платформах дозволяють пасажирам заздалегідь визначити, де зупиниться їхній вагон. Ці діаграми розміщені або на самій платформі, або у будівлі вокзалу. Інформація про відправлення поїздів і номери колій також відображається на табло біля входу на платформу, з переліком основних пунктів маршруту та часу відправлення [16].



Рисунок 11 – Інформаційний дисплей щодо відправлення поїзда на колійних табло

На невеликих станціях у Європі зазвичай не встановлюють торгові кіоски або інші комерційні точки на платформах через короткі зупинки поїздів, які тривають лише 2-3 хвилини. В розвиненіших країнах можна зустріти компактні павільйони для пасажирів, де вони можуть сховатися від негоди. Платформи на станціях середнього та великого розміру, як правило, накриті, а на багатьох великих вокзалах колії та платформи захищені великими куполами або навісами.

На більшості європейських вокзалів відсутні носії та багажні візки. Однак, за потреби можна замовити багажний сервіс. Багато станцій також оснащені транспортерними стрічками для багажу на сходах, а ліфти забезпечують доступ до платформ.

Крім того, сучасні технології, зокрема мобільні додатки, суттєво покращують досвід подорожей залізницею. Завдяки таким додаткам, що відстежують рух поїздів у реальному часі, пасажери можуть ефективніше планувати свій маршрут, отримувати інформацію про можливі затримки та зручні пересадки, що допомагає уникнути зайвого часу очікування на станціях.

Інформаційні табло та мобільні додатки надають пасажиром актуальну інформацію про розклад, затримки, наявність вільних місць тощо, що дозволяє пасажирам краще планувати свої поїздки.

Геолокаційні сервіси дають змогу відстежувати пересування транспорту в реальному часі, що важливо для пасажирів під час очікування або пересадки.

Приклад: Додаток Deutsche Bahn пропонує пасажирам не лише інформацію про поїзди, але й можливість забронювати місця та отримувати повідомлення про зміни в розкладі.

Системи планування маршрутів дозволяють створювати більш ефективні маршрути з урахуванням пасажиропотоків та завантаженості інфраструктури, що допомагає мінімізувати перевантаження в пікові години та рівномірно розподіляти потоки пасажирів.

Використання віртуальних симуляцій допомагає протестувати різні сценарії організації перевезень перед їх впровадженням на практиці.

Моніторинг та аналітика пасажиропотоків шляхом використання систем відстеження пасажиропотоків на основі мобільних пристроїв та смарт-карт дозволяє операторам транспорту отримувати точні дані про обсяги перевезень та місця, де пасажирів здійснюють посадку та висадку. Це дає змогу краще планувати кількість вагонів та частоту рейсів.

Аналіз великих даних (Big Data) дозволяє виявляти тренди у поведінці пасажирів, прогнозувати пікові години, що сприяє підвищенню ефективності перевезень.

Використання великих даних і штучного інтелекту допомагає прогнозувати пасажиропотоки. Наприклад, аналіз даних з мобільних пристроїв, відеокамер та інших джерел дозволяють аналізувати потоки пасажирів і прогнозувати зміни. Це дає можливість оперативно реагувати на зміну пасажиропотоків, дозволяє розрахувати, коли і де пасажиропотоки досягають піку, що дозволяє оптимізувати розклад і кількість поїздів.

У деяких країнах технології дозволяють динамічно змінювати розклад руху поїздів у відповідь на збільшення чи зменшення пасажиропотоку. Це дає змогу ефективніше використовувати наявні ресурси.

Приклад: У Токіо компанія JR East впровадила систему, яка дозволяє адаптувати графік руху поїздів залежно від поточного пасажиропотоку, що особливо ефективно під час подій або свят, коли обсяги перевезень можуть різко змінюватися.

Контроль навантаження на поїзди: у великих мегаполісах для розподілу пасажиропотоку між різними рейсами використовуються спеціальні системи, що відстежують кількість пасажирів у вагонах і пропонують альтернативні варіанти для тих, хто очікує на платформі.

Приклад: У Сеулі система відстеження заповненості вагонів у реальному часі дозволяє пасажирам через додаток вибрати поїзд із меншою завантаженістю, що сприяє кращому розподілу пасажирів по платформах і вагонах.

Такі технології вже використовуються у багатьох країнах для прогнозування перевантажень та планування розкладів.

Транспортна інфраструктура та сучасні технології є ключовими факторами, що впливають на організацію пасажиропотоків у приміському залізничному сполученні. Їхня взаємодія допомагає забезпечити ефективність системи та її адаптацію до змін. Удосконалення інфраструктури та впровадження нових технологій відкриває нові можливості для покращення пасажирських перевезень у майбутньому.

Організація пасажиропотоків безпосередньо залежить від якості та ефективності транспортної інфраструктури, яка включає залізничні колії, станції, транспортні вузли та технології, що застосовуються для управління рухом і обслуговування пасажирів.

Вплив транспортної інфраструктури та технологій на організацію пасажиропотоків є комплексним і багатофакторним процесом. Розвиток та модернізація інфраструктури, інтеграція сучасних технологій та управління транспортними мережами є ключовими елементами для забезпечення ефективною та надійною транспортною системою приміських залізниць. Застосування інформаційних технологій у приміському транспорті дозволяє покращити ефективність пасажиропотоків, оптимізувати роботу транспорту та покращити обслуговування пасажирів. Інноваційні рішення сприяють

адаптації систем до мінливих умов, забезпечуючи високу якість перевезень та комфорт для пасажирів.

### III. ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ПАСАЖИРОПОТОКІВ ПРИ ТРАНСПОРТНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ ВЕЛИКИХ МІСТ

Ефективне функціонування транспортних систем великих міст є одним із ключових чинників забезпечення їх сталого розвитку та високої якості життя мешканців [18]. Зростання урбанізації, підвищення мобільності населення та збільшення кількості транспортних засобів спричиняють ускладнення в організації транспортного обслуговування, що, своєю чергою, впливає на формування пасажиропотоків.

Розглянемо закономірності, що визначають динаміку та структуру пасажиропотоків у міських агломераціях. Аналіз поведінкових, соціальних та інфраструктурних факторів, які впливають на рух пасажирів, дозволяє виявити основні тенденції у формуванні цих потоків. Важливою є також оцінка ролі громадського транспорту та інших транспортних засобів у забезпеченні належної мобільності населення за умов зростаючого попиту на перевезення.

Основною метою дослідження є дослідити механізми формування пасажиропотоків у великих містах, виявити основні фактори, що визначають інтенсивність та напрямки руху пасажирів, і на основі цього запропонувати ефективні стратегії для оптимізації транспортного обслуговування.

В сучасних умовах особливо важливим є розроблення комплексу заходів для визначення оптимальних експлуатаційних параметрів транспортної системи, які підвищують ефективність приміських перевезень. Серед них варто виділити:

- розрахунок необхідної кількості поїздів для обслуговування пасажиропотоку на окремих ділянках;
- організацію руху поїздів з різною частотою, місткістю та кількістю вагонів;

– визначення показників, що оцінюють якість приміських перевезень.

Комфорт під час поїздки значною мірою залежить від умов посадки пасажирів. Для дослідження закономірностей формування пасажиропотоків під час посадки було проведено спостереження за прибуттям пасажирів на платформу перед відправленням поїздів. Спостереження проходили на станції Київ-Пасажирський у вечірні години пік у вересні 2021 року в напрямку Фастова.

Дослідження показало, що час прибуття пасажирів має певні закономірності, хоча й не є повністю випадковим. Більшість пасажирів регулярно користуються приміськими поїздами та добре знайомі з розкладом, тому приходять на платформу прямо перед відправленням. Це створює підвищене навантаження на інфраструктуру, що призводить до скупчень і незручностей при посадці.

### **Методика і результати натурних досліджень**

Натурні спостереження проводилися на станції Київ-Пасажирський, де фіксували час прибуття пасажирів на платформу до відправлення поїзда, а також кількість пасажирів, що знаходилися на платформі. Дослідження показали, що перший пасажир, зазвичай, з'являється на платформі не раніше ніж за 35–40 хвилин до прибуття поїзда. Після цього здійснювався підрахунок кількості пасажирів, які прибували на платформу, з інтервалами по п'ять хвилин до відправлення поїзда. На основі отриманих даних проводився математичний аналіз часу приходу пасажирів, що дозволяє визначити параметри, які характеризують закономірності зміни досліджуваного показника [19]. Графіки, що демонструють характер приходу пасажирів на платформу, представлені на рис. 12, 13, 14, на яких видно три поїзди (з інтервалами між поїздами відповідно 40, 24 і 8 хвилин).

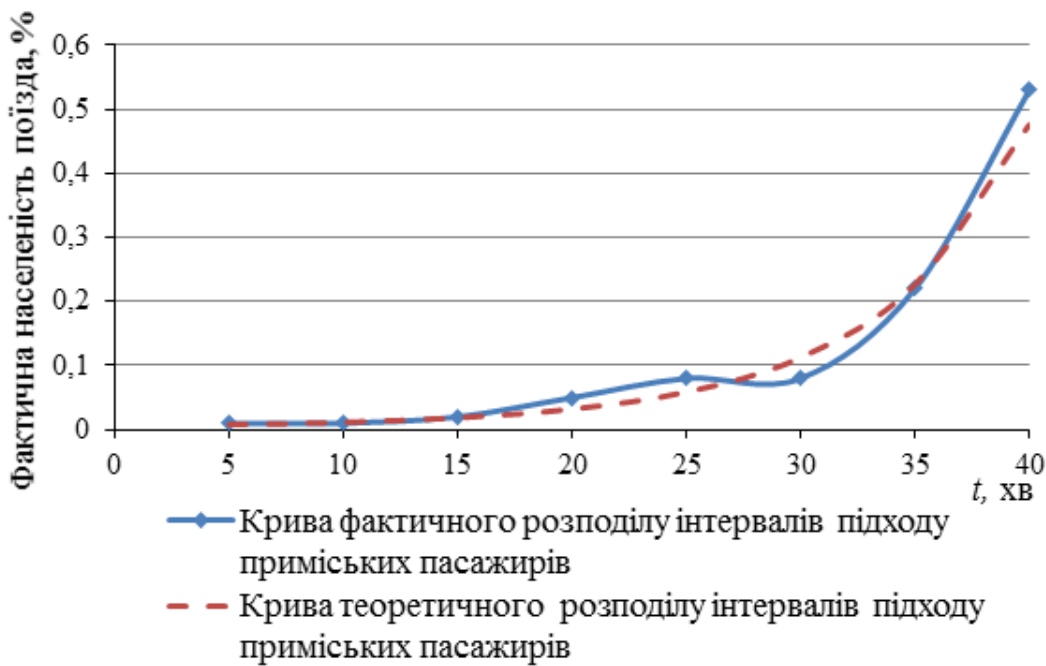


Рисунок 12 – Криві фактичного і теоретичного режиму підходу приміських пасажирів для міжпоїзного інтервалу 40 хв

де  $t$  – час до прибуття приміського поїзда.



Рисунок 13 – Криві фактичного і теоретичного режиму підходу приміських пасажирів для міжпоїзного інтервалу 24 хв

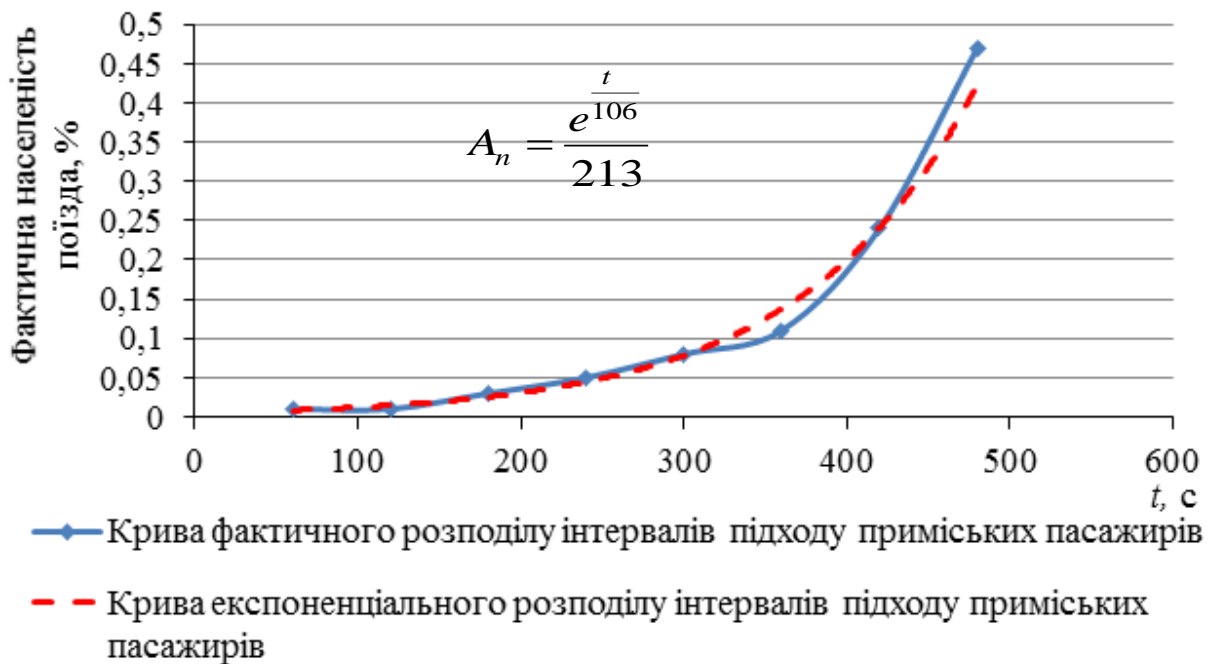


Рисунок 14 – Криві фактичного і теоретичного режиму підходу приміських пасажирів для міжпоїзного інтервалу 8 хв.

На рис. 12, 13, 14 представлено співставлення реальних кривих розподілу та апроксимованих теоретичних кривих інтенсивності підходу пасажирів та заповнення поїзда, а також формули, за допомогою яких описуються виявлені закономірності. Ці формули можуть бути використані для побудови відповідних математичних моделей, що описують процес підходу пасажирів на посадку у поїзди.

Значення числових характеристик інтервалів підходу приміських пасажирів на електропоїзди представлено в табл. 1.

Таблиця 1 – Числові характеристики інтервалів підходу приміських пасажирів

Станція відправлення	Інтервал між поїздами	$\chi_{cp}$ , хв	$K$	$V$	$\sigma$
Київ-Пасажирський	середній (40 хв)	34,75	20,93	0,22	7,6
Київ-Пасажирський	8 хв	6,82	19,32	0,23	93,1
Київ-Пасажирський	24 хв	20,91	18,91	0,23	4,8

По величині параметрів  $K$ , коефіцієнтів варіації інтервалів вхідного потоку  $V$  і по схожості фактичного і теоретичного розподілів можна сказати, що інтервали підходу приміських пасажирів на платформу (до приміських поїздів і квиткових кас) мають експоненціальний розподіл.

Кількість пасажирів, які підходять до платформи, є випадковою величиною, що змінюється протягом усього періоду розкладу руху приміських поїздів та залежить від міжпоїзного інтервалу. Таким чином, підхід пасажирів до квиткових кас на приміські поїзди є неординарним, оскільки можливе одночасне прибуття двох і більше пасажирів, і нестаціонарним, оскільки інтенсивність потоку пасажирів варіюється залежно від часу доби.

У випадку, коли пасажир підходить щільно, виникають черги до квиткових кас. Якщо черга затягується, пасажир може бути вимушений залишити її та їхати без квитка або перейти на автомобільний транспорт. Це неприпустимо, тому необхідно створити умови для швидкого та якісного обслуговування пасажирів при купівлі приміських квитків. Для цього важливо гнучко реагувати на потік пасажирів, визначаючи потрібну кількість кас у різні періоди доби, як у робочі, так і у вихідні дні, особливо під час інтенсивного відправлення приміських поїздів.

На основі отриманого розподілу процесу підходу пасажирів до приміських поїздів, встановленого параметра  $K$  та відомого (або заданого) розкладу відправлення поїздів за певний період  $T$ , можна визначити (побудувати графік) загальний підхід пасажирів до квиткових кас протягом цього періоду за часом і кількістю. Отримані дані про загальний підхід пасажирів можуть бути використані для розрахунку кількості квиткових кас та їх робочого часу [19].

Виходячи з величини параметра  $K$ , коефіцієнта варіації інтервалів вхідного потоку та схожості фактичного і теоретичного розподілів, можна стверджувати, що інтервали приходу приміських пасажирів на платформу до поїздів у Фастівському напрямку у вечірні години пік мають експоненціальний теоретичний розподіл.

З очевидності, криві статистичних розподілів, представлені на рис. 12, 13, 14, демонструють подібну закономірність, хоча й містять певні відмінності. Тому ці дані потребують узагальнення через побудову теоретичних інтегральних кривих.

Для розрахунку інтегральної функції необхідно обчислити площу кожної фігури, обмеженої вертикальними лініями [19], які відповідають певним інтервалам часу, віссю часу та графіком функції. Після цього проводиться послідовне сумування всіх площ і нормування до 100% часу та 100% фактичної заповненої кількості поїзда на момент відправлення. В результаті отримуємо графіки інтегрального розподілу інтенсивності підходу пасажирів (рис. 15).

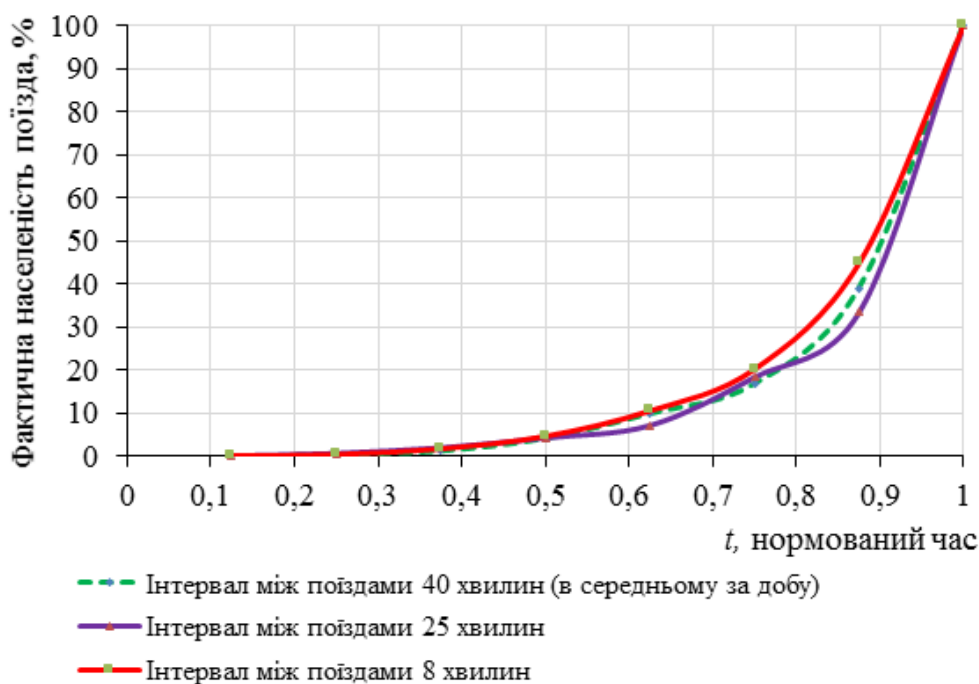


Рисунок 15 – Інтегральні криві розподілу інтервалів підходу приміських пасажирів на платформу

Як видно з графіка на рис. 15, для всіх трьох поїздів, які відправлялися у різний час і мали різну заповненість, характер зміни кривих, що показують інтенсивність підходу пасажирів до платформи, залишається однаковим. На цих інтегральних кривих чітко виокремлюються три періоди, протягом яких інтенсивність залишається приблизно стабільною. Перший період – це початковий

«повільний» етап підходу пасажирів, що триває від 0 до 60% від загального інтервалу між поїздами. Другий період – це середній «помірний» етап пасажиропотоку (від 60 до 85%), а третій період – це етап максимального «інтенсивного» пасажиропотоку, який триває від 85 до 100% тривалості інтервалу між поїздами.

Виділені три періоди тривають відповідно приблизно 60%, 25% і 15% від інтервалу між послідовними відправленнями поїздів (міжпоїзний інтервал, нормоване значення якого становить 100%). Ця закономірність буде використана далі в поєднанні з іншою, яку можна помітити, розглядаючи криві на рис. 12, 13, 14. Вона полягає в тому, що найдовший перший період приносить найменшу кількість пасажирів – лише 8–15%, другий період забезпечує середню кількість пасажирів, яка становить 20–40%, тоді як третій період, в якому спостерігається найбільший приплив пасажирів, забезпечує решту 40–70% пасажирів. Отже, третій період є найбільш важливим і критичним у процесі підходу пасажирів та заповнення поїзда.

### Лінійна модель підходу пасажирів на платформу для довільного пасажиропотоку та інтервалу між поїздами

Наведені спостереження дозволяють запропонувати таку графічну модель для формалізації цього процесу (рис. 16).

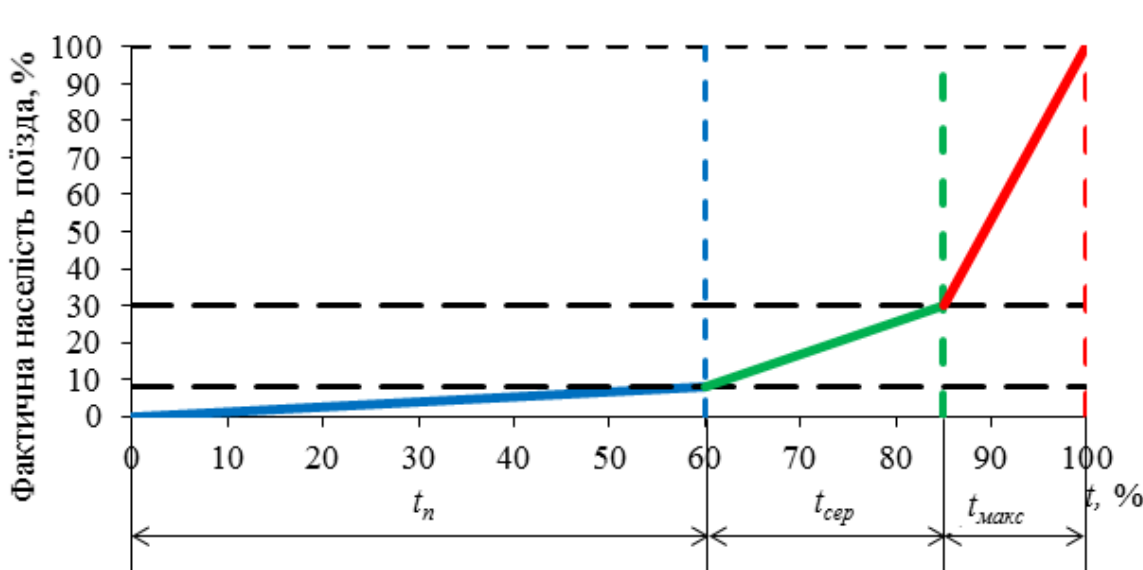


Рисунок 16 – Графічна модель часового режиму приходу пасажирів на платформу (у нормованому часі)

Ця модель є узагальненою для підходу пасажирів з будь-яким міжпоїзним інтервалом [19]. Беручи до уваги наведену вище інформацію та графік, формуємо аналітичну залежність моделі. Для кожного етапу визначаємо інтенсивність підходу пасажирів за формулою [21]:

$$\lambda = \frac{A_i - A_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}, \quad (1)$$

де  $i$  – номер етапу.

Порядок застосування формули (1) наступний. Наприклад, для першого етапу  $\lambda_1 = \frac{A_1 - A_0}{t_1 - t_0} = \frac{7,8 - 0}{60 - 0} = 0,13$ ; для другого етапу

$$\lambda_2 = \frac{A_2 - A_1}{t_2 - t_1} = \frac{30 - 7,8}{85 - 60} = 0,88; \text{ для третього етапу } \lambda_3 = \frac{A_3 - A_2}{t_3 - t_2} = \frac{100 - 30}{100 - 85} = 4,68.$$

Далі побудуємо узагальнені формули для математичної моделі:

$$A = \begin{cases} 0,13 \cdot t, \text{ якщо } t = t_n, \text{ де } 0 < t_n < 60\%, \\ 0,88 \cdot t, \text{ якщо } t = t_{\text{сеп}}, \text{ де } 60 < t_n < 85\%, \\ 4,68 \cdot t, \text{ якщо } t = t_{\text{макс}}, \text{ де } 85 < t_n < 100\%. \end{cases} \quad (2)$$

Отже, була побудована узагальнена лінійна модель підходу пасажирів на платформу для будь-якого пасажиропотоку та міжпоїзного інтервалу по трьох періодах. Ця модель дозволяє швидко та легко розрахувати пасажиропотік у будь-який момент часу та оцінити заповненість поїзда пасажирами в заданий момент часу  $t$  [20].

Подальші перетворення формул, засновані на наведеній графічній моделі, демонструють, що інтегральна крива заповнення поїзда пасажирами може бути апроксимована такою формулою, яка отримана за допомогою апроксимуючої програми FindGraph:

$$A = \frac{t}{3 \cdot T \cdot e^{((5,7 \cdot t)/T)}}, \quad (3)$$

де  $A$  – заповнення поїзда пасажирами (фактична кількість пасажирів), у %;

$T$  – інтервал між поїздами;

$t$  – поточний час;

3 та 5,7 – емпіричні коефіцієнти, отримані при апроксимації.

На рис. 17 показано порівняння реальної кривої розподілу з апроксимованою теоретичною кривою інтенсивності підходу пасажирів і заповнюваності поїзда. Як видно з цього рисунка, задовільна відповідність між цими двома кривими свідчить про наявність універсальної математичної графіко-аналітичної моделі розподілу інтервалів підходу приміських пасажирів на платформу.



Рисунок 17 – Універсальна математична графіко-аналітична модель розподілу інтервалів підходу приміських пасажирів на платформу

З формули (3) можна одержати узагальнену модель, яка описує заповнення платформи для будь-якого інтервалу між поїздами  $T$  :

$$n = \frac{N(t, T) \cdot t}{300 \cdot T \cdot e^{(5,7 \cdot t) / T}}, \quad (4)$$

де  $n$  – кількість пасажирів, які прийшли на платформу за час  $t$  ;

$N(t, T)$  – населеність поїзда, пасажирів для відповідної пари значень часу  $(t, T)$  .

Слід зазначити, що на величину  $N(t, T)$  впливає також пора доби (внутрішньодобова нерівномірність перевезень пасажирів), сезонність перевезень.

Отже, створена універсальна аналітична модель дозволяє описати заповненість платформи пасажирами для будь-якої кількості пасажирів у поїзді та інтервалу між поїздами, що є вкрай важливим для ефективної організації процесу перевезення пасажирів.

### **Інтегральна модель параметрів транспортного обслуговування, інфраструктури та рухомого складу приміських перевезень**

Дослідження показують, що на головній станції більшість пасажирів (70 – 90%) займають місця в приміському поїзді протягом 15 – 20 хвилин до відправлення. Протягом цього часу пасажири очікують обслуговування в касі, купують квитки та пересуваються від кас до місця посадки, при цьому вони можуть займати місця для своїх знайомих, які часто підходять безпосередньо перед відправленням. Ще 20 – 40 % пасажирів прибувають на платформу за 5–10 хвилин до відправлення, а в останні хвилини, або навіть секунди, до поїзда підходять ті пасажири, для яких місця були зайняті знайомими.

Потік пасажирів є випадковою величиною, що суттєво коливається протягом періоду руху приміських поїздів і залежить від розкладу поїздів, роботи наземного транспорту, метро та їх пропускної здатності. При цьому потік пасажирів на платформу також є випадковою змінною.

Якщо інтенсивність прибуття пасажирів на платформу перевищує інтенсивність їх відправлення поїздами, виникає скупчення, яке ускладнює перебування пасажирів на платформі та створює загрозу їх безпеці. Спостереження свідчать, що ці скупчення досягають піку безпосередньо перед прибуттям поїзда на платформу, що може призвести до падіння пасажирів або предметів на колії. Як цьому запобігти? Привести у відповідність інтенсивність прибуття пасажирів на платформу та інтенсивність їх відправлення поїздами з платформи. Розглянемо, від чого залежать інтенсивності цих процесів.

Тривалість періоду заповнення платформи пасажирями, що будуть відправлятися найближчим поїздом у певну пору доби « $t$ » (очікування поїзда на платформі),  $T_t$ , дорівнює [21]:

$$T_t = \frac{a_F F}{\Lambda_t}, \quad (5)$$

де  $a_F$  – кількість пасажирів на 1 м<sup>2</sup> пасажирської платформи (максимально  $a_F \approx 3 - 4$  пасажирів на 1 м<sup>2</sup>);

$F$  – площа пасажирської платформи, м<sup>2</sup>;

$\Lambda_t$  – інтенсивність пасажиропотоку, що надходить на платформу в пору доби  $t$  (ця інтенсивність є максимальною в години пік).

$$\Lambda_t = \frac{A_t \cdot k}{J_t - t_o}, \quad (6)$$

де  $A_t$  – середня інтенсивність пасажиропотоку о порі доби  $t$ , пасажирів за годину;

$J_t$  – інтервал між поїздами, год;

$t_o$  – неінтенсивний період підходу пасажирів, що включає «повільний» та «помірний» періоди (рис. 6), год;

$k$  – коефіцієнт, що враховує допустиму перенаселеність вагонів порівняно з їх номінальною пасажиромісткістю (до 1,4).

Площу пасажирської платформи  $F$  необхідно пов'язати з параметрами рухомого складу таким чином:

$$F = L \cdot B, \quad (7)$$

де  $L$  – довжина платформи, м;

$B$  – ширина платформи, м.

У свою чергу,

$$L \geq m_B l_B, \quad (8)$$

де  $m_B$  – кількість вагонів у составі поїзда;

$l_B$  – довжина вагона по осях автозчеплення, м;

Після цього можна визначити середній час очікування поїзда  $\tau_{0t}$  пасажиром в пору доби  $t$ , якщо пасажир не знає розкладу і прийшов на платформу навмання:

$$\tau_{0t} = \frac{J_t}{2}, \quad (9)$$

де  $J_t$  – інтервал між поїздами.

$$J_t \leq T_t, \quad (10)$$

$T_t$  – тривалість періоду заповнення платформи.

$$J_t \leq \frac{a_F \cdot F}{A_t \cdot k} (J_t - t_o). \quad (11)$$

Після перетворень отримаємо:

$$J_t \leq \frac{1}{1 - \frac{A_t \cdot k}{a_F \cdot m_B l_B \cdot B}}, \quad (12)$$

причому повинна виконуватись умова  $A_t < a_F F$ , звідки  $F > \frac{A_t}{a_F}$  (що очевидно).

Для практичного використання формули (12) необхідно враховувати, що фактична площа платформи зазвичай менша за розрахункову  $F$ . Це пов'язано з тим, що на платформі можуть бути не лише лавки для сидіння, але й турнікети для проходу пасажирів, кіоски та інші комерційні об'єкти. Тому, якщо площа недостатня для безпечного і комфортного перебування пасажирів під час посадки в поїзди та їх очікування, слід обмежити кількість таких об'єктів.

Отримані результати досліджень дозволяють виконувати комплексні, системно пов'язані розрахунки важливих техніко-технологічних параметрів приміських перевезень пасажирів, включаючи параметри графіка руху поїздів, їх склад та характеристики вагонів, а також параметри інфраструктури приміського господарства. Сюди входять розміри пасажирських платформ, кількість і розташування на них турнікетів, а також обмеження на комерційне використання їх площ, за умови забезпечення зручної та безпечної посадки пасажирів у поїзди.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Поздняков А.А., Мироненко В.К., Позднякова О.О., Гудков О.М. Дослідження факторів, що впливають на формування пасажиропотоків залізничних приміських перевезень у великих міських агломераціях. Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». К.: ДЕТУТ, 2016. Вип. 29. С. 261–274. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpdetut\\_tsit\\_2016\\_29\\_29](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpdetut_tsit_2016_29_29)
- [2] Passenger. Customer segmentation analysis. URL: <http://ciptec.eu/news/passenger-customer-segmentation-analysis/>.
- [3] Відправлення (перевезення) пасажирів за видами транспорту загального користування. Режим доступу: URL: <http://kyivobl.ukrstat.gov.ua/p.php3?c=928&lang=1>.
- [4] Ahmad Tavassoli, Mahmoud Mesbah, Ameneh Shobeirinejad Modelling passenger waiting time using large-scale automatic fare collection data: An Australian case study. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour. Volume 58, October 2018, Pages 500–510. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.06.037/>
- [5] Грушевська Т. М. Дослідження закономірностей пасажиропотоків у залізничному приміському сполученні. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту «Наука та прогрес транспорту». 2014. №5 (53). С. 39–47.
- [6] Грушевська Т. М. Удосконалення технології приміських перевезень на основі статистичних досліджень транспортного ринку. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. Тези доповідей 76-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті». Вип. 143. Х.: УкрДАЗТ, 2014. С. 298 – 299.
- [7] Тарифи на перевезення пасажирів у приміському сполученні абсурдно низькі. Режим доступу: [http://www.uz.gov.ua/press\\_center/up\\_to\\_date\\_topic/326811/](http://www.uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/326811/).

- [8] Чому «Укрзалізниця» знову опинилася зі збитками. Режим доступу: <http://www.corruption.net/statti/item/12533-chomu-ukrzaliznytsia-znovu-opynylasia-zi-zbytkamy>.
- [9] ДБН В.2.3-19:2018. Споруди транспорту. Залізниці колії 1520 мм. Норми проектування. [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2018. 126 с. (Інформація та документація).
- [10] Ломотько Д. В., Філіпський О. В., Кравченко Д. М. Удосконалення роботи транспортно-пересадочних вузлів під час мультимодальних пасажирських перевезеннях за участю залізниць та автотранспорту. Наукові праці ВНТУ, 2019, №4. <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2019-4-50-61>
- [11] Ján Palinský, Jana Fabianová, Nikoleta Mikušová Innovative Trends in the Field of Railway Transport and Infrastructure in the Conditions of Railways of the Slovak Republic. *Transportation Research Procedia*. Volume 77, 2024, Pages 218-223. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2024.01.029>.
- [12] Brumercikova, E., & Bukova, B. (2020). Proposals for using the NFC technology in regional passenger transport in the Slovak Republic. *Open Engineering*, 10(1), 238-244. <https://doi.org/10.1515/eng-2020-0005>
- [13] Pipatphon Lapamonpinyo, Sybil Derrible, Francesco Corman Real-Time passenger train delay prediction using machine learning: a case study with Amtrak passenger train routes. *IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems*. Volume 3, 2022. <https://doi.10.1109/OJITS.2022.3194879>
- [14] Yin Yuan, Shukai Li, Lixing Yang, Ziyu Gao Real-time optimization of train regulation and passenger flow control for urban rail transit network under frequent disturbances. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. Volume 168, December 2022, 102942. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102942>.
- [15] European Rail Traffic Management System (ERTMS). URL: [https://www.era.europa.eu/domains/infrastructure/european-rail-traffic-management-system-ertms\\_en](https://www.era.europa.eu/domains/infrastructure/european-rail-traffic-management-system-ertms_en)

- [16] How to read signage at German train stations. URL: <https://fotoeins.com/2015/02/16/how-to-read-signage-at-german-rail-stations/> (дата звернення: 16.09.2024).
- [17] Мироненко В.К., Грушевська Т.М. Пасажирські перевезення залізничним, мультимодальним транспортом та метрополітеном: Навчальний посібник. К.: ДУІТ, 2023. 307 с.
- [18] Javier Faulin, Scott Grasman, Angel Juan, Patrick Hirsch. Sustainable Transportation and Smart Logistics. Decision-Making Models and Solutions. 1st Edition. Elsevier 2018. 534 pages. ISBN: 9780128142424. <https://shop.elsevier.com/books/sustainable-transportation-and-smart-logistics/faulin/978-0-12-814242-4>
- [19] Morris H. DeGroot, Mark J. Schervish Probability and Statistics (4th Edition). URL: [https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781292037677\\_A24581727/preview-9781292037677\\_A24581727.pdf](https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781292037677_A24581727/preview-9781292037677_A24581727.pdf)
- [20] Габа В. В., Грушевська Т. М., Костюшко В. П. Дослідження закономірностей пасажиропотоків на основі натурних спостережень. Проблеми економіки і управління на залізничному транспорті: ІХ Міжнар. наук.-практ. конф. ЕКУЗТ, 17 листопада – 14 грудня 2014 р.: тези доп. Київ, 2014. С. 209 – 211.
- [21] Мироненко В. К., Габа В. В., Мацюк В. І., Грушевська Т. М., Костюшко В. П. Натурні дослідження та математичні моделі приміських пасажирських перевезень. Наукоємні технології. №4 (24). 2014. С. 496 – 502.

# Технології «зеленої» транспортної логістики

Олександр Процик

*Національний транспортний університет  
м. Київ, Україна*

Екологічний підхід до суспільно-економічного розвитку держави передбачає врахування впливу господарської діяльності на навколишнє середовище та природні ресурси, з метою забезпечення сталого розвитку. Основні положення такого підходу включають в себе аналіз, дослідження та впровадження принципів відповідальності, мінімізації викидів та забруднень, збереження біорізноманіття, зелених технологій та інновацій, залучення громадськості до прийняття рішень та контролю за реалізацією екологічних стратегій та проектів, збалансованості інтересів між потребами сьогодення та майбутніх поколінь, також питання сталості ресурсів.

Розвиток, що не враховує обмеженості природних ресурсів, не може бути сталим. Екологічний підхід передбачає раціональне використання ресурсів з урахуванням їх відновлювальної природи. Підприємства та інші суб'єкти господарювання повинні зменшувати негативний вплив на довкілля шляхом впровадження чистих технологій та ефективного управління відходами. Необхідне сприяння забезпеченню збереження різноманітності живих організмів та екосистем, оскільки втрата біорізноманіття може призвести до серйозних наслідків для екологічної стійкості. Також розвиток та застосування технологій, які сприяють зменшенню екологічного сліду та підвищують ступінь використання відновлюваних джерел енергії є актуальними на даний час.

Цей підхід передбачає врахування екологічних аспектів у всіх сферах суспільно-економічного життя, від промисловості та транспорту до аграрного сектору та міського планування.

## I. ІСТОРИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ВИНИКНЕННЯ НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ В ТЕХНОЛОГІЯХ ЗЕЛЕНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ. ПОНЯТІЙНИЙ АПАРАТ НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ. ВИЗНАЧЕННЯ ТА ТЕРМІНИ

*Історична передумова розвитку технологій зеленої транспортної логістики* може бути відстежено через декілька ключових етапів у розвитку транспортної та логістичної індустрій.

На початку промислової революції у XIX столітті транспорт базувався на паровій та локомотивній технологіях. Ці технології, хоч і були передовими для свого часу, призводили до значного забруднення повітря та екологічних проблем. З появою електричних транспортних засобів та технологій внутрішнього згоряння у другій половині XIX - початку XX століття почалася поступова зміна технологій в транспорті. Ці нові види технологій дозволили значно зменшити викиди шкідливих речовин порівняно зі старими паровими системами. У другій половині XX століття зростання транспортних мереж та розвиток транспортної логістики спричинили підвищення споживання палива та збільшення викидів. Однак, з тим же розвитком з'явилися і ідеї екологічно чистих рішень у транспортній логістиці. Починаючи з кінця XX століття та на початку XXI століття, наукові дослідження та інновації в області транспортної логістики та автомобільної промисловості посилились. Це призвело до розвитку нових екологічно чистих технологій, таких як електричні автомобілі, гібридні транспортні засоби, використання водню як пального та інші.

Зростання усвідомленості щодо проблем забруднення довкілля та зміни клімату призвело до збільшення інтересу до зелених технологій в транспорті. Це стимулювало урядові та приватні організації інвестувати у розвиток зелених технологій і впровадження екологічно чистих підходів у транспортній логістиці.

Таким чином, історична передумова розвитку технологій зеленої транспортної логістики полягає в поступовому переході від застарілих та забруднюючих технологій до новітніх, екологічно чистих та сталих рішень у транспорті та логістиці.

Термін "зелена транспортна логістика" виник у контексті розвитку сталого розвитку та боротьби з екологічними проблемами, пов'язаними з транспортом і логістикою. Ця концепція поступово виникла внаслідок зростаючого усвідомлення суспільства та бізнесу щодо потреби в обмеженні викидів шкідливих газів, зменшенні споживання ресурсів та збереженні природних екосистем.

Ретроспектива терміну "зелена транспортна логістика" можна розглядати наступним чином.

Початок ХХ століття характеризується першими проявами інтересу до екологічних аспектів у транспорті виникли на початку ХХ століття, коли почалися обговорення щодо впливу автомобільного транспорту на забруднення повітря. У 80-90-ті роки активізувалися дослідження в галузі транспортної логістики, що включали аналіз екологічних аспектів. З'явилися перші роботи, присвячені темі зменшення викидів у логістичних процесах. На початку 2000-х років поняття "зелена транспортна логістика" стало більш поширеним, оскільки зросло усвідомлення екологічних проблем та потреба в їх вирішенні. Були розроблені перші концепції та стратегії для покращення екологічної сталості у транспортній логістиці. У сучасний період зелена транспортна логістика стала не лише популярним поняттям, але і стратегічно важливим напрямом розвитку транспортної та логістичної діяльності. Багато компаній та урядових організацій активно впроваджують зелені ініціативи та технології для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

У цілому, ретроспектива терміну "зелена транспортна логістика" відображає зростаюче усвідомлення екологічних проблем та розвиток стратегій та технологій для їх вирішення у галузі транспорту та логістики.

Історичні передумови виникнення технологій зеленої логістики тісно пов'язані з розвитком транспортних та промислових процесів, а також з ростом усвідомлення екологічних проблем і потреби в їх вирішенні. Початок промислової революції у ХІХ столітті призвів до значного зростання виробництва та транспортування товарів, що супроводжувалося значними викидами забруднюючих речовин.

Розвиток транспортних технологій та промисловості відбувався на фоні відсутності серйозної уваги до екологічних наслідків. Протягом ХХ століття стало очевидним, що необхідно звернути увагу на екологічні аспекти промислового виробництва та транспортування. Екологічні катастрофи, забруднення довкілля та зменшення природних ресурсів спричинили зростання інтересу до сталого розвитку. Розвиток наукових досліджень у сфері екології та технологій сприяв появі нових підходів до логістики, спрямованих на зменшення викидів та оптимізацію використання ресурсів. Підвищення уваги до екологічних питань з боку споживачів вимагає від компаній усунення негативного впливу їх діяльності на довкілля. Це стимулює впровадження зелених практик у сфері логістики.

*Понятійний апарат* - це система понять, термінів та визначень, які використовуються для розуміння, опису та аналізу конкретної галузі знань або предмета дослідження. Він включає терміни та поняття, які характеризують основні аспекти та аспекти об'єкта дослідження. У випадку технологій зеленої транспортної логістики понятійний апарат може включати такі терміни і визначення:

- *зелена транспортна логістика* - система управління транспортними потоками, що спрямована на зменшення негативного впливу транспорту на довкілля шляхом використання екологічно чистих технологій, оптимізації маршрутів, ефективного використання ресурсів і зменшення екологічного відбитку транспортних операцій;
- *технології зеленої транспортної логістики* - технології спрямовані на створення більш ефективної, економічно прийнятної та екологічно чистої системи транспортної логістики, що відповідає вимогам сталого розвитку та забезпечує збереження довкілля для майбутніх поколінь;
- *енергоефективність* - характеристика, що вказує на ефективне використання енергії у транспортних процесах, що може бути досягнуто за рахунок використання економічних та екологічно чистих технологій;
- *викиди шкідливих речовин* - кількість вуглекислого газу (або інших речовин), який викидається у повітря під час експлуатації

транспортних засобів, який вимірюється у вагових одиницях (наприклад, тони або кілограми);

- *екологічна сталість* - стратегії та підходи, спрямовані на забезпечення балансу між економічною продуктивністю та збереженням навколишнього середовища, що застосовуються у транспортній логістиці;
- *альтернативні джерела енергії* - джерела енергії, такі як сонячна енергія, вітроенергія, біопалива тощо, які не базуються на традиційних вуглеводневих паливах;
- *споживча екологія* - вивчення впливу виробництва та споживання товарів на довкілля та розробка стратегій зменшення цього впливу;
- *стале логістичне управління* - застосування принципів сталого розвитку у всіх аспектах логістичного управління, включаючи складання маршрутів, упаковку, складське управління тощо;
- *екологічна логістика* - використання ефективних транспортних та складських рішень з метою зменшення негативного впливу на довкілля;
- *екологічна ефективність* - міра, у якій логістичні процеси сприяють зменшенню впливу на довкілля, включаючи зниження викидів CO<sub>2</sub> та інших забруднюючих речовин;
- *екологічний відбиток транспортування* - кількість забруднюючих речовин, викинутих в атмосферу під час транспортування товарів від початку до кінця логістичного ланцюжка;
- *зелений флот* - флот транспортних засобів, що використовується в рамках зеленої транспортної логістики, який може включати електричні, гібридні або транспортні засоби, що використовують альтернативні джерела палива;
- *відповідальна поставка* - підходи до управління логістичними процесами, що враховують соціальні, економічні та екологічні аспекти у всьому ланцюжку постачання;
- *екологічно-дружні матеріали і упаковка* - використання матеріалів упаковки, які мають менший вплив на довкілля та їх легше переробити або вторинно використовувати;

- *колаборативна логістика* - співпраця між різними сторонами в логістичному ланцюжку з метою спільного використання ресурсів, зменшення кількості пустих пробігів та зниження екологічного відбитку;
- *карбоновий слід* - вимірювання та оцінка викидів парникових газів, що пов'язані з логістичними операціями, з метою їх подальшого зменшення;
- *мультимодальні транспортні системи (Multimodal Transportation Systems)* - це системи, які поєднують різні види транспорту (автомобілі, залізниця, морські та повітряні перевезення) для оптимізації транспортних потоків та зменшення викидів.
- *інші терміни, що притаманні даній галузі дослідження.*

Цей понятійний апарат допомагає учасникам дискусій чітко розуміти та комунікувати основні концепції та ідеї, пов'язані з технологіями зеленої транспортної логістики та спілкуватися на зазначені теми, сприяє впровадженню екологічно чистих та сталих підходів у цій галузі. Ці та інші загальноприйняті терміни і визначення допомагають стандартизувати та розуміти основні принципи та концепції зеленої транспортної логістики. В подальшому у роботі буде розглянуто більш детально основні визначення і терміни, також проаналізована існуюча термінологія, методи визначення та виміру негативного впливу транспортних засобів на довкілля та інші дослідження, що можуть використовуватися при вивченні дисциплін пов'язаних з технологіями зелено транспортної логістики та проведення досліджень у даному напрямку.

*Галузь дослідження, об'єкт та предмет дослідження, мета та місія наукового дослідження* є обов'язковою складовою для характеристики наукового напрямку дослідження.

*Галузь дослідження* - це конкретна область знань або тема, що вивчається у наукових або науково-дослідницьких дослідженнях. В контексті технологій зеленої транспортної логістики, галузь дослідження охоплює всі аспекти, пов'язані з впровадженням екологічно чистих технологій у транспортні та логістичні системи з метою зменшення негативного впливу на довкілля та покращення

сталості цих систем. Такі аспекти можуть включати в себе дослідження нових технологій енергоефективних транспортних засобів, розвиток інфраструктури для альтернативних джерел енергії, аналіз впливу транспортних систем на довкілля, а також дослідження ефективності різних стратегій логістичного управління для зменшення викидів та оптимізації ресурсів. Галузь дослідження є ключовою для розробки нових ідей, методів та практик, які сприятимуть побудові більш сталої та екологічно чистої транспортно-логістичної системи.

Зелена транспортна логістика - це галузь логістики, яка спрямована на зменшення впливу транспортної діяльності на навколишнє середовище та мінімізацію викидів парникових газів, споживання енергії та інших ресурсів. Вона включає в себе використання екологічно чистих видів транспорту, оптимізацію маршрутів доставки, використання енергоефективних технологій та розробку стратегій управління для зменшення викидів таких як CO<sub>2</sub> та інших. Виконання екологічних принципів сприяє забезпеченню сталого розвитку, підвищенню якості життя та збереженню природного середовища для майбутніх поколінь

Цей напрямок дослідження вивчає різноманітні аспекти створення ефективних, екологічно чистих і стійких транспортних систем. Він включає в себе такі теми, як екологічно чисті види транспорту, оптимізація маршрутів, використання альтернативних видів палив, стратегії управління транспортними потоками, управління вантажними потоками, законодавство та стандарти (табл. 1).

Таблиця 1 – Теми напрямку дослідження зеленої транспортної логістики

№ п/п	Теми	Зміст
1	Екологічно чисті види транспорту	Дослідження та застосування електромобілів, гібридних автомобілів, водневих транспортних засобів, велосипедів та інших видів транспорту, які мають менший вплив на довкілля

Кінець таблиці 1

2	Оптимізація маршрутів	Використання алгоритмів для знаходження найбільш ефективних маршрутів з мінімальним використанням пального та мінімізацією викидів
3	Використання альтернативних видів палив	Розробка та впровадження стратегій з використання біопалива, електроенергії, водню та інших джерел енергії, що мають менший негативний вплив на довкілля
4	Стратегії управління транспортними потоками	Розробка методів оптимізації транспортних потоків для зменшення заторів, часу перебування та витрат пального
5	Управління вантажними потоками	Розробка та впровадження стратегій, що спрямовані на зменшення використання ресурсів та викидів в процесі перевезення товарів
6	Законодавство та стандарти	Вивчення та впровадження законодавства та стандартів, спрямованих на зменшення негативного впливу транспорту на навколишнє середовище

Зелена транспортна логістика стає все більш важливою у сучасному світі, де зростає увага до екологічних проблем і потреба у сталому розвитку.

*Об'єктом дослідження* є конкретний об'єкт, який вивчається або аналізується у наукових або науково-дослідницьких дослідженнях. В контексті технологій зеленої транспортної логістики об'єктом дослідження можуть бути різні аспекти транспортних та логістичних систем, які піддаються аналізу для розробки ефективних та сталих рішень. Наприклад, це можуть бути транспортні системи, транспортні засоби, логістичні системи, екологічні аспекти:

- транспортні системи - об'єктом дослідження можуть бути транспортні системи в цілому, включаючи дороги, залізниці, водні та повітряні шляхи сполучення, які використовуються для переміщення товарів та людей;
- транспортні засоби - дослідження можуть стосуватися конкретних транспортних засобів, таких як автомобілі, поїзди, судна

або літаки, зокрема їхня ефективність, енергоефективність та вплив на довкілля;

- логістичні системи - об'єктом дослідження також можуть бути логістичні системи, включаючи складське господарство, управління запасами, оптимізацію маршрутів та інші аспекти логістики, які впливають на транспортні процеси;

- екологічні аспекти - дослідження також можуть спрямовуватися на аналіз екологічних аспектів транспортних та логістичних систем, таких як викиди CO<sub>2</sub>, забруднення повітря та води, а також вплив на біорізноманіття.

Об'єкт дослідження визначається метою та обсягом дослідження і може бути різним у кожному конкретному дослідженні питань зеленої транспортної логістики.

*Об'єктом дослідження технологій зеленої транспортної логістики* можуть бути різні аспекти транспортної системи, які підлягають оптимізації та вдосконаленню для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Деякі з можливих об'єктів дослідження можуть включати транспортні засоби, інфраструктуру, системи управління та моніторингу, методи логістики та управління ланцюгом постачань, енергоефективність та використання альтернативних джерел енергії або їх поєднання (табл. 2).

Таблиця 2 – Об'єкти дослідження технологій зеленої транспортної логістики

№ п/п	Об'єкти дослідження	Зміст
1	Транспортні засоби	Дослідження та розробка нових екологічно чистих видів транспорту, таких як електромобілі, гібридні автомобілі, водневі транспортні засоби, а також вдосконалення експлуатаційних характеристик і енергоефективності традиційних засобів перевезення

Кінець таблиці 2

2	Інфраструктура	Вивчення та розробка інфраструктури для підтримки зелених транспортних технологій, таких як зарядні станції для електромобілів, інфраструктура для водневого транспорту, велосипедні та пішохідні доріжки тощо
3	Системи управління та моніторингу	Розробка та застосування інтелектуальних систем управління та моніторингу, які дозволяють оптимізувати маршрути, ефективніше використовувати ресурси, а також відстежувати викиди та інші параметри екологічної ефективності
4	Методи логістики та управління ланцюгом постачань	Дослідження та розробка методів логістики, які спрямовані на зменшення викидів шляхом оптимізації запасів, маршрутів та транспортних процесів
5	Енергоефективність та використання альтернативних джерел енергії	Вивчення та розробка технологій для зменшення енергоспоживання та використання альтернативних джерел енергії для транспортних потреб

Ці об'єкти дослідження сприяють розвитку зелених транспортних технологій та сприяють створенню більш сталої та екологічно чистої транспортної системи.

*Об'єктом дослідження технологій зеленої транспортної логістики* можуть бути різноманітні аспекти технологічних інновацій, що впливають на транспортну логістику та мають потенціал для зменшення впливу на навколишнє середовище. Деякі з цих об'єктів дослідження включають дослідження ефективності та екологічних переваг електричних автомобілів, гібридних транспортних засобів та інших альтернативних видів транспорту (електромобілі та гібридні транспортні засоби); дослідження використання водню як альтернативного пального для транспортних засобів, включаючи водневі паливні елементи та системи зберігання (водневі технології); дослідження та вдосконалення паливних систем для транспортних

засобів, зокрема розробка біопалива та інших альтернативних джерел енергії (ефективність паливних систем); дослідження та розробка алгоритмів оптимізації маршрутів, включаючи технології штучного інтелекту та інтелектуальні системи управління транспортними потоками (системи управління транспортними потоками); дослідження ефективних технологій для зменшення енергоспоживання та викидів шкідливих речовин від вантажних транспортних засобів, таких як системи енергоефективності та аеродинамічні вдосконалення (технології вантажного транспорту); дослідження та розробка інформаційних систем для відстеження, моніторингу та управління транспортними потоками з метою зменшення затрат на паливо та оптимізації використання ресурсів (інформаційні технології). Дослідження цих технологій допомагає вдосконалити ефективність та екологічну сталість транспортної логістики, сприяючи зниженню викидів парникових газів та споживанню енергії.

*Предмет дослідження технологій зеленої транспортної логістики* охоплює широкий спектр аспектів, пов'язаних з розробкою, впровадженням і використанням екологічно чистих і ефективних технологій у сфері транспорту та логістики. Деякі з основних предметів дослідження включають вивчення різних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова, гідроенергетика та біопаливо, та їх потенціал застосування в транспорті для зменшення викидів CO<sub>2</sub> та інших забруднюючих речовин (альтернативні джерела енергії); дослідження технологій електричних транспортних засобів, включаючи розвиток батарейних систем, швидкозарядних станцій та інфраструктури для підтримки електромобілів (електрифікація транспорту); дослідження технологій, які використовують дані та аналітику для оптимізації руху транспортних потоків, мінімізації заторів і зниження споживання пального (інтелектуальні транспортні системи (ITS)); вивчення систем відстеження та моніторингу транспортних засобів для ефективного використання ресурсів, планування маршрутів та оптимізації доставки (технології управління парком транспортних засобів); дослідження розвитку технологій водневих паливних елементів для електромобілів та інших транспортних засобів (використання водневої енергії);

дослідження інтеграції різних видів транспорту (поїздів, літаків, автобусів, вантажівок тощо) для максимізації ефективності та зменшення впливу на навколишнє середовище (мультимодальні транспортні системи).

Ці напрямки досліджень спрямовані на розробку та впровадження інноваційних рішень, спрямованих на зменшення викидів, покращення енергоефективності та забезпечення сталого розвитку у сфері транспортної логістики.

Мета та місія наукового дослідження включають в себе конкретні цілі або завдання, які передбачаються для досягнення в рамках даного напрямку досліджень. Мета може визначати зазначений внесок у розвиток науки, технологій чи суспільства в цілому. Місія може включати прагнення до забезпечення сталого розвитку, здоров'я та благополуччя людей, збереження природних ресурсів тощо

*Мета технологій зеленої транспортної логістики* полягає в досягненні більш сталого та екологічно чистого розвитку у сфері транспорту та логістики. *Основні цілі* включають: зменшення викидів парникових газів та інших шкідливих речовин, що сприяє зменшенню негативного впливу на здоров'я людей та навколишнє середовище (*зменшення викидів*); технології зеленої транспортної логістики спрямовані на ефективне використання енергії, пального та інших ресурсів, що дозволяє зменшити витрати та підвищити продуктивність (*ефективне використання ресурсів*); шляхом використання електромобілів, водневих транспортних засобів та інших чистих технологій можна значно покращити якість повітря в міських та промислових районах (*покращення якості повітря*); впровадження інтелектуальних транспортних систем, оптимізація маршрутів та використання мультимодальних підходів допомагають зменшити транспортні затори та збільшити ефективність руху (*зменшення транспортних заторів*); зелена транспортна логістика може сприяти зниженню витрат на енергію та ресурси, що дозволяє підприємствам збільшити свою конкурентоспроможність на ринку (*підвищення конкурентоспроможності*); зелена транспортна логістика сприяє досягненню цілей сталого розвитку, зокрема щодо зменшення впливу

на клімат, збереження ресурсів та забезпечення екологічної стійкості (*сприяння сталому розвитку*).

Отже, *мета технологій зеленої транспортної логістики* полягає в створенні ефективних та сталих транспортних систем, які сприяють забезпеченню екологічно чистого та ефективного руху товарів та людей.

*Місія технологій зеленої транспортної логістики* полягає у забезпеченні функціонування ефективної та екологічно чистої транспортної системи, яка сприяє сталому розвитку та збереженню навколишнього середовища. Основні аспекти місії зеленої транспортної логістики включають: зменшення викидів парникових газів та інших забруднюючих речовин шляхом використання електричних, водневих та інших екологічно чистих видів транспорту (*зменшення викидів*); раціональне використання енергії, пального та інших ресурсів для максимізації ефективності та мінімізації втрат (*збереження ресурсів*); підвищення ефективності транспортної системи шляхом використання інтелектуальних технологій, оптимізації маршрутів та використання мультимодальних підходів (*підвищення ефективності*); забезпечення доступності транспортних послуг для всіх груп населення та збереження високого рівня безпеки на дорогах (*забезпечення доступності та безпеки*); стимулювання інновацій у сфері транспортної логістики для розробки нових технологій, які дозволять досягти більшого рівня екологічної сталості та ефективності (*сприяння інноваціям*); залучення громадськості та зацікавлених сторін до підтримки та впровадження зелених транспортних ініціатив для досягнення спільних цілей збереження довкілля та сталого розвитку (*залучення громадськості*).

Отже, *місія технологій зеленої транспортної логістики* полягає в створенні більш сталої, ефективної та екологічно чистої транспортної системи, що сприяє забезпеченню збалансованого розвитку суспільства та збереженню навколишнього середовища для майбутніх поколінь.

Впровадження технологій зеленої транспортної логістики передбачає вирішення ряду завдань, спрямованих на досягнення

сталого розвитку та зменшення впливу транспортної діяльності на навколишнє середовище. *Основні завдання впровадження* таких технологій включають: ретельне дослідження потреб та можливостей у сфері зеленої транспортної логістики, аналіз існуючих проблем та перешкод, виявлення ключових областей для впровадження нових технологій (*дослідження та аналіз*); створення нових технологічних рішень, які сприяють зменшенню викидів, покращенню енергоефективності та оптимізації транспортних процесів (*розробка інноваційних рішень*); етап впровадження нових технологій, що включає в себе їх практичне застосування на пілотних проектах або в реальних умовах, тестування ефективності та адаптацію до потреб користувачів (*впровадження та тестування*); розвиток необхідної інфраструктури для підтримки зелених технологій, таких як будівництво зарядних станцій для електромобілів, розвиток інформаційно-комунікаційної інфраструктури для управління транспортними потоками (*інфраструктурні зміни*); інформування та навчання учасників транспортної ланцюга про переваги та можливості використання зелених технологій, залучення громадськості та бізнес-середовища до підтримки таких ініціатив (навчання та усвідомлення); розробка та впровадження відповідного законодавства, стимулюючого використання зелених технологій та сприяючого їхньому розвитку через фінансові, податкові та інші заходи підтримки (законодавча підтримка); постійний моніторинг ефективності впроваджених технологій, аналіз результатів та вносити корективи для покращення процесів (моніторинг та оцінка).

Ці завдання є ключовими для успішного впровадження зелених технологій у сфері транспортної логістики та досягнення сталого розвитку у цій галузі.

Зазначені аспекти є обов'язковими для характеристики наукового напрямку або галузі дослідження. Вони допомагають зрозуміти, що саме досліджується, чому це важливо та яким чином дослідження може вплинути на наше розуміння світу або на практичний рівень.

## II. ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ ПОНЯТТЯМИ «ЗЕЛЕНА» ТРАНСПОРТНА ЛОГІСТИКА ТА ТРАНСПОРТНИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ

Поняття *«зелена» транспортна логістика* і *транспортні технології* пов'язані між собою. Транспортні технології - це сукупність методів, процесів та інструментів, що використовуються для ефективного та безпечного перевезення вантажів та пасажирів з одного пункту в інший. Ці технології можуть включати в себе різні види транспорту, такі як автомобільний, залізничний, водний, повітряний транспорт, а також технології управління транспортними потоками, відслідковування вантажів та оптимізації маршрутів. Зелена транспортна логістика включає в себе використання транспортних технологій, які дозволяють забезпечити використання більш екологічно чистого транспорту та знизити негативний вплив на довкілля та ресурси.

Транспортні технології, такі як електромобілі, гібридні автомобілі, водневі автомобілі, електричні вантажівки, сонячні панелі на кришах транспортних засобів тощо (створених з метою покращення транспортних процесів та зменшення шкідливого впливу на довкілля), дозволяють зменшити викиди шкідливих речовин у повітря і забруднення довкілля.

Крім того, транспортні технології дозволяють зменшити витрати на паливо, забезпечити більш ефективне використання транспорту та покращити управління транспортними процесами. Застосування транспортних технологій може допомогти забезпечити більш ефективне та стійке використання ресурсів, що в свою чергу сприятиме збереженню довкілля і підвищенню якості життя людей.

Також розглянемо взаємозв'язок між *«зеленою» транспортною логістикою* та *автомобільно-транспортною технологією*. *«Зелена» транспортна логістика та автомобільно-транспортна технологія* є двома взаємопов'язаними поняттями в галузі транспортної логістики. Автомобільно-транспортна технологія включає в себе технології та методи, які використовуються для перевезення вантажів на дорогах, зокрема технічні можливості транспортних засобів, оптимізацію

маршрутів та руху транспортних засобів, а також контроль над вантажопотоками. Зелена транспортна логістика, з іншого боку, зосереджується на зменшенні впливу транспорту на довкілля та збільшенні екологічної стійкості вантажоперевезень. Це може включати в себе використання екологічно чистих палив, оптимізацію маршрутів для зменшення витрат палива та викидів газів, а також використання транспортних засобів з меншим впливом на довкілля, таких як електричні та гібридні автомобілі.

Таким чином, автомобільно-транспортна технологія може бути використана для покращення ефективності вантажоперевезень, а зелена транспортна логістика може допомогти зменшити вплив транспорту на довкілля та забезпечити стійкість вантажоперевезень в довгостроковій перспективі.

Автомобільно-транспортна технологія (АТТ) - це комплекс технічних та організаційних рішень, що стосуються руху транспорту, маршрутів руху, організації пасажирських та вантажних перевезень, забезпечення безпеки та ефективності транспортних перевезень.

Теорія АТТ включає в себе дослідження технічних та організаційних аспектів функціонування транспортної системи, також включаючи:

- вивчення технічних характеристик автотранспортних засобів, їх конструкції та технічного обслуговування;
- дослідження експлуатаційних властивостей дорожньої мережі, умов її експлуатації та технічного стану;
- розробка алгоритмів та методів планування транспортних маршрутів, їх оптимізація з урахуванням різноманітних обмежень та умов;
- організація пасажирських та вантажних перевезень, розробка та впровадження тарифів та стандартів перевезень;
- розробка та впровадження систем контролю та управління рухом транспорту з метою забезпечення безпеки та ефективності транспортних перевезень;
- вивчення впливу транспортної системи на довкілля та розробка методів мінімізації негативних наслідків;

– впровадження інноваційних технологій та підходів до функціонування транспортної системи з метою підвищення ефективності та конкурентоспроможності.

Також доцільно навести більш поглиблене тлумачення АТТ наданої вченим Хабутдіновим Р.А., де під автомобільно транспортною технологією (АТТ) розуміється сукупність науково-практичних знань про продукто-сфокусовані, матеріально-креативні та процедурно-деталізовані способи адаптивно-енерговитратного транспортування предметів та модернізаційного відтворення концептуально-якісних АП у технологічних процесах автомобільних перевезень (ТПАП) з урахуванням ресурсно-технічних властивостей АТЗ, а також фізичного і інформаційно-ергатичного впливу траєкторних елементів інфраструктури АВТС.

Для більш повного розуміння сутності дисципліни «Технології «зеленої» транспортної логістики» необхідно визначити основні поняття та задачі дисципліни. Також розглянемо основні напрямки розвитку та удосконалення транспортної системи України з урахуванням вимог щодо зменшення негативного впливу транспорту на довкілля і здоров'я населення.

Технології «зеленої» транспортної логістики - це сукупність різноманітних методів та прийомів, які використовуються для забезпечення ефективності транспортної логістики при мінімальному впливі на навколишнє середовище. Ця дисципліна поєднує в собі знання транспортної логістики, технологій перевезень, екології, енергетики, а також ряду інших наукових дисциплін.

Основна мета технологій «зеленої» транспортної логістики полягає в забезпеченні збалансованого розвитку транспортної інфраструктури та зменшенні негативного впливу на довкілля. Для досягнення цієї мети використовуються різні технології, зокрема, електричні транспортні засоби, гібридні транспортні засоби, водневі транспортні засоби, велосипеди, автономні транспортні засоби та інші. Додатково, технології зеленої транспортної логістики також охоплюють використання ефективних маршрутів, оптимізацію планування доставок, управління енергоефективністю, використання

відновлювальних джерел енергії та інші інноваційні рішення для зменшення витрат на паливо та енергію.

Для розуміння задач, що вирішуються та напрямів інтеграції базових напрямів транспортних технологій «зеленої» логістики в транспорту систему почнемо розгляд наукового напрямку з парадигми.

Парадигма - це загальна теоретична рамка, яка визначає, як сприймається і розуміється світ дослідником чи групою дослідників. Парадигма включає в себе концептуальні та методологічні засади, які допомагають розуміти явища в певній галузі знань.

Парадигма може включати у себе наступні елементи:

- базові поняття та визначення явищ, що досліджуються;
- підходи до збору та аналізу даних, а також методи дослідження;
- структура та організація знань у галузі дослідження;
- встановлені правила та норми наукового спілкування, що регулюють процес побудови теорій та спільного розуміння явищ.

Парадигма визначає, які питання є важливими для дослідження в галузі та які підходи можуть бути використані для їх вивчення. При цьому, парадигма може бути змінена або замінена новою, якщо виявляється, що попередня не в змозі розв'язати деякі нові проблеми.

Парадигма зеленої транспортної логістики передбачає комплексний підхід до організації транспортних процесів з урахуванням екологічних та економічних аспектів. Вона передбачає зменшення впливу транспортних процесів на довкілля шляхом впровадження технологій та практик, що зменшують використання ресурсів, енергетичну ефективність транспортних засобів та вплив на атмосферне повітря.

Основні елементи парадигми зеленої транспортної логістики включають:

- використання екологічно чистих видів палива та енергії.
- зменшення використання джерел енергії та ресурсів в транспортних процесах.
- екологічне проектування транспортних засобів та інфраструктури.

– використання оптимальних маршрутів та управління транспортними процесами з мінімізацією шкідливих викидів.

– використання технологій зеленої логістики, таких як екологічно чисті упаковки та перевезення, переробка та повторне використання матеріалів.

Ця парадигма дозволяє визначити шляхи щоб зменшити негативний вплив транспорту на довкілля та розвивати екологічно стійкі транспортні системи, що забезпечують максимальну ефективність використання ресурсів та мінімізують вплив на навколишнє середовище.

Але розглядаючи позитивний вплив «зеленої» транспортної логістики довкілля, необхідно зазначити і парадокси, які виникають при реалізації цього напрямку дослідження і впровадження.

Академічний тлумачний словник української мови дає наступне визначення парадоксу: парадокс - думка, судження, що різко розходиться із звичайним, загальноприйнятим і протирічить (іноді тільки на перший погляд) тверезому глуздові та/або несподіване явище, яке не відповідає звичайним науковим уявленням. Також: парадокс - це явище, що суперечить здоровому глузду, інтуїції або логіці, протирічить очікуванням і зазвичай призводить до неочікуваних або протилежних результатів. В інших випадках парадокс може бути підставою для розвитку нових ідей, теорій або концепцій. Багато парадоксів зустрічається в науці, філософії та логіці.

Парадокс транспортної зеленої логістики полягає в тому, що, не зважаючи на зусилля зменшення викидів вуглецю та інших забруднюючих речовин, пов'язаних з транспортуванням товарів, в самому процесі зеленої логістики можуть виникати додаткові проблеми, які спричиняють навіть більші витрати енергії та забруднення навколишнього середовища. Наприклад, застосування новітніх технологій зеленої логістики, таких як електромобілі, сонячні батареї та інші відновлювальні джерела енергії, може зменшити викиди вуглецю та інших забруднюючих речовин. Однак, водночас, створення та використання цих новітніх технологій вимагає значних витрат енергії та забруднення довкілля під час їх виробництва та утилізації.

Крім того, зменшення вартості транспортування товарів зазвичай залежить від того, наскільки добре організована логістика та транспортування товарів. Однак, це може призвести до зростання обсягів транспортування та збільшення кількості використання транспортних засобів, що в свою чергу може призвести до збільшення викидів вуглецю та інших забруднюючих речовин. Отже, хоча зелена логістика може зменшити вплив транспорту на довкілля, вона також може створювати нові виклики та проблеми, які необхідно враховувати при плануванні та виконанні логістичних операцій.

Мета впровадження технологій зеленої транспортної логістики полягає в досягненні більш ефективної та екологічно стійкої транспортної логістики. В основі такої мети лежить зниження впливу транспортної логістики на навколишнє середовище шляхом зменшення викидів шкідливих речовин, енергоефективності, використання відновлюваних джерел енергії, зменшення використання палива та ресурсів, а також зменшення витрат на логістичні процеси. В результаті впровадження технологій зеленої транспортної логістики може бути досягнуто зниження вартості логістичних процесів, покращення якості обслуговування клієнтів та збільшення конкурентної переваги на ринку. Також метою впровадження технологій зеленої транспортної логістики є зменшення впливу транспортної діяльності на навколишнє середовище та покращення економічної ефективності транспортної логістики. Зелена транспортна логістика дозволяє знизити витрати на паливо, зменшити викиди шкідливих речовин, зменшити кількість аварій та загиблих під час транспортування товарів, покращити якість та безпеку перевезень. Крім того, впровадження зелених технологій дозволяє збільшити конкурентоспроможність підприємств, що займаються транспортною логістикою, та задовольнити вимоги споживачів до зменшення впливу на навколишнє середовище.

До вищезазначеного необхідно навести характеристики існуючих різних технологій, таких як електричні транспортні засоби, гібридні транспортні засоби, водневі транспортні засоби, велосипеди, автономні транспортні засоби.

*Електричні транспортні засоби* мають деякі характеристики, які відрізняють їх від звичайних автомобілів з ДВС. Деякі з цих характеристик включають:

– електричний двигун (електричні транспортні засоби працюють на електричному двигуні, що дає значну відмінність від автомобілів з ДВС. Електричний двигун зазвичай працює значно тихше, має високу ефективність і не викидає шкідливі викиди);

– батареї (батареї є головним джерелом енергії для електричних транспортних засобів. Вони зазвичай забезпечують значно менший запас ходу, ніж автомобілі з ДВС, але технологія батарей постійно вдосконалюється і запас ходу збільшується);

– режими роботи (електричні транспортні засоби зазвичай мають різні режими роботи, такі як економічний режим, спортивний режим, режим рекуперації енергії під час гальмування, тощо);

– зарядка (електричні транспортні засоби потребують регулярної зарядки. Час зарядки може бути значно більшим, ніж заправка автомобіля з ДВС, але швидкість зарядки також постійно збільшується);

– електронна система управління (електричні транспортні засоби зазвичай мають складну електронну систему управління, що дозволяє збільшити ефективність роботи електричного двигуна, оптимізувати роботу батарей, контролювати розходи енергії тощо);

– електронна система управління (електричні транспортні засоби зазвичай мають складну електронну систему управління, що дозволяє збільшити ефективність).

Деякі з прикладів електричних транспортних засобів:

- електричні автомобілі, такі як Tesla Model S, Nissan Leaf, Chevrolet Bolt, BMW i3, Volkswagen ID.4, і т.д.;
- електричні мопеди, скутери та мотоцикли, такі як Vespa Elettrica, BMW C Evolution, Zero SR, і т.д.;
- електричні автобуси, такі як Proterra Catalyst, BYD K9, Irizar i2e, і т.д.;
- електричні велосипеди та електричні вантажні велосипеди, такі як Pedego City Commuter, Riese & Müller Load, Yuba Spicy Curry, і т.д.;

- електричні ролики та самокати, такі як Segway Ninebot ES2, Xiaomi Mi Electric Scooter, Razor E300 Electric Scooter, і т.д.

Це лише декілька прикладів електричних транспортних засобів, які стають все популярнішими у світі завдяки своїм екологічним і економічним перевагам.

Також декілька прикладів вантажних та пасажирських електричних транспортних засобів:

- електричні вантажні мікроавтобуси, такі як Renault Master ZE, Mercedes-Benz eSprinter, Nissan e-NV200, Ford Transit Custom Plug-In Hybrid, і т.д.;
- електричні пасажирські автобуси, такі як Yutong E12, BYD K9, Proterra Catalyst, Irizar i2e, і т.д.;
- електричні рейкові транспортні засоби, такі як трамваї та метрополітени, такі як Bombardier Flexity, Alstom Citadis, Siemens Inspiro, і т.д.;
- електричні карети та кабіни для перевезення пасажирів, такі як Arcimoto FUV, Solo EV, Canoo MPDV, і т.д.

Ці електричні транспортні засоби можуть бути використані для перевезення пасажирів та вантажів у містах та на прилеглих територіях, зменшуючи шкідливий вплив транспорту на довкілля та забезпечуючи більш економічний та стійкий транспортний сектор.

*Гібридні транспортні засоби* поєднують в собі два джерела енергії - ДВС (двигун внутрішнього згорання) і електричний двигун. Основні характеристики гібридних транспортних засобів включаютьв себе двигун, батареї, режим роботи, рекуперація енергії, зарядка та екологічність (табл. 3).

Гібридне авто (HEV) — високоекономічне авто, котре рухається завдяки системі «електродвигун — двигун внутрішнього згорання» (надалі двигун), споживаючи як пальне, так і заряд електроаккумулятора. Головна перевага гібридного автомобіля — зменшення споживання пального та шкідливих викидів. Ефект досягається повним автоматичним режимом роботи двигуна з допомогою бортового комп'ютера [4]

Також важливо зазначити, що гібридні транспортні засоби можуть допомогти скоротити залежність від нафтових палив, що є стратегічно важливим для країн, які імпортують нафту. Загалом, гібридні транспортні засоби є кроком до більш стійкого та екологічного транспортного сектору.

Таблиця 3 - Основні характеристики гібридних транспортних засобів

Показник	Характеристика
Двигун	Гібридні транспортні засоби мають як ДВС, так і електричний двигун. ДВС зазвичай працює на бензині або дизельному паливі, а електричний двигун працює на заряді батареї. Двигуни можуть працювати окремо або разом, в залежності від ситуації на дорозі
Батареї	Гібридні транспортні засоби також мають батареї, але їх розмір і ємність зазвичай менші, ніж у повністю електричних автомобілів. Батареї забезпечують енергію для електричного двигуна
Режими роботи	Гібридні транспортні засоби зазвичай мають різні режими роботи, такі як режим електричного приводу, режим гібридного приводу, режим економії палива, тощо
Рекуперація енергії	Гібридні транспортні засоби можуть використовувати рекуперацію енергії під час гальмування, щоб заряджати батареї електричного двигуна
Зарядка	Гібридні транспортні засоби не потребують регулярної зарядки, як електричні автомобілі, оскільки їх батареї заряджаються під час руху
Екологічність	Гібридні транспортні засоби є більш екологічними, ніж автомобілі з ДВС, оскільки вони використовують менше палива і викидають менше вихлопних газів. Завдяки електричному двигуну, гібридні транспортні засоби можуть їздити на електричній енергії, що зменшує використання бензину або дизельного палива. Це зменшує викид шкідливих речовин, таких як вуглекислий газ, оксиди азоту і інші забруднюючі речовини, що шкідливо впливають на довкілля та здоров'я людей

Деякі з прикладів гібридних транспортних засобів (рис. 1):

✓ Toyota Prius - це популярний гібридний автомобіль, який використовує бензиновий двигун та електричну батарею, щоб зменшити споживання палива.

✓ Ford Fusion Hybrid - це інший гібридний автомобіль, який використовує бензиновий двигун та електричну батарею, щоб зменшити споживання палива.

✓ Honda Accord Hybrid - це гібридний седан, який також використовує комбінацію бензинового двигуна та електричної батареї.

✓ Volvo XC90 T8 Plug-In Hybrid - це гібридний позашляховик, який може працювати на бензиновому двигуні, електричній батареї або комбінації обох.

✓ BMW i8 - це гібридний спортивний автомобіль, який використовує бензиновий двигун та електричну батарею для підвищення продуктивності та зменшення споживання палива.

а) Toyota Prius



б) Ford Fusion Hybrid



в) BMW i8



г) Volvo XC90 T8 Plug



д) Honda Accord Hybrid



Рисунок 1 - Гібридні транспортні засоби: а) Toyota Prius; б) Ford Fusion Hybrid; в) Honda Accord Hybrid; г) Volvo XC90 T8 Plug-In Hybrid; д) BMW i8

Гібридні транспортні засоби є популярним вибором серед тих, хто шукає більш економічний та екологічний спосіб переміщення. Вони також є перехідним кроком до повністю електричних транспортних засобів, які стають все популярнішими.

Також декілька прикладів гібридних транспортних засобів, які можуть використовуватись як вантажні або пасажирські:

Ford Transit Custom Plug-In Hybrid - це гібридний фургон, який може перевозити вантажі або пасажирів. Він має електричний привід, який може забезпечити до 56 км пробігу на одній зарядці.

Toyota Proace Verso Electric - це електричний фургон, який може перевозити до 9 пасажирів або вантаж. Він має досягати до 330 км на одній зарядці.

Volvo XC90 T8 Twin Engine - це гібридний позашляховик, який може перевозити до 7 пасажирів або вантаж. Він має досягати до 45 км на електричному приводі та до 1,000 км на бензиновому двигуні.

Nissan e-NV200 Combi - це електричний фургон, який може перевозити до 7 пасажирів або вантаж. Він має досягати до 301 км на одній зарядці.

Гібридні вантажні та пасажирські транспортні засоби стають все більш популярними, оскільки вони можуть забезпечити економічні та екологічні переваги. Вони також можуть допомогти підприємствам та організаціям зменшити свій вуглецевий слід та знизити витрати на паливо.

*Водневі транспортні засоби* використовують водень як джерело енергії замість традиційного палива, такого як бензин або дизель. Наведемо деякі з характеристик водневих транспортних засобів:

- екологічність (водневі транспортні засоби є екологічними, оскільки вони не викидають в атмосферу вуглекислий газ та інші шкідливі речовини. Їх вихлопні гази - це тільки вода та пар);
- ефективність (водневі транспортні засоби можуть бути більш ефективними, ніж транспортні засоби з ДВС, оскільки вони можуть конвертувати до 60% енергії водню в електричну енергію, яка потім використовується для руху автомобіля);

- швидкість зарядки (зарядка водневого транспортного засобу може займати всього кілька хвилин, що значно швидше, ніж зарядка електромобіля);
- дальність ходу (водневі транспортні засоби можуть мати дальність ходу до 500 км на одному баку з воднем);
- вартість (наразі вартість водневих транспортних засобів є досить високою порівняно з традиційними автомобілями, але з часом вона може знизитись зі збільшенням попиту та зростанням виробництва).

Деякі приклади водневих транспортних засобів включають Toyota Mirai, Honda Clarity Fuel Cell та Hyundai Nexo. Водневі транспортні засоби ще не так поширені, як традиційні автомобілі з ДВС та електромобілі, але вони представляють потенційний екологічно чистий варіант транспорту в майбутньому.

Також декілька прикладів водневих транспортних засобів, які можуть використовуватись як вантажні або пасажирські. Такі, як:

- Hyundai H2 Xcient: це вантажівка, яка працює на водневих паливах і має дальність ходу понад 400 км на одному баку з воднем. Вона має вантажопідйомність до 36 тонн.
- Toyota Sora: це автобус, який працює на водні. Він може розмістити до 79 пасажирів та має дальність ходу понад 300 км на одному баку з воднем.
- Nikola Tre: це вантажівка, яка працює на водні. Вона має вантажопідйомність до 30 тонн та дальність ходу до 800 км на одному баку з воднем.
- Van Hool A330 FC: це автобус, який працює на водні. Він може розмістити до 105 пасажирів та має дальність ходу понад 300 км на одному баку з воднем.
- Toyota Mirai: хоча це не вантажівка чи автобус, це відомий приклад водневого транспорту. Це легковий автомобіль, який працює на водневих паливах і має дальність ходу понад 500 км на одному баку з воднем.

Ці водневі транспортні засоби ще не є настільки поширеними, як традиційні автомобілі з ДВС та електричні транспортні засоби, але їх можна використовувати в різних вантажних та пасажирських сферах,

де вони можуть бути більш екологічними та ефективними, ніж традиційні транспортні засоби.

*Автономні транспортні засоби*, такі як роботизовані автомобілі, що можуть їздити без водія, мають наступні характеристики:

- системи сприйняття інформації: автономні транспортні засоби оснащені різноманітними сенсорами, такими як радари, лазерні дальномери, камери та інші системи сприйняття інформації, які допомагають автомобілю розпізнавати дорожні знаки, інші автомобілі та перешкоди на дорозі;
- системи обробки даних: після того, як сенсори автомобіля зібрали інформацію про дорогу та оточуюче середовище, ці дані оброблюються спеціальними алгоритмами, щоб автомобіль міг приймати рішення про свій рух;
- системи управління: автономні транспортні засоби мають спеціальні системи управління, які дозволяють їм контролювати швидкість, рух та інші параметри, щоб безпечно переміщатися по дорозі;
- комунікаційні системи: автономні транспортні засоби можуть бути з'єднані з іншими транспортними засобами та інфраструктурою дорожнього руху за допомогою спеціальних комунікаційних систем, які допомагають автомобілю розуміти, що відбувається на дорозі, і взаємодіяти з іншими транспортними засобами;
- автономні транспортні засоби також можуть мати спеціальні системи навігації та GPS, щоб вони могли знайти оптимальний маршрут до своєї мети;
- важливою характеристикою автономних транспортних засобів є безпека, тому вони повинні бути оснащені різноманітними сенсорами та системами, що забезпечують взаємодію з дорожнім середовищем та реагують на небезпеку.

Основні характеристики автономних транспортних засобів включають:

- Рівень автономності - відображає ступінь залежності від управління людиною. Рівень автономності може бути від 0 до 5, де 0 -

це повністю людський контроль над транспортним засобом, а 5 - це повна автономність без потреби в допомозі водія.

– Сенсорна система - має на меті збір даних про дорожнє середовище, в якому рухається транспортний засіб. Сенсори можуть бути різного типу: відео, лідарні, радіолокаційні, гігрометричні та інші.

– Система контролю за рухом - аналізує дані, які надходять від сенсорної системи, та приймає рішення щодо руху транспортного засобу.

– Система управління - контролює всі параметри руху транспортного засобу, включаючи швидкість, напрямок руху, гальмування та інші параметри.

– Система комунікації - забезпечує зв'язок між автономним транспортним засобом та іншими транспортними засобами на дорозі, а також з диспетчерською службою.

– Енергетична система - забезпечує електричну енергію для всіх систем транспортного засобу, включаючи електричні двигуни, системи управління, системи комунікації та інші.

Подолати розбіжності у бажанні максимального прибутку від автомобільних перевезень та заходами зі збереження довкілля можна за допомогою наступних кроків, наведених нижче.

✓ *Встановити ефективну систему управління витратами на паливо та енергозберігаючі технології.* Це може включати в себе використання ефективних програм для моніторингу споживання палива та енергії, а також використання технологій економії палива та енергії, таких як економайзери палива, електронні датчики, системи автоматичного вимикання двигуна та інші.

✓ *Використовувати транспортні засоби з найнижчим рівнем викидів вуглецю та інших забруднюючих речовин.* Це може включати в себе використання електромобілів, гібридних автомобілів та інших транспортних засобів, які використовують відновлювальні джерела енергії.

✓ *Використовувати маршрутизацію транспорту та оптимізацію доставки.* Це може допомогти зменшити кількість використання транспортних засобів та скоротити час доставки товарів, знизити

витрати на паливо та зменшити викиди вуглецю та інших забруднюючих речовин.

✓ Використовувати інноваційні рішення для вирішення проблеми забруднення. Наприклад, використання технологій, що включають в себе збирання та використання відходів, може допомогти зменшити забруднення та створити додаткові джерела енергії.

✓ *Залучення персоналу до питань збереження довкілля.* Це може включати навчання та підвищення свідомості співробітників про питання збереження довкілля та способи його захисту. Організація тренінгів та семінарів, проведення інформаційних кампаній та розповсюдження практичних порад щодо екологічної поведінки можуть сприяти формуванню свідомої екологічної культури серед персоналу.

✓ *Впровадження екологічних стандартів та сертифікацій.* Застосування екологічних стандартів та сертифікацій може стати стимулом для організацій до впровадження екологічних практик у свою діяльність, а також дозволити відстежувати й оцінювати ефективність таких практик.

✓ *Залучення до співпраці з іншими компаніями та організаціями, які займаються збереженням довкілля.* Об'єднання зусиль може сприяти розробці та впровадженню ефективних рішень у сфері збереження довкілля та зменшення викидів вуглецю та інших забруднюючих речовин.

✓ *Встановлення партнерства з громадськими організаціями, які займаються захистом довкілля та просуванням зеленого розвитку.* Це може допомогти вирішити спільні проблеми та зменшити вплив компанії на довкілля.

В цілому, впровадження комплексних підходів, що поєднують технічні та організаційні рішення з екологічною освітою та залученням до співпраці з іншими організаціями, може сприяти досягненню балансу між максимізацією прибутку та збереженням довкілля.

Загалом, подолати розбіжності у бажанні максимального прибутку від автомобільних перевезень та заходами зі збереження довкілля можливо за допомогою комплексу заходів, які включають в себе

ефективне управління витратами, використання екологічних технологій, маршрутизацію та оптимізацію доставки, навчання та освіти персоналу щодо принципів збереження довкілля та енергоефективності, залучення споживачів до принципів збереження довкілля та вирішення проблем забруднення, використання стандартів та сертифікації, а також встановлення партнерства з громадськими організаціями, які займаються захистом довкілля та просуванням зеленого розвитку.

Крім того, важливо визнати, що збереження довкілля і максимізація прибутку можуть бути взаємозалежними. Наприклад, ефективне використання ресурсів та зменшення відходів може призвести до зменшення витрат та підвищення конкурентоспроможності компанії. Застосування екологічних технологій може допомогти зменшити викиди та забруднення, що може позитивно вплинути на імідж компанії та задоволення споживачів. Тому, компанії можуть долучити підприємства до збереження довкілля як конкурентну перевагу, що дозволить залучати нових клієнтів та підтримувати стійкий розвиток.

Екологічні технології в транспорті - це технічні та організаційні рішення, які дозволяють зменшити вплив транспортних засобів на довкілля та забезпечити більш ефективне використання ресурсів. Деякі приклади екологічних технологій в транспорті включають електричні транспортні засоби, гібридні транспортні засоби, використання альтернативних палив, системи рециркуляції вихлопних газів, оптимізація маршрутів, використання технологій енергозбереження, використання технологій моніторингу викидів (табл 4).

Використання технологій моніторингу викидів може бути досягнуто за допомогою різних технологій, таких як датчики вимірювання викидів, технології GPS, програмне забезпечення моніторингу тощо. Деякі приклади технологій моніторингу викидів включають датчики вимірювання викидів, GPS-технології, системи автоматичного відстеження викидів, Програмне забезпечення моніторингу (табл. 5).

Таблиця 4 - Екологічні технології в транспорті

Екологічні технології	Зміст екологічних технологій
Електричні транспортні засоби	Використання електричних заряджуваних транспортних засобів забезпечує зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу, що позитивно впливає на довкілля
Гібридні транспортні засоби	Гібридні транспортні засоби поєднують дві форми палива, що знижує споживання палива та викиди шкідливих речовин в атмосферу
Використання альтернативних палив	Використання альтернативних палив, таких як біопаливо, етанол та водень може зменшити відповідний вплив на довкілля
Системи рециркуляції вихлопних газів	Ці системи дозволяють зменшити кількість викидів шкідливих речовин в атмосферу
Оптимізація маршрутів	Оптимізація маршрутів та використання транспортних засобів може знизити витрати на паливо та забезпечити більш ефективне використання ресурсів
Використання технологій енергозбереження	Використання технологій енергозбереження може знизити витрати на енергію та зменшити вплив транспорту на довкілля
Використання технологій моніторингу викидів	Використання технологій моніторингу викидів - це процес контролю викидів транспортних засобів та їх впливу на довкілля

Використання технологій моніторингу викидів дозволяє отримувати точну інформацію про кількість викидів та якість повітря в реальному часі. Це дозволяє компаніям вживати необхідні заходи для зменшення викидів і забезпечення більш ефективного використання ресурсів.

Наприклад, моніторинг палива може допомогти компанії виявити автомобілі з незадовільним рівнем споживання палива і вжити необхідних заходів для покращення ефективності паливного споживання. Моніторинг також дозволяє виявляти витрати палива та інші проблеми, які можуть призводити до зайвих витрат.

Таблиця 5 - Технології моніторингу викидів

Засоби моніторингу	Принцип дії засобів моніторингу
Датчики вимірювання викидів	Ці датчики можуть бути встановлені на транспортні засоби та забезпечити точне вимірювання кількості викидів транспортного засобу в атмосферу
GPS-технології	GPS-технології можуть бути використані для моніторингу маршрутів транспортних засобів та визначення кількості кілометрів, пройдених на транспорті, що дозволяє визначити споживання палива та викиди
Системи автоматичного відстеження викидів	Ці системи можуть бути встановлені на транспортні засоби та забезпечити автоматичний моніторинг викидів шкідливих речовин
Програмне забезпечення моніторингу	Це програмне забезпечення може бути використане для збору, аналізу та відображення даних щодо викидів транспортних засобів, що дозволяє компаніям управляти впливом транспорту на довкілля та приймати дієві рішення щодо покращення екологічної ефективності

Використання технологій моніторингу викидів також може допомогти компаніям дотримуватися екологічних норм та стандартів, що може сприяти покращенню якості повітря та здоров'ю населення. Крім того, відповідне використання технологій моніторингу може допомогти компаніям виконувати законодавчі вимоги та уникнути штрафів за порушення екологічних норм.

### III. ОЦІНКА ВПЛИВУ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН АТЗ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ. ШЛЯХИ ЗАСТОСУВАННЯ

Автомобільний транспорт є одним з основних джерел викидів шкідливих речовин у повітря, таких як оксиди азоту (NO<sub>x</sub>), вуглеводні, вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>), тверді частки (PM) та інші. Ці викиди призводять до забруднення повітря та сприяють формуванню смогу, а також можуть мати негативний вплив на здоров'я людей та екосистеми. Рух транспортних засобів супроводжується високим рівнем шуму, що

може впливати на комфорт та здоров'я людей, а також на поведінку деяких видів тварин. Виробництво, експлуатація та утилізація автомобілів потребує значних кількостей природних ресурсів, таких як нафта для виготовлення пального, метали для конструкції автомобілів, вода для виробництва тощо. Будівництво та експлуатація доріг та інфраструктури для автомобільного транспорту призводить до втрати природних біотопів та природних екосистем. Часті аварії можуть мати серйозний вплив на навколишнє середовище через викиди небезпечних речовин, забруднення ґрунту та водойм, а також руйнування природних ландшафтів.

Ці аспекти підкреслюють необхідність розвитку та впровадження більш сталих та екологічно чистих альтернатив транспортного руху, таких як електромобілі, гібридні транспортні засоби, громадський транспорт, велосипеди та інші. Також важливо вдосконалювати технології та політики для зменшення викидів та покращення ефективності використання ресурсів у транспортній галузі.

Оцінка впливу викидів шкідливих речовин автомобільних транспортних засобів на навколишнє середовище є складним і багатоаспектним завданням. Складнощі полягають в наступних питаннях. Ідентифікація видів забруднюючих речовин – складність розпізнати та класифікувати різні види шкідливих речовин, які викидаються автомобільними транспортними засобами (це можуть бути такі речовини, як оксиди азоту (NO<sub>x</sub>), вуглеводні, вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>), тверді частки (PM), оксиди сірки (SO<sub>x</sub>) та інші); вимірювання викидів - здійснення вимірювань викидів певних шкідливих речовин з різних типів автомобілів у різних умовах експлуатації (це може включати випробування на динамометрі, моніторинг атмосферного повітря в реальному часі тощо); моделювання розподілу забруднюючих речовин - використання комп'ютерних моделей для прогнозування та аналізу розподілу шкідливих речовин у повітрі та їх впливу на навколишнє середовище; оцінка ефектів на здоров'я та довкілля - аналіз потенційних впливів викидів на здоров'я людей, екосистеми, водні ресурси та інші компоненти навколишнього середовища; розробка стратегій зменшення викидів - розроблення та

впровадження політик та технологічних рішень, спрямованих на зменшення викидів шкідливих речовин, таких як впровадження високоефективних систем каталізу, електричних транспортних засобів, використання біопалива тощо; моніторинг та відстеження - постійний моніторинг викидів та їх впливу на довкілля, а також впровадження систем відстеження для оцінки ефективності прийнятих заходів зменшення викидів.

Ці кроки допомагають зрозуміти масштаб проблеми та розробити стратегії для зменшення негативного впливу автомобільних транспортних засобів на навколишнє середовище.

Розрахунок кількості викидів шкідливих речовин автомобільними транспортними засобами на навколишнє середовище може бути складним і залежить від багатьох факторів, таких як тип транспортних засобів, обсяг використовуваного палива, умови експлуатації тощо. Один із загальних підходів може включати в себе визначення і розрахунок наступних показників: визначення кількості транспортних засобів - знайти або оцінити загальну кількість автомобільних транспортних засобів, які експлуатуються в розглянутій території чи регіоні; визначення рівня викидів на одиницю транспортного засобу - оцінити середній рівень викидів шкідливих речовин на одиницю транспортного засобу для різних типів транспортних засобів (легкові автомобілі, вантажівки, автобуси тощо), які можуть бути отримані з літературних джерел, статистичних даних або даних від виробників автомобілів; розрахунок загальної кількості викидів – необхідно помножити кількість транспортних засобів на середній рівень викидів на одиницю транспортного засобу для отримання загальної кількості викидів в даному регіоні; оцінка впливу на довкілля - використовуючи дані про кількість викидів, можна провести оцінку впливу на довкілля, включаючи розподіл шкідливих речовин у повітрі, їх вплив на якість повітря, екосистеми, здоров'я людей та інші аспекти. Важливо також врахувати, що точність розрахунків може значно варіюватися в залежності від якості даних, методів вимірювань та моделювання. Для більш точних розрахунків рекомендується використовувати відповідні стандартизовані методи та інструменти.

Одним із методів розрахунку загальної кількості викидів шкідливих речовин може бути наближений розрахунок урахуванням продажу/споживання кожного з видів пального за визначений період з урахуванням складу транспортного потоку за цей період та окремим урахуванням витрат пального іншими стаціонарними та пересувними джерелами забруднення атмосферного повітря.

При оцінці негативного впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище необхідно користуватися законодавчими актами, що діють на даний час в Україні. Одним із таких документів є ДСТУ 9030:2020 «Автомобільні дороги. Оцінка впливів на навколишнє середовище. Вимоги до проектної документації» [1], де розглянуто методи визначення негативного впливу автомобільних транспортних засобів (АТЗ) на довкілля та наведено формули для розрахунків. Також дана методика з поясненнями наведена в статті Харитонової Н.М. «Розрахунковий метод оцінки впливу транспортних засобів на повітряне середовище» [2].

Під час експлуатації автомобільної дороги та використання транспортними засобами з двигунами внутрішнього згорання надходять в атмосферне повітря різні забруднюючі речовини. Основні з них: включають оксид азоту (NO) та діоксид азоту (NO<sub>2</sub>), які утворюються під час спалювання палива у двигунах автомобілів і вважаються головними забруднюючими речовинами, що сприяють утворенню смогу та кислотних дощів; незгорілі вуглеводні, які також випускаються під час спалювання палива і можуть бути токсичними та відігравати роль у формуванні ґрунтового озону та інших забруднювачів; вуглецевий газ, який є головним газовим викидом, який відомий своєю роллю у глобальному потеплінні та зміні клімату; тверді частки, які включають у себе токсичні або канцерогенні частки, що викидаються під час згорання палива та можуть проникати у легені та сприяти розвитку різних захворювань дихальних шляхів; оксиди сірки, що утворюються при спалюванні палива, що містить сірку, і можуть сприяти утворенню кислих дощів та інших проблем з повітрям та водою.

Назви основних забруднюючих речовин та їх характеристики наведено в таблиці 6.

Таблиця 6 – Назви основних забруднюючих речовин та їх характеристики

<i>Код речовини</i>	<i>Назва речовини</i>	<i>ГДК м.р., мг/м<sup>3</sup></i>	<i>ГДК с.д., мг/м<sup>3</sup></i>	<i>ОБРД, мг/м<sup>3</sup></i>	<i>Клас небезпеки</i>
301	<i>Азоту діоксид</i>	0,20	0,04		3
303	<i>Аміак</i>	0,20	0,04		4
304	<i>Азоту оксид</i>	0,40	0,06		3
328	<i>Сажа</i>	0,15	0,05		3
330	<i>Ангідрид сірчистий</i>	0,50	0,05		3
337	<i>Вуглецю оксид</i>	5,00	3,00		4
410	<i>Метан</i>			50,0	4
703	<i>Бенз(а)пірен</i>	-	0,000001		1
2754	<i>Вуглеводні насичені C<sub>12</sub>-C<sub>19</sub></i>	1,00	-		4

Перелік забруднюючих речовин, які надходять в атмосферне повітря під час експлуатації автомобільної дороги при спалюванні палива двигунами внутрішнього згорання транспортних засобів та обліковуються, наведено в ДСТУ 9030:2020.

Розрахункові формули і пояснення, що будуть наведені в роботі взято у даних роботах [1, 2].

Розрахунок викидів забруднюючих речовин і парникових газів від транспортних засобів здійснюється з урахуванням середніх питомих викидів, виду палива, споживання палива на 1 км, коефіцієнтів технічного стану транспортних засобів та інших факторів впливу. Проте жоден із існуючих підходів не враховує специфіку експлуатації автомобільних доріг загального користування, зокрема інтенсивність руху та склад транспортного потоку.

Інтенсивність руху – це кількість транспортних засобів, які проходять через поперечний перетин вулиці чи дороги за одиницю

часу. Вона може вимірюватися у фактичних одиницях (авто/год), коли потрібно визначити фізичну кількість транспортних засобів, або у зведених одиницях (од/год), коли транспортний потік приводиться до умовного легкового автомобіля на основі порівняння габаритів транспортних засобів.

Склад транспортного потоку – це співвідношення різних типів транспортних засобів, що мають різні статистичні та динамічні характеристики, які ускладнюють організацію дорожнього руху. Він вимірюється як процентне співвідношення кількості вантажівок, легкових автомобілів та автобусів, що перебувають на дорозі в певний момент часу.

У формули, які використовуються для розрахунку викидів забруднюючих речовин, буде інтегровано вищезгадані показники інтенсивності руху та складу транспортного потоку. Валові викиди забруднюючих речовин та парникових газів у тоннах на рік (т/рік) в атмосферу визначаються окремо для кожного типу пального транспортних засобів за такою формулою:

$$V_{ij} = \Pi_{инп} * k_{ji} * k_{jiTC}, \quad (1)$$

де  $\Pi_{инп}$  – споживання  $i$ -го виду палива (бензин, дизельне пальне, стиснений та скраплений природний газ) транспортними засобами, що відповідають визначеній інтенсивності руху на ділянці дороги, т;

$k_{ji}$  – усереднений питомий викид  $j$ -тої забруднюючої речовини (окрім свинцю) та парникового газу від споживання  $i$ -го виду палива, кг/т (значення за табл. А.1 [1]);

$k_{jiTC}$  – коефіцієнт впливу технічного стану автотранспорту на викиди  $j$ -тої забруднюючої речовини від використання  $i$ -го виду палива (значення за табл. А.2 [1]).

Для розрахунку  $\Pi_{инп}$  середньої витрати бензину на 100 км дороги для транспортних засобів з бензиновими двигунами прийнято 10 л, для дизельного пального — 8 л, для газу скрапленого — 11 л, для газу стисненого — 9 л.

Щільність бензину дорівнює 0,74 кг/л, дизельного пального — 0,85 кг/л, газу скрапленого — 0,55 кг/л, газу стисненого — 0,59 кг/м<sup>3</sup>. Споживання *i*-го виду палива визначаємо за формулою:

$$P_{\text{инп}} = I_i * Q_{i(\text{км})} * L, \quad (2)$$

де,  $Q_{i(\text{км})}$  — середня витрата бензину одним середньостатистичним автомобілем на 1 км дороги, т (для транспортних заходів з бензиновими двигунами — 0,000074 т/км, для дизельного пального — 0,000068 т/км, для газу скрапленого — 0,0000605 т/км, для газу стисненого — 0,0000531 т/км);

$I_i$  — інтенсивність руху транспортних засобів, які працюють на *i*-му виді палива (бензину, дизельного пального, стисненого і скрапленого природного газу);

$L$  — довжина ділянки дороги, що проектується/експлуатується.

Інтенсивність руху транспортних засобів:

$$I_i = I * C_i * D, \quad (3)$$

де,  $I$  — добова інтенсивність руху транспортних засобів, авт./добу;

$C_i$  — частка транспортних засобів, які працюють на *i*-му виді палива (бензину, дизельного пального, стисненого і скрапленого природного газу) в загальній добовій інтенсивності руху транспортних засобів. Частка транспортних засобів з бензиновими двигунами складає 0,6, з дизельними — 0,33, на скрапленому газі — 0,05, на стисненому газі — 0,02;  $D$  — кількість днів в році.

Кінцева формула розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у атмосферне повітря, (т/рік):

$$V_{ij} = k_{ji} * k_{j\text{тс}} * L * D * Q * I * C_i / 100, \quad (4)$$

Максимальні секундні викиди забруднюючих речовин та парникових газів у атмосферне повітря, (г/с):

$$M = B_{ij} * 10^6 / (8760 * 3600), \quad (5)$$

де, 8760 — кількість годин ( $8760 = 24 * 365$ ).

Визначення концентрації речовин у приземному шарі атмосфери з урахуванням фонові концентрації є важливим для правильної оцінки загального рівня забруднення повітря та визначення впливу конкретних джерел забруднення. Цей підхід допомагає зрозуміти загальний вплив різних джерел забруднення на концентрацію речовин у приземному шарі атмосфери та дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо зменшення забруднення та покращення якості повітря.

Методика розрахунку концентрацій забруднюючих речовин ґрунтується на визначенні їх рівнів у приземному шарі атмосфери. [3].

Розглядаючи зазначену методику можна стверджувати, що при зменшенні витрат пального при виконанні транспортної роботи буде зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. В першу чергу це досягається оптимізацією транспортного процесу, тобто за рахунок вибору ефективних транспортних засобів та маршрутів доставки товарів, чи переміщення пасажирів.

Шляхи застосування можна показати на роботі комунального транспорту. Було запропоновано спосіб поводження з побутовими відходами з використанням інформаційної системи та маршрутизація перевезень побутових відходів із використанням інформаційної системи. Дані способи стосуються як мінімізації витрат на заходи з поводженням і транспортуванням побутових відходів з місць утворення до місць знешкодження, чи утилізації, так і змінізацією негативного впливу транспортних засобів на навколишнє середовище і здоров'я населення.

*Спосіб поводження з побутовими відходами з використанням інформаційної системи [5].*

Розробка відноситься до сфери захисту навколишнього середовища, а саме благоустрою населених пунктів в частині поводження з побутовими відходами.

Спосіб поводження з побутовими відходами з використанням інформаційної системи передбачає керування сукупністю взаємопов'язаних дій із запобігання утворенню відходів, їх збирання, зберігання, транспортування, оброблення, утилізації, видалення, знищення, захоронення, а також контроль за цими операціями. Даний спосіб відрізняється тим, що додається інформаційна система, яка в режимі реального часу корегує «Схему санітарного очищення населеного пункту» задля покращення її характеристик в частині напрямку й обсягів матеріальних потоків при розміщенні відходів у спеціально відведених місцях чи об'єктах. Інформаційна система включає вбудовані у контейнер датчики вимірювання обсягів та/або маси побутових відходів для збору інформації, що передається за допомогою супутникового зв'язку на телеметричні шлюзи комп'ютерної системи і обробляються у відповідному застосунку.

На практиці відомі способи «змінних» контейнерів (приїхали й забрали заповнені контейнери, а на їх місце встановили порожні) та «незмінних» контейнерів (завантажили відходи в кузов сміттєвоза, а контейнер залишили). На даний час збір і видалення побутових відходів в Україні здійснюється підприємствами за планово-регулярною системою в строки, передбачені санітарними нормами і правилами.

Недоліком таких способів є незгодженість роботи учасників «Схеми санітарного очищення населеного пункту» при впровадженні роздільного збору побутових відходів як для збереження ресурсоцінних компонентів, так і для зменшення негативного впливу відходів на навколишнє середовище (якість проживання мешканців у населених пунктах, негативного впливу відходів на їх здоров'я, заповненість полігонів, втрата вторинних ресурсоцінних компонентів).

Для розвитку та стійкого функціонування інфраструктури утилізації відходів необхідно забезпечити мінімальні надходження вторинної сировини для переробки і функціонування відповідних підприємств. Оскільки збором та вивезенням побутових відходів в багатьох містах України займаються по декілька підприємств (які в

свою чергу дають можливість встановлення конкурентних цін на дані послуги), то виникає питання про необхідність їх скоординованої діяльності. В кожному місті прийнята програма розвитку населеного пункту, в т.ч. «Програма поводження з побутовими відходами». Тому вбачається за необхідне, в межах затвердженої Програми зобов'язати кожне із підприємств забезпечити надходження вторинної сировини (за цінами, що враховують повернення вартості основних засобів задіяних для збору та транспортування вторинних ресурсів, з урахуванням певного відсотку рентабельності) і діяти в рамках цієї Програми. Перспективою розвитку даних підприємств на ринку надання послуг щодо поводження з відходами у даному населеному пункті є можливість розширення номенклатури послуг із роздільного збору побутових відходів. Невиконання договірних зобов'язань перед містом призведе до призупинення терміну дії дозволу на надання даних послуг. Розмір «внеску» (кількості вторинних ресурсів, що повинні бути надані для переробки на комунальне підприємство даного населеного пункту) повинно залежати від кількості населення, що обслуговується. Місцеві громади будуть мати змогу самі визначати орієнтованість місця по утилізації вторинних ресурсів на своїй території – тільки сортування з подальшим продажем вторинних компонентів чи повторне використання вторинних ресурсів для виготовлення продукції.

Якщо кожен із суб'єктів поводження з відходами буде мати оперативну і достовірну інформацію про наявність, кількість й місцезнаходження утворених відходів, це дозволить скорегувати (змінити) напрямки (маршрути) та обсяги матеріальних потоків при розміщенні відходів у спеціально відведених місцях чи об'єктах (рис. 2).

Метою запропонованого способу є створення сприятливих умов для функціонування стійкої системи поводження з відходами в населених пунктах за рахунок впровадження інформаційної системи, яка дозволяє оперативно змінювати характеристики процесу управління відходами.

Поставлена мета досягається тим, що в режимі реального часу коригуються параметри «Схеми санітарного очищення населеного

пункту» для її учасників на основі отримання, обробки та аналізу оперативної й достовірної інформації щодо заповнення контейнерів для зберігання побутових відходів.

Заповненість контейнерів визначається за допомогою вмонтованих у контейнер спеціальних датчиків контролю обсягів та/або маси побутових відходів, які накопичились в ньому. Інформація по заповненню контейнера передається за допомогою супутникового зв'язку в інформаційну систему під час запиту, або автоматично у випадку завчасного його заповнення. Залежно від заповненості контейнерів розміщених на певній території визначаються маршрути руху та кількість сміттєвозів. Також, оперативна інформація дає можливість достовірно розраховувати обсяги побутових відходів з метою контролю за станом санітарної очистки територій і розрахунків між учасниками задіяними у «Схемі санітарного очищення» (автотранспортні підприємства, житлово-комунальні господарства, полігони, контролюючі органи, переробні станції та інші).

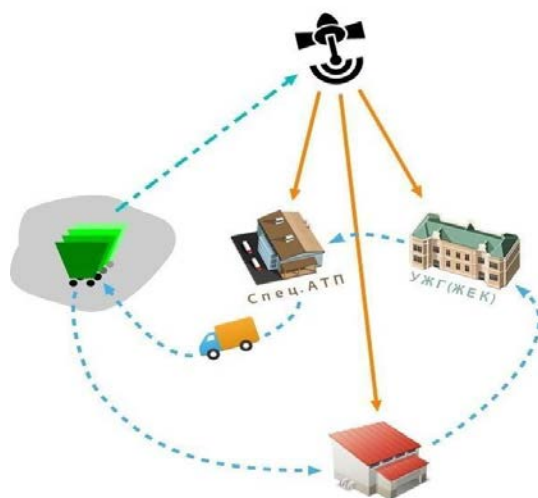


Рисунок 2 - Спрощена схема обміну оперативною інформацією щодо наповненості контейнерів побутовими відходами

Отже, пропонується у процес поводження з побутовими відходами, який передбачає керування сукупністю взаємопов'язаних дій із запобігання утворенню відходів, їх збирання, зберігання, транспортування, оброблення, утилізації, видалення, знищення,

захоронення, а також контроль за цими операціями, впровадити інформаційну систему, яка включатиме вбудовані у контейнер датчики вимірювання обсягів та/або маси побутових відходів, супутниковий зв'язок та навігацію, комп'ютерну мережу і відповідне програмне забезпечення.

*Маршрутизація перевезень побутових відходів із використанням інформаційної системи [6].*

Розробка відноситься до сфери захисту навколишнього середовища, а саме до поводження з побутовими відходами.

Відомий спосіб в рамках планово-регулярної (унітарної або роздільної) системи збору та видалення побутових відходів, який передбачає маршрутизацію перевезення побутових відходів, накопичених у незмінних контейнерах наявної кількості, на основі затвердженої схеми санітарного очищення населеного пункту з урахуванням максимального рівня добового утворення побутових відходів, затверджених нормативів щодо періодичності їх вивезення й термінів їх зберігання в контейнері для побутових відходів, а також місткості цих контейнерів.

Недоліками даного способу є складнощі щодо коректного обліку утворених, перевезених й зданих для захоронення/утилізації/знешкодження обсягів побутових відходів, які призводять до неякісного контролю за санітарною очисткою територій, а також маніпулювання даними під час розрахунків між учасниками, задіяними в процесі поводження з відходами (автотранспортними підприємствами, житлово-комунальними господарствами, полігонами, контролюючими органами, сортувальними станціями та ін.).

Спосіб, найбільш близький до запропонованого, передбачає передачу оперативної інформації щодо заповненості контейнерів для коригування плану збору (у т.ч. періодичності й порядку вивезення) робітниками житлово-комунальних господарств на основі візуального контролю. При цьому такий спосіб передачі інформації включає суб'єктивність й неточність.

Запропонована система GPSM Eco Track пропонує обладнати кришки контейнерів датчиками, які зверху сканують поверхню і

визначають рівень наповнюваності (у відсотках), що не завжди відображає реальну заповненість контейнера. По-перше, реальна потреба у вивезенні накопичених відходів визначається не тільки об'ємом, але й масою, по-друге, при відкритій кришці контейнера запропонований спосіб працюватиме некоректно. Крім того, заявлений спосіб маршрутизації не враховує можливість передачі інформації всім зацікавленим особам, визначальним у прийнятті рішення щодо збору відходів поза розробленим графіком, а також оперативного коригування маршруту.

Метою запропонованого способу є мінімізація часу й змінних витрат на перевезення побутових відходів на маршруті, а також забезпечення якісного контролю за санітарною очисткою територій та запобігання маніпулюванням даними під час розрахунків між учасниками, задіяними в процесі поводження з відходами.

Поставлена мета досягається тим, що формування раціонального маршруту перевезень із виключенням місць збору побутових відходів із ще незаповненими контейнерами та включенням із вже заповненими відбувається в режимі реального часу.

Для успішної реалізації запропонованого способу контейнери мають бути обладнані спеціальними пристроями контролю обсягів та/або маси побутових відходів, інтегрованими в автоматизовану інформаційну систему збору й обробки даних (рис. 3, 4). Зазначена система включає сервіс збору оперативної інформації щодо наповненості контейнерів для оператора, сервіс формування/коригування маршрутів збору побутових відходів на основі евристичних та математичних методів, а також сервіс передачі даних про сформований маршрут й звіту щодо показників роботи спеціалізованого РС на маршруті зацікавленим особам .

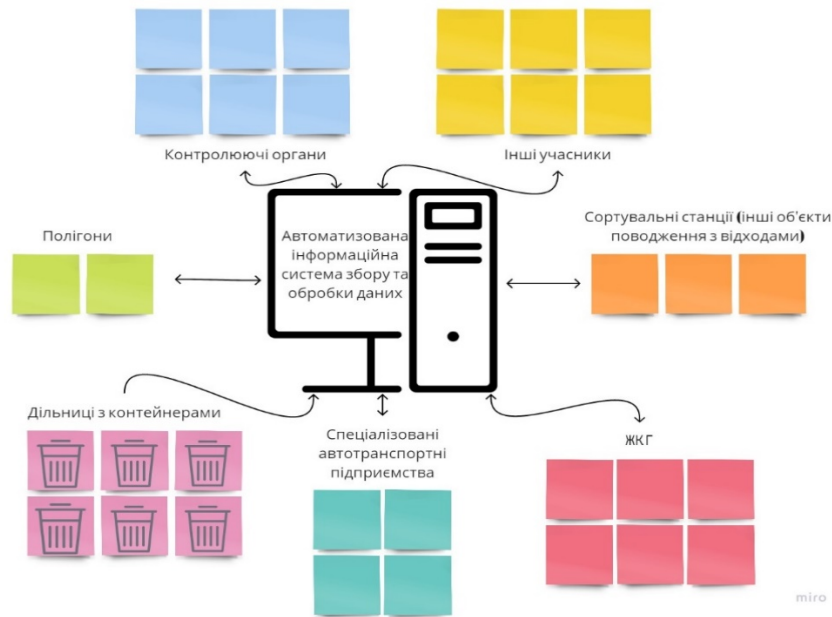


Рисунок 3 - Користувачі автоматизованої інформаційної системи організації й управління вивезенням побутових відходів

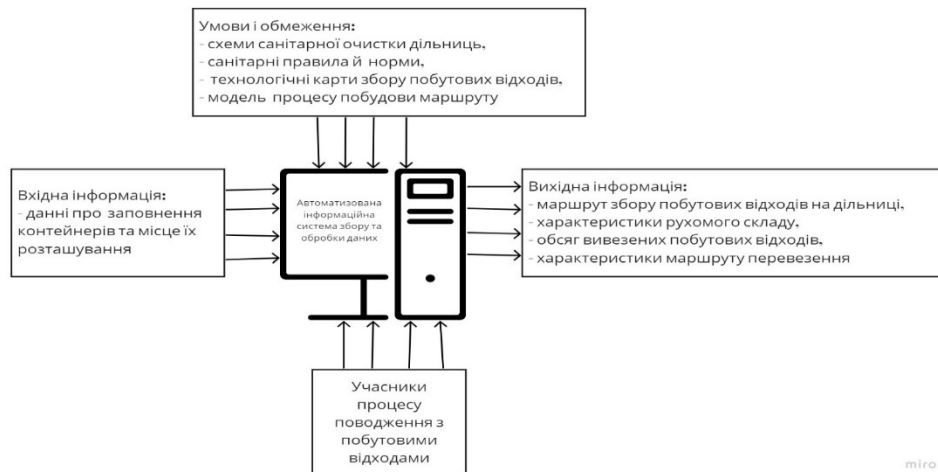


Рисунок 4 - Функціональна діаграма інформаційної системи організації й управління вивезенням побутових відходів (формування маршруту)

Запропонований спосіб буде ефективним для всіх видів контейнерів і технологій збору побутових відходів в них, а також при повному або частковому обладнанні контейнерів спеціальними пристроями контролю обсягів та/або маси побутових відходів.

Отже, запропонований спосіб дозволяє в режимі реального часу формувати раціональний маршрут збору і перевезення побутових

відходів, починаючи від найближчого до автотранспортного підприємства домогосподарства, що обслуговується, у напрямку об'єкта поводження з побутовими відходами (для зберігання, утилізації, знищення, захоронення). В рамках способу коригуються техніко-економічні показники роботи спеціалізованого рухомого складу на маршруті (місця й послідовність збору побутових відходів на маршруті, графік й умови руху, вантажопідйомність і вантажомісткість сміттєвозів, обсяги транспортної роботи тощо).

Розробка маршрутів збору побутових відходів здійснюється на основі практичного досвіду фахівців, встановлених правил й нормативів, оперативної інформації щодо наповненості контейнерів побутовими відходами та моделі процесу збору побутових відходів, цільовою функцією якої є мінімізація часу й змінних витрат на перевезення.

## ВИСНОВКИ

Технології "зеленої" транспортної логістики відіграють ключову роль у вдосконаленні транспортних систем і зменшенні негативного впливу на навколишнє середовище. Вони сприяють електрифікації транспорту, використанню альтернативних палив, оптимізації маршрутів та доставок, сприяють використанню "розумних" систем управління транспортом та використанню інноваційних пакувальних матеріалів.

У цілому, технології "зеленої" транспортної логістики сприяють створенню більш сталого та ефективного транспортного середовища, що відповідає потребам сучасного суспільства та забезпечує збереження навколишнього середовища для майбутніх поколінь.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] ДСТУ 9030:2020 Автомобільні дороги. Оцінка впливів на навколишнє середовище. Вимоги до проектної документації. Київ, 2020 р. 42 с.
- [2] Харитонова Н.М., Розрахунковий метод оцінки впливу транспортних засобів на повітряне середовище. *Дороги і мости*. Київ, 2023. Вип. 27. С. 289–295.  
DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.289>.
- [3] Збірник методик по розрахунку вмісту забруднюючих речовин в викидах від неорганізованих джерел забруднення атмосфери. Донецьк, 2003. 178 с.
- [4] Екологічно\_чистий\_транспорт. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Екологічно\\_чистий\\_транспорт](https://en.wikipedia.org/wiki/Екологічно_чистий_транспорт) (дата звернення: 30.01.2025).
- [5] Твір наукового характеру “Маршрутизація перевезень побутових відходів із використанням інформаційної системи” / О.П. Процик., Ю.О.Сілантьєва // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. – № 110323, Державна служба інтелектуальної власності України. – заяв. 16.11.2021 р. № с202108294; реєстр. 15.12.2021 р.
- [6] Твір наукового характеру “Спосіб поводження з побутовими відходами з використанням інформаційної системи” / О.П. Процик., Ю.О.Сілантьєва // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. – № 110324, Державна служба інтелектуальної власності України. – заяв. 16.11.2021 р. № с202108295; реєстр. 15.12.2021 р.

Наукове видання

**ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
ТА ЛОГІСТИКА**

*МОНОГРАФІЯ*

**ISBN 978-617-7926-72-5**

Віддруковано з готового макету замовника

Підписано до друку 03.02.2025 р.  
Формат 60x84 1/16. Умовн. друк. арк. 12,09.  
Папір офсетний. Гарнітура “Times New Roman”.  
Друк цифровий. Зам. № 595.  
Наклад 100 примірників.



Видавець Кушнір Г.М.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів  
видавничої продукції: серія ІФ №31 від 26.01.2009 р.  
76026, м. Івано-Франківськ, вул. Гетьмана Дорошенка, 22б,  
тел. (099) 700-47-45, e-mail: kgm.print@i.ua