

Академія технічних наук України

**НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
У ГАЛУЗІ ТРАНСПОРТУ**

КОЛЕКТИВНА МОНОГРАФІЯ

ТОМ 1

Академія технічних наук України

**НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
У ГАЛУЗІ ТРАНСПОРТУ**

КОЛЕКТИВНА МОНОГРАФІЯ

ТОМ 1

Видавець Кушнір Г.М.
Івано-Франківськ – 2022

УДК 629
ББК 39
Н 34

*Рекомендовано до друку Вченою Радою наукової установи
Академія технічних наук України (протокол №1 від 05.01.2022 року).*

Рецензенти:

професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту
Вінницького національного технічного університету,
доктор технічних наук, професор **А.А. Кашиканов**;
завідувач кафедри залізничних станцій та вузлів
Українського державного університету залізничного транспорту,
доктор технічних наук, професор **О.М. Огар**;
директор Інституту механічної інженерії та транспорту
Національного університету «Львівська політехніка»,
доктор технічних наук, професор **О.С. Ланець**.

Науково-технічні дослідження у галузі транспорту: колективна
Н 34 монографія / за заг. ред. Д.В. Ломотька. – Академія технічних наук
України. – Івано-Франківськ: Видавець Кушнір Г.М. – 2022. Т1. – 216 с.

ISBN 978-617-7926-26-8

УДК 629
ББК 39

У монографії запропонована концепція використання логістики, як основи покращення показників вантажних залізничних перевезень, наведені результати досліджень екологічної безпеки транспортних потоків та енергетичних показників транспортних засобів з електричним приводом, розроблена автоматизована технологія управління вагонопотоками при здійсненні міжнародних перевезень, наведені організаційно-технологічні аспекти мультимодальних перевезень та запропоновані шляхи розвитку інтермодальних перевезень в умовах України та у міжнародному сполученні.

ISBN 978-617-7926-26-8

© Авторський колектив, 2022,
© Академія технічних наук України, 2022.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
Ломотько Денис. КОНЦЕПЦІЯ ВИКОРИСТАННЯ ЛОГІСТИКИ, ЯК ОСНОВА ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ВАНТАЖНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	6
Бакуліч Олена. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ	45
Дембіцький Валерій. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДОМ	77
Бауліна Ганна. ФОРМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ВАГОНОПОТОКАМИ ПРИ ЗДІЙСНЕННІ МІЖНАРОДНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	115
Новальська Надія. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ	150
Шапатіна Ольга. РОЗВИТОК ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ УКРАЇНИ ТА У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ	183

ПЕРЕДМОВА

Одними із основних напрямків удосконалення організації транспортного процесу залізниць України є забезпечення конкурентоспроможності та прибутковості в умовах транспортного ринку, реформування галузі та інтеграції до Європейської співдружності. Сформовано концепцію використання логістики, як основу покращення показників вантажних залізничних перевезень. Використано логістичні підходи для покращення показників вантажних залізничних перевезень в умовах існування технічних, технологічних, інфраструктурних та фінансових обмежень з метою отримання синергетичного ефекту. Інструментом досягнення цього є оригінальні методи формування системи логістичних центрів залізниць у єдиному технологічному та інформаційному середовищі. Запропоновано комплексний метод перерозподілу синергетичного ефекту від функціонування виробничо-транспортних логістичних ланцюгів на основі багатокритеріальних ресурсозберігаючих підходів та ефективної системи підтримки прийняття рішень для оперативного персоналу логістичних центрів залізниць.

Розглянуто систему екологічної безпеки транспортних потоків міст та її особливості. Запропоновано моделювання забруднення екосистем примагістрального простору шляхом управління параметрами транспортного потоку, за результатом якого оцінюється рівень екологічної безпеки.

Проведено дослідження витрат електричної енергії транспортними засобами з електричним приводом. З метою приведення теоретичних досліджень до реальних умов експлуатації здійснено моделювання руху транспортного засобу з врахуванням випадкового впливу зовнішніх факторів, визначено вплив цих факторів на витрату електричної енергії.

Розглянуто особливості технології роботи прикордонних станцій при здійсненні міжнародних перевезень. Формалізовано технологію функціонування прикордонної перевантажувальної станції у вигляді

оптимізаційної моделі, що дозволить визначити оптимальну партію контейнерів, що сформована у прикордонному транспортно-логістичному центрі (ПТЛЦ) для відправлення до станції призначення. Реалізація транспортних технологій з використанням ПТЛЦ дозволить зменшити непродуктивні простой рухомого складу, збільшити переробну спроможність прикордонних станцій, підвищити ефективність перевізного процесу, знизити транспортні витрати. Удосконалено структуру та комплекс задач інформаційно-керуючої системи прикордонної перевантажувальної станції за участю ПТЛЦ, що реалізує автоматизовану технологію управління вагопотоками при здійсненні міжнародних перевезень, за рахунок інтегрування інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень з використанням бази знань у вигляді фреймів-сценаріїв до автоматизованих робочих місць оперативного персоналу.

Розглянуто організаційні та нормативно-правові засади мультимодальних перевезень в міжнародному сполученні. Досліджено технологічні складові міжнародних мультимодальних перевезень, зокрема сучасні мультимодальні технології транспортування вантажів, основні елементи мультимодальної транспортної мережі.

Досліджено ефективність перевезення вантажів різними транспортними засобами. Запропоновано критерій для обрання виду транспорту, який враховує важливість складових у кожний конкретний момент часу при прийнятті рішень та зводиться до кваліметричної оцінки. Розроблено технологію оперативного планування інтермодальних перевезень вантажів, в результаті вирішення якої буде визначатись маршрут з урахуванням не лише довжини сегментів, що відповідають різним видам транспорту, а й затримки під час передачі вантажу від одного транспортного підприємства до іншого, та забезпеченні можливості одночасного урахування вимог клієнта щодо вартості перевезення та терміну доставки.

Концепція використання логістики, як основа покращення показників вантажних залізничних перевезень

Денис Ломотько

*Український державний університет залізничного транспорту
м. Харків, Україна*

I. ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ РЕФОРМУВАННЯ

Одними із основних напрямків удосконалення організації транспортного процесу залізниць України є забезпечення конкурентоспроможності та прибутковості в умовах транспортного ринку, реформування галузі та інтеграції до Європейської співдружності. Virішення цієї наукової проблеми можливо здійснити шляхом впровадження логістичних принципів в усі ланки перевізного процесу. Даний напрямок відповідає вимогам Державної програми реформування залізничного транспорту України і низці директивних документів Укрзалізниці. Процес формування логістичних технологій організації транспортного процесу залізниць України повинен носити комплексний характер і сприяти процесам реформування, враховувати інтереси усіх учасників перевізного процесу, бути спрямованим на ресурсозберігаючі технології при використанні обмежених ресурсів (рухомого складу, вантажних механізмів, тощо), на покращення кількісних і якісних показників експлуатаційної роботи. В умовах зростання обсягів перевезень при наявності конкуренції з іншими видами транспорту та при підвищенні вимог клієнтури до якості транспортного обслуговування особливо актуальним стає вирішення наукової проблеми створення методологічних основ для формування логістичних ланцюгів, що, у свою чергу, передбачає створення вискоелективних технологій

перерозподілу та використання засобів транспорту, визначення раціональних маршрутів прямування вантажних поїздів, формування адаптивної системи взаємодії залізничного та інших видів транспорту у транспортних вузлах зі створенням відповідних сучасних систем підтримки прийняття рішень (СППР). Розробка комплексу відповідних математичних моделей є засобом для вирішення цієї наукової проблеми, що дозволить визначити раціональну технологію організації транспортного процесу залізниць України, скоротити експлуатаційні витрати та сформувати ієрархічну систему логістичних центрів Укрзалізниці. Запропоновані методи і технології є основою для удосконалення взаємодії різних видів транспорту у процесі логістичної діяльності на залізничному транспорті України, а також Європейського Союзу.

Політичні, економічні зміни і формування транспортного ринку поклали кінець практично монопольному положенню залізниць в Україні. Залізниці України мають потребу в дійових заходах щодо впровадження нових логістичних технологій обслуговування клієнтури. Відзначено, що реформування залізничного транспорту проходить, як правило, по трьох напрямках [8], [10]:

вивід залізничного транспорту із ведення держави та прийняття сторонами переглянутого переліку задач і відповідальності;

реструктуризація залізничного транспорту із метою посилення ринкової орієнтації в умовах скорочення частки державного регулювання;

перерозподіл сфер діяльності в області надання транспортних послуг між приватним і державним сектором.

Технологію функціонування залізниць України регламентують Статут залізниць та Правила технічної експлуатації (ПТЕ) [12], [9]. Аналіз існуючих регуляторних актів доводить, що формування макрологістичної системи України потребує подальшого розвитку нормативно-правової бази, яка буде регламентувати і забезпечувати права всіх учасників логістичного ланцюга.

Реструктуризація та реформування залізничного транспорту країн членів ЄС проводиться відповідно до директив ЄС по розвитку залізничного транспорту [7]:

- 91/440/ЄС, що регламентує розвиток залізниць ЄС. Директивою передбачається обов'язкове відділення функцій управління інфраструктурою, що пов'язані з перерозподілом пропускної спроможності і ліцензуванням права на перевізну діяльність, від функцій комерційної експлуатації залізниць;
- 95/18/ЄС, яка визначає вимоги до ліцензування підприємницької діяльності на залізничному транспорті. Вимоги відносяться до усіх компаній, які функціонують на залізницях, а ліцензії дійсні у всіх країнах – членах ЄС;
- 95/19/ЄС, що встановлює принципи розподілу пропускної спроможності та оплати права користуватися інфраструктурою залізниць. При цьому передбачено розмежування функцій розподілу пропускної спроможності та користування нею для структурних підрозділів залізниць.

Зокрема, залізниці Франції найбільш повно здійснили реструктуризацію на принципах, що оговорені названими директивами ЄС [10]. Реформи на залізничному транспорті Франції полягає у тому, що державна структура «Національне товариство Французьких залізниць» було розділено. Створено державний концерн «Мережа Французьких залізниць» (RFF) та державну «Національну компанію залізниць» (SNCF), яка функціонує на принципах єдності та логістики. RFF володіє, здійснює управління та розвиток залізничної інфраструктурою та доручає компанії SNCF її експлуатацію і технічне обслуговування.

Більшість країн Центральної і Східної Європи поставили за мету членство у ЄС, тому вони додержуються вимог усіх директив ЄС в галузі залізничного транспорту. Наприклад, реструктуризація державних залізниць Польщі (PKP) закінчилась створенням компаній вантажних перевезень, регіональних пасажирських перевезень, тяги, зв'язку та інформаційних технологій, логістики. Пізніше почали діяти

компанія з інфраструктури та два оператори: PRP Gargo та PKP Regional Passenger Traffic [1].

Конкуренція з автомобільним транспортом вплинула на процес приватизації та реструктуризації державних залізниць Великобританії. Зараз інфраструктурою володіє недержавна компанія Railtrack. На основі контрактів з Railtrack на право володіння пропускною спроможністю або нитками графіка на окремих напрямках компанії-оператори здійснюють залізничні перевезення. Крім того, створено державне відомство Rail Regulator (ORR), яке регулює умови доступу до інфраструктури Railtrack між компаніями-операторами.

Мережу залізниць США в основному складають дванадцять найпотужніших залізниць, з них чотири є найголовнішими залізничними компаніями: Union Pacific (UP), CSX, Texas Pacific, Norfolk Southern. Принциповими відмінностями залізниць США від європейських є спеціалізація залізниць по видам перевезень (вантажні, пасажирські та приміські) та їх приватна та акціонерна власність в умовах конкуренції як усередині, так і між залізницями. Щорічний перегляд діяльності залізниць здійснюється державною Комісією міжштатних сполучень конгресу США [10].

У зв'язку із вищенаведеним, одним з основних завдань логістичної системи залізниць України повинне бути забезпечення взаємодії всіх учасників перевізного процесу від виробника до споживача у вигляді виробничо-транспортного логістичного ланцюга.

Під *виробничо-транспортним логістичним ланцюгом* (ВТЛЛ) будемо у загальному сенсі розуміти сукупність окремих підсистем усередині логістичної системи: окремі транспортні або виробничі підрозділи, елементи виробничої та транспортної інфраструктури, єдине інформаційне середовище, інші господарські складові, що об'єднанні та працюють на єдиний економічний (або інший, наприклад, соціальний, екологічний) результат. У цих умовах транспортна підсистема логістичної системи стає синхронізованою з виробничими процесами на підприємствах – вантажовідправниками та вантажоотримувачами. Це можливо здійснити шляхом

упорядкування і розподілу матеріальних ресурсів від виробника до кінцевого споживача, враховуючи рентабельність, продуктивність та синергетичний ефект системи в цілому. Сучасні тенденції свідчать про необхідність впровадження логістичних підходів на базі корпоративних інформаційних систем SCM (Supply Chain Management - "системи управління ланцюгами постачання") [15].

Технологія функціонування ВТЛЛ повинна базуватися на наступних принципах [14]:

- вивчення ринків виробництва та збуту як у межах України, так і за її кордоном, що необхідно для залучення вантажів для перевезення по вітчизняній транспортній системі;
- створення логістичного ланцюга від виробника до споживача за участю всіх необхідних видів транспорту і допоміжних організацій;
- реалізація доставки вантажу у межах логістичного ланцюга та управління процесом транспортування;
- відповідальність за реалізацію ВТЛЛ на всьому шляху прямування вантажу будь-якими видами транспорту.

II. МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ФОРМУВАННЯ І ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ЛОГІСТИЧНИХ ЦЕНТРІВ ЗАЛІЗНИЦЬ

Процеси формування сучасної інфраструктури транспорту базуються на позитивних тенденціях, що спостерігаються в теперішній час на транспортному ринку і обумовлюють підвищенням рівня конкуренції між видами транспорту. В цих умовах обґрунтування доцільності того чи іншого заходу реформування залізниць доцільно здійснювати в цілому за єдиним або комплексним критерієм, який характеризує якість виконання основних задач при певних обставинах. Як показує досвід, процеси реформування необхідно проводити з урахуванням можливості отримання загальносистемного ефекту від функціонування окремих взаємопов'язаних підсистем (підрозділів залізничного транспорту), як єдиної системи [4].

Системний підхід щодо обґрунтування процесу реформування та розвитку залізничного транспорту передбачає формування динамічної моделі окремих транспортних підрозділів у складі єдиної організаційно-технологічної структури, спрямованої на досягнення мети свого функціонування. Це дозволяє вважати таку структуру великою транспортною системою, для якої характерні нові властивості і характеристики, а окремі залізничні підрозділи набувають статусу елементів системи. Таким чином, сучасні умови вимагають формалізувати процес функціонування великої динамічної системи залізничного транспорту з позиції системного підходу, що спрямований на оптимізацію загальносистемного (синергетичного) ефекту та комплексно враховує інтереси всіх учасників перевізного процесу, а також забезпечує скорочення витрат обмежених ресурсів (рухомого складу, кількості вантажу у процесі прямування до споживача, персоналу, тощо) для освоєння обсягів перевезень. Слід зауважити, що використання ресурсів у сучасних умовах є одним з найголовніших обмежень, яке істотно впливає на технологію функціонування ВТЛЛ в умовах оптимізації маршрутів прямування поїздів.

Залізничний транспорт об'єднує виробників різних регіонів держави в єдиний національний ринок. Тому він у складі транспортного комплексу є важливим фактором формування конкурентного середовища з метою стабільного закріплення виробників та споживачів товарів на базі ВТЛЛ. Враховуючі потужні інформаційні ресурси, що мають українські залізниці, які відображають у реальному масштабі часу динаміку технологічних процесів по переміщенню транспортних об'єктів і вантажів, цілком логічно і закономірно, що Укрзалізниця повинна стати ініціатором і засновником формування макрологістичної системи і зокрема її головного та регіональних логістичних центрів.

Таким чином, під *системою логістичних центрів залізниць* будемо розуміти множину елементів (сервісних логістичних центрів, ВТЛЛ з портами, пунктами перетину кордонів, терміналами та іншими елементами транспортно-виробничої інфраструктури,

враховуючі інформаційну підсистему), які знаходяться у функціональних зв'язках між собою, мають певні обмеження на власні технічні та технологічні можливості і утворюють єдину цілісність з метою досягнення синергетичного ефекту.

У процесі формування системи логістичних центрів залізниці України беруть на себе додаткові технологічні операції, які виконуються сумісно з перевезенням вантажів та потребують використання великих матеріальних і людських ресурсів на всіх ланках ВТЛЛ: безпосередньо у сервісних логістичних центрах, на вантажних терміналах, у портах та ін. Від ефективності їх використання істотно залежить собівартість перевезень, кінцева вартість продукції і рентабельність залізниці. Ефективна система управління ланцюгами постачання (SCM) повинна базуватися на використанні логістичних підходів до використання складських ресурсів, навантажо - розвантажувальних терміналів, промислового залізничного транспорту (ППЗТ), та визначення розмірів поставки і запасу матеріального ресурсу (вантаж). Це дозволяє у ряді випадків знизити собівартість виробництва продукції до 30%, скоротити об'єми матеріально-технічних запасів від 30 до 70% [3].

З метою покращення якісних показників транспортного процесу і економічності обслуговування вантажовласників рішення задачі управління і раціоналізації логістичної системи доставки вантажів можливо здійснити на основі багатокритеріальних методів з урахуванням ресурсозберігаючого підходу. Загальна логістична система АТ Укрзалізниця повинна складатися з логістичних систем залізниць, дирекції залізничних перевезень, окремих крупних залізничних станцій. У процесі формування системи логістичних центрів постає питання управління організаційною структурою сервісного логістичного центру. На наш погляд, одним з основних факторів, який повинен бути враховано при формуванні організаційної структури логістичного центру є можливість досягнення високого рівня обслуговування з урахуванням наявності внутрішніх та зовнішніх обмежень.

Для створення структури логістичної системи і принципів її функціонування в межах існуючих залізничної інфраструктури і технологій доцільно застосувати методологію, що базується на системному підході. При цьому треба враховувати, що залізнична система є динамічною за своєю природою.

Створення логістичної транспортної системи у вигляді якісно нової цілісності більш високого рівня сукупності елементів, об'єднаних для рішення загальної мети, передбачає одержання додаткових результатів. Це виражається у зростанні результатів, що відносять до системного ефекту [5]. Системний ефект проявляється при функціональній взаємодії системи із середовищем. Одночасне функціонування окремих, але взаємозалежних елементів у рамках залізничної транспортної системи забезпечує більше високу загальну ефективність у порівнянні із сумарною ефективністю окремих частин (синергетичний ефект). Властивість транспортної системи в цілому, як нової сукупності елементів, забезпечувати нові результати називають емерджентністю [2]. Тому з метою формування логістичних принципів функціонування у залізничних транспортних системах необхідно досліджувати елементи, яким властива емерджентність, а також виконувати цілісний, загальносистемний аналіз з метою виявлення загальних закономірностей та оптимізації синергетичного ефекту. Основними нормативно-технологічними документами, що поєднують роботу всіх залізничних підсистем у просторі і часі є план формування і графік руху поїздів, тобто створення логістичних центрів приведе до оперативного та гнучкого корегування цих документів.

Процес функціонування сукупності залізничних підрозділів, як транспортної системи, можливо формалізувати з використанням підходу [5] наступним чином. Транспортна система S і всі її складові частини характеризуються станом у просторі і часі. Стан транспортної системи $C(t)$ у цей момент визначається множиною значень змінних, параметрів і характеристик, які описують систему. При цьому параметри є незалежними змінними, а характеристики залежать від параметрів і взаємозв'язків. При формалізації

транспортної системи, як правило, виділяють тільки основні властивості та параметри системи, що призводить до спрощення отриманих моделей. Стан транспортної системи визначають за допомогою оператора

$$C(t) = \Psi^0(t; C_0; U_t; V_t; P_t; X_t), \quad (1)$$

де Ψ^0 – оператор стану (оператор переходу);

t – момент часу;

C_0 – початковий стан транспортної системи;

U_t – керований вхідний вплив у момент часу t , за допомогою якого здійснюється цілеспрямовані зміни у системі. У якості U_t можливо розглядати вхідні потоки, план формування, управлінські рішення, що приймаються відповідальними працівниками станцій, дирекцій залізничних перевезень, управлінь регіональних філій (залізниць), АТ Укрзалізниця щодо розвитку залізничної системи і взаємодії з іншими транспортними системами і клієнтурою;

V_t – некерований вхідний вплив у момент часу t , який характеризує вплив на транспортну систему з боку зовнішнього середовища. У якості V_t виступають ситуація на товарному і транспортному ринку, попит на матеріальні ресурсі та транспортні послуги, потік відмов засобів транспорту, тощо;

P_t – параметри управління транспортною системою у момент часу t , що спрямовані на організацію транспортного процесу на основі логістичних принципів, врахують інтереси всіх учасників перевізного процесу та забезпечують скорочення витрат обмежених ресурсів;

X_t – сукупність параметрів і характеристик, які характеризують внутрішні властивості транспортної системи у момент часу t . Кількість таких параметрів позначимо N , а область припустимих значень – через множину \hat{X} .

Будемо вважати входом транспортної системи множини керованих U_t і некерованих V_t сигналів, за допомогою яких вплив зовнішнього середовища передається транспортній системі.

Показники, що характеризують результати реакції транспортної

системи на вплив із зовнішнього середовища, називають вихідними. Вихід Y є множиною показників, через які транспортна система впливає на середовище. У якості Y можуть виступати параметри технічного, технологічного, організаційного, фінансово-економічного, соціального та екологічного характеру, що відображені у вигляді системи техніко-експлуатаційних показників транспортної роботи. Значення вихідних параметрів Y системи залежать від вхідних параметрів U_t , V_t , внутрішніх характеристик X_t та стану системи в початковий момент. Таким чином, перетворення входів у виходи з урахуванням функціонування транспортної системи можливо представити в загальному випадку у вигляді оператора

$$Y(t) = \Gamma^0(t; C_0; U_t; V_t; X_t; S_t), \quad (2)$$

де S_t – змінення структури транспортної системи, які відбивають процеси створення логістичних центрів в умовах реформування галузі.

Оператор Γ^0 по суті є законом функціонування системи, тобто вихідний процес визначається початковим станом системи, вхідними характеристиками і процесами зміни характеристик системи та її структури [4].

Таким чином множина залізничних підрозділів, об'єднаних єдиною метою є динамічною транспортною системою — системою із множиною станів, яка із часом переходить із одного стану в інший за правилами, що визначені операторами Ψ^0 і Γ^0 . Саме зміну стану і виходу системи називають поведінкою транспортної системи — процесом, функціонуванням для досягнення певного результату в можливому фазовому просторі [2].

Для залізничної транспортної системи структурні зміни S_t відбуваються на фоні наявності на АТ Укрзалізниця обмежених ресурсів рухомого складу, пропускної спроможності, тому конфігурація фазового простору визначається з урахуванням цих обмежень. Це, у свою чергу, призводить до необхідності вирішення

задачі ресурсозбереження.

Функціональний оптимум в області припустимих фазових траєкторій транспортної системи, як правило, визначається її спроможністю досягати поставленої мети без залучення додаткових ресурсів. Зокрема, фазовий простір Φ залізничної транспортної системи обмежений по параметрам X_t – кількістю локомотивів ($M_{лt}$), вагонів ($M_{вт}$), пропускною спроможністю ($M_{дt}$), а V_t – інтенсивністю вантажопотоків (Q_t) у момент часу t .

Слід зауважити, що у теперішній час пропускна спроможність має певні резерви у наслідок того, що проектування залізниць в основному здійснювалась на вантажопотоки, обсяги яких майже у два рази більші, ніж зараз існуючі. З іншого боку, знос тягового рухомого складу та вагонів складає приблизно 60...90%. Тому можливо зробити припущення, що у даному випадку лімітуючим та найбільш жорстким обмеженням є кількість локомотивів $M_{лt}$.

Таким чином, для залізничної транспортної системи фазовий простір Φ за своєю конфігурацією найбільш частише представляє випуклий багатокутник з обмеженнями

$$\Phi \in E_2 \quad \left\{ \begin{array}{l} M_{лt} \leq f(M_{лt}(Q_t)) \\ M_{лt} \geq M_{л}^{\min} \\ M_{лt} \leq M_{л}^{\max} \\ Q_t \leq Q_t^{\max} \end{array} \right. , \quad (3)$$

де E_k – Евклідов простір розмірністю $k=2$;

Q_t^{\max} – максимально можливі вантажопотоки для даної системи, який може бути встановлено за допомогою аналізу динаміки вантажопотіків;

$M_{л}^{\min}$, $M_{л}^{\max}$ – відповідно мінімальна та максимальна кількість локомотивів, що знаходиться у експлуатації. Як правило, $M_{л}^{\min}=1$, а $M_{л}^{\max}$ визначається з урахуванням наявного парку локомотивів $M_{л}$,

що експлуатуються, та резерву локомотивів $M_l^{\text{рез}}$.

У якості прикладу на рис. 1 представлено переріз фазового простору Φ для реального дослідного залізничного підприємства S_1 залізничної транспортної системи S з обмеженнями по параметрам M_{lt} та Q_t у момент часу t , які визначені емпіричними лінійними залежностями

$$\Phi_{S_1} \in \mathbf{E}_2 \quad \begin{cases} M_{lt} \leq 0.0034Q_t + 1.4264 \\ M_{lt} \geq 1 \\ M_{lt} \leq 6 \\ Q_t \leq 1600 \end{cases} \quad (4)$$

Реалізація системи (4) у складі системи підтримки прийняття рішень (СППР) оперативного персоналу дає можливість здійснювати ефективне управління параметрами підрозділу S_1 та технологією взаємодії з іншими підрозділами системи на базі логістичних принципів.

Зокрема, технологічну взаємодію різних залізничних підрозділів слід розглядати як взаємодію між різними підсистемами залізничної транспортної системи, оскільки технологічні зв'язки, множина вхідних впливів, внутрішні характеристики змінюються у часі за визначеними закономірностями (які можливо відобразити операторами Ψ^0 і Γ^0) з метою досягнення єдиного результату. Структурно-функціональну схему технології взаємодії залізничних підрозділів у складі єдиної транспортної системи наведено на рис. 1.

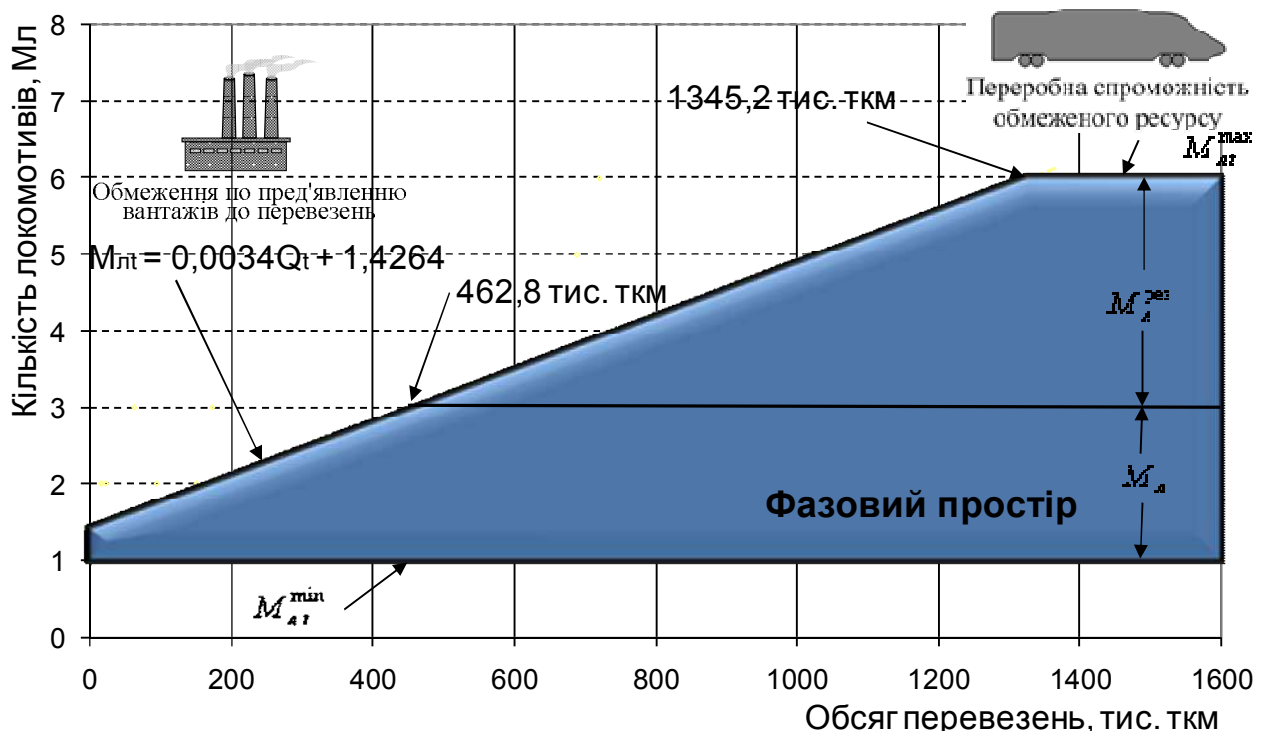


Рисунок 1 – Критичний переріз фазового простору та області припустимих фазових траєкторій для реального підрозділу S_1 залізничної транспортної системи S

Розглянемо структуру транспортної системи як часткове упорядкування її елементів і відносин між ними, а також ієрархічні відносин у системі. Це передбачає формування загальної керуючої підсистеми і підсистем різного рівня зі своїм управлінням, з певним пріоритетом при ухваленні рішення між підсистемами. З метою оцінки рівня керованості системи доцільно використати критерій відхилення поточного стану від бажаного рівня досягнення мети.

Як показано у [17], після визначення кінцевої мети функціонування - організації транспортного процесу на основі логістичних принципів таким чином, щоб врахувати інтереси всіх учасників перевізного процесу, забезпечити раціональне використання обмежених ресурсів для освоєння обсягів перевезень в умовах ВТЛЛ - організаційна структура транспортної системи починає «прямувати» до неї по певній фазовій траєкторії у фазовому просторі, яка залежить від багатьох чинників.

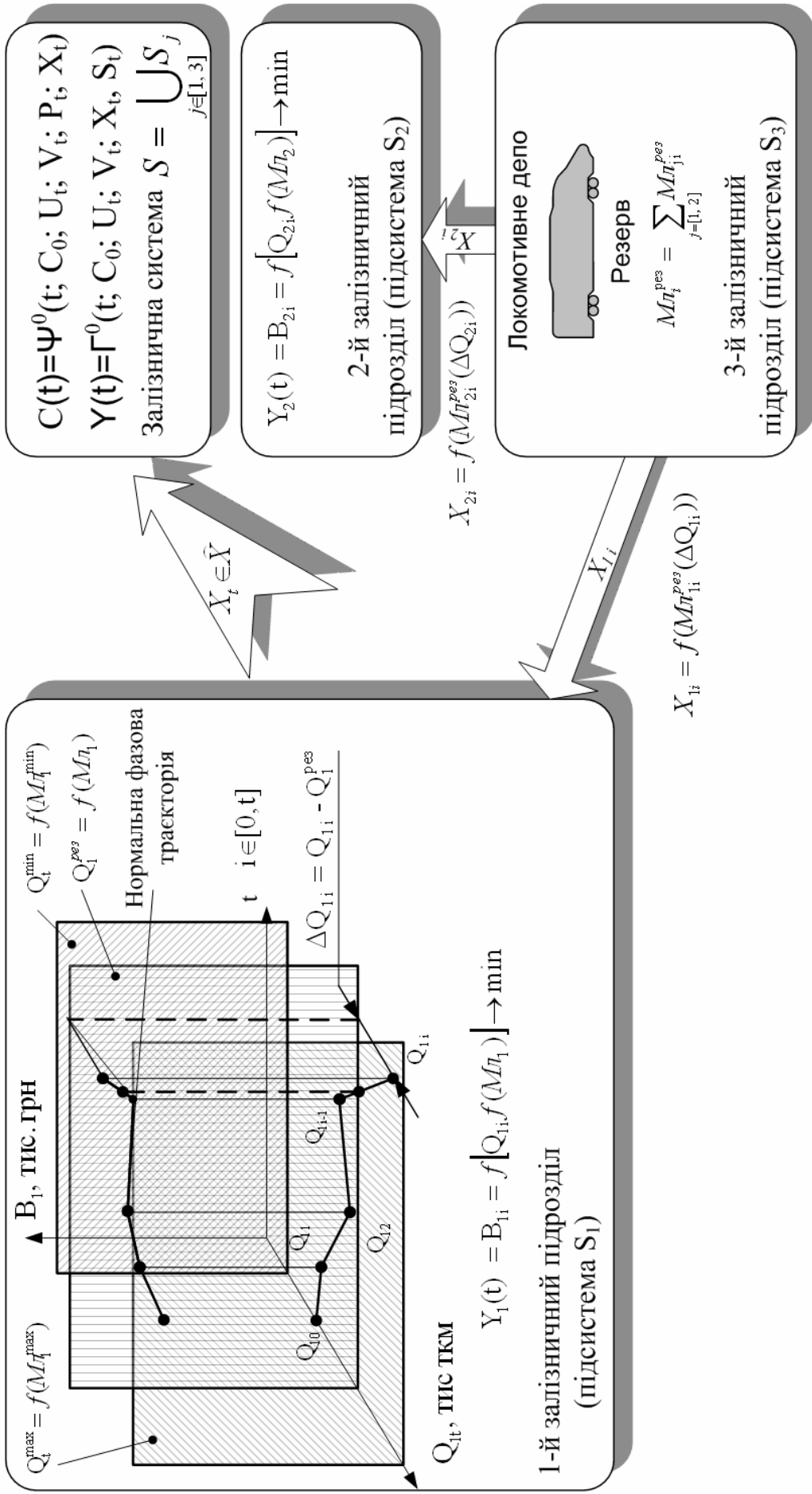


Рисунок 2 – Структурно-функціональна схема технології взаємодії залізничних підрозділів у складі єдиної залізничної транспортної системи

Задачею управління організаційною системою буде оцінка поточного стану виконання показників, ризику їх невиконання, а також наближення їх рівня до критичної області (точки біфуркації), з якої досягнення мети буде неможливо. Оскільки врахувати абсолютно всі фактори та обмеження не представляється можливим, то виникає необхідність формалізації кінцевої цілі за допомогою апарату нечітких множин [4].

Якщо цей тезис розглянути у формальних термінах, то кінцеву мету функціонування структури на протязі планового періоду часу $t_{пл}$ можливо представити у вигляді векторної функції приналежності

$$\hat{X} = \left\{ \mu_{r_1}(X_t), \mu_{r_2}(X_t), \dots, \mu_{r_N}(X_t) \right\}, \quad (5)$$

де r_i – бажаний рівень виконання i -го параметру X_t ;

$\mu_{r_i}(X_t)$ – функція приналежності рівня виконання показника нечіткої множині параметрів \hat{X} .

Кожний показник має обмеження $\forall i \in N \exists r_i \in R_i^*$, де R_i^* є множиною припустимих значень параметру. Відхилення від бажаного рівня досягнення цілі позначимо $\Delta = 1 \Leftrightarrow \hat{R}$. Таким чином, оцінку керованості організаційної структури транспортної системи можливо здійснити за допомогою Δ . Слід також враховувати той факт, що в абсолютно керованій транспортній системі витрати ресурсу Q на досягнення мети буде мінімальним [6]. При цьому витрати ресурсу будуть істотно залежні від стану (1) логістичної системи $C(t)$ та вихідних (2) параметрів $Y(t)$. Таким чином, критерієм оптимальності управління транспортною системою буде

$$\begin{cases} \Delta \rightarrow \min \\ Q[C(t), Y(t)] \rightarrow \min \end{cases} \quad (6)$$

Для центра управління логістичною системою важливо знайти точки контролю за станом виконання завдання, які повинні бути моментами часу прийняття рішення про управлінський вплив на діяльність елементів або про перегляд параметрів X_t , які характеризують завдання (періоди планування). Формально цю задачу можливо вирішити через проходження системи по нормальній фазовій траєкторії [18] з урахуванням ресурсозберігаючого підходу.

III. ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ НА ОСНОВІ МНОЖИНИ КРИТЕРІЇВ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ПІДХОДІВ

Важливою складовою логістичної системи залізничного транспорту є адаптивна система доставки вантажів. Процес формування системи доставки вантажів повинен бути спрямовано на забезпечення оптимальної організації вантажопотоків з найбільш можливим використанням внутрішнього потенціалу залізниць, що забезпечить ресурсозбереження при перевезенні в умовах ВТЛЛ. При виборі системи доставки всі рішення можливо звести до вибору оптимальної альтернативи серед множини припустимих рішень. В реальних умовах критеріїв вибору може бути дуже багато, певна їх кількість, як правило, знаходяться у протиріччі один до одного. Тому необхідно використовувати багатокритеріальну компромісну модель, яка буде враховувати інтереси усіх сторін перевізного процесу.

У багатьох роботах, як показано вище, ефективність системи доставки визначається на основі розрахунку ряду окремих показників або коефіцієнтів. Але їх використання не дозволяє у повній мірі оцінити ефективність системи у цілому. Тому необхідно використати узагальнену оцінку основних показників перевезень, їх вплив на кінцевий результат, значимість для вантажовласників, вони повинні відбивати ефективність ресурсозбереження, а також служити основою для обґрунтування управлінських рішень.

Позначимо систему доставки вантажу через λ . Важливими показниками системи доставки вантажу λ є термін доставки $T(\lambda)$, а також множини економічного ефекту \mathbf{M} і витрат \mathbf{B} . Будемо вважати,

що економічний ефект полягає у отриманні прибутку на кожній дільниці та попутній станції від проходження поїзду, нетранспортного ефекту у вантажовласника, додаткового ефекту від раціонального використання рухомого складу та інших ресурсів. Витрати складаються з експлуатаційної складової технології доставки, заходів щодо скорочення терміну доставки, нераціонального використання запасів матеріального ресурсу та інших логістичних витрат [13]. При необхідності будемо вважати економічний ефект негативним, тобто витратами. У загальному випадку ці множини є векторними функціями приналежності

$$\begin{aligned} \mathbf{M} &= \left\{ \mu_{r_1}(M_1), \dots, \mu_{r_i}(M_i), \dots, \mu_{r_n}(M_n) \right\}; \\ \mathbf{B} &= \left\{ \mu_{h_1}(B_1), \dots, \mu_{h_j}(B_j), \dots, \mu_{h_k}(B_k) \right\}, \end{aligned} \quad (7)$$

де r_i, h_j - бажаний рівень виконання i -го або j -го показника;
 $\mu(\bullet)$ - функція приналежності рівня виконання показника.

Для загальносистемного моделювання технології функціонування системи доставки вантажу λ запропоновано об'єднану модель єдиної системи [4]. Цільовою функцією в даному випадку буде максимум різниці між економічним ефектом і витратами

$$\lambda^* = \arg \max_{\lambda} [\mathbf{M} - \mathbf{B}]. \quad (8)$$

Нажаль, описати залежність множин витрат і економічного ефекту \mathbf{M} та \mathbf{B} від технологічних факторів і інших параметрів у явному вигляді є дуже складною задачею. Тому нелінійну екстремальну задачу (8) доцільно формалізувати як екстремальну з деякими припущеннями.

Методи пошуку оптимального рішення базуються на використанні інформації про технологічний процес доставки і в послідовному поліпшенні якості отриманих екстремальних рішень

задачі, у тому числі - в умовах невизначеності і нечіткої інформації [15]. Фактично цільова функція (8) задана в неявному виді і є системою рівнянь, які відносяться до різних підсистем доставки, тому аналітичне рішення її є дуже складною задачею, що також свідчить про ефективність використання методів пошуку. Багатокритеріальний характер цільової функції дозволяє перейти до рішення у залежності від функції якості функціонування логістичної системи доставки вантажу $\Phi(\lambda)$, яку задано у неявному вигляді в залежності від показників і яку можливо розглядати як суперкритерій

$$\Phi(\lambda) = f \left\{ \mu_{r_1}(M_1), \dots, \mu_{r_i}(M_i), \dots, \mu_{r_n}(M_n), \mu_{h_1}(B_1), \dots, \mu_{h_j}(B_j), \dots, \mu_{h_k}(B_k) \right\}. \quad (9)$$

Отримання значень рівня якості $\Phi(\lambda)$ здійснюється на основі поточних значень складових частин, причому, у тих випадках, коли відсутня можливість встановити ці значення у явному вигляді - як значення функції приналежності. Для рішення задачі (8) можливо використати модифіковані пошукові методи Хука-Джівса (сіткового пошуку) та сполучених напрямків Пауелла [4].

Значення набору показників (7) можливо вважати за результат функціонування логістичної системи доставки вантажу. У цьому випадку визначення оптимальних параметрів можливо формалізувати як задачу прийняття рішення серед q можливих альтернатив Λ^q

$$\begin{aligned} f(\lambda^*) &= \arg \max_{\lambda \in \Lambda^q} [\Phi(\lambda)]; \\ \forall i \in [1, q]: f(M_i) &\in \mathbf{M}, f(B_i) \in \mathbf{B}. \end{aligned} \quad (10)$$

Для задачі (10) процес прийняття рішення полягає у виборі таких технологічних параметрів системи доставки вантажу, які дозволяють отримати прийнятний рівень якості для вантажовласника. Реалізація альтернативних технологічних варіантів призводить до різних станів системи доставки, тому у процесі прийняття рішення необхідно мати

можливість оцінки якості кожного варіанту за процедурою, яку наведено на рис. 3. Даний підхід реалізує для системи доставки рішення задач оперативного управління і прогнозування технологічного стану. Відмінною ознакою задачі (10) є визначення оптимального варіанту за багатьма показниками. Для подолання невизначеності, пов'язаної із багатокритеріальністю задачі, потрібно введення поняття кращого рішення з використанням принципів оптимальності, які забезпечують порівняння варіантів у межах простору критеріїв при пошуку компромісних рішень [16].



Рисунок 3 – Процедура формалізації задачі прийняття рішення

Оскільки для різних варіантів доставки той чи інший показник може мати різну важливість для залізниці і для вантажовласника з точки зору ресурсозбереження, введемо до моделі ваговий вектор $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_q\}$ пріоритету кожного з показників, які входять до функції якості, $\sum_{i=1}^q \gamma_i = 1$. Тоді для кожного показника можливо визначити відносну важливість у вигляді $\gamma_1 \succ \gamma_2 \succ \dots \succ \gamma_q$. Це необхідно для рішення задач (8) та (10), оскільки у такому вигляді вона може мати рішення тільки у тому випадку, якщо для множин витрат \mathbf{M} і \mathbf{B} екстремум існує в одній точці. У загальному випадку покращення одного показника призводить, як правило, до погіршення іншого, тому в цьому випадку необхідно здійснити пошук компромісного рішення.

Принцип оптимальності по Парето може бути використано для рішення задачі (10) з метою зменшення вихідної множини векторних оцінок. Рішення буде оптимальним по Парето, якщо неможливо покращити рішення по жодному із показників без погіршення загального рішення хоча б по одному з показників. Парето-оптимальні рішення (альтернативи) є множиною Парето (множиною компромісів). Якщо множина Λ_{π}^* є множиною Парето у просторі технологічних показників доставки і ресурсозбереження, то множину компромісних рішень можливо представити у наступному вигляді

$$\Lambda_{\pi}^* = \arg \max_{\lambda \in \Lambda^q} \sum_{i=1}^q [\gamma_i \Phi(\lambda)], \forall i: \gamma_i \geq 0, \sum_{i=1}^q \gamma_i = 1. \quad (11)$$

Будемо вважати, що альтернатива (множина показників, що характеризує технологічну схему доставки) $\Phi_i(\lambda)$ домінує над альтернативою $\Phi_j(\lambda)$ по Парето при виконанні умови

$$\Phi_i(\lambda) \geq \Phi_j(\lambda) \Rightarrow \Lambda_{\pi}^i \succ_{\pi} \Lambda_{\pi}^j. \quad (12)$$

Альтернатива вважається оптимальною по Парето, якщо

$$\Lambda_{\pi}^i \succ \Lambda_{\pi}^j, \forall j \in [1, q], i \neq j \Rightarrow \Lambda_{\pi}^i \in \Lambda_{\pi}^* . \quad (13)$$

Структура моделі (11) приводить до наступного підходу побудови множини Парето: визначити безліч величин вагового вектора $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_q\}$, знайти точки Парето по (12) для кожного значення вектора Γ , і побудувати за методом кінцевих різниць множину Λ_{π}^* по отриманих точках.

Для пошуку найкращого рішення з Λ_{π}^* скористуємося принципом ідеальної точки [11]. Згідно до цього принципу, найкращим вважається рішення, яке найближчим чином у просторі показників знаходиться до ідеальної точки $\Phi^{id}(\lambda)$ у сенсі визначеної метрики N

$$\lambda^* = \arg \min N[\Phi^{id}(\lambda) - \Phi_i(\lambda), \Gamma]; \Phi^{id}(\lambda) = \text{extr}(\Phi(\lambda)) . \quad (14)$$

Для Евклідової метрики отримано

$$\lambda^* = \arg \min_{\lambda \in \Lambda_{\pi}^*} \sum_{i=1}^q [(\Phi_i^{id}(\lambda) - \Phi_i(\lambda))^2 \gamma_i^2] . \quad (15)$$

Для початкової постановки задачі (8), як максимізації різниці, можливо використати принцип антиідеальної (небажаної) точки $\Phi^{aid}(\lambda)$ з найбільшої відстанню від неї

$$\lambda^* = \arg \max N[\Phi^{aid}(\lambda) - \Phi_i(\lambda), \Gamma] . \quad (16)$$

Пошук найкращого рішення здійснимо за принципами квазірівності та абсолютної поступки. Принцип квазірівності полягає у визначенні середин Парето-оптимальних рішень найкращого за критерієм відхилення показників не більш заданого рівня

$$\lambda^* = \arg \max_{\lambda} \Lambda_{\pi}^* = \arg \max_{\lambda \in \Lambda_{\pi}^2} [\Phi(\lambda)];$$

$$\Lambda_{\pi}^2 = \{|\gamma_i \Phi_i(\lambda) - \gamma_j \Phi_j(\lambda)| \leq \varepsilon_{ij}\}, \forall i, j \in [1, q], \varepsilon_{ij} = const,$$
(17)

де ε_{ij} – заздалегідь обрана константа, яка характеризує ступень відхилення показників роботи логістичної системи від заданого рівня і друг від друга.

Принцип абсолютної поступки полягає у максимізації зваженої суми показників при переході від однієї альтернативи до іншої: у випадку, коли при збільшенні одного показника зменшується інший, альтернатива по Парето вважається кращою, якщо зважена сума збільшеного показника більш, ніж зменшеного. Це дозволяє покращити якість рішення за рахунок зменшення якості окремих показників, тому можливо вважати такий підхід до цільового критерію згортанням значень показників або згорткою.

Недоліками принципу квазірівності є те, що він досить жорсткий і чутливий до величин показників. Принцип абсолютної поступки не враховує локальних значень показників. Тому ефективно використати їх комбінацію з лексикографічним принципом. Він полягає у використанні ряду пріоритетів при послідовному розв'язанні задач. Спочатку отримують рішення для найбільш важливого критерію, потім – менш важливого і так далі.

Лексикографічний принцип квазіоптимальності дозволяє збільшити припустиму множину отриманих рішень за рахунок рішення пріоритетної послідовності задач з можливістю відхилення параметрів від заданого рівня і один від іншого на заздалегідь обрану константу ε_i

$$\lambda^* = \arg \left(\max_{\lambda \in \Lambda_{\pi}^*} [\gamma_q \Phi_q(\lambda)] \pm \varepsilon_q \dots \left(\max_{\lambda \in \Lambda_{\pi}^*} [\gamma_2 \Phi_2(\lambda)] \pm \varepsilon_2 \left(\max_{\lambda \in \Lambda_{\pi}^*} [\gamma_1 \Phi_1(\lambda)] \pm \varepsilon_1 \right) \right) \right),$$

$$\forall i \in [1, q], \varepsilon_i = const.$$
(18)

Рішення (18) дає можливість практичного його використання для підтримки прийняття рішення про параметри системи доставки вантажу.

Таким чином, розглянуто і запропоновано принципи оптимізації логістичної системи доставки вантажів λ^* на основі багатокритеріального ресурсозберігаючого підходу. Рішення задачі здійснено через перехід від множини критеріїв до традиційної задачі оптимізації при пошуку кращого рішення по Парето за допомогою згортки і з використанням лексикографічного принципу квазіоптимальності. Це дає можливість практичного використання його при побудові СППР щодо вибору параметрів системи доставки вантажів залізницями. Аналіз результатів показав теоретичну можливість виконання інфраструктурою регіональною філією Південна залізниця заданих обсягів роботи в умовах скорочення на 39.4 % обігу вагона (за умовою припущення, що робочий парк вагонів безпосередньо залежить тільки від обігу).

IV. ФОРМУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЄЮ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЙНОЮ СТРУКТУРОЮ СИСТЕМИ ЛОГІСТИЧНИХ ЦЕНТРІВ ЗАЛІЗНИЦЬ

Процес управління структурою системи логістичних центрів залізниць повинен бути спрямований таким чином, щоб вона забезпечувала оптимізацію і організацію раціональних вантажопотоків, підвищення якості їх обробки в спеціалізованих логістичних центрах. Це дозволяє забезпечити підвищення ефективності просування таких потоків, зниження непродуктивних витрат, а залізницям - максимально відповідати вимогам вантажовласників [4].

Взаємодія вантажовласників, виконавчих підрозділів системи логістичних центрів залізниць та інших видів транспорту потребує удосконалення. У зв'язку з цим розглянемо задачу удосконалення організаційних методів системи управління структурою сервісного логістичного центру за критеріями отримання мінімуму непродуктивних витрат та можливості досягнення визначеного рівня

показників роботи. Тому розглянемо процес управління організаційною структурою логістичного центру регіональних філій (залізниць) у послідовності, що визначена узагальненою процедурою, що наведена на рис. 4.

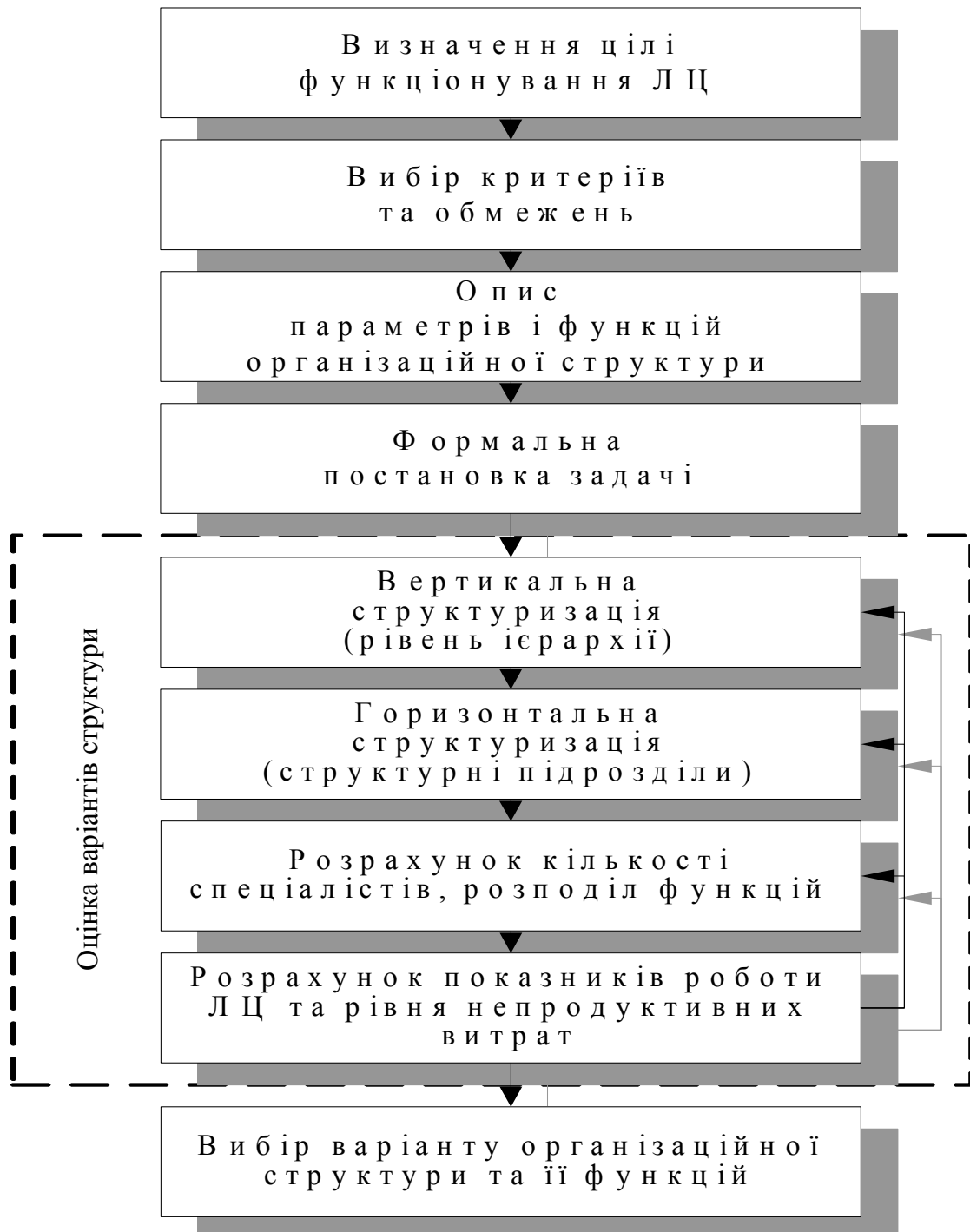


Рисунок 4 – Узагальнена процедура управління організаційною структурою системи логістичних центрів

Аналіз досвіду функціонування логістичних центрів, сучасний досвід рішень в сфері підвищення якості обслуговування вантажовласників диктують основні підходи і мету функціонування, на яких повинен базуватися процес управління структурою центру:

- висока культура, комплексність і швидкість транспортно-логістичного обслуговування;
- гнучка тарифна політика, яка повинна враховувати інтереси вантажовласників і всіх учасників логістичного ланцюга;
- поступовий перехід від традиційних методів до методів з максимально можливим використанням існуючих організаційних і технологічних структур;
- створення сприятливого іміджу залізниці, як надійного партнера в рішенні транспортних проблем клієнта.

У багатьох роботах, як показано вище, ефективність управління організаційною структурою визначається на основі розрахунку ряду окремих показників або коефіцієнтів. Але їх використання не дозволяє у повній мірі оцінити ефективність організаційної структури в цілому. Тому необхідно використати узагальнену оцінку змін основних показників діяльності та їх вплив на кінцевий результат. Кількість показників може бути різною, але вони повинні бути значимими для вантажовласників і відбивати процес контролю за діяльністю логістичного центру, а також служити основою для обґрунтування управлінських рішень. Узагальнюючим показником ефективності управління організаційної структурою може виступати оцінка ймовірності досягнення кінцевої цілі функціонування системи логістичних центрів на основі динаміки визначених показників з урахуванням управлінського впливу на організаційну структуру [19].

Як показано у [18], після визначення кінцевої мети функціонування, показники роботи в залежності від організаційної структури починають «прямувати» до неї по певній траєкторії, яка залежить від багатьох факторів. Проблема полягає у тому, що існує список обмежень досягнення кінцевої мети, яка у загальному випадку не може бути описана чітко і однозначно. Це пов'язано такими факторами, як зміни у ситуації на транспортному ринку, вплив

людського фактору як з боку вантажовласників, так зсередини центру, стихійний перерозподіл функціональних обов'язків між підрозділами та інше. Оскільки врахувати абсолютно всі фактори та обмеження не представляється можливим, то виникає необхідність формалізації кінцевої цілі за допомогою нечітких множин.

Якщо це розглянути у формальних термінах, то кінцеву мету функціонування системи логістичних центрів в залежності від їх структури на протязі планового періоду часу $t_{пл}$ можливо представити у вигляді векторної функції приналежності

$$\widehat{R} = \left\{ \mu_{r_1}(R), \mu_{r_i}(R), \dots, \mu_{r_N}(R) \right\}, \quad (19)$$

де r_i - бажаний рівень виконання i -го показника, загальна кількість яких складає N ;

$\mu_{r_i}(R)$ - функція приналежності рівня виконання показника нечіткої множині \widehat{R} .

Кожний показник має обмеження $\forall i \in N \exists r_i \in R_i^*$, де R_i^* є множиною припустимих значень показника. Відхилення від бажаного рівня досягнення мети позначимо $\overline{\widehat{R}} = 1 \Leftrightarrow \widehat{R}$. Таким чином функція управління організаційною структурою бути мати вигляд $\Psi(\widehat{R}) \rightarrow \max$. На першому етапі узагальнюючим показником роботи r_i може бути вантажообіг системи логістичних центрів, прибуток від діяльності, економія ресурсів, тощо.

Причини відхилення фактичного стану логістичної системи від мети можуть носити внутрішній або зовнішній характер. Зовнішні фактори слабо піддаються управлінню та як правило є незалежними та носять випадковий характер - тому управління організаційною структурою повинно мати гнучкий адаптивний характер. Внутрішні фактори пов'язані з технологічними, технічними і організаційними обмеженнями в системі. Тому відхилення можна розбити на два вектори: відхилення від зовнішніх Δz та від внутрішніх Δv факторів (рис. 5).

Найчастіше джерелом внутрішніх чинників, які породжують відхилення від планової стратегії в організації, є внутрішньосистемні перешкоди (вони залежать від недосконалості структури організації, неповної інформованості співробітників, неузгодженості системи взаємодії між підрозділами та ін.). Інші перешкоди можна знизити шляхом удосконалення технології і технічних засобів.

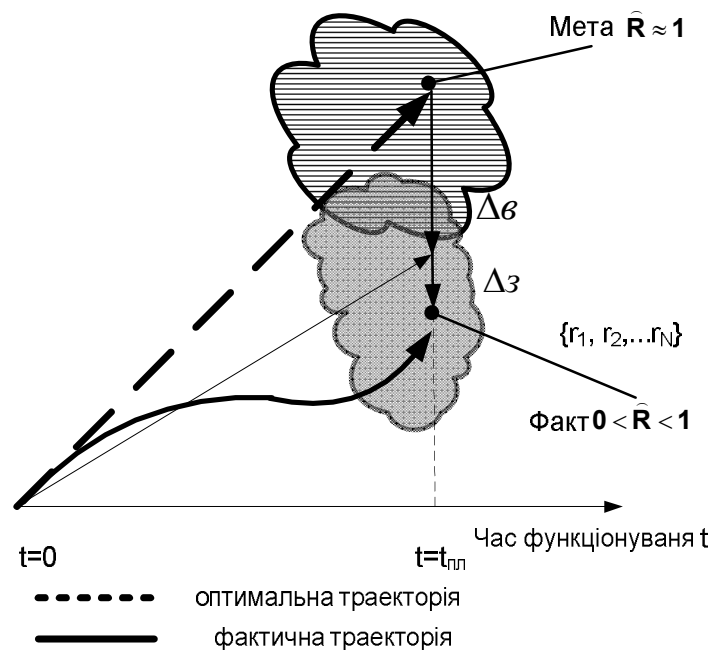


Рисунок 5 – Відхилення фактичного стану логістичної системи від мети функціонування

Враховуючи ці підходи, узагальнюючи досвід функціонування інших логістичних центрів та думку експертів можливо запропонувати наступну схему організаційної структури для логістичного центру залізниць України (рис. 6). Дана структура, зокрема, дозволить виконати концентрацію розрахункових операцій з клієнтом, що спростить процедуру оформлення заявки і зменшить додаткові витрати вантажовласника на організацію перевезення. Подальше удосконалення організаційної структури логістичного центру є окремою задачею, яка може бути вирішена за допомогою структурного та когнітивного моделювання з використанням евристичних алгоритмів.

Ефективність функціонування підрозділів всередині організаційної структури логістичної системи можливо оцінити наступним чином. Припустимо, що у структурі існує Z підрозділів.

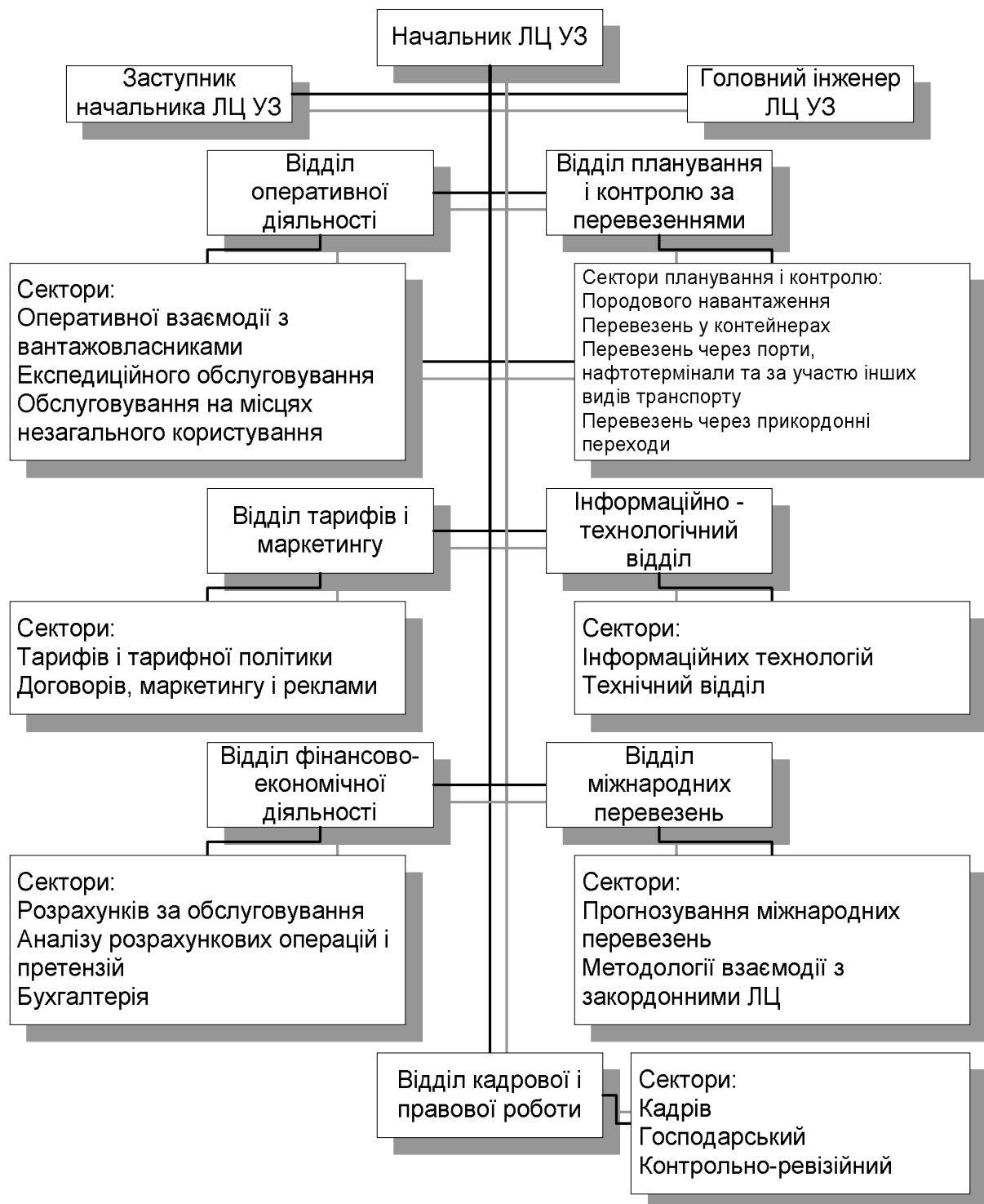


Рисунок 6 – Можлива організаційна структура логістичного центру АТ Укрзалізниця

Оцінка роботи j -го підрозділу по виконанню множини показників \hat{R} має вигляд векторної функції приналежності нечіткої множини $\hat{H}_j = \left\{ \mu_{h_{1j}}(R), \mu_{h_{2j}}(R), \dots, \mu_{h_{Nj}}(R) \right\}$, де h_{ij} – рівень виконання i -го показника j -м підрозділом. Оцінка ефективності функціонування підрозділу у вигляді відхилення Δ складе

$$\Delta_j = \left\{ \min \left[\mu_{r_1}(R), \mu_{h_1}(h) \right], \dots, \min \left[\mu_{r_N}(R), \mu_{h_N}(h) \right] \right\} = \hat{R} \cap \hat{H}_j. \quad (20)$$

Подальший розрахунок конкретної кількості фахівців може бути здійснено за допомогою широко відомих методів на базі технологічних схем (технологічних процесів) роботи елементів системи логістичних центрів [4].

Логістична система залізничного транспорту безпосередньо охоплює усі сфери виробництва та споживання, тому сприяє скороченню виробничих запасів сировини, матеріалів, комплектуючих виробів, напівфабрикатів. Реалізація в ній принципу синергетики розуміє самоорганізацію у кожній з стадій виробничого процесу. З урахуванням інтересів всіх учасників процесу переміщення матеріальних потоків і вантажовласників запропоновано на основі наведених вище підходів комплексно вирішити завдання щодо впровадження логістичних технологій в перевізний процес на базі системи логістичних центрів АТ Укрзалізниця та сформуванню концепцію їх функціонування. Система складається із трьох рівнів. На верхньому рівні передбачено формування логістичного центру УЗ (ЛЦ УЗ). На середньому рівні пропонується створення шести регіональних логістичних центрів (РЛЦ) відповідно на кожній регіональній філії (залізниці). На нижньому рівні передбачено створення місцевих логістичних центрів, які підпорядковано відповідним регіональним філіям. Для кожного рівня слід визначити перелік задач, що відтворюють специфіку діяльності кожного логістичного центру.

Методологія побудови системи логістичних центрів АТ Укрзалізниця повинна базуватись на вимогах вантажовласників в рамках впровадження логістичних технологій в перевізний процес (рис. 7).

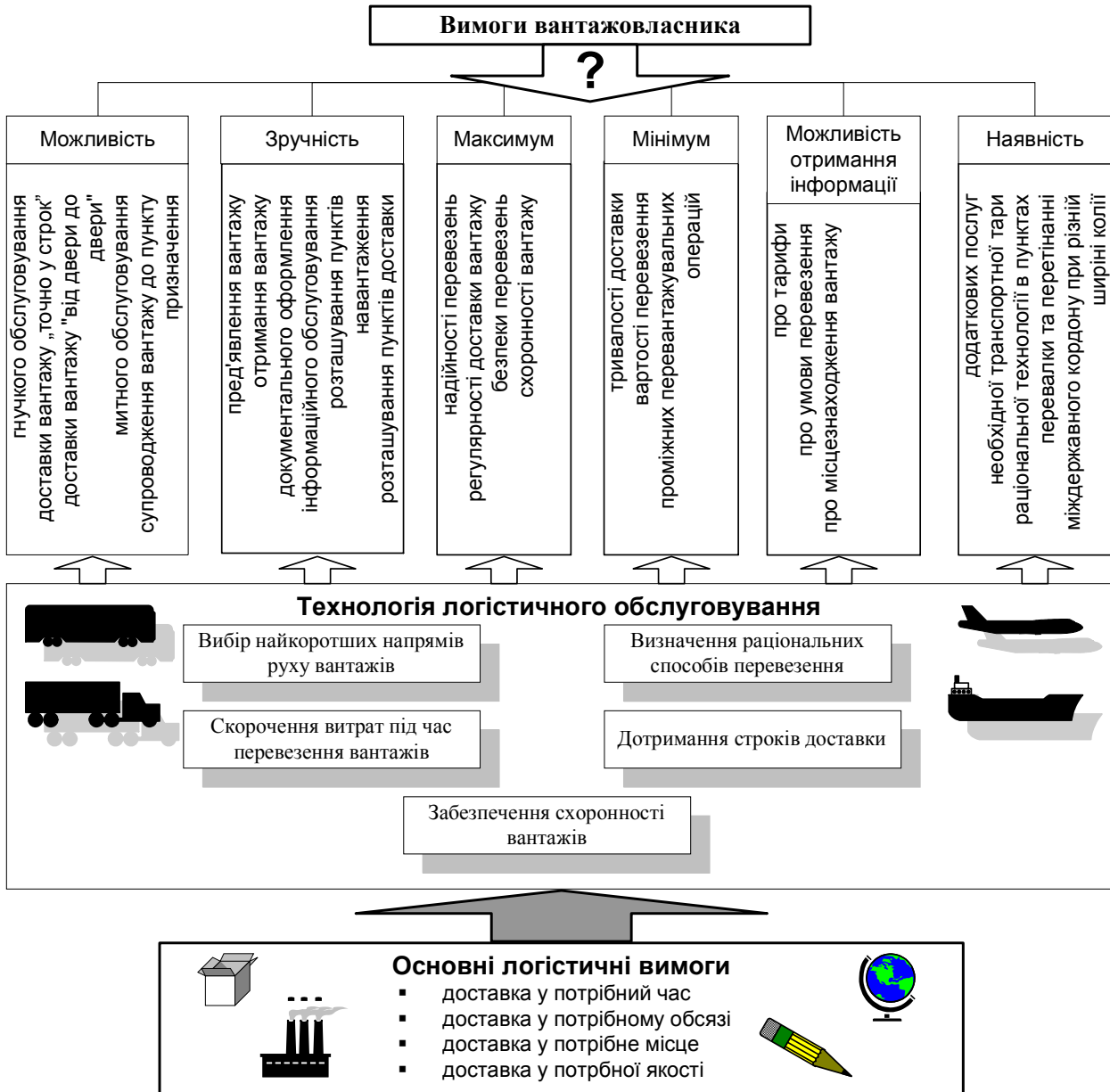


Рисунок 7 – Загальні принципи побудови транспортно-логістичної системи на базі логістичних технологій

Логістичні центри (ЛЦ) управління на залізничному транспорті об'єднують автоматизовані центри управління перевезеннями, комерційні центри або центри транспортного сервісу (КЦ, ЦТС),

інформаційно – статистичні центри регіональних філій, головний інформаційно-обчислювальний центр. Від імені регіональної філії (залізниці) вони повинні заключати договори з вантажовласниками, бути оснащеними інформаційними пристроями для роботи з матеріальними, фінансовими, обліковими потоками (рис. 8).

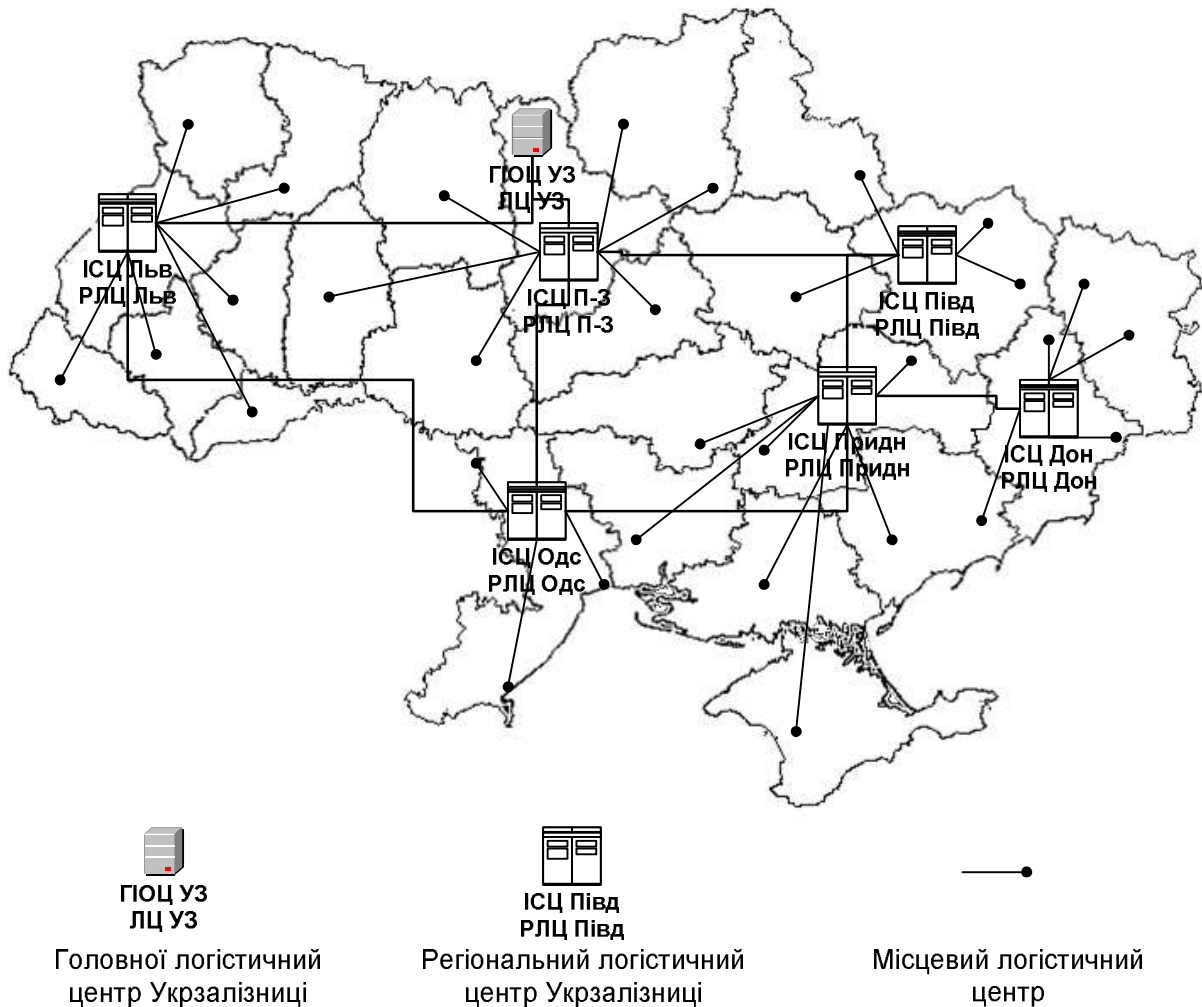


Рисунок 8 – Принципова схема системи логістичних центрів АТ
Укрзалізниця

Структурно логістичні центри раціонально з'єднувати з системою управління залізничним транспортом, яка має три рівня:

- стратегічний (верхній) рівень ЛЦ – загально мережний з ГЛОЦ, головним центром управління перевезеннями (ГЦУП, ЦД), КЦ (ЦТС);

- тактичний (середній) рівень ЛЦ – дорожній з ІСЦ, регіональним центром управління перевезеннями (РЦУП), КЦ;
- оперативний (низовий) рівень ЛЦ – вузловий з АСУ залізничного вузла, до якого входять лінійні інформаційно-керуючі системи сортувальних, вантажних станцій та клієнтів, центру управління місцевою роботою, а подалі вузловим ЦУП.

Логістичні центри повинні функціонувати у середовищі типових уніфікованих по рівням ієрархії АСК ВП УЗ Є програмно-технічних засобів, які забезпечують застосування сучасних інформаційних технологій при взаємодії суміжних верхнього (УЗ), суміжних середніх та суміжних нижніх (вузлових) рівнів системи, а саме:

- стратегічний (верхній) рівень – АСК ВП УЗ Є (з підприємствами та установами загальнодержавного рівня);

- тактичний (середній) рівень – АСК вантажних перевезень регіональних філій (залізниць) та дирекцій – з підприємствами району тяжіння регіональної філії або дирекції;

- оперативний (місцевий та вузловий) рівень – АСК вантажних перевезень залізничних вузлів (АСК ВПЗВ). На оперативному рівні повинні використовуватися інформаційно-керуючі технології окремих локальних підсистем, які поступово інтегруватимуться в АСК ВП УЗ Є.

Розроблена концепція щодо створення технології та управління організаційної структурою системи логістичних центрів АТ Укрзалізниці дозволить удосконалити управління транспортними вантажопотоками у взаємодії залізничного транспорту із суміжними видами транспорту, морськими та річковими портами, великими промисловими комплексами, транспортними системами інших країн та інших учасників транспортного процесу на базі ефективного використання сучасних інформаційно-керуючих технологій. Запропоновані підходи повинні дозволити вирішити основні проблеми, пов'язані з безперешкодним проходженням вантажів через стикові пункти транспортних вузлів України, шляхом створення логістичної системи керування вантажопотоками. З іншого боку встановлено, що створення високоефективної логістичної технології

транспортного процесу на залізницях неможливо без врахування технологічних обмежень – наявності обмеженої кількості ресурсів (в першу чергу рухомого складу); необхідності дотримання терміну доставки, що можливо досягти за рахунок оптимізації маршрутів прямування поїздопотоків; створення відповідних СППР, що інтегровані до АРМ оперативних працівників.

Як доведено вище, система логістичних центрів АТ Укрзалізниця повинна управляти логістичними підсистемами залізниць, дирекцій залізничних перевезень, окремих крупних залізничних станцій. Сучасні рішення, що спрямовані на підвищення ефективності функціонування логістичних центрів, вимагають формування єдиної методології створення СППР. Важливість цього питання підтверджується необхідністю підвищення ефективності роботи ВТЛЛ та створення єдиного інформаційного простору при взаємодії з іншими видами транспорту та міжнаціональними логістичними системами. Найбільш перспективними у теперішній час вважаються СППР, які функціонують з урахуванням невизначеності на транспортному ринку. Для формалізації цих процесів доцільно використовувати методи нечіткої логіки, які адекватно відтворюють ситуацію невизначеності.

Збалансованість процесів планування навантаження, самого навантаження, пропуску вантажу до станції призначення, вивантаження в транспортних вузлах на стиках взаємодії із суміжними видами транспорту можливо досягти шляхом своєчасної передачі по каналах АСК ВП УЗ Є інформації про узгодження параметрів перевезення (рід вантажу, його кількість, дата прибуття, місце призначення) із АРМ ТВК в районі планування навантаження в район вивантаження та на суміжні види транспорту (порти, пункти стикування різної ширини колії та іншими учасниками транспортного процесу). Після підтвердження ними можливої організації перевезення, погоджене замовлення повинне бути направлене у район навантаження для його реалізації. Дана логістична технологія дозволяє орієнтуватись не тільки на плани та вимоги вантажовідправника, але й враховувати ситуацію у

вантажоотримувача в умовах невизначеності. Схему погодженого підведення вантажів до транспортного вузла за логістичною технологією представлено на рис. 9.

Такий підхід до управління процесом погодженого планування навантаження і підведення вагонів з вантажами в порти або інші транспортні вузли забезпечить ефективне формування суднових партій на етапі планування навантаження на станції відправлення, а не на підході до станції призначення або на самій станції, як це відбувається зараз, коли вагони непродуктивно простоюють в очікуванні вивантаження або підходу суден [4].

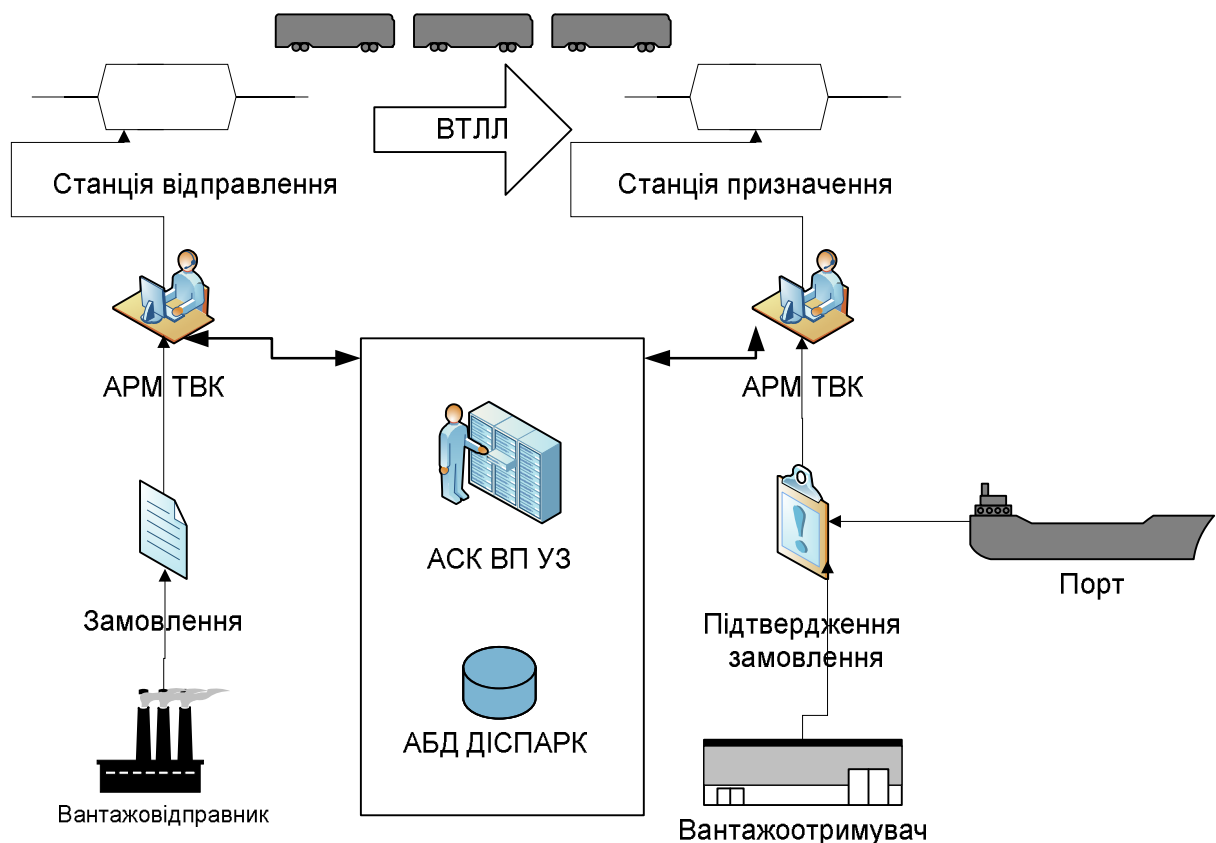


Рисунок 9 – Схема погодженого підведення вантажів до транспортного вузла за логістичною технологією

По фактах непродуктивного простоювання вагонів з вантажами в очікуванні їх вивантаження з провини учасників транспортного процесу, які узгодили планове перевезення, останні повинні відшкодувати втрати залізничному транспорту. З іншого боку,

будь-який підбір вагонів, що виходить за рамки встановленої системи організації вагонопотоків на залізничному транспорті (плану формування поїздів), на прохання суміжних учасників транспортного процесу повинен оплачуватися ними, тому що цей вид роботи є додатковою послугою, яка викликає додаткові експлуатаційні витрати залізничного транспорту.

Погоджена взаємодія суміжних видів транспорту повинна базуватися на єдиному технологічному процесі роботи транспортного вузла (ЄТПТВ), який повинен передбачати не тільки взаємодію різних видів транспорту, які беруть участь в організації перевантаження вантажів, але і організацію взаємодії з органами державного контролю (митної, прикордонної, ветеринарної, санітарно-епідеміологічної та інших служб), що супроводжують перевезення.

Технологія логістичного управління вантажо- та вагонопотоками повинна базуватися на принципі диспетчеризації з використанням комплексу взаємозалежних інформаційно-керуючих систем, які забезпечують сумісну роботу АСУ різних видів транспорту. У якості платформи для безперешкодного виконання своїх функцій можливо використовувати міжнародний стандарт передавання та збереження логістичної інформації EDIFACT.

Основним завданням системи логістичних центрів залізниць України є забезпечення взаємодії всіх учасників перевізного процесу від виробника до споживача у вигляді ВТЛЛ на основі автоматизації та комплексу відповідних АРМ. Впровадження засобів автоматизації включає до себе забезпечення комунікаційних та інформаційних послуг користувачам на основі сучасних стандартів документообігу. Один з найбільш розповсюджених у Європейському Співтоваристві є стандарт EDIFACT.

В 1988 році Міжнародна організація по стандартизації ISO (International Organization for Standardization) затвердила EDIFACT у вигляді 2 стандартів:

- ISO 7372-86 "Trade data interchange. Trade data elements directory. First edition. 1986-03-01" (Довідник елементів даних);

- ISO 9735-88 "EDI for administration, commerce and transport (EDIFACT). Syntax rules. 1988-07-15" (Синтаксичні правила EDIFACT ООН).
- Функціонування ВТЛЛ передбачає наявність трьох основних обмежень: доставка вантажів «точно в строк», «від дверей до дверей», «в повній схоронності». Врахування цих обмежень як правило передбачає участь у перевізному процесі декількох видів транспорту на основі єдиного технологічного процесу. Логістичний підхід до технології перевезень за участю декількох видів транспорту повинен враховувати інтереси і можливості усіх учасників ВТЛЛ, і, у першу чергу, Укрзалізниці, як найбільш важливого учасника транспортного ринку. Вона повинна очолити процес об'єднання зусиль, спрямованих на ліквідацію проблем стикових пунктів, з можливим поглинанням дрібних учасників ВТЛЛ і створенням єдиної транспортної корпорації та єдиного інформаційного середовища.

ВИСНОВКИ

Запропоновано методологічний підхід організації транспортного процесу АТ Укрзалізниці, який базується на логістичних принципах і враховує додаткові фактори, що пов'язані з інфраструктурою залізниць України: забезпечує взаємодію з іншими видами транспорту та комплексно враховує інтереси учасників транспортного процесу. Використання запропонованих підходів дає можливість врахувати емерджентність системи з метою отримання синергетичного ефекту. Досягнення цього ефекту передбачає формування логістичної системи з відповідними логістичними центрами управління АТ Укрзалізниці на базі інформаційних технологій.

Розроблено концепцію формування та ефективного управління адаптивною багаторівневою організаційною структурою логістичних центрів АТ Укрзалізниці на базі єдиних технологічних принципів та комплексу функціональних задач. Розвиток транспортної системи регіональних філій (залізниць) відповідно до запропонованої

концепції, на відмінність від існуючих підходів, дозволяє підвищити ефективність технології транспортного процесу за рахунок оптимізації використання обмежених ресурсів системи (рухомого складу, колій, вантажних механізмів, персоналу, тощо). Ефективність структури визначено за умови оптимального використання існуючої інфраструктури та внутрішніх обмежених ресурсів системи (рухомого складу, колій, вантажних механізмів, персоналу, тощо). Таким чином запропоновано концепцію використання логістики, як основу покращення показників вантажних залізничних перевезень.

Розроблений комплекс функціональних задач системи логістичних центрів залізниць для різних рівнів дозволяє створити єдину інформаційно-керуючу систему ВТЛЛ, поєднати і сконцентрувати основні функції існуючих структур (господарства перевезень, РЦУП, комерційного господарства, ІСЦ) з урахуванням технічних та технологічних обмежень з метою досягнення загальносистемного результату. Інтеграція до АСК ВП УЗ Є дозволила розробити технологію функціонування системи логістичних центрів залізниць України на базі створеного комплексу задач та запропонувати структуру функціональної взаємодії у багаторівневої системі логістичних центрів у межах ВТЛЛ. Розроблений підхід дозволяє удосконалити управління транспортним процесом при взаємодії залізничного транспорту із суміжними видами транспорту, морськими та річковими портами, великими промисловими комплексами, транспортними системами інших країн та інших учасників транспортного процесу на базі ефективного використання сучасних інформаційно-керуючих технологій.

Встановлено, що створення вискоелективної логістичної технології транспортного процесу на залізницях неможливо без врахування технологічних обмежень – наявності обмеженої кількості ресурсів (в першу чергу рухомого складу); необхідності виконання технологічних показників на заданому рівні, зокрема, терміну доставки вантажів. Цього можливо досягти за рахунок оптимізації маршрутів прямування поїздопотоків; створення відповідних СППР, що інтегровані до АРМ оперативних працівників.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Бауэрсокс Д.Д., Клосс Д.Д. Логистика: интегрированная цепь поставок / Перевод с англ. К: ЗАО "Олимп-Бизнес", 2001.
- [2] Большие технические системы: проектирование и управление / Артюшин Л.М., Зиатдинов Ю.К., Попов И.А., Харченко А.В. Под ред. Попова И.А. – Харьков: Факт, 1997.- 400 с.
- [3] Бутько Т.В, Лаврухін О.В. Удосконалення технології організації перевезень в умовах невизначеності на основі раціонального використання засобів транспорту. Зб. наук. праць. - Донецьк: ДонІЗТ, 2006. – Вип. 8. - С. 21-29.
- [4] Ломотько Д. В. Формування транспортного процесу залізниць України на базі логістичних принципів : дис. д-ра наук : спец. 05.22.01 «Транспортні системи» / Д.В. Ломотько. – Харків, 2008. – 393 с.
- [5] Бутько Т.В., Ломотько Д.В. Методологічний підхід до формування логістичних технологій на залізничному транспорті. Залізничний транспорт України №4, 2010. – С.47-49.
- [6] Калман Р., Фалб А., Арбиб М. Очерки по математической теории систем.- М.: Мир, 1971.- 398 с.
- [7] Кірпа Г.М. Інтеграція залізничного транспорту України у європейську транспортну систему: Монографія. – 2-ге вид., переробл. і допов. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – 248 с.
- [8] Мукмінова Т.А., Матвіїв І.Б. Деякі аспекти міжнародних залізничних перевезень у масштабах держав / Залізн. трансп. України. — 2006. — N 4. — С. 17-19.
- [9] Правила технічної експлуатації залізниць України. ЦРБ-0004. Наказ Міністерства транспорту України №27 від 16 січня 1995 р.
- [10] Пути и методы реструктуризации железных дорог//Железные дороги мира.- 1998.- №4.- с. 32-40.
- [11] Растрингин Л.А. Системы экстремального управления. М.: Наука, 1974.
- [12] Статут залізниць України. – К.: Транспорт України, 1998.

- [13] Транспортна логістика: Складові частини логістики: Навч. посіб. / Данько М.І., Бутько Т.В., Котенко А.М. – Х., 2004. – 158с.
- [14] Ломотько Д.В., Продащук С.М., Ковальова О.В. Модель виробничо-транспортного логістичного ланцюга при взаємодії залізничного і автомобільного транспорту. Зб. наук. праць.- Харків: УкрДАЗТ, 2011.- Вип. 124. – С.11-15.
- [15] Lomotko D. V., Kovalev A. O., Kovaleva O. V. (2015). Formation of fuzzy support system for decision-making on merchantability of rolling stock in its allocation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (3), 11-17. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.54496 in Ukrainian
- [16] Borisov A.N., Krumberg O.A. A theory of possibility for decision-making // Fuzzy Sets and Systems. 1983. Vol. 9. № 1. P. 34 – 38.
- [17] Ломотько Д.В. Методологічний аспект управління організаційною структурою сервісного логістичного центру // Зб. наук. праць ДонІІЗТ УкрДАЗТ: Випуск 5. - Донецьк, 2006. - С. 18-27.
- [18] Ломотько Д.В. Підвищення ефективності технології розподілу рухомого складу на полігоні // Зб. наук. праць ДонІІЗТ УкрДАЗТ: Випуск 3. - Донецьк, 2005. - С. 5.
- [19] Розробка технології формування гнучкої системи транспортно - експедиційного обслуговування залізницями / Д.В. Ломотько, О.М. Пилипейко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ: Випуск 57. - Харків, 2004.

Дослідження екологічної безпеки транспортних потоків

Олена Бакуліч

*Національний транспортний університет
м. Київ, Україна*

I. СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

З кожним роком стають все більш актуальними питання, спрямовані на посилення забезпечення екологічної безпеки.

Екологічна безпека - стан захищеності біосфери та суспільства, а на державному рівні - держави від загроз, що виникають в результаті антропогенних і природних впливів на довкілля. У поняття екологічної безпеки входить система регулювання та управління, що дозволяє прогнозувати і не допускати, у разі виникнення, розвитку надзвичайних ситуацій. Екологічна безпека реалізується на глобальному, регіональному та локальному рівнях. Глобальний рівень управління екологічною безпекою припускає прогнозування і відстежування процесів в стані біосфери в цілому та її складових. Нині ці процеси відображаються в глобальних змінах клімату, виникненні "парникового ефекту", руйнуванні озонового шару, запустинюванні планети і забрудненні світового океану. Управління глобальною екологічною безпекою є прерогативою міждержавних відносин на рівні ООН, ЮНЕСКО, ЮНЕП та інших міжнародних організацій. Регіональний рівень охоплює великі географічні або економічні зони, а іноді території декількох держав. Контроль і управління здійснюються на рівні урядів держав і міждержавних зв'язків. Локальний рівень включає міста, райони, підприємства, транспортну мережу, а також контроль викидів, стоків та ін. Управління екологічною безпекою здійснюється на рівні адміністрації окремих міст, районів, підприємств (компаній, фірм) із

залученням відповідних служб, відповідальних за санітарний стан і природоохоронну діяльність.

Найбільш гостро проблема збереження екологічної безпеки та охорони навколишнього середовища відчувається на локальному рівні, а саме на рівні міста, де існує щільна мережа промислових, торговельних, культурних центрів, а отже, росте кількість перевезень та подорожей на транспорті. Отже, інтенсивні транспортні потоки міст, що рухаються на щільній вулично-дорожній мережі, обмеженій історично сформованою забудовою (особливо в центрі міст), є найбільш небезпечним та масовим джерелом забруднення на локальному рівні.

Забезпечення екологічної безпеки – це комплексна проблема для вирішення якої необхідно застосовувати системний підхід. Цей підхід заснований на впровадженні у практику сучасних методів управління рухом транспортних потоків, розробці ефективного застосування нормативних, інформаційних, технічних та експертних технологій. Система забезпечення екологічної безпеки дорожнього руху уявляє собою складну сукупність функціональних елементів дорожньо-транспортного комплексу, до складу якого належать суб'єкти транспортної, дорожньої, соціальної та муніципальної діяльності. Елементами системи екологічної безпеки є учасники дорожнього руху, транспортні засоби, вулично-дорожня мережа із інженерно-технічним обладнанням та технічні засоби організації дорожнього руху (Рис.1). Вирішення проблем, пов'язаних із екологічною безпекою руху транспортних потоків залежить від якості функціонування її елементів на всіх етапах розробки (проектуванні), експлуатації, а також від методів управління, які засновуються на результатах наукових досліджень у даній галузі.

Управління системою екологічної безпеки транспортних потоків ускладнюється тим, що механізм впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище має ряд специфічних особливостей у порівнянні з іншими джерелами забруднення.

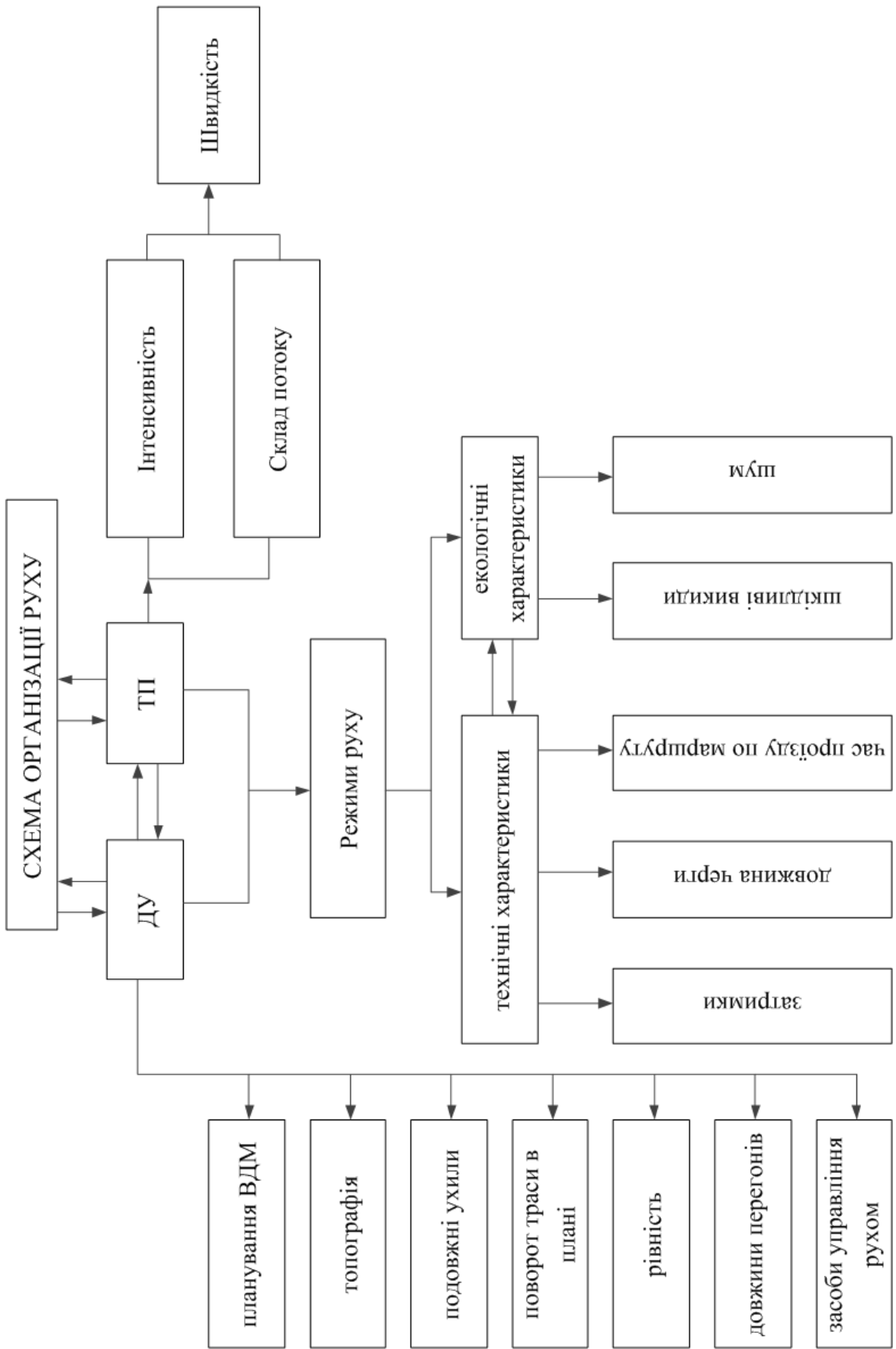


Рисунок 1 – Структурна схема стану системи «ДУ – ТП»

Це масовість та постійно зростаючі темпи процесу автомобілізації; широкий спектр негативних явищ, що супроводжують процес автомобілізації; низькі питомі показники екологічної безпеки транспортних засобів на одиницю виконаної транспортної роботи; складність значного поліпшення показників екологічної безпеки в найближчій перспективі; концентрація великої кількості транспортних засобів на обмеженій території та їх масове проникання в зони житлової забудови; відставання темпів розвитку вулично-дорожньої мережі міст від темпів автомобілізації.

Таким чином, на рівень екологічної безпеки впливають умови руху, що залежать від дорожніх умов, параметрів транспортного потоку, режимів руху транспортного потоку та погодні умови [7].

Погодні умови – це сукупність метеорологічних умов у даний момент часу, яка характеризується факторами, за якими проводиться постійне спостереження. Це – опади, хуртовина, туман, ожеледь, вітер, температура та вологість повітря. Зміна цих факторів носить випадковий характер та пов'язана із природно-кліматичними умовами регіону та надає невизначеність функціонуванню об'єкту управління – дорожньому руху.

Режим руху визначається швидкістю руху транспортного потоку, складом транспортного потоку, щільністю транспортного потоку, можливістю реалізації обгонів та інших маневрів на дорозі, тобто рівнем завантаження дороги рухом. Параметри режиму руху є найважливішою характеристикою функціонування системи управління дорожнім рухом та визначає його ефективність та якість.

Дорожні умови є складовою систем управління дорожнім рухом. Дорожні умови – це сукупність геометричних параметрів та транспортно-експлуатаційних якостей дороги, які мають відношення до руху. Всю сукупність параметрів можливо розподілити на дві групи – постійні та змінні. До постійних відносяться параметри та характеристики доріг, які не змінюються у часі протягом експлуатації, або змінюються дуже рідко (під час реконструкції або ремонту). До таких параметрів належать параметри повздовжнього

профілю, радіуси кривих у плані, довжина прямих ділянок дороги тощо. До змінних параметрів належать параметри та характеристики доріг, які змінюються протягом року під впливом сезонних коливань метеорологічних умов та якості утримання дороги. До них відносяться – стан покриття та узбіччя, наявність з'їздів та перетинів, видимість в плані, наявність технічних засобів регулювання. Основними геометричними характеристиками дороги, є: подовжній і поперечний профіль дороги, частота поворотів і радіуси кривизни в плані, ширина трас, довжина їх прямих і криволінійних ділянок.

II. ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ, ЯК ДЖЕРЕЛА ВПЛИВУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Об'єктом управління в системі управління дорожнім рухом є транспортний потік, що складається з різних транспортних засобів. Під час руху водії автомобілів мають вільний вибір і реалізують при русі свої приватні цілі. Таким чином, дорожній рух є техносоціальною системою, що і визначає його специфіку як об'єкту управління. Тому навіть розглядаючи тільки технічні аспекти управління дорожнім рухом, ми повинні постійно мати на увазі, що цей об'єкт складний і має специфічні, з точки зору управління, властивості.

Першою особливістю транспортних потоків є їх нестаціонарність, причому спостерігаються коливання їх характеристик принаймні в трьох циклах: добовому, тижневому і сезонному.

Другою особливістю є стохастичність транспортних потоків, параметри яких допускають визначати прогноз тільки з певною мірою вірогідності. Зупиняючись на цьому моменті детальніше, відмітимо, що транспортний потік в першому наближенні поводить себе як традиційний технічний об'єкт і описується параметрами, що і потік рідини або газу: швидкістю, щільністю, інтенсивністю і складом потоку, зв'язки між якими досить добре досліджені і описані як за допомогою диференціальних рівнянь, так і іншими методами.

Транспортний потік рухається по транспортній мережі, що у свою чергу має певні параметри, що допускають більш менш суворий опис. Як правило, досить просто описується топологія транспортної мережі, довжини і пропускні здібності її ділянок, складніше - стан покриття, який залежить від зовнішнього середовища. Характеристики транспортної мережі теж є нестаціонарними. Стан покриття залежить від погодних умов, топологія мережі - від містобудівних заходів і просто від проведення дорожніх робіт. Природно, транспортна мережа впливає на характеристики транспортних потоків, вносячи додатковий елемент нестаціонарності. Крім того, на транспортні потоки можуть впливати різноманітні випадкові події: дорожньо-транспортні події, вихід пішоходів на проїжджу частину тощо.

Третьою особливістю руху транспортного потоку як об'єкту управління є неповна керованість, суть якої полягає в тому, що навіть за наявності у системи управління повної інформації про транспортні потоки і можливість доведення управляючих дій до кожного водія, ці дії у ряді випадків можуть носити тільки рекомендаційний характер. Ця особливість робить дуже проблемним досягнення глобального екстремуму будь-якого критерію управління.

Четвертою особливістю, що відноситься вже не лише до дорожнього руху але і до системи управління – є множинність критеріїв ефективності та якості управління. Рух транспортного потоку в районі або місті, керований певним чином, має деякі характеристики, серед яких можуть бути названі: транспортна робота, часові затримки руху, швидкість сполучення, кількість дорожньо-транспортних подій, об'єм шкідливих викидів в атмосферу тощо.

П'ятою особливістю дорожнього руху як об'єкту управління є складність і навіть неможливість виміру практично усіх характеристик ефективності управління [8].

З останніх двох особливостей дорожнього руху як об'єкту управління витікає, зокрема, необхідність створення моделей дорожнього руху, що дозволяють прогнозувати наслідки змін

параметрів, які впливають на характеристики транспортних потоків та екологічний стан навколишнього середовища.

Отже, при вирішенні екологічних задач у транспортній системі, транспортний потік розглядається, як самостійний об'єкт управління. Звернення до транспортного потоку, як до самостійного об'єкту управління пояснюється рядом причин:

- насамперед це можливість на єдиній методологічній основі розглядати ефективність заходів по зниженню різних по фізичній суттєвості та характеру впливу на людину шкідливих екологічних факторів;

- на рівні транспортного потоку формуються різноманітні критерії ефективності. Всі існуючі на даний момент критерії оцінки ефективності функціонування схем організації дорожнього руху можна класифікувати на групи: транспортно-експлуатаційні (оцінка можливості проїзду, оцінка стану покриття), техніко-економічні (затримка та витрати пов'язані з нею, число зупинок і т.д.), соціальні (критерії безпеки та надійності, комфортності та зручності руху) та екологічні критерії;

- дані про екологічні характеристики транспортного потоку є вихідними для застосування комплексу різноманітних методів охорони навколишнього середовища;

- транспортний потік може розглядатися як самостійний об'єкт управління, його екологічна безпека визначається комплексом законодавчих, організаційних, технічних, економічних заходів, що забезпечують мінімальний сумарний вплив транспортних засобів на навколишнє середовище.

Підхід до визначення транспортного потоку, як джерела забруднення, заснований на тому, що його вплив на навколишнє середовище розглядається, як сумарний вплив окремих автомобілів.

Екологічна безпека окремого автомобіля визначається наступними факторами: конструкцією автомобіля, його технічним станом, підготовкою водія, дорожніми умовами, станом потоку та режимом руху, схемою організації дорожнього руху.

В наш час існує низка методів для визначенню екологічних характеристик транспортного потоку (рис.2).

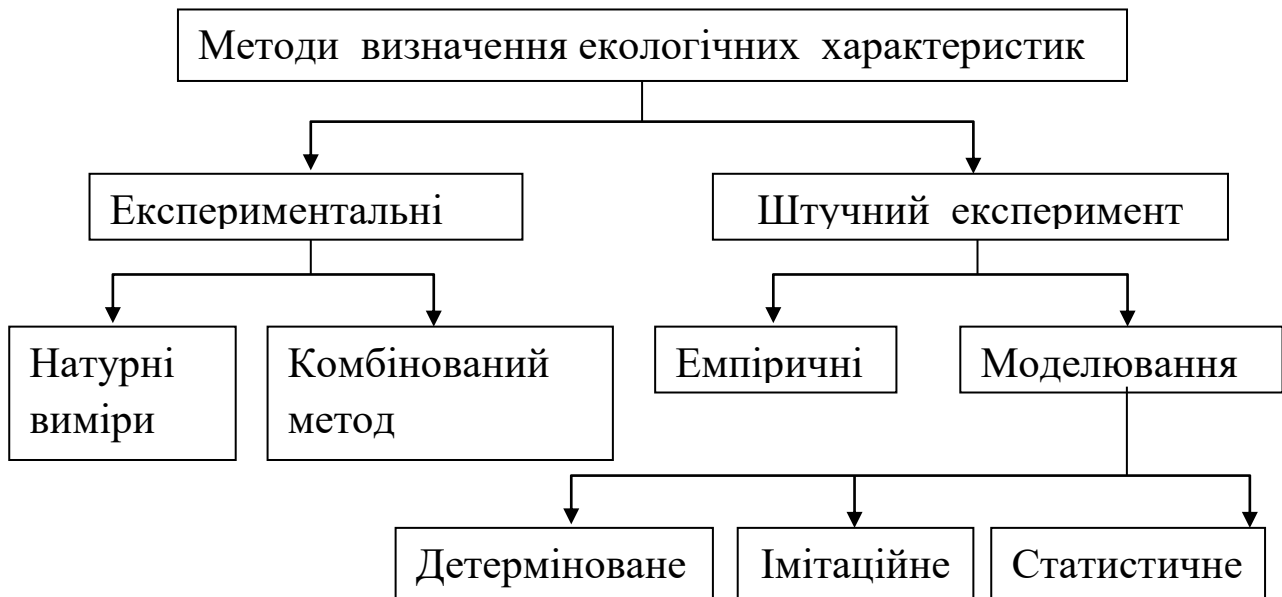


Рисунок 2 – Методи визначення екологічних характеристик

Найбільш потужним інструментом дослідження екологічної безпеки дорожнього руху є моделювання забруднення навколишнього середовища на основі теорії транспортних потоків.

Розглянувши транспортний потік як основне джерело забруднення навколишнього середовища можна зробити висновок, що при оцінці варіантів схем організації дорожнього руху за рівнем екологічної безпеки основними критеріями є такі екологічні характеристики, як шкідливі викиди окису вуглецю (CO), вуглеводнів (C_nH_m), окисів азоту (NO_x) та транспортний шум. Вибір саме цих екологічних характеристик для розгляду зумовлений наступним: за впливом на навколишнє середовище та організм людини вони відносяться до найбільшого класу небезпеки; можливість їх зниження методами організації дорожнього руху.

III. АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РУХУ АВТОМОБІЛІВ У ТРАНСПОРТНОМУ ПОТОЦІ

Важливим показником, що відображає фактичні умови руху транспортного потоку, є час проїзду автомобілями ділянки міської магістралі (швидкість сполучення). Враховуючи циклічний характер руху автомобілів у містах, середній час проїзду можна розглядати у вигляді суми складових, що становлять середній час роботи автомобіля у різних режимах: розгін, гальмування, усталений рух, холостий хід. Від співвідношення цих складових залежить багато показників екологічної безпеки автомобілів. Розглянемо кожний з режимів.

У процесі розгону автомобіля кількість відпрацьованих газів та споживання палива визначаються: режимом роботи двигуна; характером його зміни; токсичними та економічними характеристиками двигуна.

У розрахунках при визначенні характеристик розгону зазвичай розглядається рівноприскорений рух автомобіля з постійним прискоренням a , яке приймається для легкових автомобілів від 0,9 до 1,5 м/с² для вантажних від 0,7 до 1,0 м/с². Але значення прискорення при розгоні автомобіля не є постійним, а весь час знижується при збільшенні швидкості і переході на більш високу передачу.

Внаслідок аналізу характеристик розгону автомобілів отримана залежність прискорення - швидкість:

$$j_p = \frac{dv}{dt} (a + b \cdot v)^{-1}, \quad (1)$$

де j_p - прискорення автомобіля, м/с²; v - швидкість автомобіля, м/с; a, b - постійні, що мають розмірність, a - с²/м; b - с³/м².

Оскільки при $v = 0$ відношення $\frac{dv}{dt} = a^{-1}$, то ця постійна має значення, зворотне максимальному прискоренню в момент початку розгону.

Враховуючи, що при $t = 0, v = 0$, можна записати час розгону автомобіля як функцію від швидкості v :

$$dt = \frac{dv}{(a + bv)^{-1}} = (a + bv)dv$$

$$t_p = \int_0^t t = \int_0^v (a + bv)dv \quad (2)$$

$$t_p = av + 0,5 \cdot bv^2$$

Шлях, який проходить транспортний засіб при розгоні (змінної швидкості) з моменту початку розгону до моменту досягнення швидкості v :

$$S_p = \int_{v_1}^{v_2} v dt, \quad S_p = 0,5av^2 + 0,333bv^3 \quad (3)$$

Внаслідок обробки експериментальних даних про характеристики руху автомобілів, що розганяються з першого місця в черзі, були одержані значення параметрів a і b :

Таблиця 1

	a	b
Легкові автомобілі	0,5	0,072
Вантажні автомобілі та автобуси	0,76	0,2

В місті, при проїзді регульованого перехрестя характер і спосіб гальмування залежить від роботи світлофорної сигналізації (екстрене, сповільнення, вибіг чи гальмування накатом).

Обробка результатів спостережень за зміною сповільнення j_T залежно від поточної швидкості автомобіля показала, що для високих швидкостей руху характерне більше значення сповільнення при гальмуванні. Із зменшенням швидкості j_T знижується.

Кореляційне рівняння, що описує залежність часу гальмування від швидкості:

$$t_T = \rho \cdot (v)^{0.5}, \quad (4)$$

де ρ - параметр, значення якого дорівнюють: легкові - 3,75; вантажні - 5,7.

Шлях гальмування до повної зупинки в залежності від швидкості в момент початку гальмування:

$$S_T = 0,333 \cdot \rho \cdot (v)^{1.5} \quad (5)$$

Зважаючи на те, що найбільш “вузькими”, а, отже, і найбільш екологічно небезпечними ділянками вулично-дорожньої мережі є перехрестя, є необхідним дослідження поведінки транспортних потоків в даних зонах.

Для оцінки екологічної ситуації поблизу перехресть необхідно визначити число автомобілів, зупинених на перехресті при включенні забороняючого сигналу світлофора.

В практичних розрахунках при визначенні числа автомобілів, що затримуються біля ізольованого перехрестя зі світлофорним регулюванням, використовують відому в теорії транспортних потоків формулу

$$\delta_{0j} = \frac{1 - \lambda_j}{1 - y_j}, \quad (6)$$

де δ_{0j} - частка автомобілів, що затримуються біля перехрестя; λ_j - ефективна частка j -ї фази в циклі регулювання; y_j - фазовий коефіцієнт j -ї фази регулювання.

$$\lambda_j = \frac{t_{осн j}}{T_{ц}}; \quad (7)$$

$$y_j = \frac{N_j}{M_{нj}}. \quad (8)$$

Потік насичення для однієї смуги руху визначається виходячи із середнього інтервалу часу між автомобілями $\Delta \bar{\tau}$, с/авт, при роз'їзді черги

$$M_{нj} = (\Delta \bar{\tau})^{-1}; \quad (9)$$

$$M_{нj} = \frac{3600}{\Delta \bar{\tau}} \text{ (для авт/год)} \quad (10)$$

Другою характеристикою роз'їзду черги є $\Delta \bar{\tau}_{руш}$ – середній інтервал запізнення або відтинок часу між моментами зрушення з місця попереднього та наступного автомобілів в черзі в процесі її ліквідації.

Для середніх умов руху на перехресті (гарний стан покриття, поздовжній ухил менше 1,5%):

$$\Delta \bar{\tau}_{руш} = 1,2 - 0,4\Delta_{л}; \quad (11)$$

$$\Delta \bar{\tau} = 3,45 - 1,15\Delta_{л}, \quad (12)$$

де $\Delta_{л}$ - частка легкових автомобілів в потоці.

Час зупинки одного автомобіля в черзі складається з часу на очікування дозволяючого сигналу світлофору та часу очікування розвантаження черги.

Групу зупинених біля перехрестя автомобілів можна умовно поділити на дві підгрупи:

- що зупиняються на забороняючий сигнал світлофору;
- що спиняються через наявність черги.

Середній час очікування дозволяючого сигналу світлофору одним автомобілем можна вважати рівним половині довжини забороняючого сигналу світлофора:

$$t_{\text{очік}} = t_{\text{черв}} / 2 \quad \text{або} \quad t_{\text{очік}} = 0,5 T_{\text{ц}} (1 - \lambda_j) \quad (13)$$

Даний вираз застосовується в розрахунках при визначенні середнього часу зупинки автомобіля в черзі.

Враховуючи частку зупинених автомобілів, отримаємо середню затримку автомобіля біля перехрестя.

Визначення довжини черги на перехресті виконується в залежності від складу транспортного потоку. Для однорідного потоку довжина черги $l_{\text{ч}}$, що складається з числа n зупинених автомобілів певного типу, та вимірюється від стоп-лінії до коліс останнього автомобіля, описується кореляційною залежністю:

$$l_{\text{ч}} = A (n_0 - 1) + B, \quad (14)$$

де A , B - постійні параметри, значення яких для однорідної черги дорівнюють:

Таблиця 2

Тип автомобілів в черзі	A	B
легкові	7.5	2.4
вантажні з причепами	11	3.6
автобуси	13.5	5

Для змішаного потоку довжина черги визначається:

$$l_{\text{ч}} = (4 \Delta_{\text{л}} + 7.5 \Delta_{\text{в}} + 10\Delta_{\text{вг}}) n_0 + 3.5 (n_0 - 1), \quad (15)$$

де $\Delta_{\text{л}}$, $\Delta_{\text{в}}$, $\Delta_{\text{вг}}$ - відповідно частки легкових, вантажних і великогабаритних автомобілів в черзі.

Від усталеної швидкості руху автомобіля, числа зупинок, затримок залежить така характеристика, як час проїзду ділянки магістралі. При швидкості усталеного руху 25 - 60 км/год час проїзду ділянки магістралі з регульованим рухом описується залежностями:

$$t_{\text{прл}} = \delta_{0j} \cdot [(2,2 + 0,9 v_{\text{л}}) + 0,5 (1 - \lambda_j) T_{\text{ц}}] + L_{\text{п}}/v_{\text{л}} \quad (16)$$

$$t_{\text{прв}} = \delta_{0j} \cdot [2,2v + 0,5 (1 - \lambda_j) T_{\text{ц}}] + L_{\text{п}}/v_{\text{в}}, \quad (17)$$

де $t_{\text{прл}}$, $t_{\text{прв}}$ - середній час проїзду ділянки легковим і вантажним автомобілем відповідно, с; $v_{\text{л}}$, $v_{\text{в}}$ - середня швидкість усталеного руху на перегоні у вантажних та легкових автомобілів.

Однією із основних характеристик транспортного потоку, що формує екологічну безпеку, є швидкість руху. Швидкість руху суттєво впливає на ефективність використання автомобілів у містах, а також на ступінь негативного впливу автомобілів на навколишнє середовище. В зв'язку з цим прогнозування зміни швидкості руху є важливою умовою при розробці заходів з організації дорожнього руху. Труднощі, пов'язані з проведенням натурних обстежень, а також неможливість експериментальної оцінки швидкостей руху на стадії проектування, викликають необхідність використання засобів математичного моделювання при вирішенні даної проблеми. Внаслідок моделювання руху транспортного потоку одержані наступні залежності.

Залежність швидкості сполучення $v_{\text{с}}$ від затримки перед перехрестям:

$$v_{\text{с}} = \frac{75 - 0,62t_n}{L_n^{0,47 - 0,0028t_n}} \ln(L_n + 1), \quad (18)$$

де t_{Π} - затримка перед перехрестям зі світлофорним регулюванням, с.
Середня швидкість транспортного потоку

$$v_{\Pi} = v_{\text{вр}} - \alpha K_{\alpha} N, \quad (19)$$

де α , K_{α} - комплексні коефіцієнти, що враховують склад потоку і зміну дорожніх умов; $v_{\text{вр}}$ - середня швидкість вільного руху автомобілів на перегоні:

$$v_{\text{вр}} = \theta \cdot v_0, \quad (20)$$

де θ - комплексний коефіцієнт, що враховує вплив ДУ і складу потоку; v_0 - середня швидкість вільного руху “швидких” автомобілів при однорідному потоці, на рівній ділянці вісьмисмугової магістралі безупинного руху ($v_0 = 70$ км/год).

Коефіцієнт θ

$$\theta = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot m_4 \cdot m_5 \quad (21)$$

Коефіцієнт m_1 враховує вплив довжини перегону на швидкості вільного руху автомобілів:

$$m_1 = L_{\Pi} / (0,057 - 0,943 \cdot L_{\Pi}) \quad (\text{при } 150 \text{ м} \leq L_{\Pi} \leq 1000 \text{ м}). \quad (22)$$

Коефіцієнт m_2 враховує вплив числа смуг руху:

$$m_2 = 0,92 + 0,2 R, \quad (23)$$

де R - число смуг руху в одному напрямку.

Для $R = 2$ коефіцієнт m_2 залежить від ширини проїжджої частини в одному напрямі руху:

Таблиця 3

Ширина проїжджої частини $B_{пч}$, м	7,5	7,0	6,5	6,0
Коефіцієнт m_2	0,96	0,94	0,9	0,85

Для $L_{п} > 1$ км і $R > 5$ значення коефіцієнтів m_1 і m_2 приймаються рівними 1.

Коефіцієнт m_3 враховує вплив складу транспортного потоку на швидкість вільного руху:

$$m_3 = 0,8 + 0,2 \Delta_{л}. \quad (24)$$

Вплив поздовжнього ухилу на швидкість вільного руху враховується коефіцієнтом m_4 :

при русі на ділянках підйому:

$$m_4 = 1,08 - (0,08 - 0,05 \Delta_{л}) i. \quad (25)$$

при русі на ділянках спуску:

$$m_4 = 1 + 0,01i \quad , \quad (26)$$

де i - поздовжній ухил в %. Для ділянок з ухилом $i < 2\%$ $m_4 = 1$.

Коефіцієнт m_5 враховує вплив рівності дорожнього покриття на швидкість вільного руху:

$$m_5 = 1 - 0,1 S, \quad (27)$$

де S - бальна оцінка стану дорожнього покриття по рівності.

Зміна стану покриття на 1 бал приблизно відповідає зміні швидкості потоку на 10%.

При наявності на перегоні міської магістралі дорожніх знаків, що обмежують швидкості руху транспортних засобів, чи системи

координованого регулювання дорожнім рухом значення швидкості вільного руху визначається за залежністю:

$$v_{вр}^* = \begin{cases} \theta v_0 & \text{при } v_{вр} \leq 1,05v_{обм} \\ 1,05v_{обм} & \text{при } v_{вр} > 1,05v_{обм} \end{cases}, \quad (28)$$

де - $v_{обм}$ гранична швидкість руху, обмежена дорожнім знаком, чи регламентована середня швидкість руху в режимі “зеленої хвилі”, км/год.

IV. ТОКСИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ

При оцінці рівня екологічної безпеки транспортних систем міст вулично-дорожню мережу умовно розділяють на типові елементи «перегін – перехрестя» та по кожному типовому елементу збирають всі параметри. Визначаються показники токсичності транспортних потоків такі, як валовий викид та інтенсивність викиду транспортного потоку.

Валовий викид CO , г/(м·с) розраховується залежно від витрати палива потоком автомобілів:

$$Q_{co} = 2,06 \cdot 10^{-4} \cdot m (G_{Л}N_{Л} + G_{В}N_{В} + G_{А}N_{А}), \quad (29)$$

де $G_{Л,В,А}$ - середня кількість палива, що споживається легковим, вантажним автомобілем та автобусом на 1 км пробігу; $N_{Л,В,А}$ - інтенсивність руху легкових, вантажних автомобілів та автобусів; m - поправочний коефіцієнт, що враховує перерозподілення процентного вмісту CO у ВГ при зміні швидкості руху автомобілів.

Визначення викидів токсичних речовин по витраченому паливу може бути використано тільки для орієнтовної оцінки, бо не враховує структуру, технічний стан парку, умови руху та експлуатації автомобілів.

Токсична характеристика транспортного потоку залежить від складу (однорідності) дорожнього руху. При оцінці впливу транспортного потоку на навколишнє середовище для обліку складу транспортного потоку вводять поправочні коефіцієнти для приведення до однорідного потоку приведених автомобілів.

Транспортний потік приводиться до потоку, що складається із двох груп розрахункових автомобілів: легкових і вантажних, що відрізняються параметрами режимів руху та питомою масою приведенного до *СО* викиду на цих режимах.

$$\bar{N}_{pj} = \sum_{i=1}^I K_{пріj} N_i, \quad (30)$$

де N_{pj} - приведена інтенсивність руху Л або В в одиницю часу;

N_i - фактична інтенсивність руху ТЗ i -того типу;

$K_{пріj}$ - коефіцієнт приведення до Л або В для ТЗ i -того типу;

I - число типових груп транспортних засобів.

Таблиця 4

Тип транспортного засобу	Коефіцієнт приведення по викиду <i>СО</i>	
	Л	В
Легковий автомобіль	1	-
Вантажний автомобіль вантажопідйомністю, т:		
до 2	1,5	-
2-5	-	1
10 - 15	-	1,85
понад 15	-	2,5
Автобус пасажиромісткості:		
особливо малої	1,4	-
малої	-	1
середньої	-	1,85
великої	-	2,25

Для дизельних вантажних автомобілів та автобусів коефіцієнт приведення множать на 0,14 для газобалонних автомобілів на 0,25.

Середнє значення пробігового викиду від одного автомобіля j -того типу на ділянці магістралі “перегін - регульоване перехрестя”:

$$q_j^{CO} = \{ \delta_{0j} L_n^{-1} [a_j v + b_j T_{\text{ц}} (1 - \lambda) + c_j] + d_j / v + e_j \} \cdot \text{PR}_j^{CO}, \quad (31)$$

де a_j, b_j, c_j, d_j, e_j - постійні коефіцієнти,

v - середня швидкість руху, що установився на перегоні, км / год;

λ - ефективна частка горіння дозволяючого сигналу;

PR_j^{CO} - добуток поправочних коефіцієнтів, що враховують вплив середнього віку парку автомобілів на викид CO , рівень технічного стану автомобілів на викид CO , зміна нормативних вимог на пробіговий викид CO .

За пробіговими викидами розраховуються викиди CO в одиницю часу на ділянці магістралі одиничної довжини від транспортного потоку, що рухається в одному напрямі, інтенсивність викидів CO , мг/(м·с):

$$Q_{CO} = 2,78 \cdot 10^{-4} \sum_{j=1}^2 q_j^{CO} \bar{N}_{pj} \quad (32)$$

Викиди вуглеводнів $C_n H_m$, мг/(м·с) від транспортного потоку в одному напрямку на ділянці магістралі:

$$Q_{CH} = 2,78 \cdot 10^{-5} [1,57 - 0,08(T - 1985)] (q^{-CO} N_{\text{Л}} + q^{-CO} N_{\text{В}}), \quad (33)$$

де q^{-CO} - “умовний” пробіговий викид CO автомобілем розрахункового типу без врахування PR_j^{CO} .

Викиди окислів азоту NO_x , мг/ (мс):

$$Q_{NO} = 2,78 \cdot 10^{-4} (q^{-NO} N_{\text{Л}} + q^{-NO} N_{\text{В}}), \quad (34)$$

$$q_L^{NO} = 2,3 + 0,1 (v_L - 34) - 0,05 (T - 1985), \quad (35)$$

$$q_B^{NO} = 8 + 0,17 (v_B - 34) - 0,15 (T - 1985), \quad (36)$$

де N_L та N_B - фактична інтенсивність руху Л та В в одному напрямку, авт/год; V_L та V_B - швидкість усталеного руху Л та В автомобілів, км/год.

V. МОДЕЛЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ЕКОСИСТЕМ ПРИДОРОЖНЬОГО ПРОСТОРУ ШЛЯХОМ УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ

Ступінь впливу шкідливих викидів транспортного потоку на навколишнє середовище визначається рівнем їх приземних концентрацій в атмосферному повітрі.

Існують різні підходи до вирішення задачі розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері та моделюванні полів забруднення, зокрема: аналітичне вирішення рівняння турбулентної дифузії, чисельне моделювання турбулентних течій, Лагранжеві моделі, Гаусові моделі, статистичні моделі, моделі міських каньйонів: STREET (Johnson et al., USA, 1973); Canyon Plum Box Model (Yamartino et al., 1986); Operational Street Pollution Model (Berkowicz, 1996). На сьогоднішній день немає загальноприйнятої моделі розсіювання забруднюючих речовин через її складність. [2,3]

Для визначення рівня забруднення в містах існує клас полуемпіричних моделей, заснованих на апіорній параметризації умов перенесення та розсіювання забруднюючих речовин. Серед цих моделей найбільш відомими є: California Line Sours Dispersion Model (CALINE-4) та Danish Operational Street Pollution Model (OSPM). Модель CALINE-4 створена Каліфорнійським департаментом транспорту, заснована на гаусовій моделі факела. Клас стійкості приземного шару атмосфери визначається за допомогою модифікованих кривих Паскуїла-Гіфорда. Дана модель потребує невеликої кількості вхідної інформації, що забезпечує її простоту і

широке використання. Разом з тим, результати моделювання можна вважати лише наближеними, так як дана модель не враховує особливості міської забудови, рельєф місцевості, метеорологічні характеристики.

Модель OSPM орієнтована на визначення концентрації забруднюючих речовин від транспортних потоків у вуличних каньонах з врахуванням метеорологічних умов, геометричних характеристик вуличних каньонів: різні конфігурації вулиць, ширини, висоти, щільності забудов, також в моделі враховується механічна турбулентність, створена рухом транспортних засобів. Основним недоліком OSPM є неможливість врахування деформації вітрового потоку в залежності від конфігурації забудов.

Визначення концентрації забруднюючих речовин у вуличних каньонах від транспортних потоків пропонується проводити на основі методології моделі Operational Street Pollution Model. Модель заснована на гаусівському типу розсіювання забруднюючих речовин в поєднанні з характеристиками вулично-дорожньої мережі міст.

Моделювання полів забруднення в містах є досить складною задачею, оскільки структура міської забудови є неоднорідною. Тому, доцільно представляти архітектурно-планувальний фрагмент міської забудови сукупністю елементарних вуличних каньонів з відповідними просторово-геометричними характеристиками.

Вуличний каньйон є типовим архітектурно-планувальним елементом міста, який являє собою елементарну ділянку з забудовами уздовж проїзної частини вулиці між найближчими перехрестями. Простір між забудовами – це елементарна екосистема рівень забруднення якої визначає рівень екологічної безпеки даного каньйону. Вуличні каньйони міста мають різні просторово геометричні характеристики: ширина, довжина, просторова орієнтація каньйону, суцільність та композиція забудови (середньозважена висота забудов, щільність забудов, середній кут повороту будинків до осі вулиці). Також виділяють симетричні та асиметричні вуличні каньйони. [4]

Аналіз вуличних каньонів Печерського району м. Києва дозволив сформулювати п'ять однорідних груп в яких ідентифіковано найбільш типові вуличні каньйони на основі їх просторово-геометричних показників (табл.5). Вулично-дорожня мережа Печерського району м.Києва налічувала 377 елементарних каньонів, для яких емпірично були встановлені просторово-геометричні характеристики. [4]

Таблиця 5 – Типові вуличні каньйони Печерського району м. Києва

	Типові вуличні каньйони
Потенційно безпечні каньйони	вул. Грушевського; буд. 9, 32 (кластер 1.1)
	вул. Звіринецька; буд. 82, 73 (кластер 1.2)
Потенційно небезпечні каньйони	вул. Ольгінська; буд. 3, 6 (кластер 2.1)
	вул. Інститутська; буд. 15, 20/8 (кластер 2.2)
	вул. Мазепи; буд. 11,12 (кластер 2.3)

У вуличному каньйоні виділяють наступні зони: навітряна сторона, для якої характерний мінімальний рівень забруднення, що обумовлено надходженням чистого повітря; внутрішня частина та підвітряна сторона, для якої спостерігається максимальний рівень забруднення. При моделюванні рівня забруднення розрізняють швидкість і напрямок вітру на рівні даху забудов, що визначається глобальним перенесенням повітряних мас та швидкість вітру на рівні вулиці. Також виділяється зона рециркуляції, яка характеризується надходженням забруднюючих речовин з іншої частини вуличного каньйону та визначається довжиною турбулентного вихору, геометричними показниками каньйону. (рис.3)

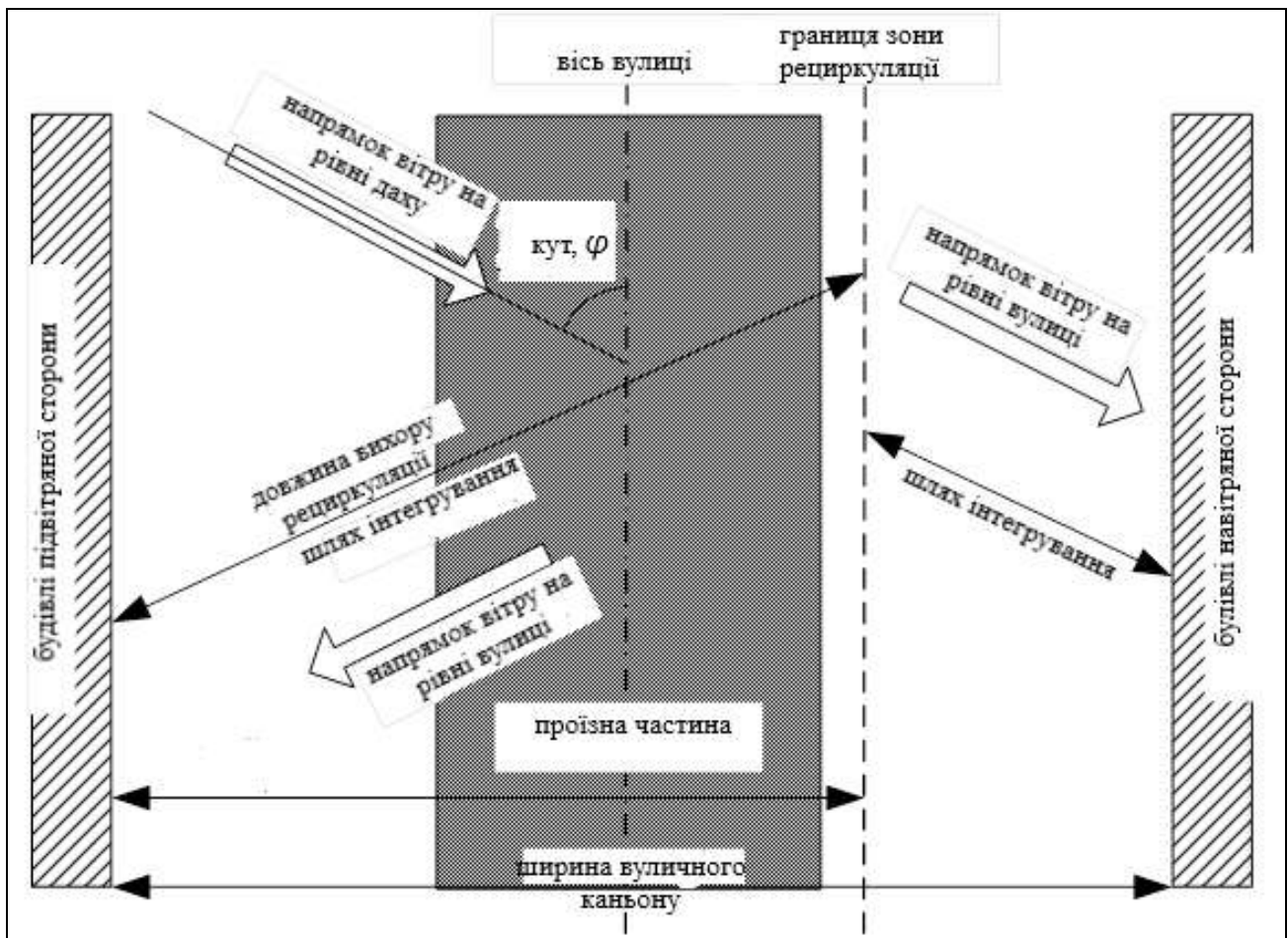


Рисунок 3 – Основні параметри вуличного каньону

Концентрація забруднюючих речовин визначається в межах вуличного каньону і дорівнює сумі концентрації прямого розсіювання поллютантів, концентрації спричиненою рециркуляцією повітря у вуличному каньоні та міською фоновою концентрацією.

$$C = C_{\text{п}} + C_{\text{р}} + C_{\text{ф}} \quad (37)$$

Концентрація прямого розсіювання забруднюючих речовин від транспортного потоку дорівнює:

$$C_{\text{п}} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int \frac{L \cdot Q dx}{U_{\text{в}} W \sigma_z(x)} \quad (38)$$

де L – довжина вуличного каньйону, м;
 Q – інтенсивність викидів забруднюючих речовин від “ефективного” транспортного потоку, мг/м³·с;
 U_B – швидкість вітру на рівні вулиці, м/с;
 W – ширина вуличного каньйону, м;
 $\sigma_z(x)$ – параметр вертикальної дисперсії на відстані x від джерела викиду;
Швидкість вітру на рівні вулиці визначається наступним чином:

$$U_B = U_D \frac{\ln(h_0/z_0)}{\ln(H/z_0)} (1 - 0.2p \sin \varphi) \quad (39)$$

де U_D – швидкість вітру на рівні даху, м/с;
 z_0 – ефективний розмір нерівності, м, $z_0=0,6$;
 h_0 – ефективна висота шлейфу після руху автомобіля, м, $h_0=2$;
 H – середня висота забудов вуличного каньйону (з навітряної та підвітряної сторони каньйону), м;
 p – відношення висоти забудов з підвітряної сторони до середньої висоти забудов вуличного каньйону;
 φ – кут напрямку вітру на рівні даху по відношенню до осі вулиці, рад;

Параметр вертикальної дисперсії забруднюючих речовин на відстані x від джерела викиду визначається за наступною формулою:

$$\sigma_z(x) = \sigma_w \frac{x}{U_B} + h_0 \quad (40)$$

де σ_w – вертикальна дисперсія турбулентності, м/с;
 x – відстань від джерела до розрахункової точки, м

$$\sigma_w = \sqrt{(0.1U_B)^2 + \sigma_{w0}^2} \quad (41)$$

де σ_{w0} – дисперсія турбулентності, викликана рухом транспортних засобів, м/с;

$$\sigma_{W0} = 0.3 \sqrt{\frac{NVS}{W}} \quad (42)$$

де N – інтенсивність руху транспортного потоку, авт/с;

V – середня швидкість руху транспортного потоку, м/с;

S – середня площа, яку займає транспортний засіб, м²;

Таким чином концентрація забруднюючих речовин від прямого розсіювання при перпендикулярному напрямку вітру до осі вулиці визначається:

$$C_{\Pi} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{L \cdot Q}{W \sigma_W} \ln \left(1 + \frac{W \sigma_W}{h_0 U_B} \right) \quad (43)$$

Розрахунок концентрації забруднюючих речовин в зоні рециркуляції вуличного каньйону проводиться в залежності від довжини турбулентного вихору:

$$l_B = 2rH_{\text{підв.}} \quad (44)$$

де r – показник, що залежить від швидкості вітру (для швидкостей вітру < 2 м/с $r = U_d/2$, в інших випадках $r = 1$)

Концентрація від рециркуляції забруднюючих речовин в межах вуличного каньйону визначається наступним чином:

$$C_P = \frac{Q \cdot l_r}{W \cdot (\omega_t \cdot l_t + \omega_s \cdot l_s)} \quad (45)$$

де l_r, l_t, l_s – геометричні характеристики зони рециркуляції;

ω_t, ω_s – швидкість розсіювання забруднюючих речовин відповідно через верхню та бокову частину вуличного каньйону, м/с.

$$\omega_t = \sqrt{(0,1U_d)^2 + (0,4\sigma_{W0})^2} \quad (46)$$

$$\omega_s = \sqrt{U_B^2 + \sigma_{w0}^2} \quad (47)$$

На основі даної моделі виконана оцінка концентрації забруднюючих речовин у вуличних каньонах Печерського району м. Києва з врахуванням добової динаміки інтенсивності транспортних потоків.[5] Інтенсивність викидів оцінювалась на основі концепції “ефективного транспортного потоку”, тобто модельного потоку, техногенна ефект-дія якого на навколишнє середовище еквівалентна дії реального транспортного потоку, що містить аналогічну кількість транспортних засобів. «Ефективний» транспортний потік, являється статистичною сукупністю «ефективних» транспортних засобів відповідних категорій. [6]

Отже, на основі моделі міських вуличних каньонів (OSPM) визначається добова динаміка концентрації основних забруднюючих речовин у вуличних каньонах транспортних систем міст, що дозволяє оперативно прогнозувати рівень забруднення екосистем придорожнього простору та своєчасно, шляхом управління параметрами транспортного потоку, попереджати критичні ситуації в проектах управління екологічним станом мегаполісу.

VI. ОЦІНКА РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Рівень екологічної безпеки визначається шляхом порівняння рівня забруднення екосистем придорожнього простору з гранично допустимою концентрацією токсичних речовин (ГДК).

Гранично допустимою концентрацією токсичної речовини (ГДК) прийнято вважати максимальну концентрацію домішки, віднесена до певного часу усереднення, що при періодичному впливі чи на протязі всього життя людини не чинить шкідливої дії на організм людини і на навколишнє середовище в цілому. ГДК деяких токсичних компонентів наведені в таблиці 6.

При екологічній оцінці стану примагістральної території необхідно враховувати наявність в атмосферному повітрі одразу

декількох токсичних речовин. В цьому випадку розглядається відносна сумарна концентрація, тобто сума відношень концентрацій токсичних речовин, що розглядаються до їх ГДК.

Таблиця 6 – Гранично-допустимі концентрації токсичних речовин

Речовини	ГДК, мг/м ³		
	разові	середньодобові	в робочій зоні
окис <i>NO</i>	0,6	0,06	30
окис <i>NO₂</i>	0,45	0,04	2
Свинець (<i>Pb</i>):	-	0,0003	0,02
нітрат <i>Pb (NO₃)₂</i>	-	0,0003	0,01
Сірка (<i>S</i>):	-	-	6
Окис сірки <i>SO₂</i>	0,5	0,05	10
Вуглець (<i>C</i>):	0,15	0,05	4
окис <i>CO</i>	5	3	20
Бензапірен (<i>C₂₀H₁₂</i>)	-	0,000001	0,00015
Бутан (<i>C₄H₁₀</i>)	200	-	300
Пропан (<i>C₃H₈</i>)	-	-	1800

Екологічний стан вважається сприятливим, якщо відносна сумарна концентрація не перевищує 1.

$$\sum_{i=1}^I \frac{C_i}{ГДК_i} \leq 1, \quad (48)$$

Для приведення різноманітних токсичних речовин до порівняного вигляду, обирається базовий токсичний компонент, за яким здійснюється коригування інших. У вигляді базового приймається окис вуглецю *CO*.

Отже формула (1.48) може бути також записана у вигляді:

$$\sum_{i=1}^I C_i K_{np1i} \leq ГДК_{CO} \quad , \quad (49)$$

де K_{np1i} - коефіцієнт приведення, рівний $K_{np1i} = ГДК_{CO} / ГДК_i$

При визначенні збитків від забруднення атмосфери токсичними речовинами використовують коефіцієнт приведення до окису вуглецю, але з урахуванням додаткових факторів:

$$K_{np2} = a_i \cdot \alpha_i \cdot \delta_i \cdot \lambda \cdot \beta \quad , \quad (50)$$

де a_i - показник відносної небезпеки присутності домішки в повітрі:

$$a_i = \left[\frac{ГДК_{CO}^{(C)} ГДК_{CO}^{(P)}}{ГДК_i^{(C)} ГДК_i^{(P)}} \right]^{0,5} = \left[\frac{60}{ГДК_i^{(C)} ГДК_i^{(P)}} \right]^{0,5} \quad , \quad (51)$$

де $ГДК_i^{(C)}$ - середньодобова ГДК, мг/м;

$ГДК_i^{(P)}$ - гранично допустима концентрація токсичних речовин у повітрі робочої зони, мг/м.

α_i - поправочний коефіцієнт, що враховує імовірність надходження токсичної речовини в організм людини, $1 \div 5$;

δ_i - поправочний коефіцієнт, що враховує можливість впливу на інші живі організми, окрім людини, $1 \div 2$;

λ - коефіцієнт, що враховує імовірність повторного викиду домішки в атмосферу після її осідання на поверхні землі, $1 \div 1,2$;

β - коефіцієнт, що враховує утворення повторних шкідливих речовин ще більш небезпечних, ніж вихідні, $1 \div 5$.

Значення коефіцієнту приведення $K_{пр2}$ для різноманітних речовин:

Окис вуглецю _____	1,0
Сірчистий ангідрид _____	22,0
Окиси азоту _____	41,1
Вуглеводні _____	3,16
Фенол _____	310,0
Двоокис кремнію _____	83,2
Сажа _____	41,5
Сполуки свинцю _____	22400,0

Поряд з ГДК, що є узвичаєним критерієм якості стану навколишнього середовища, існує показник токсичності автомобіля - гранично допустимий викид (ГДВ).

Гранично допустимий викид (ГДВ) - кількість токсичних речовин, що викидаються в одиницю часу разом з відпрацьованими газами автомобілів, що в сумі з викидами від інших джерел міста (промислових підприємств, котельних і т.д.) не створює концентрації токсичних речовин в атмосферному повітрі, що перевищують її ГДК.

В тих випадках, коли підтримка ГДК окремих речовин в повітрі не уявляється можливим, по узгодженню з Міністерством охорони здоров'я України та Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України встановлюються тимчасово узгоджені викиди.

Тимчасово узгодженим викидом від автомобільного транспорту є такий викид, при якому концентрація токсичних компонентів від автомобілів та інших джерел викиду досягає певного значення (більше ГДК), але що не може бути знижена в даний період часу з технічним чи економічним причин.

Обґрунтування тимчасово узгоджених викидів робиться по кільком періодам з послідовним зниженням розрахункової концентрації токсичних речовин в атмосферному повітрі та доведенням її до ГДК.

Дані про стан загазованості повітря зазвичай збираються з використанням стаціонарних пунктів чи рухомих лабораторій і містяться в Санепідемстанції міста (СЕС) або гідрометобсерваторії.

Для виявлення найбільш несприятливих ділянок міських територій проводиться аналіз існуючих даних. За територіальну одиницю прийнятий транспортно-планувальний підрайон (ТПП), що включає ділянку магістралі з житловою забудовою та громадськими установами. Розмір ТПП повинен складати 2-4 км. На підставі аналізу виявляють найбільш забруднені ТПП, в яких аналізують завантаження магістралей, характер прилеглої забудови та її призначення. Внаслідок проведеної оцінки складають маршрути руху рухомої лабораторії по ТПП для вияву найбільш несприятливих ділянок магістралей. По одержаним даним спостережень ранжують “небезпечні” ділянки мережі по мірі їх загазованості та відзначають на плані міста.

Основними джерелами забруднення атмосферного повітря у містах є автомобільний транспорт, енергетика (теплові електростанції та котельні) і промисловість. Згідно з цим при оцінці можливого і допустимого рівня загазованості повітря необхідно виділяти частку забруднень кожного джерела.

Допустима загазованість атмосферного повітря від автомобільного транспорту визначається як:

$$\Delta C_{\text{тр}} < C_{\text{ГДК}} - C_{\text{ст}}, \quad (52)$$

де $C_{\text{тр}}$ - допустима концентрація токсичної речовини в повітрі від транспортного потоку, мг /м;

$C_{\text{ГДК}}$ - гранично допустима концентрація цієї речовини у повітрі;

$C_{\text{ст}}$ - концентрація цієї токсичної речовини в приземному шарі повітря від стаціонарних джерел.

У випадках, коли в зоні міста, що розглядається, рівень загазованості атмосферного повітря від викидів промислових

підприємств перевищує допустимий рівень, можлива загазованість від автомобільного транспорту визначається, як:

$$C_{\text{тр}} = C_{\text{ту}} - C_{\text{ст}}, \quad (53)$$

де $C_{\text{ту}}$ - тимчасово узгоджена концентрація токсичної речовини у повітрі, мг /м.

Зниження концентрації токсичних речовин від транспортних потоків та дотримання безпечного екологічного простору може бути досягнуто: будівництвом інженерних споруд по захисту навколишнього середовища; композиційними прийомами забудівлі: зонуванням приміагістральної смуги, будівництвом біля магістралей торгівельно-побутових чи соціально-культурних закладів та підприємств; проектуванням смуг зелених насаджень; заходами з організації дорожнього руху.

Найбільш ефективними та оперативними заходами в умовах міста, що дозволяють, шляхом управління параметрами транспортного потоку, попереджати критичні рівні забруднення довкілля і, тим самим, управляти екологічним станом мегаполісу, є заходи з організації дорожнього руху.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., Говорун А.Г., Корпач А.О., Мержиєвська Л.П., "Екологія та автомобільний транспорт", Навчальний посібник, Київ, Арістей, 2006. С. 292
- [2] Ketzler M, Jensen S.S, Brandt J and all. Evaluation of the street pollution model OSPM. *Civil Environmental Engineering* 2012, S1.
- [3] Berkowicz R. OSPM – a parameterized street pollution model / *Kluwer Academ. Publishers. Netherlands. Environmental Monitoring and assessment.* – 2000. – Vol. 65. – P. 341-359.
- [4] Бакуліч О.О., Олійник Р.В., Самойленко Є.С. Потенційна екологічна небезпека вуличних каньйонів міста. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. Науково-технічний збірник. 2015. Випуск 1 (31). С. 12-19. URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/31_1_tech_2015/018-026.pdf
- [5] Бакуліч О.О., Самойленко Є.С. Динаміка рівня забруднення урбанізованих територій. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. Науково-технічний збірник. 2021. Випуск 1 (48). С. 12-19. URL: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/48/012-019.pdf>
- [6] Бакуліч О.О., Самойленко Є.С. Модель складу транспортного потоку міста. *Економіка та управління на транспорті*. Науковий журнал. НТУ, 2016, вип. 3. С.3-9. <http://publications.ntu.edu.ua/eut/2016-03/003-009.pdf>
- [7] Брайловский Н.О. Моделирование транспортных систем / Н.О. Брайловский, Б.И. Грановский – Москва, *Транспорт*, 1978, с.125
- [8] Абрамова Л.С., Бакуліч О.О. Автоматизовані системи управління дорожнім рухом: навч. посіб. Харків, 2014, с. 184.
- [9] Полищук В.П. Організація дорожнього руху: підручник /за ред. проф. Полищука В.П. *Київ, Вища школа*, 2011, с. 425
- [10] Бакуліч О.О., Заяц О.В., Астаніна Н.В., Севост'янова А.В., Кіс І.Р. Екологічний менеджмент : навч. посіб. / за ред. проф. О.О.Бакуліч, Київ, 2020, с. 120.

Дослідження енергетичних показників транспортних засобів з електричним приводом

Валерій Дембіцький

*Луцький національний технічний університет
м. Луцьк, Україна*

Стрімкий розвиток науки, впровадження екологічно чистих та енергоощадних технологій стали рушійними факторами для розвитку електричних та гібридних транспортних засобів. За даними сайту virta.global [1] у 2020 році світовий ринок легкових електромобілів досяг 10 млн шт., а до 2030 року в світі частка електромобілів, за різними сценаріями розвитку, становитиме від 7 до 30 % загальної кількості транспортних засобів. Діаграма, наведена на рисунку 1 демонструє суттєве зростання кількості електромобілів у світі протягом останніх трьох років.

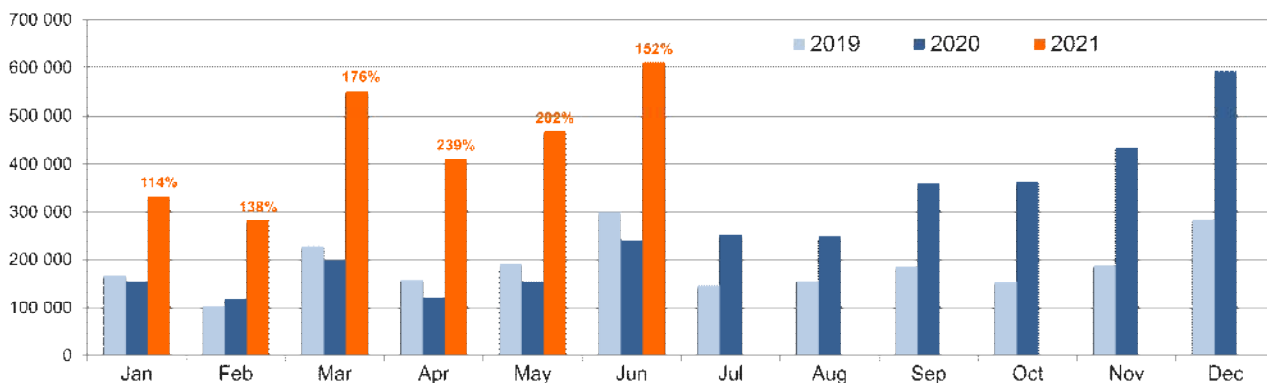


Рисунок 1 – Динаміка зростання світових продажів електромобілів (за даними [2])

Автомобільний ринок України також демонструє збільшення кількості електромобілів протягом останніх років. Станом на 01.03.2021 року в Україні офіційно зареєстровано більше 26 тис. електричних автомобілів [3], без врахування гібридних автомобілів. На рисунку 2 наведено кількість електромобілів в розрізі регіонів.

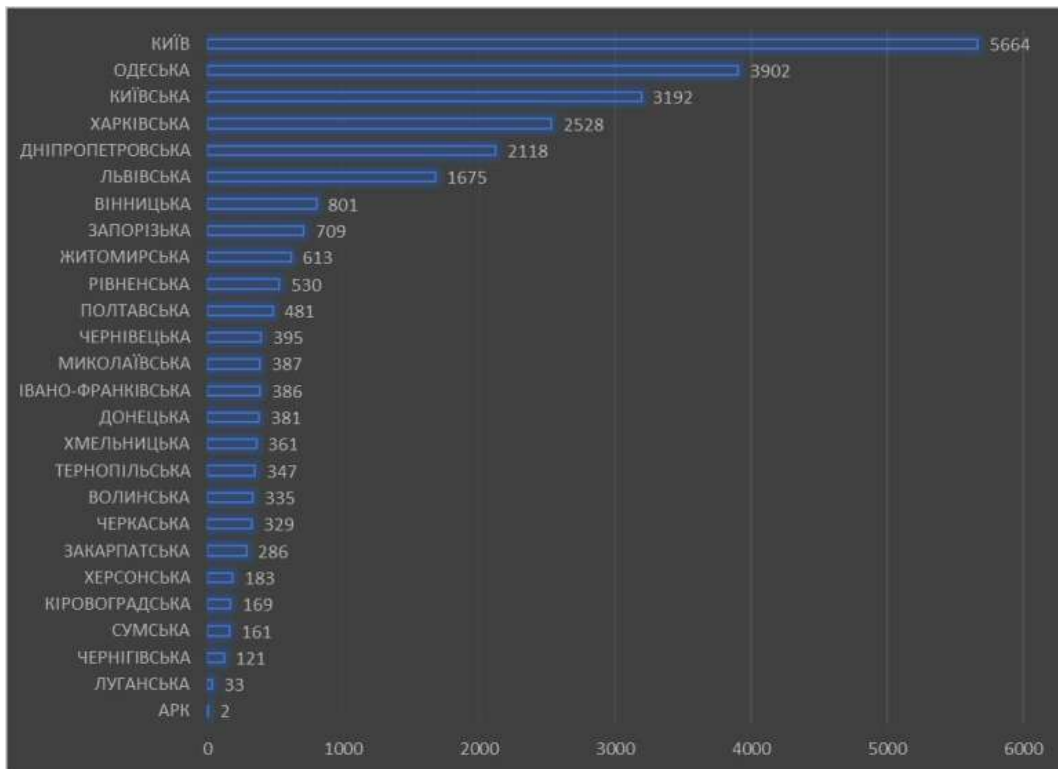


Рисунок 2 – Кількість електромобілів в регіонах України [3]

Компанія IRS Group прогнозує зростання ринку електричних та гібридних автомобілів в Україні до 2024 року до 246 тис. шт. [4] (рис. 4).

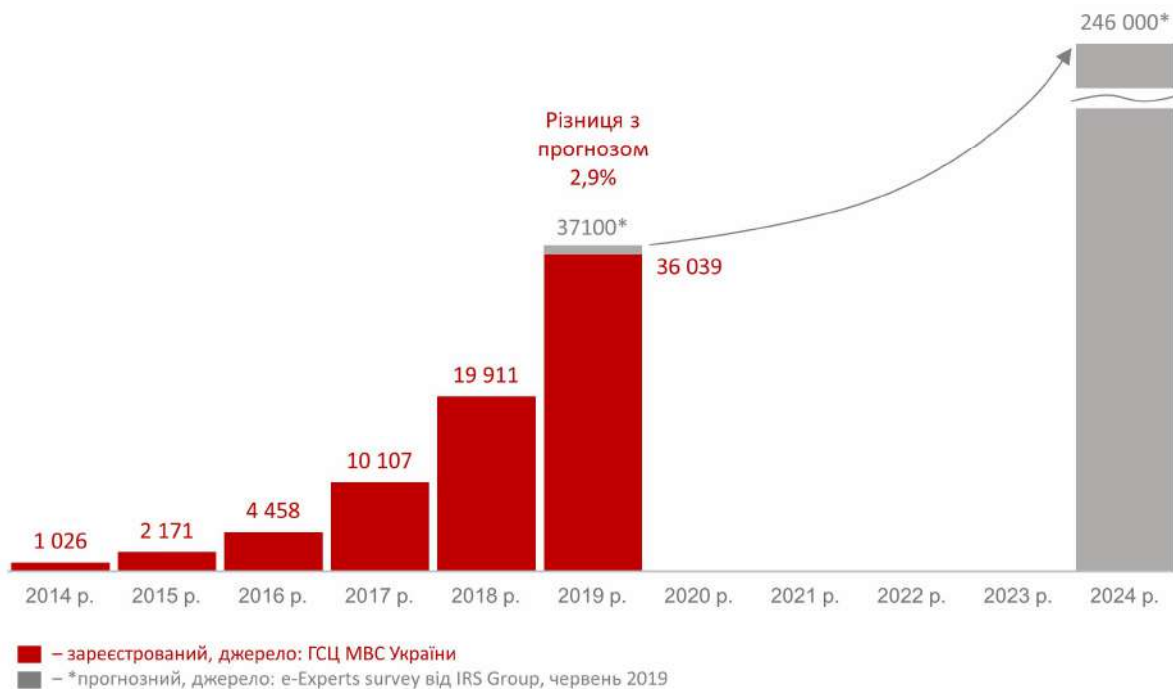


Рисунок 3 – Прогноз ринку електромобілів в Україні до 2024 року [4]

Зростання парку автомобілів з електричним приводом з однієї сторони призводить до необхідності розвитку відповідної інфраструктури, а з іншої потребує проведення відповідних досліджень з метою ефективного їх використання. Розвиток електромобілів супроводжується ґрунтовними дослідженнями пов'язаними із їх конструктивними, технологічними, експлуатаційними властивостями. Значна кількість присвячена дослідженням електричного приводу, управління електричним приводом [5–8]. Заслужують уваги дослідження витрат електричної енергії в реальних умовах експлуатації із врахуванням конструктивних особливостей транспортних засобів [9–13]. Саме витрати електричної енергії, та, відповідно, запах ходу, і є одним з визначальних показників для суб'єктів, які здійснюють експлуатацію автомобілів з електричним приводом.

Аналіз процесу експлуатації транспортного засобу дає можливість виокремити ряд факторів, які тим, чи іншим чином впливають на витрату електричної енергії транспортним засобом (рис. 4).

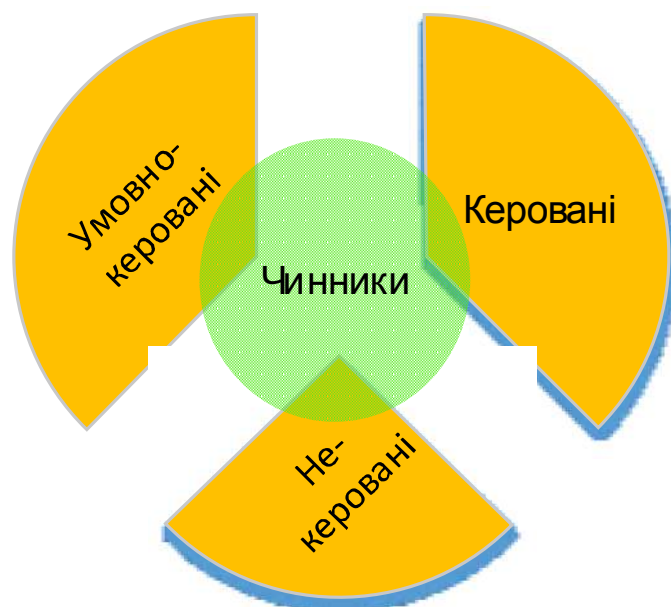


Рисунок 4 – Чинники, які впливають на енергоефективність транспортних засобів

Наведена на рисунку 4 схема впливу чинників на енергоефективність транспортних засобів відображає три їх категорії, які різняться за можливістю впливу на ці чинники та їх мінімізацію. Очевидним є той факт, що мінімізувати вплив зовнішніх умов, таких як кліматичні умови експлуатації, вплив вітру, профілю дороги і т.п. неможливо. Управління умовно-керованими факторами утруднене, через наявність певних обмежень. Сюди віднесено такі чинники як маршрут руху, конструктивні особливості транспортного засобу, швидкісний режим руху і т.п. Керованими факторами зручно управляти, оскільки вони повністю піддаються впливу: висока кваліфікація водія, раціональний вибір режимів руху призведе до неодмінного зменшення витрат електричної енергії. Варто зауважити, що вплив будь яких з цих чинників може бути як позитивним – коли вони сприяють зменшенню витрат електричної енергії так і негативним або нейтральним. Таким чином вплив зазначених груп факторів на витрату електричної енергії можна представити у вигляді математичної залежності:

$$F(E) = [F_k(E); F_n(E); F_{uk}(E)] \quad (1)$$

де $F_k(E)$ – підмножина впливу керованих факторів на витрату електричної енергії транспортним засобом;

$F_n(E)$ – підмножина впливу некерованих факторів на витрату електричної енергії транспортним засобом;

$F_{uk}(E)$ – підмножина впливу умовно-керованих факторів на витрату електричної енергії транспортним засобом;

$F(E)$ – загальна множина впливу факторів на витрату електричної енергії транспортним засобом.

Співвідношення між цими чинниками буде різним, залежно від типу транспортного засобу та умов його використання. У роботі [14] застосовано метод розробки експерименту (DoE) для дослідження статистичної значущості вибраних факторів ,які мають вплив на

витрату електричної енергії. Імітація реального використання здійснювалася на автомобілі Nissan LEAF, а витрата електричної енергії визначалася для різних умов використання транспортного засобу. Також дослідження впливу факторів на споживання електричної енергії здійснювалося у роботах [15 – 17]. Провівши аналіз наведених результатів досліджень, встановлено, що найбільш доцільним є застосовування основних положень теорії автомобіля.

Використовуючи класичні положення теорії експлуатаційних властивостей автомобіля, рух транспортного засобу описується рівнянням силового балансу [18 – 20]:

- для режиму розгону та руху з постійною швидкістю:

$$P_k = P_j + P_f + P_w \pm P_h \quad (2)$$

- для режиму гальмування

$$P_j = P_w + P_f + P_\tau \pm P_h, \quad (3)$$

де P_j – сила інерції транспортного засобу, Н;

P_f – сила опору руху, Н;

P_w – сила опору повітря, Н;

P_h – сила опору підйому, Н;

P_τ – гальмівна сила транспортного засобу, Н.

Сила інерції транспортного засобу визначається за залежністю:

$$P_j = j_a \cdot m_a \cdot \delta_r, \quad (4)$$

де j_a – прискорення транспортного засобу під час його розгону, м/с²;

m_a – маса транспортного засобу, кг;

$\delta_{об}$ – коефіцієнт врахування обертових мас транспортного засобу.

Сила опору руху транспортного засобу визначається за залежністю:

$$P_f = G_a \cdot f \cdot \sin \alpha \quad (5)$$

де G_a – вага транспортного засобу, яка рівна добутку його маси на прискорення вільного падіння, Н;

f - коефіцієнт опору кочення;

α – кут поздовжнього підйому (ухилу) дороги.

Сила опору повітря під час руху транспортного засобу визначається за залежністю:

$$P_w = k_w \cdot B \cdot H \cdot (V \pm V_e \cdot \cos \beta)^2, \quad (6)$$

де B – колія транспортного засобу, м;

H – максимальна висота транспортного засобу, м;

k_w – коефіцієнт обтічності транспортного засобу;

V – швидкість руху транспортного засобу, м/с;

V_e – швидкість вітру, м/с. Знак “плюс” ставиться, при попутному вітрові, а знак “мінус” – при зустрічному;

β - кут між напрямком вітру та поздовжньою віссю автомобіля.

Сила опору підйому під час руху транспортного засобу визначається за залежністю:

$$P_h = G_a \cdot \sin \alpha, \quad (7)$$

де α – кут поздовжнього підйому (ухилу) дороги.

Гальмівна сила транспортного засобу визначається за залежністю:

$$P_{\tau} = j_{\tau} \cdot m_a \cdot \delta_r, \quad (8)$$

де j_{τ} – сповільнення транспортного засобу під час гальмування, м/с².

Енергію, яка буде витрачена на рух транспортного засобу доцільно визначати за залежністю [21 – 24]:

$$E = \frac{A}{\eta_{\Sigma}} \quad (9)$$

Враховуючи (8), загальну витрату електроенергії доцільно визначати, як сума миттєвих витрат електричної енергії, на кожну секунду їздового циклу [25, 26]:

$$E_{\Sigma} = \sum_{i=1}^t E_{mi} = \sum_{i=1}^t \frac{A_{mi}}{\eta_{\Sigma}} \quad (10)$$

Тоді витрата електричної енергії транспортним засобом під час його руху становитиме:

$$E_{\Sigma} = \frac{1}{\eta_{\Sigma}} \cdot \int_0^t (P_k \cdot V) dt = \frac{1}{\eta_{\Sigma}} \cdot \int_0^t ((P_j + P_f + P_w \pm P_h - P_{\tau}) \cdot V) dt \quad (11)$$

Залежність (11) дає можливість визначити витрату електричної енергії транспортним засобом, який рухається певним маршрутом. Оскільки, як зазначалося вище, на витрату енергії автомобіля впливає ряд чинників, то доцільно їх розділити на групи, згідно рис. 4 (див. табл. 1)

Таблиця 1 – Чинники, які впливають на витрату електричної енергії транспортним засобом

Найменування параметра	Позначення	Характеристика параметра	Обґрунтування
Прискорення транспортного засобу під час його розгону	J_a	Умовно-керований параметр, керований параметр	Величина параметру залежить від професійних якостей водія, з врахуванням характеристик умов руху та дорожньої обстановки
Маса транспортного засобу	m_a	Некерований параметр	Зміна параметру неможлива, оскільки оптимальним є використання транспортного засобу з максимальним корисним навантаженням
Коефіцієнт врахування обертових мас транспортного засобу	$\delta_{об}$	Некерований параметр	Зміна параметра визначається виключно конструктивними особливостями транспортного засобу
Коефіцієнт опору кочення	f	Некерований параметр	Величина параметру залежить виключно від особливостей дорожнього полотна та умов експлуатації
Кут поздовжнього підйому (ухилу) дороги	α	Некерований параметр	Величина параметру залежить виключно від особливостей дорожнього полотна та умов експлуатації
Колія транспортного засобу	B	Некерований параметр	Величина параметру залежить виключно від конструктивних особливостей транспортного засобу
Максимальна висота транспортного засобу	H	Некерований параметр	Величина параметру залежить виключно від конструктивних особливостей транспортного засобу

Найменування параметра	Позначення	Характеристика параметра	Обґрунтування
Коефіцієнт обтічності транспортного засобу	k_w	Некерований параметр	Величина параметру залежить виключно від конструктивних особливостей транспортного засобу
Швидкість руху транспортного засобу	V	Умовно-керований параметр, керований параметр	Величина параметру залежить від професійних якостей водія, з врахуванням характеристик умов руху та дорожньої обстановки
Швидкість вітру	V_e	Некерований параметр	Виключно випадкова величина, яка залежить від природньо-кліматичних умов
Кут між напрямком вітру та поздовжньою віссю автомобіля	β	Некерований параметр	Виключно випадкова величина, яка залежить від природньо-кліматичних умов
Сповільнення транспортного засобу під час гальмування	J_τ	Умовно-керований параметр, керований параметр	Величина параметру залежить від професійних якостей водія, разом з тим визначальними є характеристики умов руху та дорожньої обстановки

З метою визначення внеску зазначених параметрів здійснено моделювання витрат електричної енергії транспортним засобом на визначеній ділянці руху. При цьому, враховуючи вищенаведене обґрунтування, прийнято, що $m_a = const$; $\delta_{об} = const$; $B = const$; $H = const$; $k_w = const$.

Діапазон зміни інших параметрів, вибрано наступний:

$$\left\{ \begin{array}{l} j_a \in [0...1,5] \text{ м/с}^2; \\ f \in [0,007...0,1]; \\ \alpha \in [-6...6]^\circ; \\ V \in [0...30] \text{ м/с}; \\ V_\theta \in [0...7] \text{ м/с}; \\ \beta \in [0...180] \text{ м/с}; \\ j_\tau \in [-3,0...0,0] \text{ м/с}^2. \end{array} \right. \quad (12)$$

Таким чином отримано вісім факторів, які мають вплив на витрату електричної енергії транспортним засобом. З метою дослідження внеску кожного чинника, визначено відповідні сили, які діють на транспортний засіб та встановлено частку впливу кожної з них (рисунок 5).

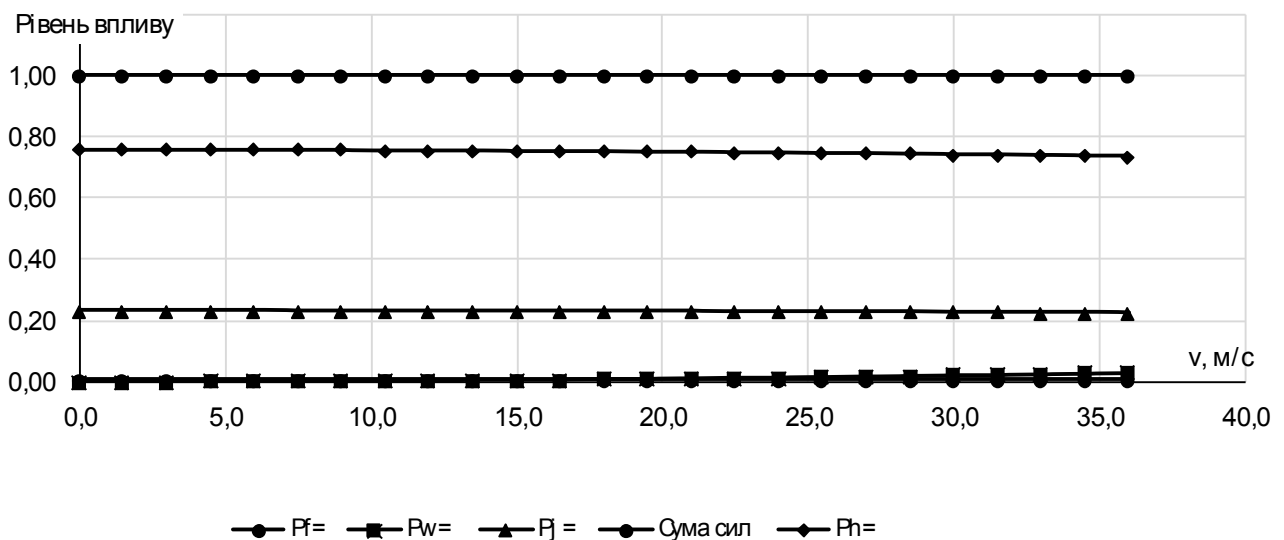


Рисунок 5 – Внесок чинників на витрату електричної енергії транспортним засобом

Тоді рівняння (10) можна записати у вигляді:

$$E_{\Sigma} = \frac{1}{\eta_{\Sigma}} \cdot \int_0^t ((k_1 P_{\Sigma} + k_2 P_{\Sigma} + k_3 P_{\Sigma} \pm k_4 P_{\Sigma} - k_5 P_{\Sigma}) \cdot V) dt \quad (13)$$

де де k_1, k_2, k_3 – коефіцієнти, які визначають внесок кожного фактора у витрату електричної енергії.

Тобто, витрата електричної енергії залежатиме від рівня внеску кожного фактора, за визначених умов руху. З іншої сторони, відповідно до таблиці 1 існує значна кількість некерованих чинників.

Враховуючи обґрунтування та дані, наведені в таблиці 1, оптимізації підлягає два фактори, швидкість руху транспортного засобу та прискорення. З метою спрощення задачі доцільно прискорення та сповільнення транспортного засобу об'єднати в одну величину:

$$j \in [-3, 0 \dots 1, 5] \text{ м} / \text{с}^2; \quad (14)$$

Однак враховуючи залежності (4) – (8) очевидним є той факт, що взаємоз'язок окремих параметрів досить значний, що унеможливило виокремлення одного з них та проведення відповідних досліджень.

Відомо, що в процесі експлуатації транспортні засоби рухаються, в основному у трьох основних режимах: розгону, постійного руху та гальмування [25]. В даному випадку режим руху автомобіля з вимкненим зчепленням або «вибігу» можна розглядати як режим гальмування, оскільки в даному режимі відбувається сповільнення автомобіля, а, за умови обладнання його системою рекуперативного гальмування категорії А, ще й рекуперация електричної енергії.

Тоді задача мінімізації витрат електричної енергії зводиться до вибору такого режиму руху, при якому кількість витраченої електричної енергії прямуватиме до мінімуму.

Тобто

$$E_{\text{ц}} = E_p + E_{\text{min}} - E_z \quad (15)$$

де $E_{\text{ц}}$ – енергія, витрачена на рух транспортного засобу за певним маршрутом або циклом;

E_p – енергія, витрачена на рух транспортного засобу в режимі розгону;

$E_{\text{ми}}$ – енергія, витрачена на рух транспортного засобу в режимі постійної швидкості;

E_2 – енергія, витрачена на рух транспортного засобу в режимі гальмування,

або

$$E_u = k_1 E_u + k_2 E_u - k_3 E_u \quad (16)$$

де k_1, k_2, k_3 – коефіцієнти, які визначають витрату електричної енергії у визначених режимах руху.

З метою здійснення розрахунків необхідно визначити можливі інтервали зміни коефіцієнтів k_1, k_2, k_3 при зміні чинників, визначених у залежності (12).

Під час моделювання витрат електричної енергії за основу прийнято стандартизований їздовий цикл, згідно EN 1987-1 [26, 27], наведений на рисунку 6.

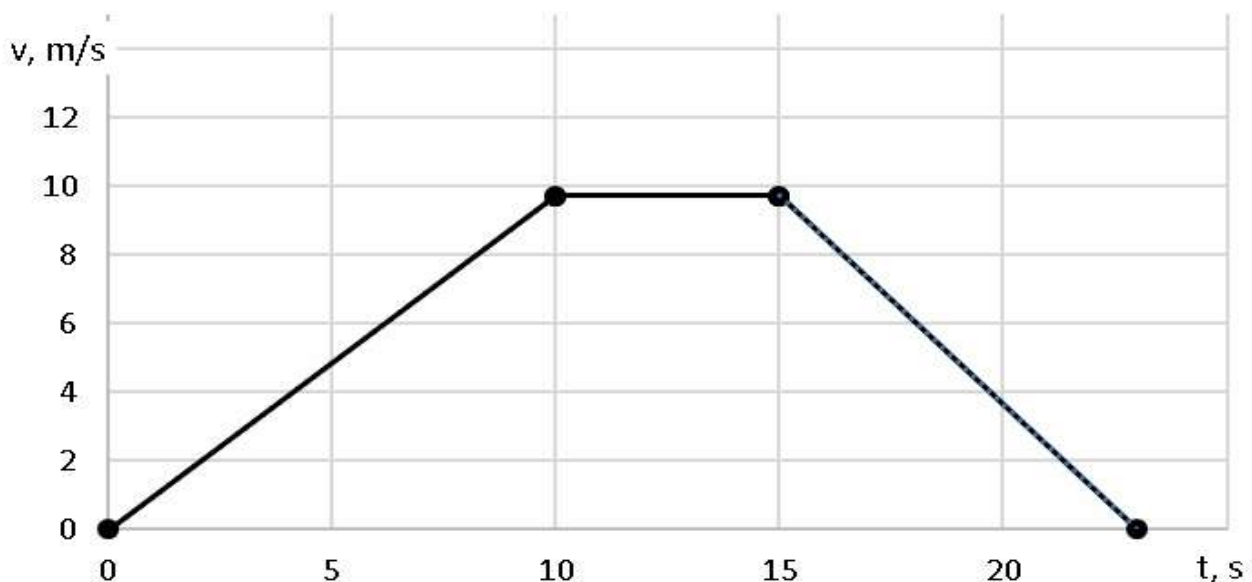


Рисунок 6 – Елементарний їздовий цикл згідно EN 1987-1.

Моделювання витрат електричної енергії здійснювалося для наступних умов руху:

- 1) нормальні умови руху, які відповідають умовам руху визначеним у EN 1987-1;
- 2) ідеальні умови руху, за яких усі зовнішні чинники сприяють мінімізації витрат енергії;
- 3) важкі умови руху, за яких усі зовнішні чинники призводять до максимальних витрат електричної енергії транспортним засобом.

Під час досліджень проведено 20 симуляцій для кожних із зазначених умов руху та визначено відповідні коефіцієнти k_1, k_2, k_3 , де k_1 – ваговий коефіцієнт для режиму розгону; k_2 – ваговий коефіцієнт, для режиму руху з постійною швидкістю; k_3 – ваговий коефіцієнт, для руху в режимі гальмування. Результати досліджень наведено у таблиці 2 та на рисунку 7.

Таблиця 2 – Результати моделювання витрат електричної енергії

Умови руху	Режими руху	Значення коефіцієнта впливу		
		Мінімальне	Максимальне	Середнє
Нормальні умови руху	Розгін	0,470	0,489	0,479
	Постійна швидкість	0,044	0,063	0,053
	Гальмування	-0,475	-0,461	-0,468
Важкі умови руху	Розгін	0,638	0,676	0,657
	Постійна швидкість	0,315	0,359	0,331
	Гальмування	-0,031	0,012	-0,012
Ідеальні умови руху	Розгін	0,160	0,236	0,208
	Постійна швидкість	0,070	0,097	0,081
	Гальмування	-0,743	-0,687	-0,711

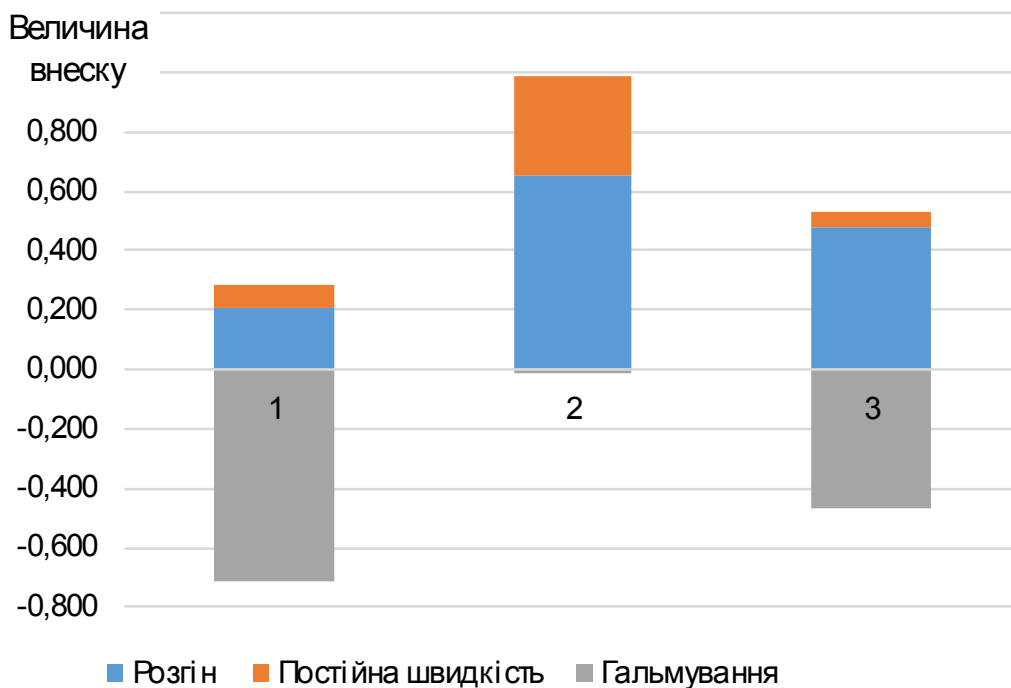


Рисунок 7 – Результати моделювання витрат електричної енергії для різних умов руху транспортного засобу

Виходячи з наведених результатів моделювання встановлено значний діапазон зміни коефіцієнтів, тому наступним кроком стало моделювання витрат електричної енергії за умови зміни усіх параметрів випадковим чином. Під час досліджень було здійснено 100 симуляцій та отримано наступні значення середні значення коефіцієнтів вагомості режимів руху:

$$k_1 = 0,587;$$

$$k_2 = 0,217;$$

$$k_3 = 0,196.$$

Для розрахунків, за основу взято елементарний їздовий цикл наведений на рисунку 6, тривалістю 23 с. Обсяг вибірки становить 100 симуляцій. Якщо привести кількість симуляцій до загальної тривалості їздового циклу, то його тривалість становитиме 2300 с, або 38 хвилин. Розрахунки проводилися для тролейбуса Т701, параметри якого наведено у таблиці 3.

Таблиця 3 – Характеристики транспортного засобу Богдан Т701.

Найменування показника	Модифікація тролейбуса
	Т 70110
Габаритна довжина по елементах кузова, мм	11960
Габаритна ширина, мм	2550
Габаритна висота, мм	3800
Колісна база, мм	5860
Колія передньої/задньої осей, мм	2160/1890
Пасажиромісткість, осіб	105
Порожня маса, кг	11800
Технічно допустима максимальна маса, кг	18940
Передавальне число головної передачі	9,82
Шини коліс	275/ 70R 22,5
Тиск у шинах, кгс/см ²	8,0

Використавши закон великих чисел, який стверджує, що середнє арифметичне значення скінченної вибірки близьке до математичного сподівання цього розподілу. Тому можна припустити, що при збільшенні тривалості руху транспортного засобу розподіл вагових коефіцієнтів режимів руху практично не змінюватимуться.

В такому випадку залежність (15) прийме вигляд:

$$E_{\text{ц}} = 0,587E_p + 0,217E_{\text{ни}} - 0,196E_{\text{з}} \quad (17)$$

Тобто, згідно залежності (17) 58,7 % витрати електричної енергії припадає на розгін транспортного засобу, 21,7 % – на рух з постійною швидкістю і 19,6 – на режими гальмування.

Досвід експлуатації тролейбусів у Польщі (м. Гдиня) доводить, що ефективним є зменшення часу руху транспортного засобу в режимі постійної швидкості, а натомість ефективно використовувати режим електродинамічного гальмування (рисунок 8).

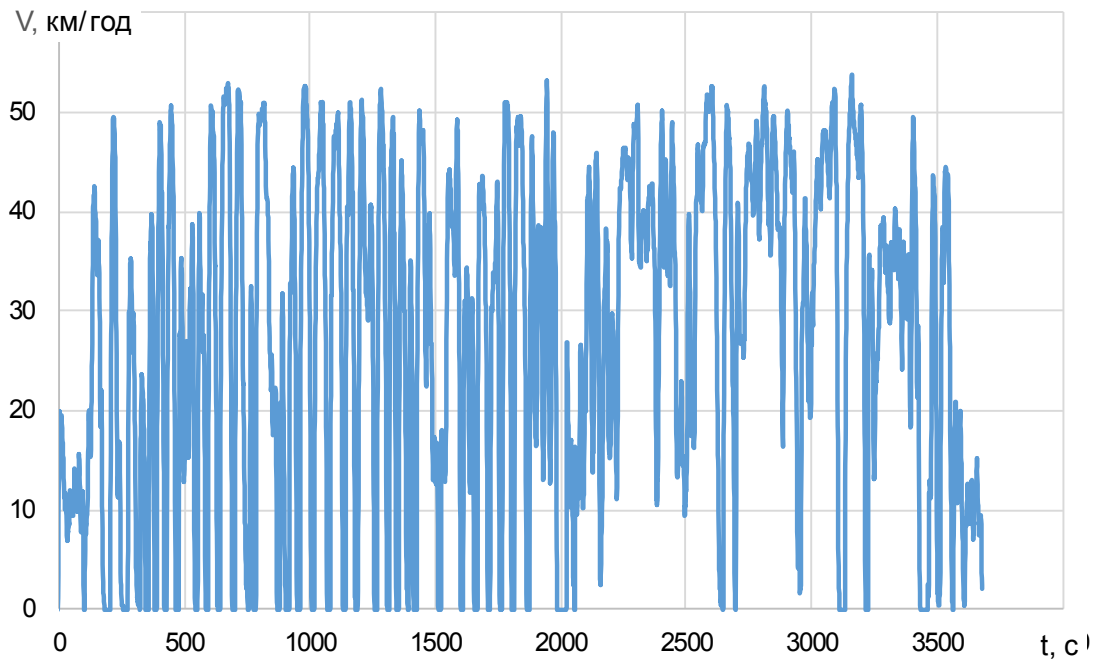


Рисунок 8 – Режими руху тролейбуса
в м. Гдиня (Республіка Польща)

При цьому розподіл режимів руху наступний:

- режим розгону – 42,6 %;
- режим руху з постійною швидкістю – 5 %;
- режим гальмування – 52,4 %;

а кількість рекуперованої енергії становить до 40 %.

Здійснюючи аналіз проведених досліджень відмічено, що з метою мінімізації витрат електричної енергії необхідно забезпечити оптимальний розподіл режимів руху. На рисунках 6 та 8 наведено відповідні режими руху транспортних засобів, однак проблема полягає в тому, що функція $V = f(t)$ є неінформативною з точки зору встановлення оптимальних режимів руху.

Оскільки в міських умовах руху, будь який транспортний засіб рухається в режимі «розгін-гальмування», то необхідно і доцільно розглядати функцію $V = f(S)$.

На першому етапі необхідно розглянути режим розгону. Витрати електричної енергії транспортного засобу в режимі розгону визначається за залежністю:

$$E_p = \frac{1}{\eta_{\Sigma}} \int_0^t (j_a \cdot m_a \cdot \delta_r + G_a \cdot f \cdot \sin \alpha + k_w \cdot B \cdot H \cdot (V \pm V_e \cdot \cos \beta)^2 \pm G_a \cdot \sin \alpha) \cdot V dt \quad (18)$$

Визначення витрат електричної енергії здійснюється на ділянці 200 метрів, при різних значеннях прискорення.

Відповідно до [28] прискорення транспортного засобу змінюється залежно від часу при різних заданих динамічних властивостях транспортного засобу (рисунок 9).

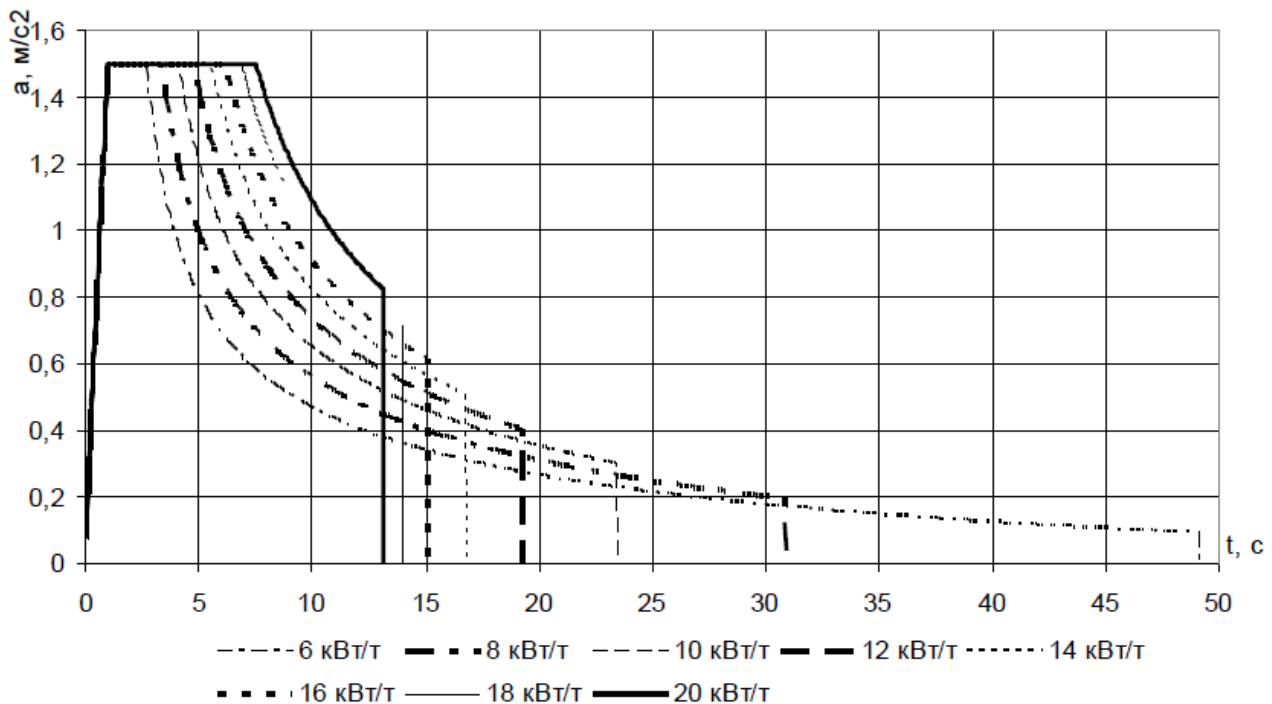


Рисунок 9 – Зміна прискорення транспортного засобу залежно від часу при різних заданих динамічних властивостях транспортного засобу [28]

Для тролейбуса Т701, при навантаженні 19 кВт/т, графік прискорення матиме вигляд, наведений на рисунку 10.

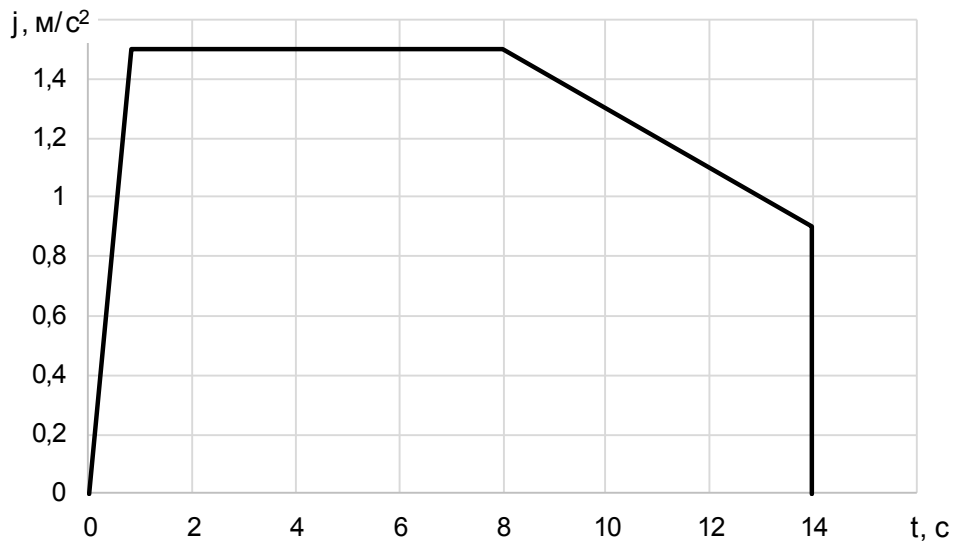


Рисунок 10 – Зміна прискорення тролейбуса Т701

За графіком прискорень, наведеним на рисунку 10 та за залежністю (18) визначено витрати електричної енергії за умови розгону транспортного засобу з різними прискореннями та побудовано відповідні графіки.

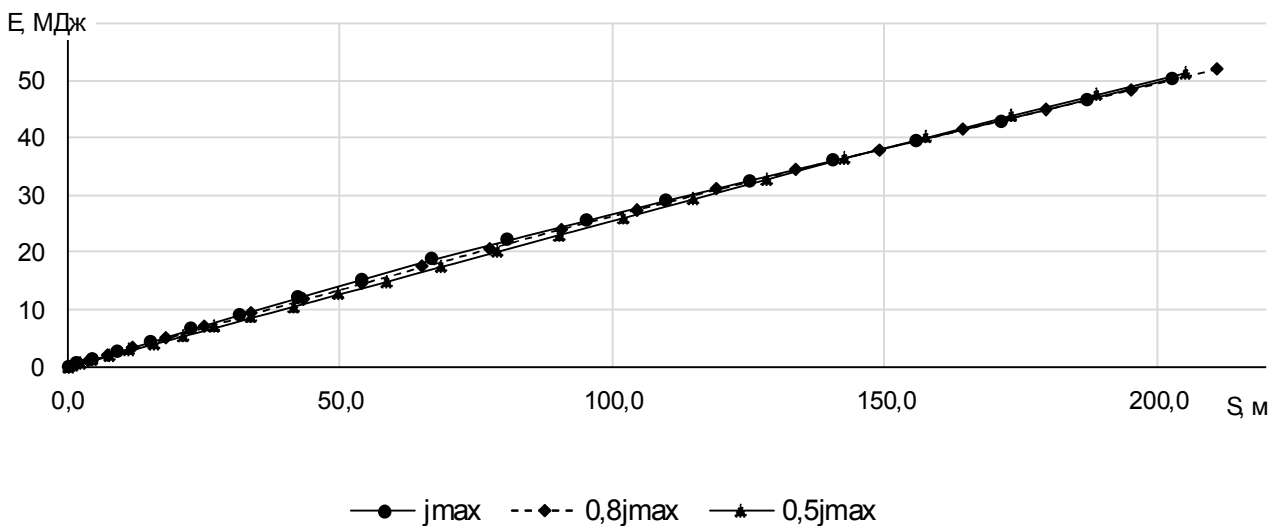


Рисунок 11 – Витрата електричної енергії тролейбусом Т701 під час розгону на ділянці 200 м, при різних значеннях прискорення.

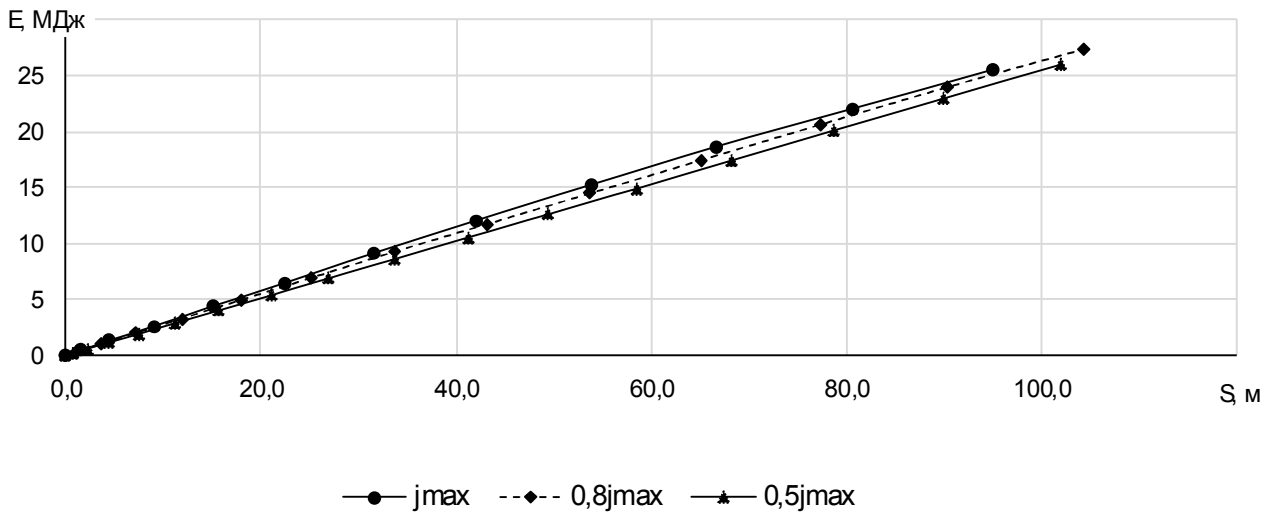


Рисунок 12 – Витрата електричної енергії тролейбусом Т701 під час розгону на ділянці 100 м, при різних значеннях прискорення.

На перший погляд може здатися, що здійснювати розгін на мінімальному прискоренні призводить до економії електричної енергії, однак необхідно враховувати, що рух транспортного засобу характеризується різними режимами, які між собою пов'язані.

Досить важливим у циклі руху є також режим гальмування оскільки застосування режиму гальмування призводить до накопичення електричної енергії, тому його ефективність має значний вплив на загальну витрату електричної енергії транспортним засобом.

Обсяг рекуперованої електричної енергії визначається за залежністю:

$$E_2 = \frac{1}{\eta_{\Sigma}} \int_0^t (((k_w \cdot B \cdot H \cdot (V \pm V_g \cdot \cos \beta))^2 + G_a \cdot f \cdot \sin \alpha + j_{\tau} \cdot m_a \cdot \delta_r \pm G_a \cdot \sin \alpha) V) dt \quad (19)$$

Аналогічним чином визначено обсяг рекуперованої електричної енергії тролейбусом Т701, при цьому значення усталеного сповільнення змінювалося від 1,0 до 0,5 м/с². Результати розрахунків у вигляді графіків, наведено на рисунку 13.

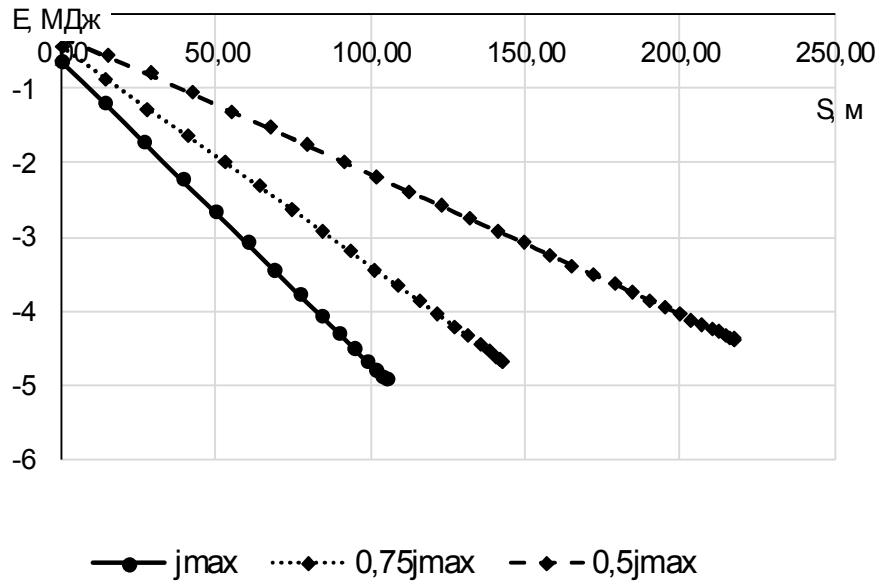


Рисунок 13 – Обсяг рекуперованої електричної енергії тролейбусом Т701 під час гальмування.

Як зазначалося вище, транспортний засіб рухається в режимі «розгін-гальмування» або в режимі «розгін-постійна швидкість-гальмування». Нижче на рисунках 14 – 16 наведено миттєву витрату електричної енергії транспортним засобом, який рухається в різних режимах.

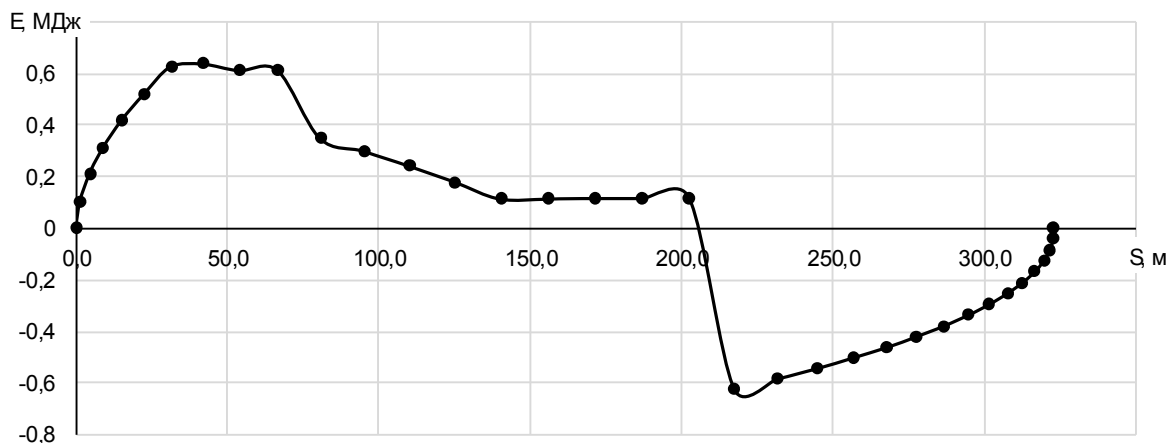


Рисунок 14 – Миттєва витрата електричної енергії транспортним засобом, який рухається без режиму постійної швидкості.

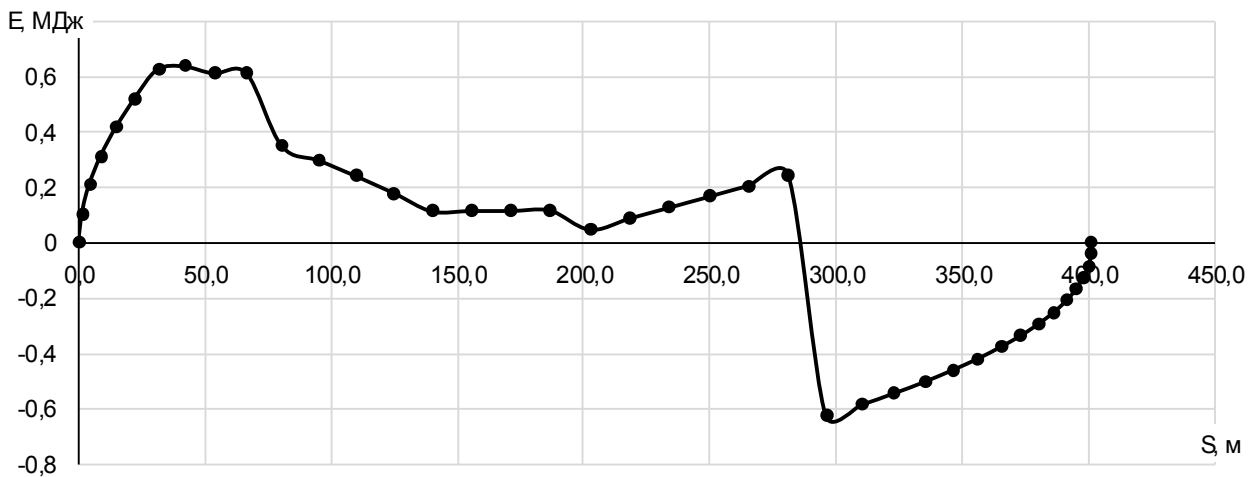


Рисунок 15 – Миттєва витрата електричної енергії транспортним засобом, який рухається в режимі постійної швидкості протягом 6 с.

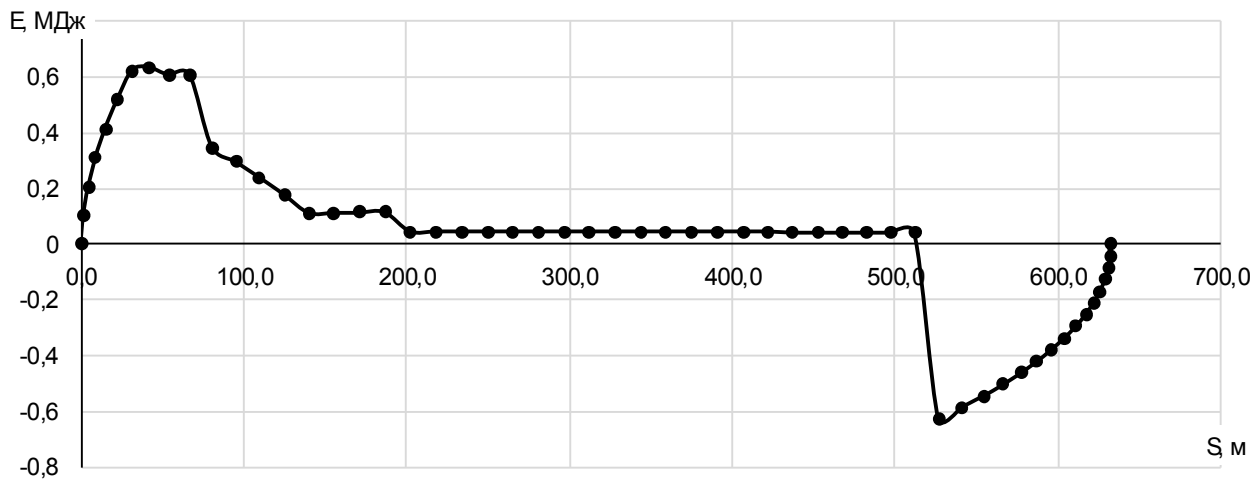


Рисунок 16 – Миттєва витрата електричної енергії транспортним засобом, який рухається в режимі постійної швидкості протягом 21 с.

Як видно з графіків застосування режиму постійної швидкості практично у 2 рази збільшує пробіг транспортного засобу, сумарна витрата енергії при цьому збільшується у 2,4 рази (рисунки 17 - 19).

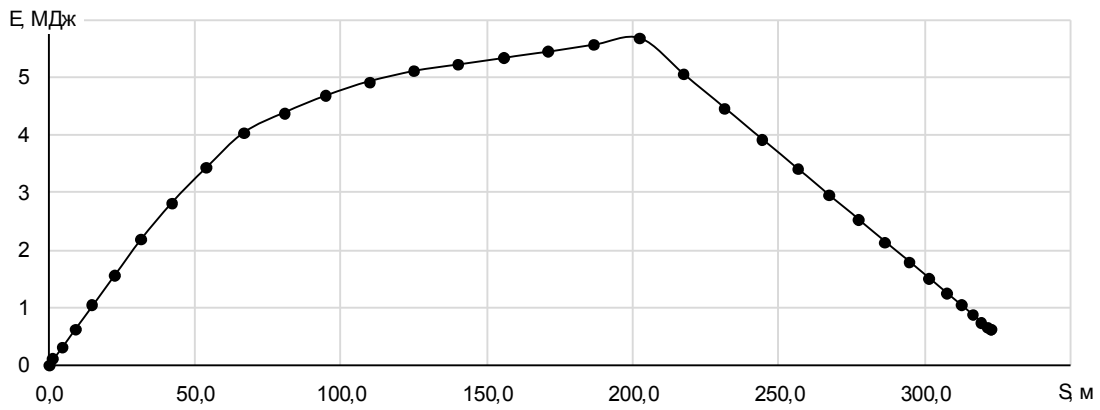


Рисунок 17 – Витрата електричної енергії транспортним засобом, який рухається без режиму постійної швидкості.

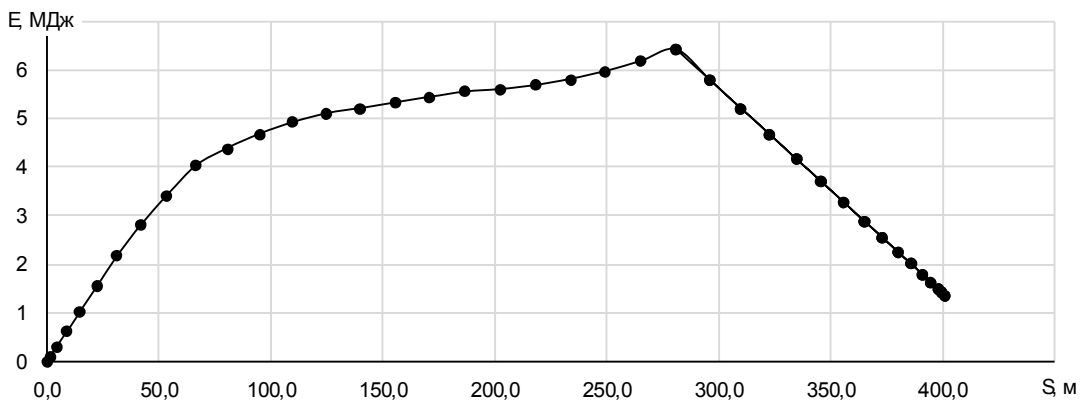


Рисунок 18 – Витрата електричної енергії транспортним засобом, який рухається в режимі постійної швидкості протягом 6 с.

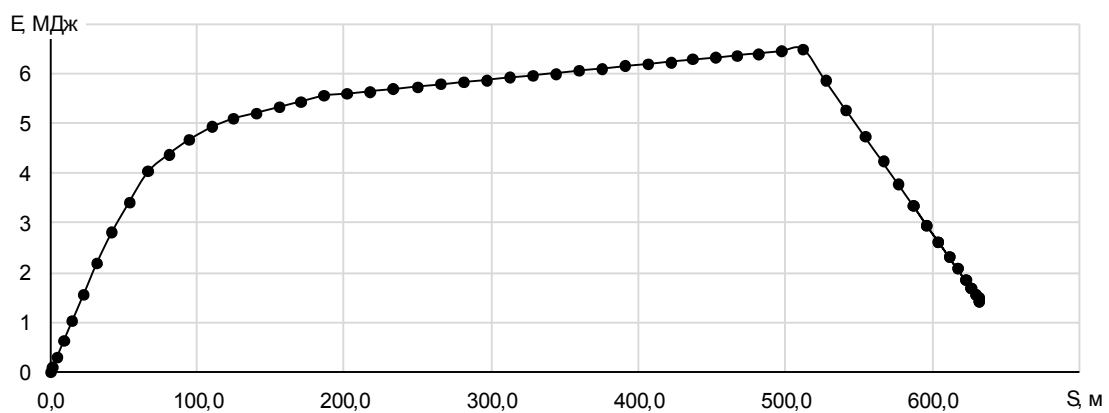


Рисунок 19 – Витрата електричної енергії транспортним засобом, який рухається в режимі постійної швидкості протягом 21 с.

Для визначення ефективності режиму руху доцільно привести витрати електричної енергії до питомого показника, тобто витрат на 1 км руху:

$$E_{num} = \frac{E_{\Sigma}}{l} \cdot 1000 \quad (20)$$

Таким чином транспортного засобу, який рухається без режиму постійної швидкості $E_{num} = 1,91$ МДж/км.

Для транспортного засобу, який рухається в режимі постійної швидкості протягом 6 с $E_{num} = 3,42$ МДж/км.

Для транспортного засобу, який рухається в режимі постійної швидкості протягом 21 с $E_{num} = 2,28$ МДж/км.

Нехай існує елементарний їздовий цикл, який складається з трьох режимів руху транспортного засобу: розгін, рух з постійною швидкістю і гальмування (рисунок 20). Якщо по осі x відкласти часовий проміжок, то цей показник лише задаватиме відповідний режим руху.

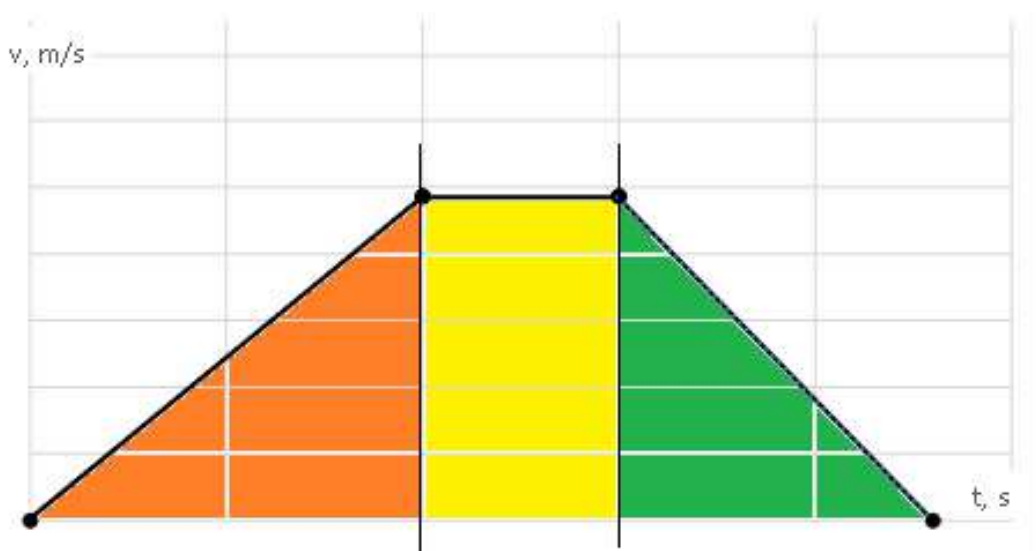


Рисунок 20 – Елементарний їздовий цикл.

Якщо по осі x відкласти пройдену відстань, то тоді можливим буде продемонструвати саме оптимальні режими руху транспортного засобу.

В умовах реальної експлуатації транспортних засобів ділянка дороги, яка уособлює елементарний їздовий цикл може значно відрізнятись від умов руху. Безумовно, якщо вести мову про експлуатацію транспортного засобу в міжміських умовах, то основний режим руху буде саме режим постійної швидкості. Дещо інша ситуація виникає в міських умовах руху, коли по маршруту наявні різноманітні перешкоди. Особливо варто відмітити автобуси, які рухаються міськими маршрутами, оскільки, які, окрім світлофорів, пішохідних переходів, перехресть та інших перешкод, під час руху зупиняються для посадки-висадки пасажирів.

Відповідно до ДБН Б.2.2-12:2018 «Планування і забудова територій» [29] відстань між зупинками громадського транспорту повинна становити в межах 400...600 м. Задача з моделювання руху транспортного засобу зводиться до визначення таких режимів руху, щоб мінімізувати витрати електричної енергії на даній ділянці маршруту.

Вирішення завдання пропонується здійснювати в кілька етапів. На першому етапі в режимах розгону та гальмування здійснюються на максимальних прискореннях (сповільненнях), відстань, яка залишиться повинна бути пройдена в режимі постійної швидкості руху. При цьому для розрахунків приймається максимальна швидкість 13,9 м/с, виходячи з допустимої Правилами дорожнього руху України швидкості руху в населеному пункті. Рух здійснюється до відстані 500 м. Результати моделювання наведено на рисунку 21.

Під час такого руху питомий коефіцієнт витрати електричної енергії становить 4,84 МДж/км. Елементарна ділянка їздового циклу наведена на рисунку 22.

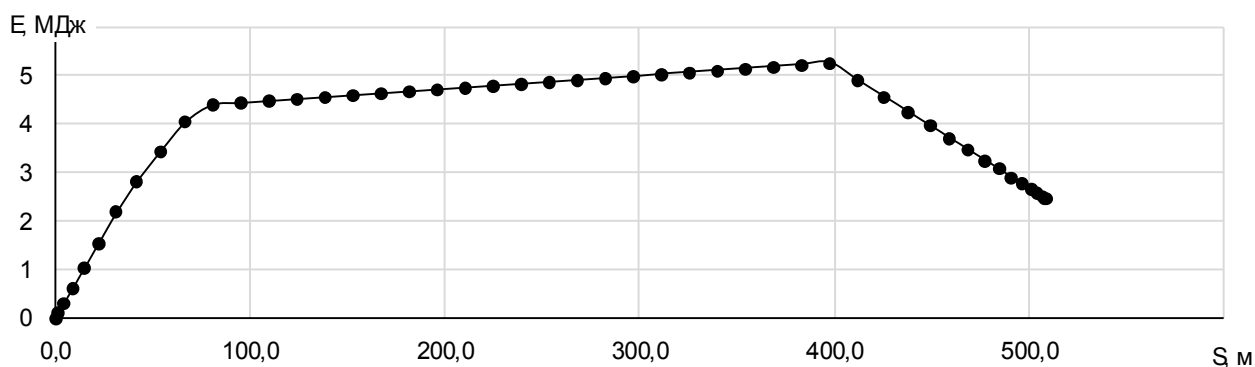


Рисунок 21 – Сумарні витрати електричної енергії транспортним засобом, під час руху на ділянці 500 м з максимальними прискоренням (сповільненням).

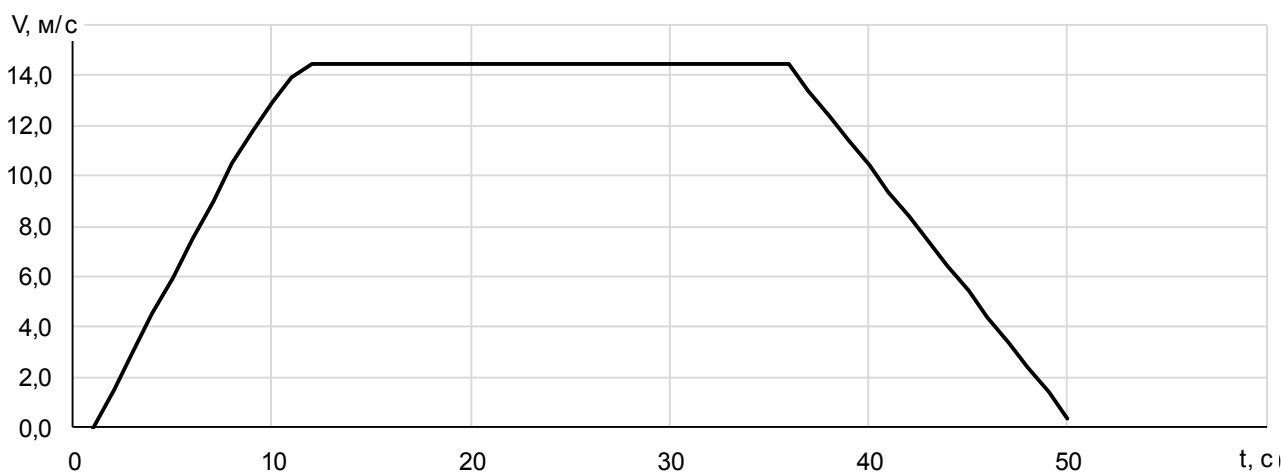


Рисунок 22 – Елементарна ділянка їздового циклу руху транспортного засобу на ділянці 500 м з максимальними прискоренням (сповільненням).

Аналіз даного режиму руху добре здійснювати за графіком миттєвої витрати електричної енергії, наведеним на рисунку 23.

Виходячи з графіка, наведеного на рисунку 23, доцільним є зменшення режиму постійної швидкості за рахунок режиму гальмування. При цьому сповільнення пропонується нарощувати по

мірі наближення до точки зупинки. Результати моделювання такого режиму руху наведено на рисунку 24.

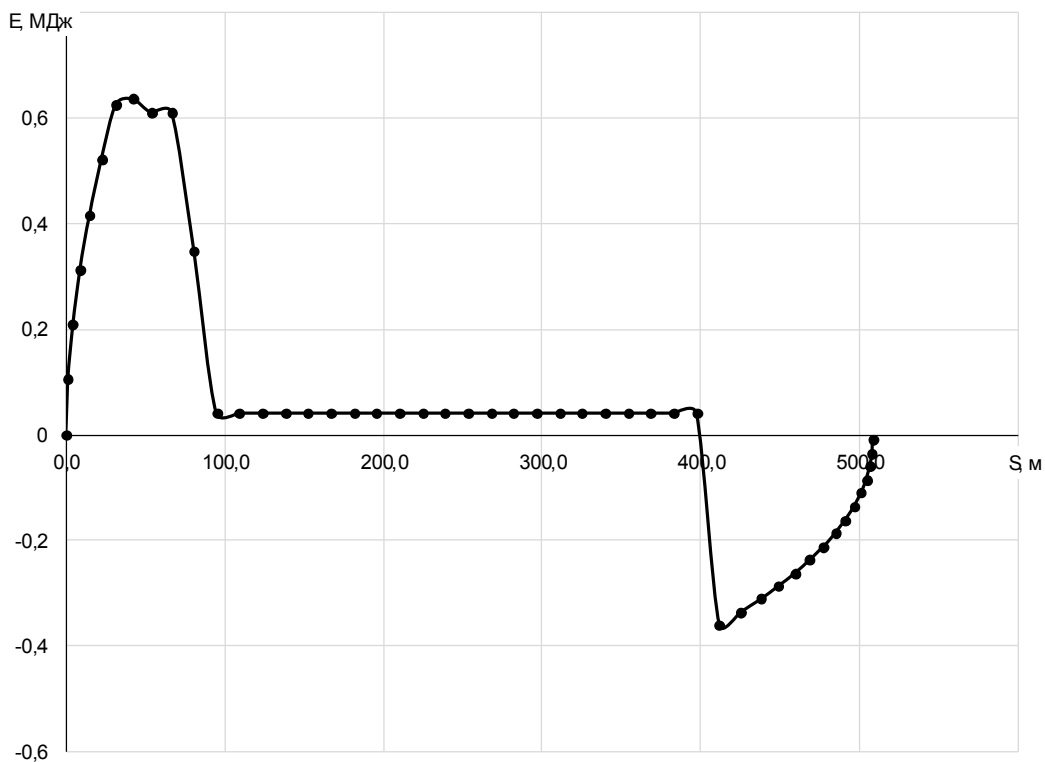


Рисунок 23 – Миттєві витрати електричної енергії транспортним засобом, під час руху на ділянці 500 м з максимальними прискоренням (сповільненням)

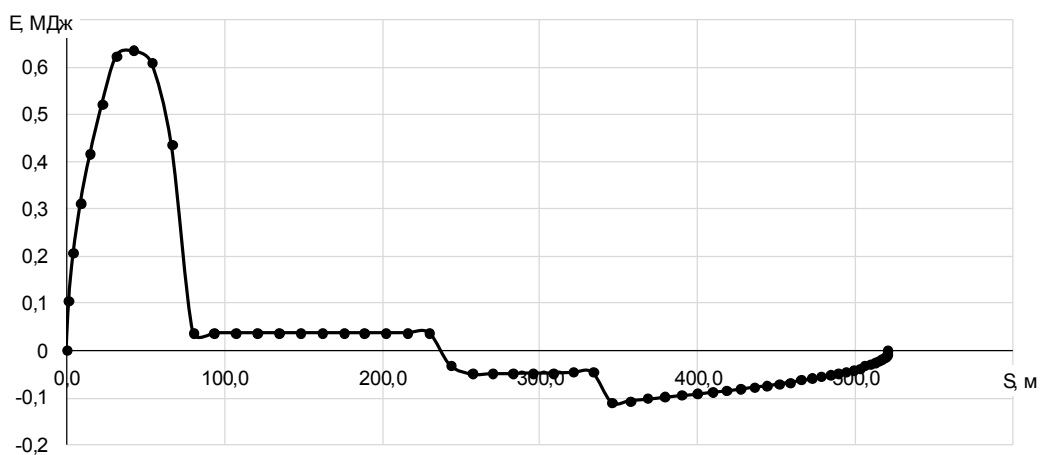


Рисунок 24 – Миттєві витрати електричної енергії транспортним засобом, під час руху на ділянці 500 м з максимальними прискоренням та мінімальним сповільненням.

В такому режимі руху питомий коефіцієнт витрати електричної енергії становить 4,22 МДж/км, а тривалість проходження ділянки елементарного їздового циклу – 63 с. Тобто збільшення часу руху становить близько 25 %, а зменшення питомого коефіцієнта витрати електричної енергії – на 16 %. Окрім того середня швидкість руху зменшилася на 20 % та становить 30,6 км/год.

Варто відмітити, що усі вищенаведені дослідження проводилися за умови рівного поздовжнього профілю опорної поверхні та відсутності впливу зовнішнього вітру.

Безумовно, що під час експлуатації транспортного засобу в реальних умовах на витрату електричної енергії впливатиме ряд зовнішніх факторів, зокрема сила та напрямок зовнішнього вітру та величина поздовжнього ухилу профілю дороги. Як зазначалося вище, ці фактори можуть мати як позитивний вплив на енерговитрати транспортного засобу так і негативний, тобто забезпечувати економію електричної енергії або її підвищену витрату.

З метою визначення впливу некерованих факторів, а саме зовнішніх умов, здійснено моделювання витрат електричної енергії, при випадковому впливі зазначених зовнішніх чинників.

Під час досліджень змодельовано 66 їздових циклів та визначено сумарні витрати енергії та питомий коефіцієнт витрати електричної енергії. Результати моделювання наведено на рисунках 25 - 27.

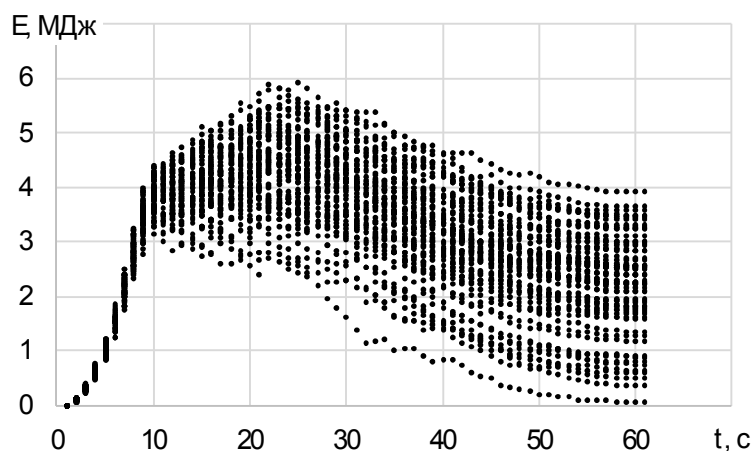


Рисунок 25 – Сумарні витрати електричної енергії транспортним засобом з врахуванням випадкового впливу зовнішніх чинників.

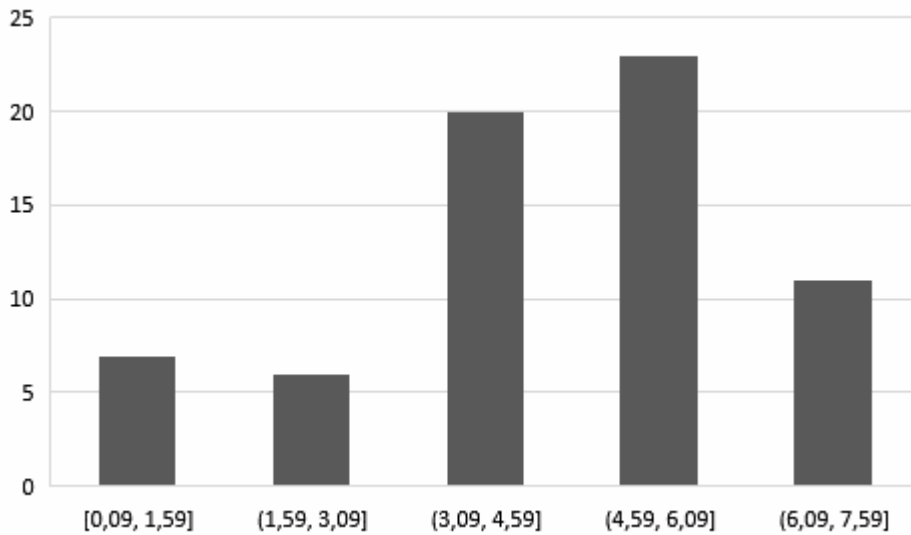


Рисунок 26 – Гістограма розподілу значень питомих коефіцієнтів витрат електричної енергії, з врахуванням випадкового впливу зовнішніх чинників.

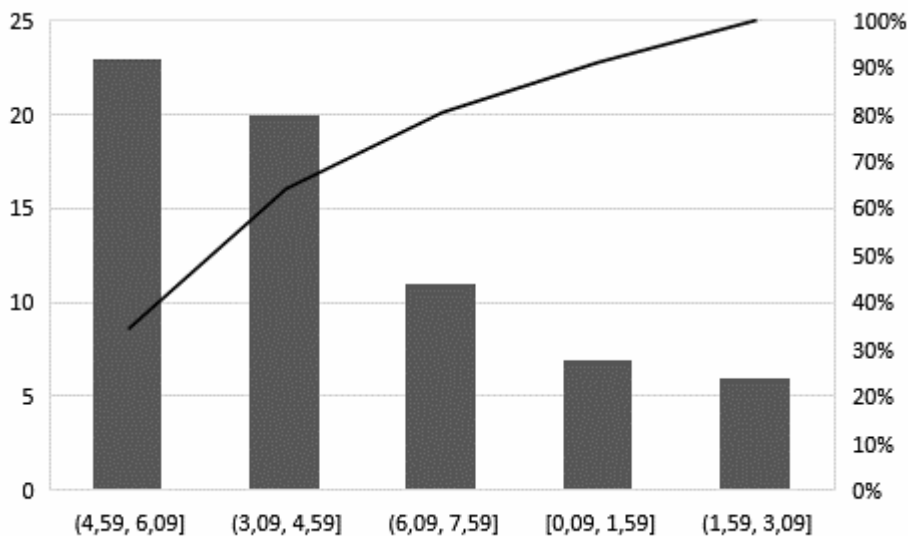


Рисунок 27 – Діаграма Парето розподілу значень питомих коефіцієнтів витрат електричної енергії, з врахуванням випадкового впливу зовнішніх чинників.

Аналізуючи наведені на рисунках 25 – 27 графіки, зважаючи на той факт, що визначений питомий коефіцієнт витрати електричної енергії, який для нормальних умов експлуатації становить 4,22

МДж/км може вважатися середнім значенням. При значенні питомого коефіцієнта витрати електричної енергії більше 4,22 МДж/км, можна констатувати факт негативного впливу зовнішніх чинників. При значенні питомого коефіцієнта витрати електричної енергії менше 4,22 МДж/км, можна констатувати факт позитивного впливу зовнішніх чинників:

$$\text{ідеальні умови} < k_E = 4,22 < \text{важкі умови} \quad (21)$$

Діаграма Парето (рисунок 27) демонструє, що 80 % значень питомого коефіцієнта витрати електричної енергії перебуває в діапазоні [3,09...6,09].

З метою перевірки адекватності отриманих теоретичних даних прийнято рішення здійснити їх порівняння з даними, отриманими в реальних умовах експлуатації.

Отримання достатньої кількості експериментальних результатів або даних по експлуатації транспортних засобів завжди є проблематичним з кількох причин:

- відсутність на транспортних засобах спеціалізованого устаткування, для реєстрації, збору та зберігання даних;
- відсутність необхідних даних в підприємств, які здійснюють експлуатацію транспортних засобів;
- заборона доступу до даних з боку підприємств, які здійснюють експлуатацію транспортних засобів;
- значні матеріальні, фінансові затрати під час збору таких даних, а також значні витрати часу.

Враховуючи ці фактори в рамках співпраці з м. Гдинею (Республіка Польща), було отримано дані по експлуатації тролейбусів в даному місті. Тролейбуси обладнані GPS-системами, які в режимі реального часу передають інформацію стосовно місця знаходження, швидкості руху витрати електричної енергії у диспетчерський центр. Для аналізу вибрано дані по експлуатації модифікації тролейбусів Solaris Trollino 12, характеристики яких наведено нижче, у таблиці 4.

Таблиця 4 – Характеристики транспортного засобу Solaris Trollino 12

Найменування показника	Модифікація транспортного засобу			
	Solaris Trollino 12T	Solaris Trollino 12AC	Solaris Trollino 12M	Solaris Urbino 12
Габаритна довжина по елементах кузова, мм	12000			
Габаритна ширина, мм	2550			
Габаритна висота, мм	2850...3490			2850...3035
Колісна база, мм	5900			
Пасажиромісткість, осіб	105			105...120
Порожня маса, кг	11440			10400...13000
Технічно допустима максимальна маса, кг	18000			

Для опрацювання отримано добові звіти по експлуатації 25 транспортних засобів, в різні дні. За отриманими даними визначено питомі коефіцієнти витрат електричної енергії в реальних умовах експлуатації в м. Гдиня, які мають наступні значення (МДж/км): 4,76; 5,09; 4,95; 4,52; 4,57; 4,73; 4,62; 4,97; 4,67; 4,83; 4,83; 4,60; 5,05; 5,27; 5,40; 4,75; 4,79; 4,72; 4,23; 5,11; 5,47; 4,60; 4,41; 4,52; 5,02. Середнє значення становить 4,82 МДж/км.

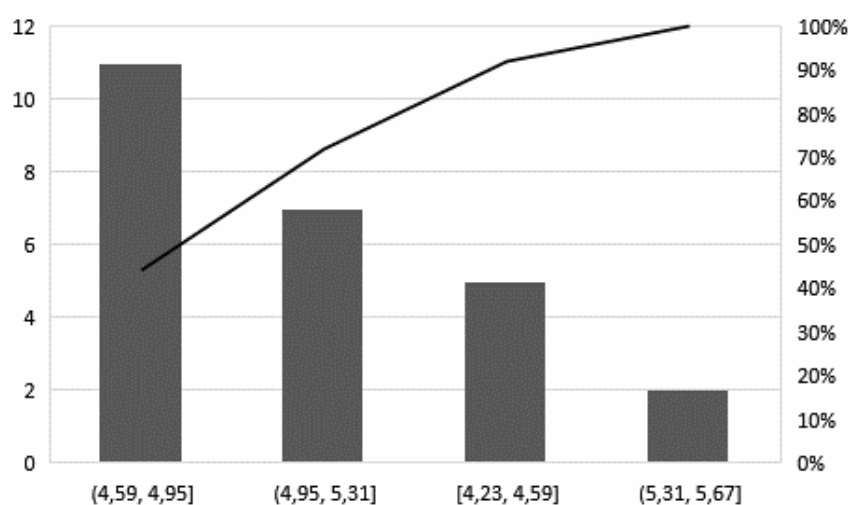


Рисунок 28 – Діаграма Парето розподілу значень питомих коефіцієнтів витрат електричної енергії в реальних умовах експлуатації в м. Гдиня

Для цих даних також побудовано діаграму Парето, яку наведено на рисунку 28.

Безумовно, що для коректного порівняння даних необхідно скоригувати значення питомого коефіцієнта витрати електричної енергії врахувавши масу транспортного засобу. Таким чином отримано наступні діапазони:

теоретичні значення за результатами моделювання:

$$k_E = [0,005 \dots 0,4] \frac{\text{МДж}}{\text{Т} \times \text{км}} \quad (22)$$
$$\bar{k}_E = 0,22 \frac{\text{МДж}}{\text{Т} \times \text{км}}$$

де \bar{k}_E – середнє значення показника;

за результатами реальної експлуатації транспортних засобу в м. Гдиня (Республіка Польща):

$$k_E = [0,23 \dots 0,30] \frac{\text{МДж}}{\text{Т} \times \text{км}} \quad (23)$$
$$\bar{k}_E = 0,27 \frac{\text{МДж}}{\text{Т} \times \text{км}}$$

Вузький діапазон значень питомого коефіцієнта витрати електричної енергії, визначеного за результатами експерименту зумовлений саме впливом зовнішніх чинників, зокрема позовжнім ухилом дороги та тим фактом, що експлуатація транспортних засобів здійснюється за встановленими маршрутами. З іншої сторони досить широкий діапазон питомого коефіцієнта витрати електричної енергії, визначеного теоретичним шляхом пояснюється широким діапазоном варіювання зовнішніх факторів, випадковим їхнім впливом та певною системною похибкою моделювання.

ВИСНОВКИ

Інтенсивний розвиток автомобільного транспорту з електричним приводом активізує відповідні дослідження. Одним з важливих показників ефективності експлуатації таких автомобілів є запас ходу та витрати електричної енергії. Для пересічного громадянина мабуть важливішим буде саме запас ходу на одній зарядці, а для підприємства, установи, організації саме витрати енергії. Великий інтерес дослідників та науковців до енергоефективності транспортних засобів підтверджується значною кількістю наукових публікацій. Саме аналізуючи проведені дослідження виявлено проблему пов'язану з визначенням витрат електричної енергії. На етапі конструювання, проектування та випробувань споживання енергії транспортних засобів моделюється, перевіряється та визначений показник вноситься у відповідні документи. Разом з тим під час експлуатації транспортних засобів в переважній більшості випадків спостерігається значно вища витрата електричної енергії, порівняно з тою, що зазначена виробником. Цей факт зумовлений рядом причин, зокрема:

- неможливістю врахування впливу зовнішніх чинників;
- відсутністю єдиного стандартизованого їздового циклу для визначення витрат електричної енергії;
- відсутністю єдиного підходу до встановлення нормативних значень витрат електричної енергії.

Наведені вище чинники сприяли проведенню відповідних досліджень. Для досліджень вибрано саме транспортні засоби, які здійснюють пасажирські перевезення за встановленими міськими маршрутами. Особливістю їх руху є часті режими розгону та гальмування, постійний рух за одними і тими ж маршрутами, що дає змогу ретельно дослідити режими руху та їх характеристики. За основу для досліджень взято тролейбуси, оскільки на сьогодні в Україні фактично не експлуатуються електробуси, а тролейбуси за своїм обладнанням та характеристиками максимально відповідають транспортним засобам з електричним приводом.

Виходячи з класичних положень теорії автомобіля визначено відповідні складові, які мають вплив на витрату енергії транспортним засобом. Ці складові детально проаналізовано та розподілено на три групи: керовані фактори, на які можна впливати під час руху транспортного засобу, умовно-керовані фактори, вплив на які утруднений проте можливий, некеровані фактори, вплив на які в умовах експлуатації неможливий. Виходячи з реальних даних становлено діапазон зміни (варіювання) цих чинників.

Дослідження впливу та внеску кожного з чинників є неможливим через значний взаємозв'язок їх між собою, а також двосторонній вплив на витрату електричної енергії, тобто кожен з чинників, залежно від конкретних умов може призводити як до підвищеної витрати електричної енергії так і до її економії.

Через це за основу було взято режими руху транспортного засобу на елементарній ділянці їздового циклу. Провівши 20 симуляцій для кожного з режимів руху: розгін, постійна швидкість, гальмування було визначено коефіцієнти впливу кожного режиму руху на витрату електричної енергії, при цьому було знехтувано впливом поздовжнього ухилу дорожнього полотна та зовнішнім вітром. Здійснюючи аналіз проведених досліджень відмічено, що з метою мінімізації витрат електричної енергії необхідно варіювати розподілом режимів руху.

Провівши подальші дослідження встановлено:

- найбільш доцільним є зменшення режиму руху з постійною швидкістю за рахунок режиму гальмування;
- розгін необхідно здійснювати з максимальним прискоренням;
- гальмування необхідно здійснювати в режимі мінімального сповільнення.

Здійснено моделювання руху транспортного засобу на ділянці дороги 500 м, при цьому забезпечивши найбільш вихідний розподіл режимів руху.

З метою приведення моделі до реальних умов руху було задано значення поздовжнього ухилу дорожнього полотна та зовнішнього вітру, які змінювалися випадковим чином в довільний момент часу.

Також визначено питомий коефіцієнт витрати електричної енергії. З метою порівняння отриманих результатів досліджень з експериментальними даними, питомий коефіцієнт витрати електричної енергії приведено до одиниці маси транспортного засобу.

Порівняння результатів проведених досліджень з експериментальними даними, отриманими в реальних умовах експлуатації транспортних засобів свідчить про задовільну збіжність показників. Коефіцієнт питомої витрати електричної енергії для теоретичних результатів становить $0,22 \text{ МДж}/(\text{т} \cdot \text{км})$, а для експериментальних даних – $0,22 \text{ МДж}/(\text{т} \cdot \text{км})$. Різниця між двома показниками становить близько 19 %. Отримане відхилення, зважаючи на значний діапазон впливу зовнішніх чинників та велику кореляційну залежність між собою факторів, які впливають на витрату електричної енергії можна вважати задовільним.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] <https://www.virta.global/global-electric-vehicle-market#nine>. The global electric vehicle market overview in 2021: statistics & forecasts. Електронний ресурс. Дата звернення 24.08.2021 р.
- [2] <https://www.ev-volumes.com>. Global EV Sales for 2021 H1. Електронний ресурс. Дата звернення 24.08.2021 р.
- [3] <https://itc.ua/news/chislo-zaregistrirovannyh-v-ukraine-elektromobilej-prevysilo-26-tys-shtuk>. Число зарегистрированных в Украине электромобилей превысило 26 тыс. штук. Електронний ресурс. Дата звернення 24.08.2021 р.
- [4] <http://irsgroup.com.ua>. Зареєстрований та прогнозований парк легкового та LCV електротранспорту (електромобілі та гібриди) в Україні. Електронний ресурс. Дата звернення 24.08.2021 р.
- [5] Stevic, Zoran & Radovanovic, Ilija. (2012). Energy Efficiency of Electric Vehicles. 10.5772/55237.
- [6] Avlasko, P & Antonenko, D. (2018). Automated complex for research of electric drives control. Journal of Physics: Conference Series. 1015. 032163. 10.1088/1742-6596/1015/3/032163.
- [7] Silaghi, Helga & Gamcová, Mária & Silaghi, Andrei & Spoială, Viorica & Alexandru Marius, Silaghi & Spoială, Dragoș. (2018). INTELLIGENT CONTROL OF ELECTRICAL DRIVE SYSTEM USED FOR ELECTRIC VEHICLES. The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty. 18. 10.1515/sbeef-2017-0015.
- [8] Zhao Y, Hou J, Wang C, Chen L, Sun Q. Design of vehicle control research and development platform for a pure electric vehicle. Advances in Mechanical Engineering. February 2019. doi:10.1177/1687814019826427.
- [9] Weiss, M., Cloos, K.C. & Helmers, E. Energy efficiency trade-offs in small to large electric vehicles. Environ Sci Eur 32, 46 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00307-8>.
- [10] Haakana A, Laurikko J, Granström R, Hagman R (2013) Assessing range and performance of electric vehicles in Nordic driving

conditions—End of Project Report. Nordisk Energieforskning, December 2013, pp 74. <https://docplayer.net/11036905-Assessing-range-and-performance-of-electric-vehicles-in-nordic-driving-conditions-project-final-report.html>.

- [11] Carlson R, Lohse-Busch H, Diez J, Gibbs J (2012) The measured impact of vehicle mass on road load forces and energy consumption for a BEV, HEV, and ICE vehicle. SAE International 2013-0-1457.
- [12] Helmbrecht M, Olaverri-Monreal C, Bengler K, Vilimek R, Keinath A (2014) How electric vehicles affect driving behavioral patterns. IEEE Intell Transp Syst Mag 6(3):22–32.
- [13] Zhao C, Gong G, Yu C, Liu Y, Zhong S, Song Y, Deng C, Zhou A, Ye H (2019) Research on key factors for range and energy consumption of electric vehicles. SAE Technical Paper 2019-01-0723, <https://doi.org/10.4271/2019-01-0723>.
- [14] Wen Li, Patrick Stanula, Patricia Egede, Sami Kara, Christoph Herrmann, Determining the Main Factors Influencing the Energy Consumption of Electric Vehicles in the Usage Phase, Procedia CIRP, Volume 48, 2016, Pages 352-357, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.014>.
- [15] Sweeting, W. & Hutchinson, A. & Savage, S.. (2011). Factors affecting electric vehicle energy consumption. International Journal of Sustainable Engineering. 4. 1-10. 10.1080/19397038.2011.592956.
- [16] Miri, I, Fotouhi, A, Ewin, N. Electric vehicle energy consumption modelling and estimation—A case study. Int J Energy Res. 2021; 45: 501– 520. <https://doi.org/10.1002/er.5700>
- [17] Araan Mohanadass (April 1st 2020). Making the Most of the Energy We Have: Vehicle Efficiency, Intelligent and Efficient Transport Systems - Design, Modelling, Control and Simulation, Truong Quang Dinh, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.90602. Available from: <https://www.intechopen.com/chapters/70562>
- [18] Laurencas Raslavičius, Artūras Keršys, Rolandas Makaras, Management of hybrid powertrain dynamics and energy consumption for 2WD, 4WD, and HMMWV vehicles, Renewable and Sustainable

Energy Reviews, Volume 68, Part 1, 2017, Pages 380-396, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.109>.

- [19] Jazar, Reza N. Vehicle dynamics: theory and application. Springer, 2017.
- [20] Short, Michael, Michael J. Pont, and Qiang Huang. "Simulation of vehicle longitudinal dynamics." Safety and Reliability of Distributed Embedded Systems (2004): 04-01.
- [21] Yan, Qin & Zhang, Bei & Kezunovic, Mladen. (2014). Optimization of electric vehicle movement for efficient energy consumption. 2014 North American Power Symposium, NAPS 2014. 10.1109/NAPS.2014.6965467.
- [22] Dziubiński M, Drozd A, Adamiec M, Siemionek E.. Advances in Science and Technology Research Journal. 2017;11(4):27-34. doi:10.12913/22998624/78516.
- [23] Dziubiński, Mieczysław & Drozd, Artur & Adamiec, Marek & Siemionek, Ewa. (2017). Energy Intensity of the Electric Vehicle. Advances in Science and Technology Research Journal. 11. 27-34. 10.12913/22998624/78516.
- [24] De Cauwer, Cedric & Van Mierlo, Joeri & Coosemans, Thierry. (2015). Energy Consumption Prediction for Electric Vehicles Based on Real-World Data. Energies. 8. 8573-8593. 10.3390/en8088573.
- [25] DEMBITSKYI, V., SITOVS KYI, O., PAVLIUK, V. Influence of a system "vehicle - driver - road - environment" on the energy efficiency of the vehicles with electric drive. In: 1st International Scientific Conference ICCPT 2019: Current Problems of Transport: proceedings. SciView. 2019. p. 162-173.
- [26] Valerii Dembitskyi. (2021). Use of the Bezier Curves for a Vehicles Driving Cycles' Modeling. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 23(1), B65-B75. <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.1.B65-B75>.
- [27] EN 1987-1 Electrically propelled road vehicles - Specific requirements for safety - Part 1: On board energy storage.

- [28] Ярославцев М.В. Энергоэффективный тяговый привод городского безрельсового транспорта : учебное пособие / Ярославцев М.В., Щуров Н.И., Аносов В.Н.. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2017. — 136 с. — ISBN 978-5-7782-3274-7. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/91502.html>.
- [29] Планування і забудова територій. - К. : Мінрегіонбуд України, [2018] . - (Державні будівельні норми України). ДБН Б.2.2-12:2018. - Чинний від 2019-10-01. - К., 2018. - 177 с.

Формування автоматизованої технології управління вагонопотоками при здійсненні міжнародних перевезень

Ганна Бауліна

*Український державний університет залізничного транспорту
м. Харків, Україна*

I. ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТИ ПРИКОРДОННИХ СТАНЦІЙ ПРИ ЗДІЙСНЕННІ МІЖНАРОДНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Ефективність організації міжнародних перевезень вантажів значною мірою залежить від злагодженої організації роботи прикордонних передавальних станцій, що мають забезпечувати раціональну технологію переробки експортно-імпортного вагонопотоку. При цьому потужність технічних засобів станції не просто повинна забезпечувати заданий обсяг роботи по переробці вагонопотоку, а й здійснити це в оптимальному техніко-економічному режимі, забезпечити умови для найкращого використання вагонів, маневрових локомотивів та інших засобів.

Прикордонним станціям належить важлива роль у забезпеченні нормальних взаємовідносин із закордонними країнами в умовах ринкової економіки, через які проходять близько 60% імпортних і більш ніж 40% експортних вантажів, перевезених у міжнародних сполученнях.

Залізниці України безпосередньо взаємодіють із залізницями Білорусі, Російської Федерації, Молдови, Словаччини, Польщі, Угорщини та Румунії, а через залізнично-морські переправи – з Болгарією та Туреччиною (рисунок 1). Для участі в міжнародних (транзитних) перевезеннях Україна має 22,3 тис. км експлуатаційної протяжності магістральних залізниць, які проходять через три міжнародні транспортні коридори.

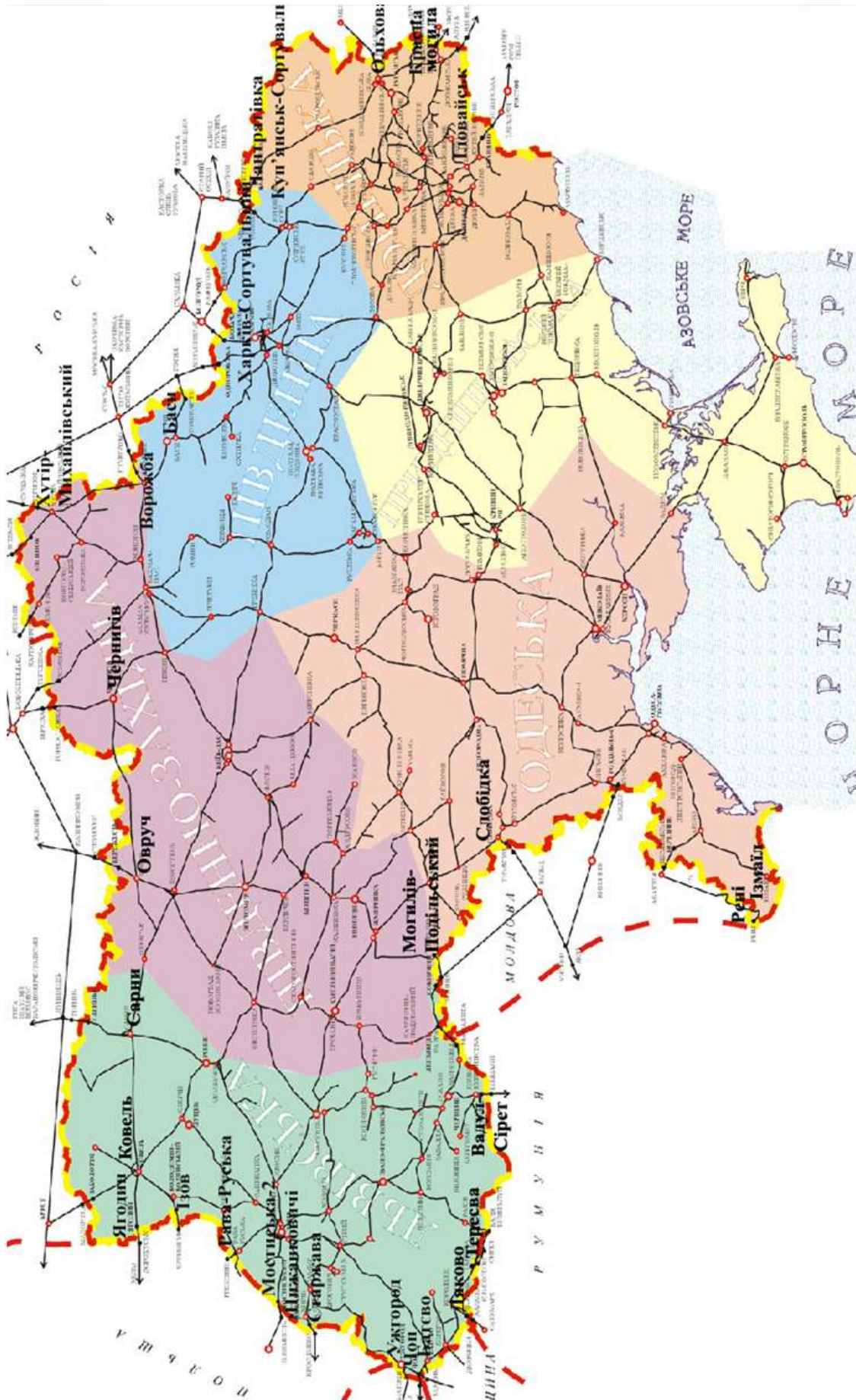


Рисунок 1 – Схема розташування прикордонних передавальних станцій на залізницях України

Майже 80% транзитних потоків входять в Україну саме через сухопутні залізничні переходи. В основному, це імпорتنі вантажі з Білорусі, Росії, Казахстану, які прямують у Словаччину, Угорщину, Австрію, Чехію, Румунію, а також через порти в інші країни світу.

На прикордонних передавальних станціях забезпечується виконання встановлених розмірів руху, операцій з прийому, відправлення, розформування і формування поїздів, технічного та комерційного оглядів і ремонту вагонів, перевантаження вантажів, перестановки візків, а також прикордонного, митного, ветеринарного, фітосанітарного, екологічного, санітарно-епідеміологічного контролів.

Передача вагонів і контейнерів з вантажами виконується щодня та цілодобово. Конкретний порядок передачі рухомого складу, перевірка перевізних документів і даних поїзної передавальної відомості, внесення змін, доповнень та узгодження передавальної відомості здійснюється протягом часу, встановленого технологічним процесом роботи прикордонної передавальної станції. Для здійснення зазначених функцій на передавальних станціях працюють контори передачі та прикордонні транспортно-експедиторські контори.

Скорочення часу приймання-передачі експортно-імпортного вагонопотоку через кордон можна досягти за рахунок проведення технічного, комерційного та митного оглядів лише один раз на території країни, що здає вантаж за участю працівників обох суміжних залізниць. Для втілення даних заходів на залізницях та митницях сусідніх держав мають існувати однакові вимоги та нормативи щодо контролю стану вагонів та вантажів.

На об'єднаних передавальних станціях технічні, комерційні, перевантажувальні операції, прикордонний та митний контроль виконуються спільно агентами обох країн, що прискорює обробку вагонів та скорочує їх простої. Аналіз сучасної технології роботи прикордонних станцій показав, що на багатьох станціях (Куп'янськ-Сортувальний, Харків-Сортувальний та інших) пункти комерційного огляду (ПКО) облаштовані автоматизованою системою комерційного огляду поїздів і вагонів, яка дозволяє проводити комерційний огляд

составів у процесі їх руху з моніторів, встановлених у приміщеннях працівників ПКО. Ця система дозволила скоротити комерційний огляд поїздів у середньому на 20 хвилин.

Прикордонні передавальні станції можуть бути безперевантажувальними (станції Куп'янськ-Сортувальний, Хутір-Михайлівський, Харків-Сортувальний) та перевантажувальними (станції Чоп, Мостиська-2, Ягодин). При безперевантажувальному способі передачі вагон з вантажем прослідує через прикордонну станцію без перевантаження незалежно від того, однакову або різну ширину колії мають суміжні залізниці.

Прикордонні перевантажувальні станції мають свої особливості, основною з яких є наявність перевантажувальних операцій із вагонів колії 1435 мм у вагони колії 1520 мм. Час обробки вагонів на таких станціях в 1,5 рази більший, ніж на вантажних. Передачу вантажів та вагонів, а також перевантаження вантажів із вагонів вузької колії у вагони колії 1520 мм і навпаки, перестановку візків виконують на прикордонній перевантажувальній станції приймаючої залізниці. В окремих випадках за взаємним погодженням обох країн ці операції можуть здійснюватись і на прикордонній станції сторони, що здає.

На перевантажувальних прикордонних станціях передача вантажів із колії 1435 мм на колію 1520 мм може здійснюватися різними способами:

- перевантаження у вагони іншої колії (найбільш розповсюджений спосіб);
- заміна візків у вагонів, які передаються на колію іншої ширини;
- застосування візків з саморегульованою колісною парою SUW 2000 та автоматичним коліспровідним пристроєм, що забезпечує зміну ширини колії колісної пари в автоматичному режимі в процесі руху поїзда.

Перший спосіб найбільш тривалий – середній час перевантаження вагонів, наприклад, на станції Чоп регіональної філії «Львівська залізниця» складає 387 хв. На деяких станціях (Ягодин, Мостиська-2) цей процес часто досягає декількох діб.

Заміна візків у складах найбільше поширення отримала при пасажирських перевезеннях. Але для вантажних вагонів цей засіб також використовують (станція Чоп), що займає, на відміну від пасажирських, багато часу. Якщо при пасажирських перевезеннях заміна візків проводиться відразу в усіх вагонах поїзда одночасно приблизно за 40 хвилин, то у вантажних поїздах ця процедура здійснюється послідовно для кожного вагона, що складає в сприятливих умовах біля 20 хвилин на один вагон. Загальна тривалість обробки поїзда з перестановкою візків складає в середньому 7 годин, в тому числі сама перестановка візків – 300 хв [1].

Проведенні дослідження доводять, що на прикордонних станціях існують значні простої вагонів. Обумовлено це переважно:

- виявленням та усуненням причин неприймання вагонів суміжною стороною;

- наднормативною тривалістю прикордонно-митних операцій;

- відсутністю чіткої взаємодії між залізничними, прикордонними, митними та іншими контролюючими органами;

- затриманням вагонів різними контролюючими службами;

- очікуванням виконання технологічних операцій;

- очікуванням навантажених вагонів колії 1435 мм підводу та подачі порожніх вагонів колії 1520 мм.

- невідповідністю сучасним вимогам програмного забезпечення автоматизованих робочих місць (АРМ) оперативного персоналу, що не дає змогу приймати раціональні оперативні рішення у складних непередбачуваних ситуаціях.

Простій затриманих вагонів на прикордонних передавальних станціях призводить до нераціонального невиробничого використання колійного розвитку станції, додаткового використання локомотивного і вагонного парку, сортувальних пристроїв, скорочення пропускної спроможності напрямів, що зв'язують сусідні держави або декілька країн СНД, збільшення часу обороту вагонів [2].

Величина простою вагона, яка безпосередньо впливає на ефективність використання вагонного парку, має суттєве значення для експлуатаційної діяльності регіональних філій. Динаміка простою транзитного та місцевого вагонів на прикордонній станції Чоп регіональної філії «Львівська залізниця» за місяцями за період з 2018 по 2020 роки наведена на рисунках 2 та 3. Аналіз наведених діаграм свідчить про зростання середнього показника простою транзитних та місцевих вагонів на прикордонній станції за відповідний період.

Продовжуються значні простої вагонів і составів із зовнішньоторговельними вантажами в очікуванні подачі до фронту вивантаження в портах. Основними причинами цих простоїв, які приносять залізницям значні збитки в умовах дефіциту вантажних вагонів, є відсутність узгодженої технології навантаження та підводу вантажів до портів, пов'язаної з підводом суден, відсутність вільних місць на причалах і в сховищах порту, а також незадовільна організація роботи за прямим варіантом перевантаження “вагон – борт судна”.

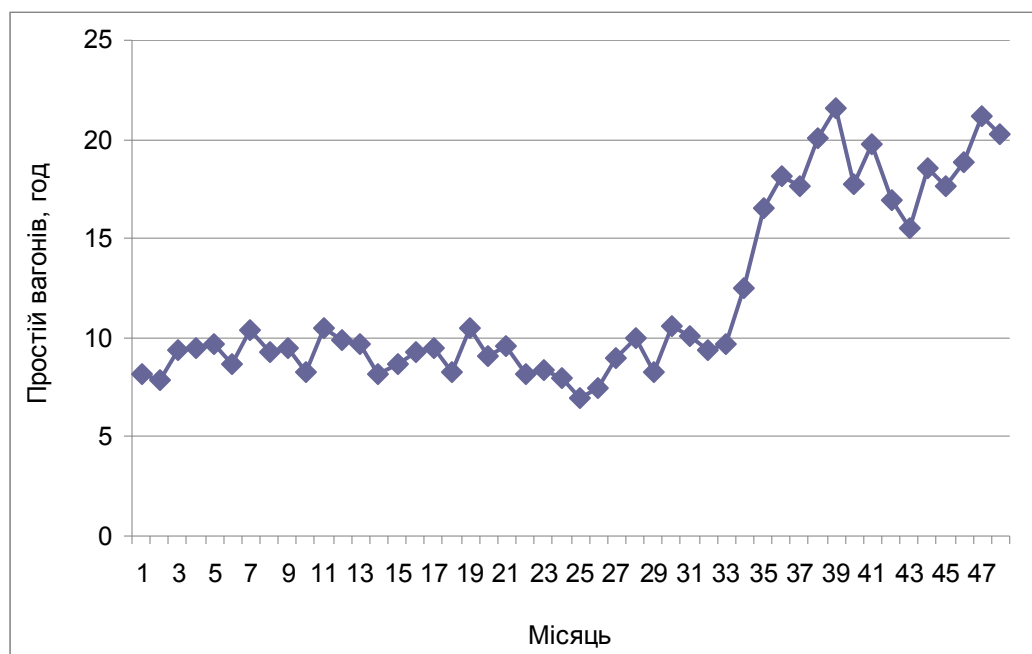


Рисунок 2 – Динаміка змінення часу простою транзитних вагонів по станції Чоп

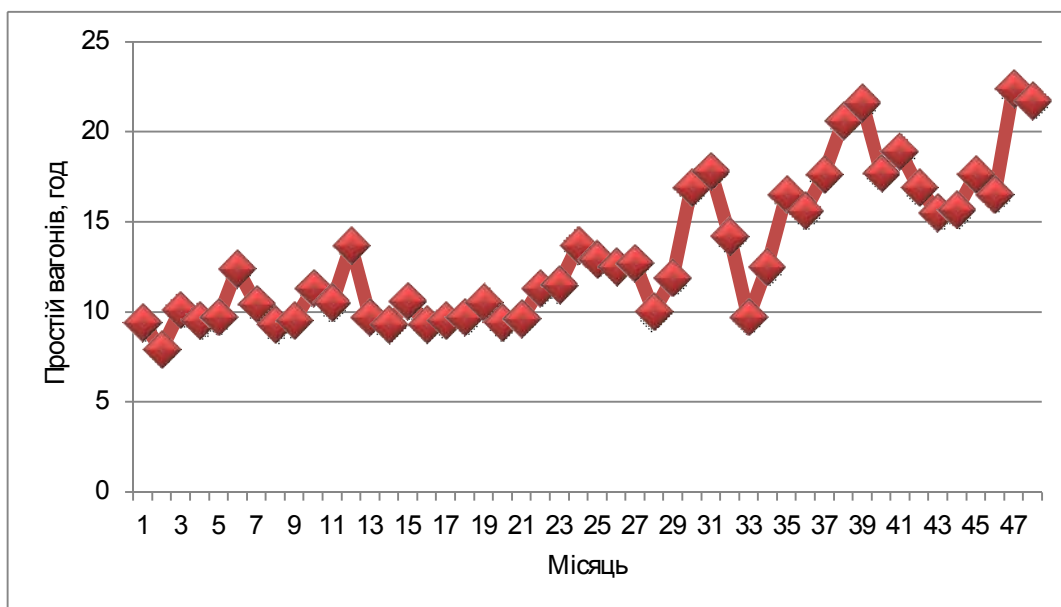


Рисунок 3 – Динаміка змінення часу простою місцевих вагонів по станції Чоп

Отже, проведені дослідження доводять необхідність удосконалення організації роботи прикордонних передавальних станцій за рахунок адаптації до зовнішніх умов.

II. ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ ПРИКОРДОННОЇ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ЛОГІСТИЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

На прикордонних перевантажувальних станціях значний час займають перевантажувальні, прийомоздавальні операції та прикордонно-митний огляд. Тому дуже суттєве значення має правильна та раціональна організація роботи, що забезпечить мінімальний час знаходження вагонів на станції. В свою чергу тривалість знаходження вагонів на станції справляють негативний вплив на термін доставки вантажу вантажоодержувачам. У таких умовах стратегія формування транспортного процесу повинна базуватися на впровадженні логістичних технологій у межах концепції логістики. До речі поступово зростаючий попит на комплексні логістичні послуги є однією з основних тенденцій

розвитку світового ринку транспортно-логістичних послуг в останні роки.

Для здійснення перевантаження вантажів безпосередньо із вагонів західноєвропейської колії у вагони колії АТ «Укрзалізниця» та навпаки необхідно одночасно подавати та прибирати вагони по обох коліях. При недодержанні цієї умови перевантаження вантажу буде затримуватись, що призведе до непродуктивних простоїв вагонів [3].

Перевезення вантажів у міжнародному сполученні здійснюється нерівномірно. Внаслідок непогодженого підводу до прикордонних перевантажувальних станцій завантажених вагонів по колії 1435 мм та порожніх по колії 1520 мм завантажені вагони через відсутність порожніх змушені простоювати в очікуванні перевантажувальної операції. Також завантажені вагони колії 1435 мм можуть бути затримані різними службами і тому теж простоювати в очікуванні перевантаження. Не допустити простій завантажених вагонів можливо при умові вивантаження їх у склад і, після подачі до складу порожніх вагонів по колії 1520 мм, – навантаженню зі складу.

Відповідно до статистичних досліджень, що були проведені на станції Чоп, час очікування вагонами колії 1435 мм перевантажувальної операції підпорядковано нормальному закону розподілу (рисунок 4) зі щільністю

$$f(t_{оч}) = 0.0189e^{-\frac{(t_{оч}-37,04)^2}{890,59}}. \quad (1)$$

Середня тривалість простою вагонів в очікуванні перевантаження складає 37,04 год.

Тому, відповідно до сучасних напрямків розвитку, на базі прикордонної перевантажувальної станції доцільно створити прикордонний транспортно-логістичний центр (ПТЛЦ), який буде мати необхідні пристрої для виконання вантажних операцій та тимчасового зберігання вантажів, що вивантажуються із вагонів колії 1435 мм. ПТЛЦ буде виступати в ролі регулятора вантажопотоків, що

надходять та відправляються зі станцій, у взаємодії з маневровим диспетчером, на якого покладено функції координатора дій, пов'язаних з підбиранням, подачею та прибиранням рухомого складу для виконання відповідних вантажних операцій. ПТЛЦ буде перевантажувальною базою, на якій розміщені склади тимчасового зберігання, споруди для технічного обслуговування контейнерів, відкриті площадки для їх зберігання. Весь комплекс доцільно забезпечити електронним документообігом. Передбачається, що у центрі можна буде оформити митну документацію на вантаж, що суттєво економитиме час. Створення такого комплексу забезпечить спрощення вантажного сполучення між Україною та країнами Європейського Союзу.

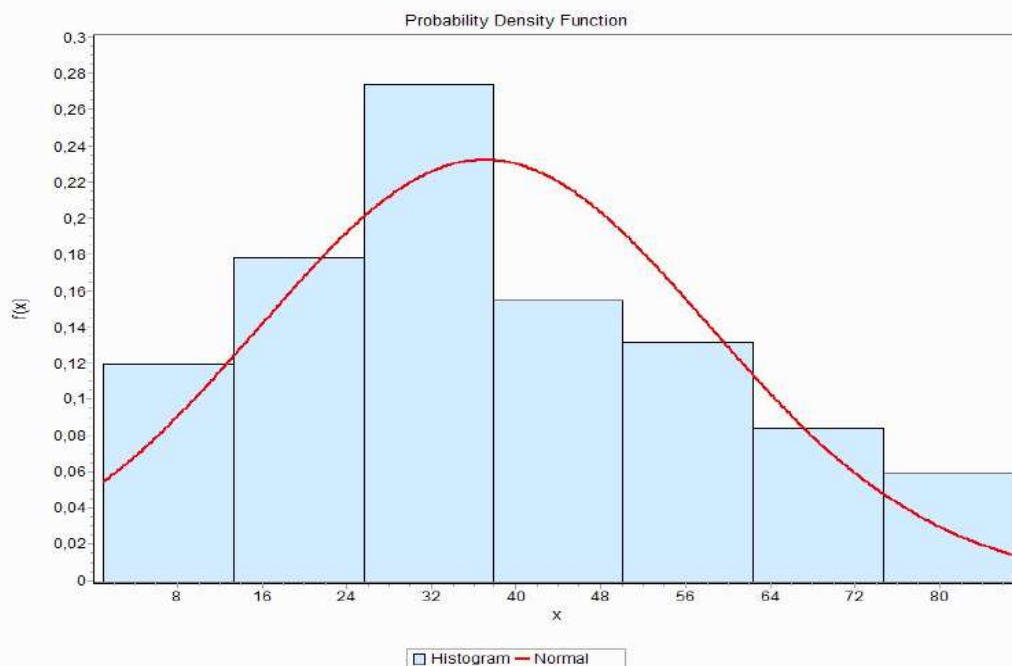


Рисунок 4 – Гістограма щільності розподілу тривалості простою вагонів колії 1435 мм в очікуванні перевантажувальної операції

Прикордонні транспортно-логістичні центри мають стати елементами міжнародної логістичної системи залізниць України в цілому. Доцільність створення таких об'єднань і привабливість їх для клієнтів обумовлено можливістю прискорення доставки вантажів до станції призначення за рахунок скорочення числа переробок вагонів

на шляху прямування [4]. Основна спрямованість ПТЛЦ полягає в наданні повного циклу якісних логістичних послуг клієнтам, які користуються залізничним транспортом, тим самим скорочуючи тривалість знаходження вагонів на прикордонних станціях і на шляху прямування, та в залученні додаткових вантажопотоків на залізниці України.

Як довів аналіз, по АТ «Укрзалізниця», як і в усьому світі, спостерігається тенденція до зростання обсягів перевезення вантажів у великотоннажних контейнерах, зокрема на Львівській залізниці, в межах якої знаходяться шість прикордонних перевантажувальних станцій, що працюють переважно з великотоннажними контейнерами довжиною 20 та 40 футів (Чоп, Д'якове, Батєве, Мостиська-2, Ужгород, Вадул-Сірет). Однак, на відміну від розвинених країн світу, їх частка в загальному залізничному потоці залишається не дуже великою. В Україні зростання контейнерних перевезень стримується загальними проблемами в економіці, орієнтованої на сировинне виробництво, і нестачею терміналів для перевантаження і зберігання вантажів. Не зважаючи на це, АТ «Укрзалізниця» вважає цей напрям пріоритетним і активно його розвиває.

Тому реалізувати задачу створення ПТЛЦ можна на базі контейнерних терміналів великих прикордонних перевантажувальних станцій (ППВС), що можуть працювати з 20 та 40 футовими контейнерами міжнародного класу. Прикладом такої станції може бути станція Чоп регіональної філії «Львівська залізниця», яка межує з Угорщиною та Словаччиною, з перенесенням до ПТЛЦ всіх операцій, пов'язаних з переробкою контейнерів, зі станцій Батєве та Мукачево з метою концентрації всієї роботи з переробки великотоннажних контейнерів в одному місці, а саме у ПТЛЦ (рисунок 5).

Отже, ПТЛЦ дозволять здійснювати прийом, накопичення, сортування, формування транспортних партій контейнерів, перевантаження контейнерів із західноєвропейських вагонів у вагони колії СНД, зберігання та переробку контейнерів на складі тимчасового зберігання, а також виконання митного та інших видів

контролю із забезпеченням виконання логістичних принципів: доставка “точно в строк”, “у повній схоронності” та “від дверей до дверей”.

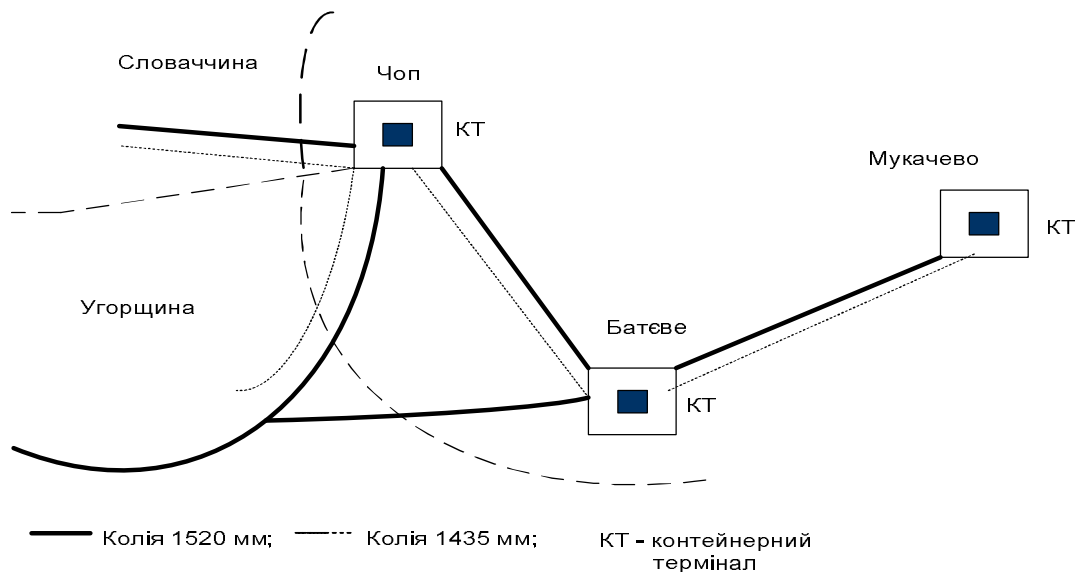
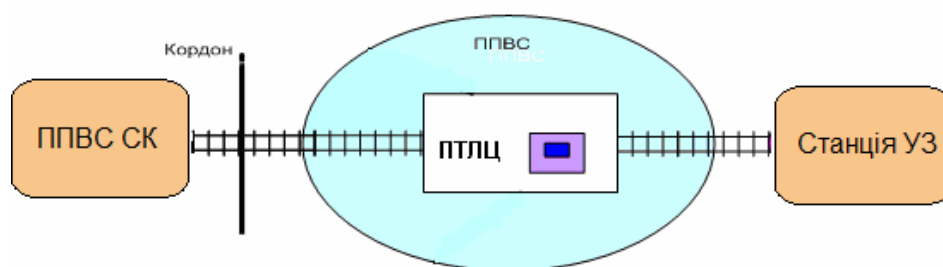


Рисунок 5 – Схема розташування станцій Чоп, Батєве, Мукачево

Технологія функціонування прикордонного транспортно-логістичного центру, яка наведена на рисунку 6, передбачає, що великотоннажні контейнери на платформах колії 1435 мм із прикордонної станції суміжної держави надходять у логістичний центр для вивантаження на площадки з подальшим накопиченням на партію для відправлення. Тимчасове накопичення вантажів у ПТЛЦ дозволить подолати часові, кількісні та якісні невідповідності між наявністю порожніх фітингових платформ та потребою в них.



ППВС СК – прикордонна перевантажувальна станція суміжної країни

Рисунок 6 – Структура взаємодії ПТЛЦ з ППВС СК

Партія великотоннажних контейнерів у ПТЛЦ для відправлення до станції УЗ може бути сформована з контейнерів, які надходять із суміжної країни по вузькій колії і вивантажуються на ділянку ПТЛЦ, якщо на ППВС немає в наявності необхідної кількості платформ для перевантаження контейнерів із рухомого складу колії 1435 мм на платформи колії 1520 мм.

У випадку прибуття платформ з контейнерами із-за кордону для ПТЛЦ постає задача раціонального регулювання вагонопотоку, тобто частина контейнерів може відразу перевантажуватися на платформи колії 1520 мм, при їх наявності, а інша частина – вивантажуватися на площадки ПТЛЦ для накопичення партії контейнерів по відправленню в залежності від станції призначення та вантажоодержувачів. Відповідно до цього, контейнери будуть прямувати без переробки до станції призначення на адресу відповідного одержувача. Тобто технологія функціонування ПТЛЦ в умовах ППВС дозволить забезпечити подальший прискорений пропуск платформ з партією контейнерів, що сформована в ПТЛЦ, з мінімальними зупинками на шляху прямування, тим самим скорочуючи терміни доставки вантажів у контейнерах та приваблюючи нових вантажовідправників.

Значний вплив на показники роботи прикордонної перевантажувальної станції надає характер розподілу вхідного потоку. Нерівномірність прибуття поїздів викликає нерівномірність їх надходження до обробки на станціях та перевантажувальних фронтах, що сприяє виникненню затримок або простою технічних засобів, а також значно впливає на інші показники роботи станції.

Для дослідження вхідного потоку поїздів з платформами у їх складі використаємо статистичні дані надходження поїздів до станції Чоп регіональної філії «Львівська залізниця» з боку Словаччини. Для визначення цих показників використано методи математичної статистики та теорії ймовірності [5], які передбачають збір статистичних даних по певних параметрах, що характеризують систему «прикордонна перевантажувальна станція», і подальшу їх математичну обробку.

Вибір виду розподілу, який найкраще відповідає статистичній вибірці даних, та розрахунок його параметрів проводилися з використанням програмного пакету EasyFit® 5.0 компанії MathWave®.

Як показали дослідження, кількість платформ з великотоннажними контейнерами у поїздах, що надходять на прикордонну перевантажувальну станцію з суміжної країни, є випадковою величиною. Враховуючи, що великотоннажні контейнери прибувають на ППВС із-за кордону переважно довжиною 20 та 40 футів, то потоки платформ з контейнерами двох типів та інших вагонів можна вважати підпорядкованими поліноміальному закону розподілу з імовірністю

$$P(x_1, x_2, x_3) = \frac{n_e!}{x_1! x_2! x_3!} p_1^{x_1} p_2^{x_2} p_3^{x_3}, \quad (2)$$

де x_1, x_2, x_3 – кількість платформ з великотоннажними контейнерами довжиною 20 і 40 футів та кількість вагонів інших типів у поїзді відповідно, що надходять на ППВС із суміжної країни;

n_e – загальна кількість вагонів у поїзді, що надходить із суміжної країни, причому $n_e = x_1 + x_2 + x_3$;

p_1, p_2, p_3 – імовірності надходження платформ з великотоннажними контейнерами довжиною 20 і 40 футів та вагонів інших типів відповідно на ППВС із суміжної країни, причому $p_1 + p_2 + p_3 = 1$.

Враховуючи, що поліноміальний закон розподілу є узагальненням біноміального закону, то закони розподілу кількості платформ з великотоннажними контейнерами довжиною 20 і 40 футів у поїздах, що надходять із-за кордону, можна навести як перетин цього закону у площині, тобто представити їх у сукупності двох біноміальних законів у різних системах координат.

На основі аналізу репрезентативної вибірки по станції Чоп встановлено, що потоки платформ з великотоннажними

контейнерами довжиною 20 та 40 футів у поїздах, які надходять на ППВС із суміжної країни, підпорядковано біноміальному закону розподілу (рисунок 7, 8) з імовірністю відповідно:

$$P(x_1) = \frac{n_6!}{x_1!(n_6 - x_1)!} p_1^{x_1} (1 - p_1)^{n_6 - x_1}; \quad (3)$$

$$P(x_2) = \frac{n_6!}{x_2!(n_6 - x_2)!} p_2^{x_2} (1 - p_2)^{n_6 - x_2}. \quad (4)$$

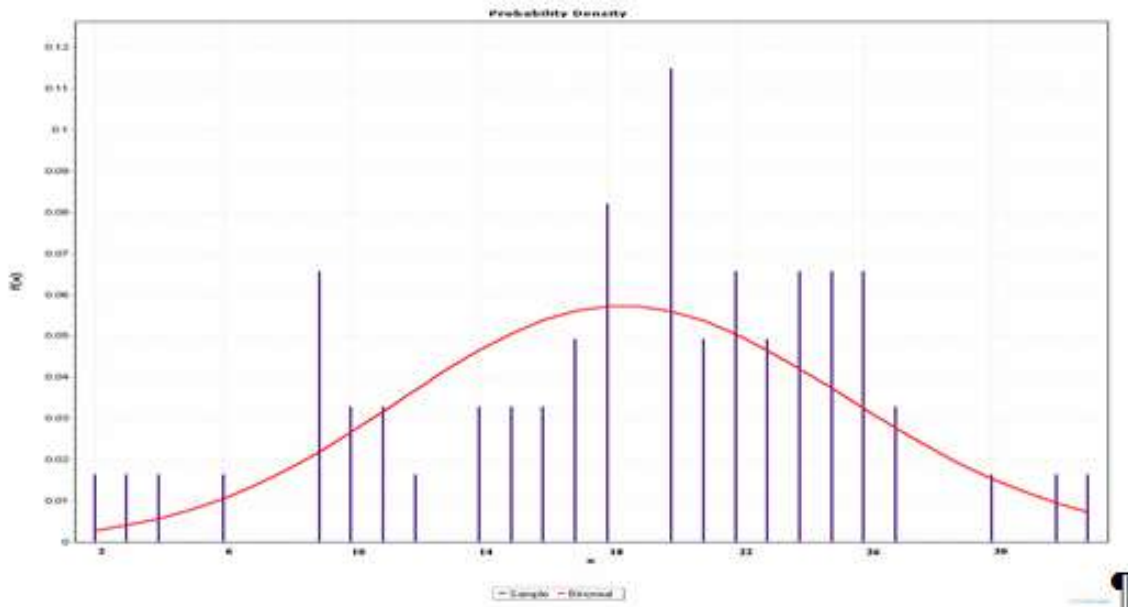


Рисунок 7 – Гістограма розподілу кількості платформ з контейнерами довжиною 20 футів у поїздах, що надходять із суміжної країни

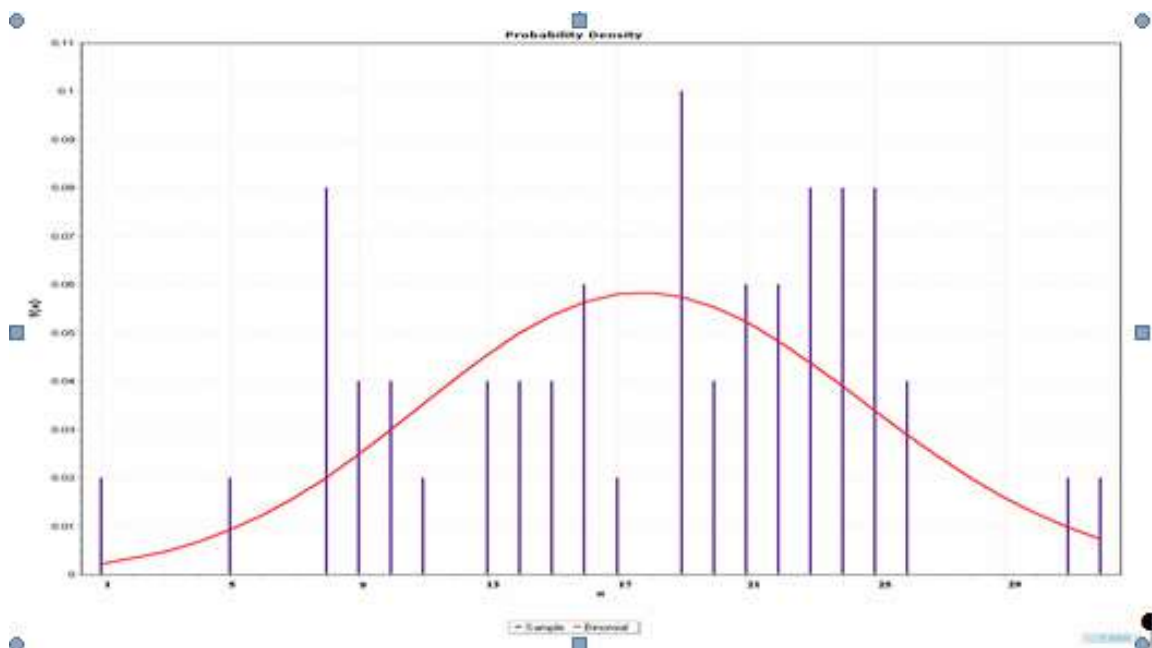


Рисунок 8 – Гістограма розподілу кількості платформ з контейнерами довжиною 40 футів у поїздах, що надходять із суміжної країни

Отже, як довів аналіз статистичних даних по станції Чоп, кількість платформ з великотоннажними контейнерами довжиною 20 та 40 футів, що надходять із суміжної країни під вивантаження на площадки, підпорядковано негативному біноміальному закону розподілу.

Таким чином, встановлено ймовірності того, що платформи з контейнерами довжиною 20 та 40 футів у поїздах, які надходять із суміжної країни, x_1, x_2 є платформами з 20 та 40 футовими контейнерами для вивантаження r_1 і r_2 на площадки:

$$P(x_1) = \binom{r_1 + x_1 - 1}{x_1} p_1^{r_1} (1 - p_1)^{x_1}; \quad (5)$$

$$P(x_2) = \binom{r_2 + x_2 - 1}{x_2} p_2^{r_2} (1 - p_2)^{x_2}. \quad (6)$$

Причому імовірності $P(x_1)$ та $P(x_2)$ будуть тим більше, чим більший буде контейнеропотік по прибуттю на ППВС.

У цілому весь процес, що проходить з вагонами безпосередньо на станції залежить від часу прибуття поїздів. Тому необхідно через інтервали між прибуттям дослідити закономірність надходження поїздів, в яких є платформи з великотоннажними контейнерами, до прикордонної перевантажувальної станції та визначити закон розподілу.

Дослідженнями встановлено, що інтервали між надходженням поїздів, у складі яких є платформи з 20 та 40 футовими контейнерами t_1 і t_2 , на ППВС із суміжної країни є також випадковими величинами підпорядкованими розподілу Ерланга 2-го порядку (рисунки 9, 10) зі щільністю відповідно:

$$f(t_1) = (2\lambda_1)^2 t_1 \cdot e^{-2\lambda_1 t_1}; \quad (7)$$

$$f(t_2) = (2\lambda_2)^2 t_2 \cdot e^{-2\lambda_2 t_2}, \quad (8)$$

де λ_1, λ_2 – інтенсивності надходження поїздів, у складі яких є платформи з великотоннажними контейнерами довжиною 20 та 40 футів, до ППВС із суміжної країни відповідно, поїздів за годину.

$$\lambda_1 = \frac{1}{\bar{t}_1}; \lambda_2 = \frac{1}{\bar{t}_2}, \quad (9)$$

де \bar{t}_1, \bar{t}_2 – математичні очікування інтервалів між надходженням поїздів, у складі яких є платформи з великотоннажними контейнерами довжиною 20 та 40 футів, до ППВС із суміжної країни.

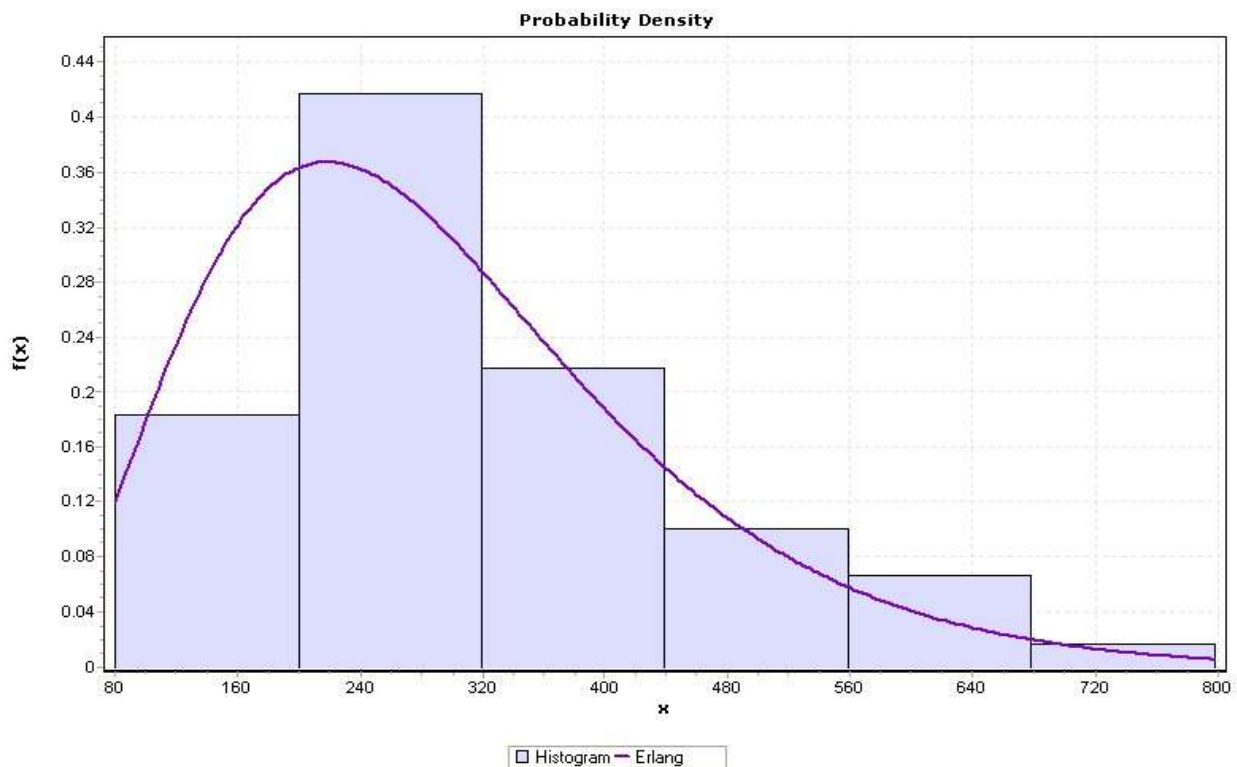


Рисунок 9 – Гістограма щільності розподілу інтервалів між надходженням поїздів на ППВС із-за кордону, у складі яких є платформи з великотоннажними контейнерами довжиною 20 футів

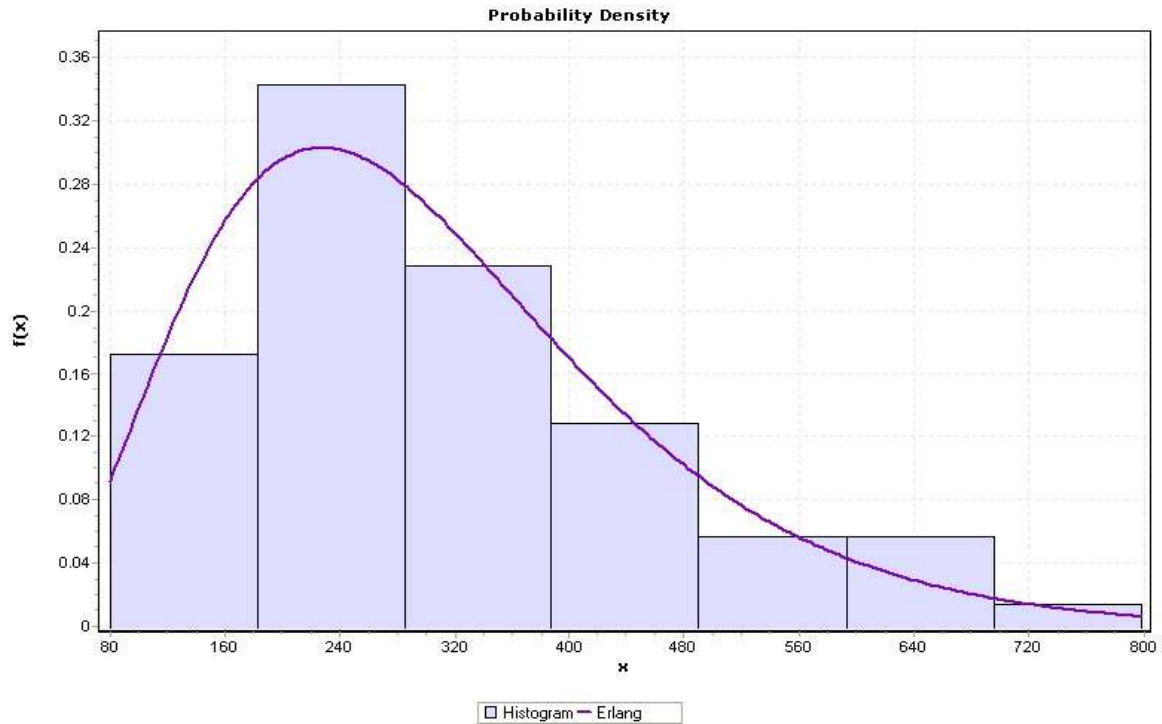


Рисунок 10 – Гістограма щільності розподілу інтервалів між надходженням поїздів на ППВС із-за кордону, у складі яких є платформи з великотоннажними контейнерами довжиною 40 футів

Будемо вважати, що кількість платформ з великотоннажними контейнерами у поїздах, що надходять на прикордонну перевантажувальну станцію із-за кордону, кількість із них з контейнерами для вивантаження та час між надходженням таких поїздів є незалежними випадковими величинами. Тоді кількість контейнерів довжиною 20 та 40 футів, що накопичується на станції, наприклад, за добу, можна визначити як добуток цих досліджених величин і навести у такому вигляді:

$$R_1 = 2n_g \frac{n_g!}{x_1!(n_g - x_1)!} p_1^{x_1} (1 - p_1)^{n_g - x_1} \cdot \binom{n_1 + x_1 - 1}{x_1} p_1^{n_1} (1 - p_1)^{x_1} \times \times (2\lambda_1)^2 \int_0^{24} t_1^2 \cdot e^{-2\lambda_1 t_1} dt; \quad (10)$$

$$R_2 = n_6 \frac{n_6!}{x_2!(n_6 - x_2)!} p_2^{x_2} (1 - p_2)^{n_6 - x_2} \cdot \binom{r_2 + x_2 - 1}{x_2} p_2^{r_2} (1 - p_2)^{x_2} \times \\ \times (2\lambda_2)^2 \int_0^{24} t_2^2 \cdot e^{-2\lambda_2 t_2} dt. \quad (11)$$

З метою оптимізації технології функціонування та управління вагонопотоками на прикордонних перевантажувальних станціях при здійсненні міжнародних перевезень доцільно сформувавши відповідну математичну модель, що відтворює гнучку логістичну технологію.

Для формалізації логістичної технології в умовах прикордонної перевантажувальної станції доцільно представити цільову функцію як суму приведених витрат на виконання операцій з формування транспортної партії контейнерів R , що може складатися із деякої кількості великотоннажних контейнерів довжиною 20 та 40 футів при виконанні відповідної системи обмежень. Для відправлення такої партії працівники ПТЛЦ взаємодіють з маневровим диспетчером прикордонної перевантажувальної станції, на якого покладено функції координатора дій, пов'язаних з підбиранням, подачею та прибиранням рухомого складу для виконання відповідних вантажних операцій у логістичному центрі.

При вирішенні задачі формування логістичної технології враховуємо такі припущення:

- інтенсивністю виробництва будемо вважати інтенсивність надходження великотоннажних контейнерів на прикордонну перевантажувальну станцію із суміжної країни;
- відстанню транспортування партії контейнерів будемо вважати відстань між прикордонною перевантажувальною станцією України і станцією призначення УЗ.

Оптимальна партія контейнерів, що формується у ПТЛЦ, визначається виходячи з досягнення мінімальних витрат, що залежать від цієї партії.

Витрати на подавання-прибирання платформ

$$C_1 = 2C_{л-з} t_n K_n, \quad (12)$$

де $C_{л-г}$ – вартість локомотиво-години маневрової роботи, грн;
 t_n – час на подавання та прибирання однієї подачі платформ, год;
 K_n – кількість подач платформ у ПТЛЦ за добу.

$$K_n = \frac{Nl_{nl}}{l_\phi}, \quad (13)$$

де N – кількість платформ;
 l_{nl} – довжина платформи, м;
 l_ϕ – довжина вантажно-розвантажувального фронту, м.

Кількість подач платформ у ПТЛЦ і час на подавання-прибирання однієї подачі визначаємо з урахуванням кількості та тривалості переміщення порожніх платформ необхідних для навантаження партії великотоннажних контейнерів та платформ завантажених партією контейнерів для відправлення (подача до парку відправлення).

Підбір платформ для розміщення на них великотоннажних контейнерів довжиною 20 та 40 футів виконується в залежності від довжини платформи, її вантажопідйомності та маси брутто контейнерів [6]. Як довів аналіз, контейнери довжиною 20 футів в основному мають масу брутто до 34 тонн, а довжиною 40 футів – до 42 тонн, тому можна вважати, що одна платформа довжиною 14,62 м подається під навантаження двох контейнерів довжиною 20 футів або одного – довжиною 40 футів.

Таким чином, кількість платформ, що подається в ПТЛЦ та прибирається з нього можна визначити за формулою

$$N = \frac{\alpha R}{2} + (1 - \alpha)R, \quad (14)$$

де α – частка контейнерів довжиною 20 футів від загальної кількості контейнерів у транспортній партії.

Отже,

$$C_1 = \frac{2C_{л-э}t_n l_{nl} R}{l_\phi} \left(\frac{\alpha}{2} + (1 - \alpha) \right). \quad (15)$$

Витрати на збереження контейнерів у ПТЛЦ при накопиченні на транспортну партію

$$C_2 = \frac{C_{зб} R}{\lambda}, \quad (16)$$

де $C_{зб}$ – вартість зберігання одного великотоннажного контейнера при накопиченні на транспортну партію, грн;

λ – інтенсивність надходження великотоннажних контейнерів до ПТЛЦ залізницею із суміжної країни для накопичення на транспортну партію, контейнерів за годину.

З урахуванням виконаних раніше досліджень

$$C_2 = C_{зб} R / n_e \left(2 \frac{n_e!}{x_1!(n_e - x_1)!} p_1^{x_1} (1 - p_1)^{n_e - x_1} \times \right. \\ \times \binom{r_1 + x_1 - 1}{x_1} p_1^{r_1} (1 - p_1)^{x_1} / (2\lambda_1)^2 \int_0^{24} t_1^2 \cdot e^{-2\lambda_1 t_1} dt + \\ \left. + \frac{n_e!}{x_2!(n_e - x_2)!} p_2^{x_2} (1 - p_2)^{n_e - x_2} \times \right. \\ \left. \times \binom{r_2 + x_2 - 1}{x_2} p_2^{r_2} (1 - p_2)^{x_2} / (2\lambda_2)^2 \int_0^{24} t_2^2 \cdot e^{-2\lambda_2 t_2} dt \right) \quad (17)$$

Витрати на виконання вантажних операцій з великотоннажними контейнерами визначаємо з урахуванням того, що контейнери навантажуються на платформи та вивантажуються з них

$$C_3 = 2C_{э-э} R \left(\frac{\alpha}{2} + (1 - \alpha) \right) \left(\frac{P_n}{ZQ_e} + t_{n3}^n \right), \quad (18)$$

де $C_{э-э}$ – вартість однієї години простою вагона, грн;

P_n – середнє завантаження платформи у контейнерах;

Z – кількість одиниць вантажно-розвантажувальної техніки;

Q_e – продуктивність однієї одиниці техніки, т/год;

t_{nz}^n – час на підготовчо-завершальні операції з платформою (відкривання та закріплення бортів платформи, закріплення контейнерів на платформі), год;

Витрати на технічний, комерційний та митний огляди транспортної партії контейнерів

$$C_4 = \frac{C_{oz}}{R}, \quad (19)$$

де C_{oz} – вартість огляду транспортної партії контейнерів працівниками пунктів технічного і комерційного оглядів та інспекторами митниці, грн.

Витрати на оформлення документів, в тому числі на митне оформлення партії контейнерів

$$C_5 = \frac{C_{of}}{R}, \quad (20)$$

де C_{of} – вартість оформлення документів на партію великотоннажних контейнерів, грн.

Витрати на переміщення платформ з партією великотоннажних контейнерів до станції призначення

$$C_6 = \frac{C_{nep}}{R}, \quad (21)$$

де C_{nep} – вартість переміщення групи платформ з транспортною партією контейнерів до станції призначення, грн.

Остаточна модель технології функціонування та управління вагонопотоками на прикордонній перевантажувальній станції при здійсненні міжнародних перевезень має такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 C(R) = R & \left\{ \frac{2C_{л-з} t_n l_{nl}}{l_{\phi}} \left(\frac{\alpha}{2} + (1 - \alpha) \right) + C_{зб} \times \right. \\
 & \times 1 / \left[n_{\epsilon} \left(2 \frac{n_{\epsilon}!}{x_1! (n_{\epsilon} - x_1)!} p_1^{x_1} (1 - p_1)^{n_{\epsilon} - x_1} \binom{r_1 + x_1 - 1}{x_1} p_1^{r_1} (1 - p_1)^{x_1} / \right. \right. \\
 & / \left. \left. (2\lambda_1)^2 \int_0^{24} t_1^2 \cdot e^{-2\lambda_1 t_1} dt + \frac{n_{\epsilon}!}{x_2! (n_{\epsilon} - x_2)!} p_2^{x_2} (1 - p_2)^{n_{\epsilon} - x_2} \binom{r_2 + x_2 - 1}{x_2} p_2^{r_2} (1 - p_2)^{x_2} / \right. \right. \\
 & / \left. \left. (2\lambda_2)^2 \int_0^{24} t_2^2 \cdot e^{-2\lambda_2 t_2} dt \right) \right] + 2C_{\epsilon-з} \left(\frac{\alpha}{2} + (1 - \alpha) \right) \left(\frac{P_n}{ZQ_{\epsilon}} + t_{nz}^n \right) \left. \right\} + \\
 & + \frac{1}{R} (C_{oz} + C_{оф} + C_{пер}) \rightarrow \min \quad (22)
 \end{aligned}$$

У ході оптимізації необхідно враховувати певні обмеження:

$$\left\{ \begin{array}{l} R \left(\frac{\alpha}{2} + (1 - \alpha) \right) l_{nl} \leq l_{\phi} \\ \lambda \leq Q_{\phi} \\ T_{нв} + T_{нак} + T_{\epsilon} + T_{пер} \leq T_{\delta} \end{array} \right. \quad (23)$$

де Q_{ϕ} – переробна спроможність вантажного фронту ПТЛЦ, конт/год;

$T_{нв}$ – час на виконання операцій з прибуття та відправлення, год;

$T_{нак}$ – час на накопичення партії контейнерів у ПТЛЦ, год;

T_{ϵ} – час на виконання вантажних операцій з партією контейнерів, год;

$T_{пер}$ – час на перевезення партії контейнерів до станції призначення, год;

T_{δ} – термін доставки вантажів у контейнерах, год;

Запропонована модель дозволить визначити оптимальну партію контейнерів, що сформована у ПТЛЦ для відправлення з ППВС до станції призначення. Також використання моделі дозволить зменшити непродуктивні простої вагонів на ППВС, а маневровому диспетчеру та черговому по парку перевантаження надасть можливість раціонально організувати роботу з підбору, подавання, прибирання платформ з ПТЛЦ з мінімальними витратами вагоно- та локомотиво-годин.

Розроблену модель можна вважати достатньо універсальною за своєю структурою і використовувати її при надходженні на прикордонну перевантажувальну станцію із суміжної країни великотоннажних контейнерів довжиною 20 та 40 футів. При цьому будуть змінюватися тільки параметри моделі, що залежать від особливостей виконання маневрових і вантажних операцій та місцевих умов.

Сформовану модель ПТЛЦ в умовах прикордонної перевантажувальної станції доцільно інтегрувати як додаткову задачу до автоматизованих робочих місць (АРМ) оперативних працівників.

Реалізація моделі, що відтворює логістичну технологію в умовах ППВС, показала, що для усереднених вихідних даних можливо отримати оптимальне значення. З урахуванням системи обмежень для станції Чоп оптимальне значення партії контейнерів, що відправляється з ПТЛЦ, складає 10 контейнерів при мінімальних витратах 10245,38 грн.

Для перевірки системи на гнучкість отримано поверхню відгуку сукупних витрат у залежності від партії контейнерів, що формується у ПТЛЦ прикордонної перевантажувальної станції та інтенсивності надходження контейнерів (рисунок 11). Поверхня відгуку надає можливість визначити при різних січеннях точки оптимуму та відповідні їм значення сукупних витрат і партії контейнерів при певних значеннях інтенсивності надходження контейнерів у ПТЛЦ.

Реалізація транспортних технологій при здійсненні міжнародних перевезень з використанням ПТЛЦ дозволить збільшити переробну

спроможність прикордонних станцій, забезпечити підвищення ефективності перевізного процесу та знизити транспортні витрати.

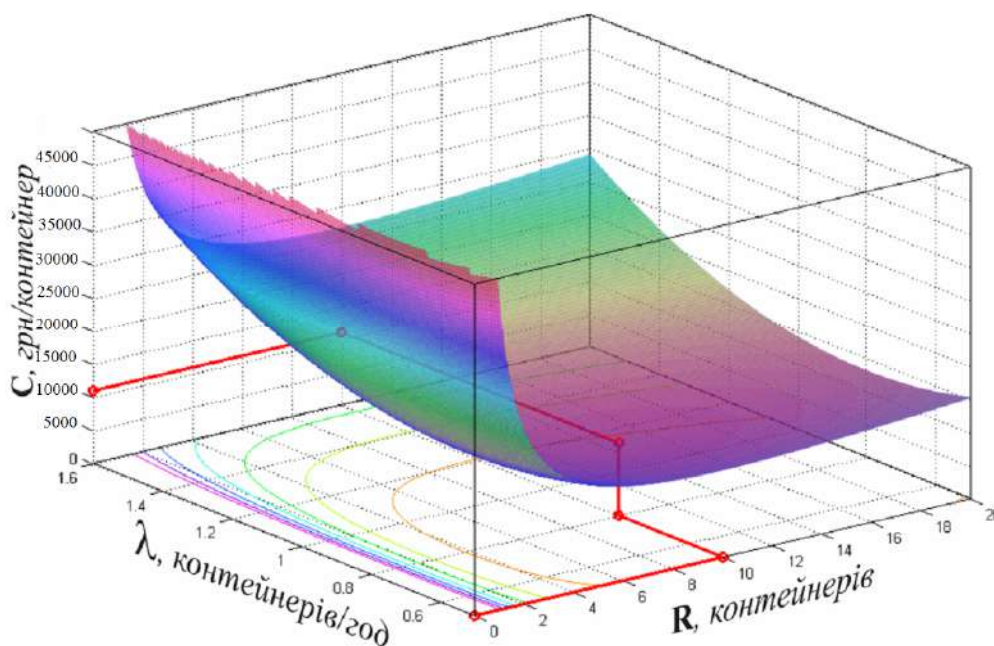


Рисунок 11 – Поверхня відгуку сукупних витрат у залежності від партії контейнерів, що формується у ПТЛЦ прикордонної перевантажувальної станції, та інтенсивності надходження контейнерів

III. ФОРМУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ ПРИКОРДОННОЇ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ

Перейти на якісно новий рівень в організації ефективної роботи прикордонних передавальних станцій із забезпеченням мінімальних простоїв вагонів дозволить впровадження нових інформаційних технологій. Це надає можливість впроваджувати нові методи роботи, відмовлятися від зайвих виробничих операцій, оптимізувати технологічні процеси.

Відповідно до проведеного аналізу існуючого програмного забезпечення АРМ маневрового диспетчера, постає задача розширення його функціональних можливостей за рахунок інтегрування розробленої моделі. Особлива роль відводиться управлінню маневровою роботою при виконанні маневрових

операцій на ППВС з мінімальними витратами вагоно- та локомотивогодин при подачі та прибиранні вагонів, формуванні транспортної партії в ПТЛЦ в умовах прикордонної перевантажувальної станції. Подібна задача може бути впроваджена також і на АРМ логіста ПТЛЦ.

У зв'язку з цим, пошук раціонального варіанту виконання відповідної маневрової операції може бути досягнуто при застосуванні машинного рішення задач управління маневровою роботою за допомогою запропонованої у розділі 2 моделі, що допоможе оперативним керівникам раціонально організувати роботу та ліквідувати непродуктивні простой рухомого складу.

Отже, сучасна спрямованість при формуванні АРМ повинна базуватись на розробці та впровадженні інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень (ІСППР) оперативного персоналу в режимі реального часу, що забезпечує високий рівень інтелектуалізації діяльності під час прийняття рішень у проблемних ситуаціях, які характеризуються великою складністю, невизначеністю та слабкою структурованістю. ІСППР допомагає людині використовувати дані та моделі для ідентифікації та вирішення задач і прийняття рішень. Ця система буде не тільки накопичувати інформацію та видавати результати, а й аналізувати комплекс даних для надання конкретних варіантів дій у певній ситуації [7]. Ціллю впровадження такої системи є підвищення ефективності рішень, що приймає маневровий диспетчер та логіст.

Запропонована інтелектуальна система моделює інтелектуальну діяльність на основі компоненти, що акумулює знання професіоналів, тобто бази знань, яка являє собою сукупність знань з технології роботи прикордонних станцій, що записані на машинний носій у формі, зрозумілій людині, інтерфейс користувача, блок логічного висновку, редактор бази знань та динамічну базу даних (рисунок 12). Блок логічного висновку – це програма, що відповідає за порядок та засоби актуалізації алгоритмічної частини бази знань. Редактор бази знань – це програма, що дозволяє видаляти, додавати та модифікувати факти й правила, які містяться у базі знань і

здійснювати перевірку на несуперечність при зміненнях у базі [8, 9]. Динамічна база даних (ДБД) містить оперативну інформацію про ситуацію на прикордонній станції. У ДБД зберігається необхідна для функціонування ІСППР конкретна формалізована інформація про станційні об'єкти та їх властивості: обсяги надходження вагонопотоків, інформація про перевізний процес за минулий період і теперішній час та ін. Інформація в ДБД оновлюється по мірі вводу працівниками станції повідомлень про виконання технологічних операцій.

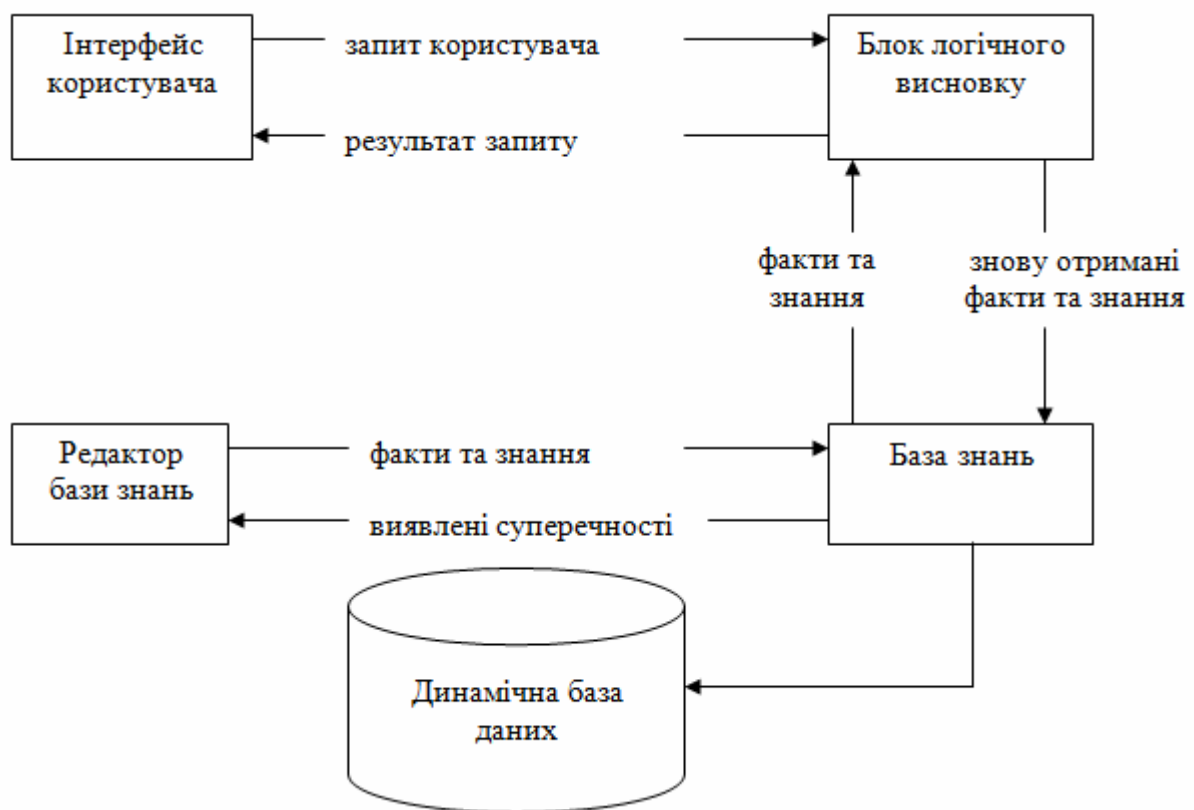


Рисунок 12 – Структура інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень

При прийнятті рішень людині надається можливість: виконувати візуалізацію необхідної інформації, формалізувати процес надходження рішень, використовуючи запропоновані ІСППР варіанти; використовувати формальні процедури узгодження при прийнятті колективних рішень.

В ІСППР використовуються сучасні математичні методи і комп'ютерні технології, які дозволяють людині, яка приймає рішення, вирішувати слабоструктуровані задачі, та такі, що вимагають обробки значних обсягів інформації для пошуку обґрунтованих рішень.

Людино–машинна процедура прийняття рішень за допомогою ІСППР являє собою циклічний процес взаємодії людини й комп'ютера. Цикл складається з фази аналізу та постановки задачі для комп'ютера, що проводить людина, яка приймає рішення, і фази оптимізації (пошуку рішення), яку проводить комп'ютер.

Принципи функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень повинні забезпечувати:

- сполучення ІСППР з автоматизованими системами керування реального часу;
- раціональний вибір мови подання й опрацювання знань;
- ІСППР використовує і дані, і моделі;
- можливість поповнення бази знань;
- генерацію можливих рішень (сценарії дій);
- здійснення оцінки сценаріїв, вибір кращого.

Такий підхід до людино-машинної процедури прийняття рішень за допомогою ІСППР допомагає уніфікувати множину процесів, що лежить в основі механізмів пошуку в уявній моделі керуючої діяльності, і співвіднести їх з логікою роботи людини. Якщо вдається перенести в комп'ютер знання людини з області управління системою, забезпечивши їй можливість зв'язку з комп'ютером, а моделі зв'язати з об'єктом управління, то в результаті можна отримати якісні та ефективні рішення від оперативних працівників.

Технологічні процеси, що проходять на прикордонній станції, залежать від взаємодії великого числа різноманітних компонент, об'єктів, умов, які, в свою чергу, можуть вести себе по різному, в залежності від ситуації, що склалася. У відносно невеликому обсязі пам'яті інтелектуальні системи повинні зберігати велику кількість інформації про задачі, що вирішуються в системі в процесі її функціонування. Вирішення цієї проблеми можливо лише при

спеціальній організації бази знань, однією з видів якої є фреймова організація, яку створив відомий американський вчений Марвін Мінський.

Мінський розглядає два види фреймів: статичні (або просто фрейми) та динамічні (фрейм-сценарії). Фрейм любого виду – це мінімально необхідна структурована інформація, яка однозначно визначає даний клас об'єктів [10].

На основі теорії фреймів дані про поїзний стан подаються у вигляді достатньо великої сукупності відповідним чином структурованих даних. Всебічне відображення кожної ситуації здійснюється за допомогою не одного, а системи фреймів. Кожний фрейм системи відповідає одній з можливих точок зору на ситуацію, що наведена системою фреймів. Різні фрейми відображають різноманітні шляхи використання однієї і тієї ж інформації, що зосереджена в базі знань.

Блок логічного висновку в запропонованій інтелектуальній системі складається з двох частин. Перша відповідає за те, щоб події, які відбуваються в системі фреймів, ставали відомими всім фреймам одночасно або в деякій послідовності. Друга частина – це обробники подій самих фреймів, що вирішують, який із методів треба актуалізувати у відповідь на отримане повідомлення щодо події, яка відбулася.

Графічно фрейм можна зобразити у вигляді мережі, що складається з вузлів і зв'язків між ними. Кожний вузол повинен бути заповнений своїм завданням, що являє собою різні характерні риси ситуації, якій він відповідає. Кожен вузол являє собою певне поняття, яке може бути, а може і не бути задано в явному вигляді. В останньому випадку воно може бути конкретизовано в результаті процесу узгодження даного фрейму з деякою конкретною ситуацією. Незадані в явному вигляді вузли називаються терміналами [10]. Вони утворюють нижні рівні графової структури, тоді як на верхніх рівнях розташовуються поняття, які завжди справедливі щодо представленої даними фреймами ситуації. Таким чином, сукупність заданих в явному вигляді вузлів – понять утворює основу для "розуміння" будь-

якої конкретної ситуації з визначеного для даного фрейму класу ситуацій. "Розуміння" відбувається шляхом конкретизації терміналів та узгодженням можливих для кожного з них понять з цілком визначеною, існуючою ситуацією. Важливим моментом є використання одних і тих же терміналів різними фреймами, що дозволяє координувати інформацію, яка збирається з різних джерел. Групи пов'язаних між собою фреймів об'єднуються в системи, які можуть відображати дії, причинно-наслідкові зв'язки та інше.

Враховуючи те, що процес обробки вагонів на прикордонних передавальних станціях є динамічним, тому базу знань у системі пропонується подати у вигляді фрейм-сценаріїв, що являють собою моделі стереотипних ситуацій.

Кожний фрейм-сценарій має свій заголовок, що визначає обставини, за яких звертаються до даного сценарію. Спосіб формалізації фрейм-сценарію запропоновано на графовій структурі. Вершина верхнього рівня ототожнюється з заголовком сценарію. Її дочірні вершини "ТА" являють собою схему дій маневрового диспетчера (ДСЦ) прикордонної станції і логіста ПТЛЦ при формуванні партії контейнерів (рисунк 13). Дочірні вершини "АБО" являють собою більш конкретні схеми дій маневрового диспетчера, а вершини "ТА" ще більше конкретизують дії ДСЦ, надані вершинами "АБО". Вибір кожної з них залежить від значення тесту, що наводиться списком питань. У залежності від відповіді на запитання обирається той чи інший вузол мережі, що визначає наступне питання тесту. В результаті має місце просування по мережі різними шляхами у залежності від характеру відповіді. Воно закінчується попаданням в один з можливих замикаючих вузлів, кожний з яких відповідає рекомендованій дії. При такому зображенні всі вершини "ТА/АБО" графа, що формалізує фрейм-сценарій, відповідають діям, причому тим більш конкретизованим, чим нижче за ієрархією вершина.

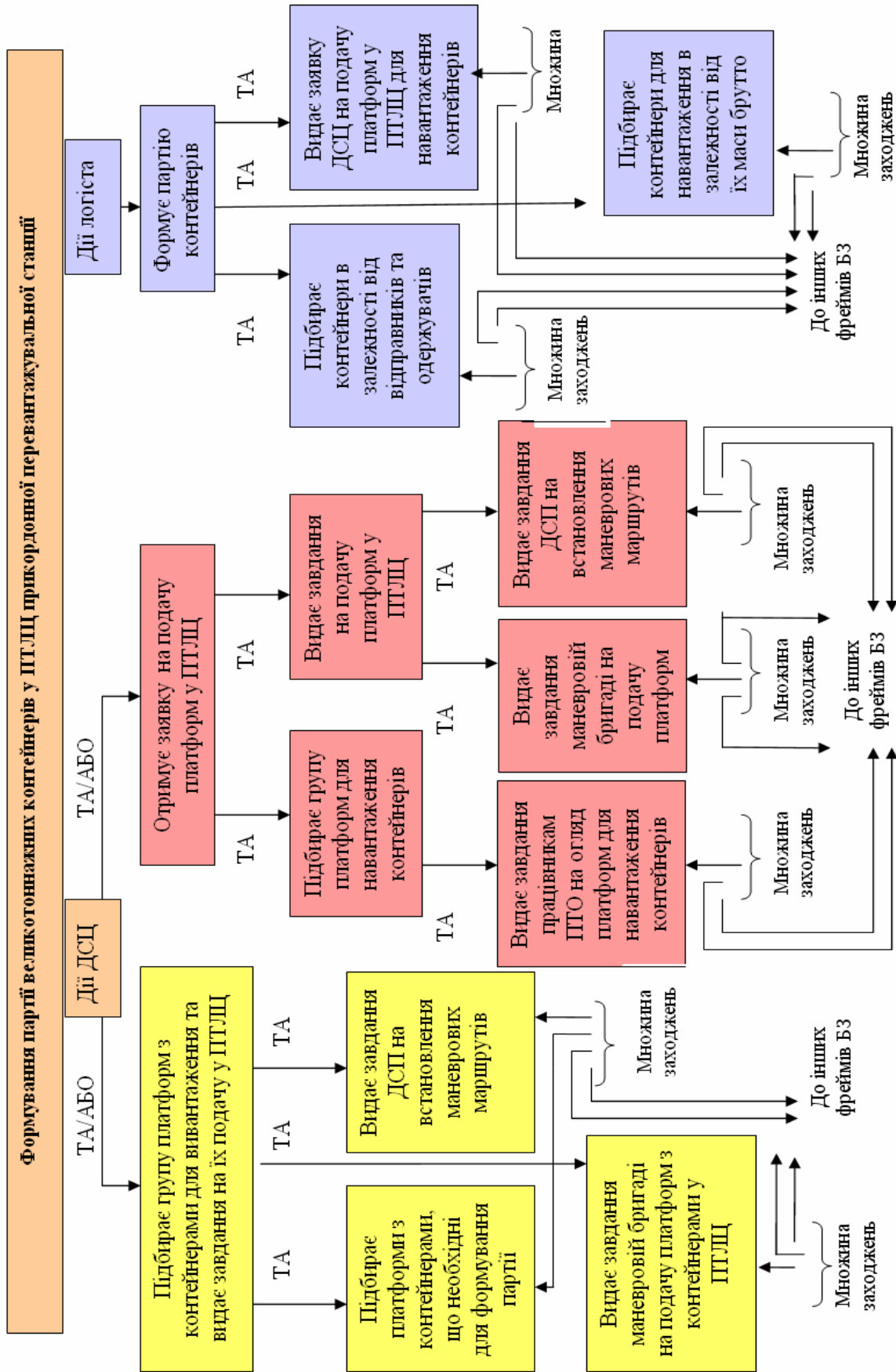


Рисунок 13 – Фрейм-сценарій “Формування партії великотоннажних контейнерів у ПТЛЦ

Треба відзначити, що ймовірна можливість багатократного заходження одних і тих самих схем дій у різні фрейм-сценарії. Ця ймовірність тим більша, чим більшу кількість фреймів включає база знань. Для використання цієї обставини з метою економії пам'яті потрібно зв'язати кожен схему дій з кожним своїм заходженням у фрейми за допомогою “множини заходжень”, яка надає вказівки на всі ті місця в базі знань, де є посилання на дану схему (рисунк 13).

Розглянемо тепер можливі механізми вибору з пам'яті фрейма і пристосування його до реальної ситуації. Як зазначено у М. Мінського, саме цей процес лежить в основі розуміння людиною реальної ситуації. У разі ж машинної бази знань цей процес відкриває доступ до знань, що матеріалізовані в пам'яті ЕОМ у вигляді сукупності системи фреймів. Цей механізм приводиться в дію двома доповнюючими одна одну потребами. Перша – полягає в необхідності знаходження завдань терміналами фрейму, що задовольняє маркери цих терміналів. Друга – обумовлена вимогою, щоб розглянутий фрейм задовольняв маркери терміналу більш загального фрейму. Іншими словами, кожен фрейм вважається пристосованим до ситуації, якщо він включений в більший фрейм як завдання його терміналу і якщо його термінали заповнені завданнями, що задовольняють маркери.

Встановлення розробленої інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень передбачається на автоматизованому робочому місці маневрового диспетчера прикордонної перевантажувальної станції та логіста ПТЛЦ для управління технологічними процесами.

Отже, при вирішенні задачі підбирання платформ для навантаження транспортної партії для пошуку порожніх платформ під навантаження великотоннажних контейнерів маневровий диспетчер обирає залізничний вузол, станцію, де зосереджено порожні платформи та задає їх необхідну кількість. Також вказує дату та час, на який потрібні вагони. ІСППР здійснює пошук та видає його результати, тобто на екрані монітора з'являється інформація про загальну кількість порожніх платформ на обраній станції, а також про число платформ, що можливо забрати на прикордонну

перевантажувальну станцію для навантаження партії великотоннажних контейнерів, подавання яких забезпечить мінімальні витрати вагоно- та локомотиво-годин.

Важливим засобом підвищення ефективності роботи прикордонних передавальних станцій є впровадження нових методів управління технологічними процесами на базі інформаційно-керуючих технологій, принципи функціонування яких і будуть розглядатися далі. Актуальність удосконалення ІКС (інформаційно-керуючої системи) особливо зростає в період реформування залізничного транспорту.

ІКС ППВС складається з двох частин: інформаційної та керуючої. Підсистеми інформаційної частини ІКС отримують інформацію з оперативних баз даних, здійснюють комплексну її обробку та передачу за затвердженим форматом як відповідним керівникам (особам, які приймають рішення), так і керуючим задачам, що працюють в автоматизованому режимі. Керуюча частина складається із сукупності керуючих задач, що охоплюють усі складові елементи оперативного керування. При формуванні ІКС ППВС центральною частиною залишається вирішення задач планування, прогнозу й аналізу експлуатаційної роботи ППВС [11].

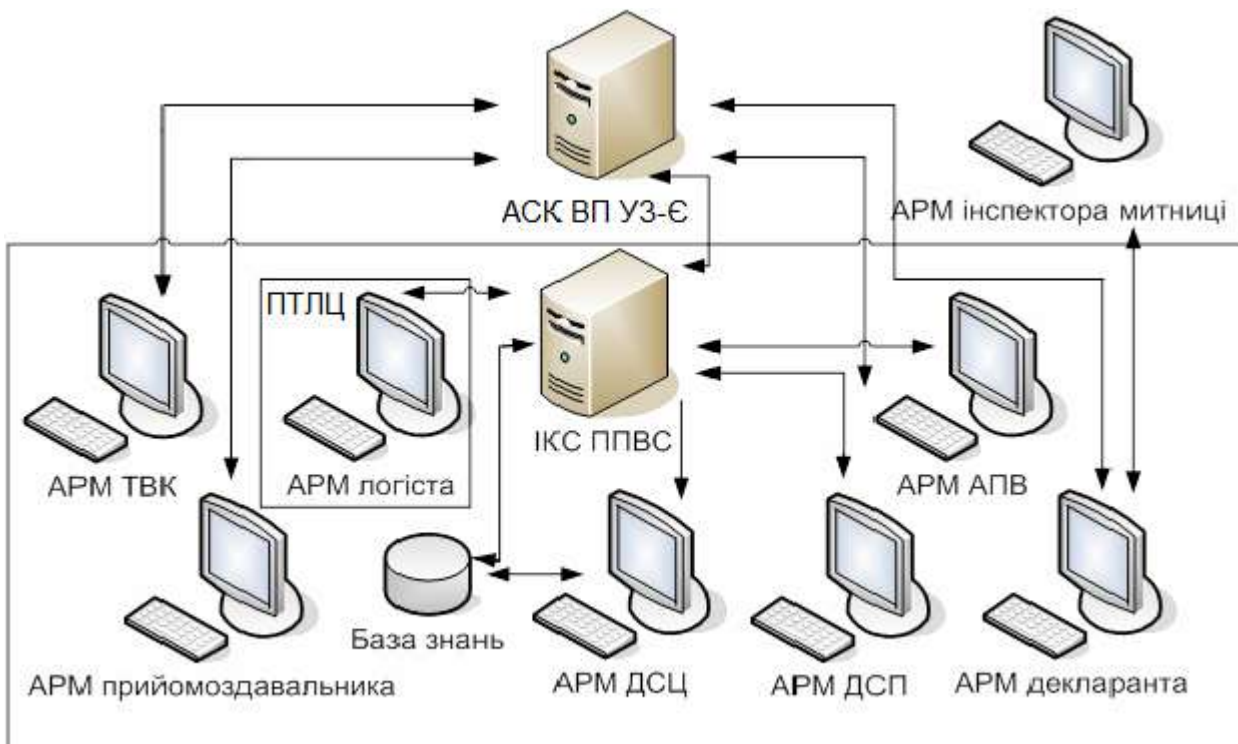
Стратегічними аспектами розробки ІКС ППВС є: оптимізація у реальному часі управлінських рішень з організації технологічних процесів на ППВС, спрямованих на мінімізацію витрат; збільшення доходів за рахунок використання маркетингових досліджень; підвищення рівня рентабельності та максимізація прибутку. Цю стратегію можна реалізувати за допомогою сукупності функцій, що виконуються в ІКС ППВС:

- формування необхідної інформації для Єдиної автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями (АСК ВП УЗ-Є);
- оперативний контроль та аналіз процесу обробки експортно-імпортного вагонопотоку на ППВС;
- економічна оцінка варіантів оперативних планів організації роботи ППВС (за допомогою системи підтримки прийняття рішень);

- контроль за просуванням вагонопотоку з дотриманням технологічних норм на виконання операцій;
- прогнозування змін в оперативній ситуації на станції;
- контроль за обсягом передачі вагонів через кордон;
- прийняття рішень щодо керуючого впливу на перевізний процес на ППВС;
- контроль за виконанням перевантаження вантажів із вагонів вузької колії у вагони широкої колії, а також формуванням та відправленням партії великотоннажних контейнерів з ПТЛЦ.

До ІКС ППВС входить значна кількість АРМ, кожне з яких має доступ до потрібної інформації про стан перевізного процесу відповідно до статусу користувача та обсягу роботи, яку він виконує. В свою чергу інформація з АРМ ДСЦ може використовуватись поїзним диспетчером при плануванні поїзної роботи з надходження поїздів до ППВС з іншої держави, накопичення та відправлення зі станції.

При формуванні удосконаленої структури ІКС ППВС потрібно враховувати зв'язки між АРМ працівників станції та автоматизованими системами різних рівнів та обмін інформацією між ними. На рисунку 14 наведена структура ІКС прикордонної перевантажувальної станції при застосуванні прикордонного транспортно-логістичного центру. Запропоновано впровадити лінію інформаційного обміну між АРМ декларанта та АСК ВП УЗ-Є, що дозволить декларантам отримувати інформацію щодо транзитних та імпорتنих вагонопотоків для попереднього оформлення митних декларацій. Таке впровадження сприятиме зменшенню простоїв вагонів на прикордонних станціях.



ТВК – товарний касир товарної контори, АПВ – агент передачі вагонів, ДСП – черговий по станції

Рисунок 14 – Структура ІКС ППВС за участю ПТЛЦ при використанні бази знань

З метою удосконалення інформаційної взаємодії з митницею запропоновано ввести лінію передачі всієї необхідної для митниці інформації через автоматизовану систему в електронному вигляді. Та ж сама кількість працівників зможе обробляти за добу більшу кількість поїздів – час обробки скоротиться в середньому на 2 години.

Отже, удосконалено структуру та комплекс задач інформаційно-керуючої системи прикордонної перевантажувальної станції за участю ПТЛЦ, що реалізує автоматизовану технологію управління вагонопотоками при здійсненні міжнародних перевезень, за рахунок інтегрування інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень з використанням бази знань до автоматизованих робочих місць оперативного персоналу.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] В.О. Шиш, М.Ф. Тітов, В.І. Крячко, В.К. Мироненко та М.І. Луханін, "Intergauge-технологія – шлях інтеграції залізниць країн СНД та Європейського Співтовариств", *Залізничний транспорт*, 2006, № 4, С. 3–8.
- [2] Є.С. Альошинський та О.С. Пестременко-Скрипка, "Аналіз впливу простою міжнародного вагонопотоку на оборот вагонів", *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*, Харків, Вип. 137, 2013, С. 24-29.
- [3] Г.С. Бауліна, П.О. Дідух, А.М. Карпаш та І.І. Федорняк, "Удосконалення технології функціонування перевантажувального комплексу прикордонної перевантажувальної станції", *Збірник наукових праць Укр. держ. унів. залізнич. трансп.*, Харків: УкрДУЗТ, 2016, Вип. 162, С. 182–188.
- [4] М.І. Данько, А.М. Котенко, В.І. Шевченко та П.С. Шилаєв, "Транспортна логістика": навч. посіб., Харків: ПП видавництва "Нове слово", 2010, 256 с.
- [5] В.М. Руденко, "Математична статистика": навч. посіб, К.: Центр учбової літератури, 2012, 304 с.
- [6] Збірник № 25 Правил перевезень і тарифів залізничного транспорту України, К.: Укрзалізниця, 2008.
- [7] L. Skyttner, "General Systems Theory: Problems, Perspectives, Practice", World Scientific Publishing Company; 2 edition, 2006, 536 p.
- [8] K. Bladon, D. Rennison, G. Izbinsky, R. Tracy and T. Bladon, "Predictive condition monitoring of railway rolling stock", *CORE-Conference On Railway Engineering*, 20-23 June 2004, Darwin, Australia.
- [9] Т.А. Гаврилова и В.Ф. Хорошевский. "Базы знаний интеллектуальных систем", СПб.: Питер, 2000. – 384 с.
- [10] М. Мински, "Фреймы для представления знаний, М.: Энергия, 1979.
- [11] Г.С. Бауліна, "Удосконалення інформаційно-керуючої системи прикордонної передавальної станції на основі застосування інтелектуальних технологій", *Збірник наукових праць*, Донецьк: ДонІЗТ, 2011, Вип. 25, С. 39 – 45.

Організаційно-технологічні аспекти мультимодальних перевезень в міжнародному сполученні

Надія Новальська

*Національний авіаційний університет,
м. Київ, Україна*

I. ОРГАНІЗАЦІЙНІ ЗАСАДИ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ

Глобалізація світової економіки та розвиток зовнішньоекономічної діяльності призвели до необхідності організації міжнародних перевезень вантажів на велику відстань не лише між країнами, а й між континентами. Такі перевезення вимагають використання різних видів транспорту з перевалкою вантажу, тому за останні десятиліття широкого розповсюдження набувають мультимодальні перевезення.

Вантажовласникам в сучасних умовах ведення бізнесу зручніше мати справу з єдиним оператором на всіх етапах транспортно-логістичного процесу з пункту відправлення вантажу до пункту його призначення. Мультимодальні перевезення надають можливість уникнути зволікань, пов'язаних з переоформлення супровідних документів при перевантаженні вантажу з одного виду транспорту на інший, можливих неузгодженостей в роботі транспортних компаній, складських комплексів тощо. Оператор мультимодального перевезення бере на себе визначення оптимального маршруту транспортного процесу та виконання його з гарантією якості.

Для розуміння поняття «мультимодальні перевезення» (від словосполучення «multi-modal»; «багато» - multi; modal - вид, форма) та закономірностей його трактування, а також враховуючи відчутне поширення його застосування в практиці міжнародних перевезень та на вітчизняному ринку вантажних перевезень розглянемо його суть.

В світовій практиці найбільш поширеною є «Термінологія комбінованих перевезень» Європейської економічної комісії з питань торгівлі і розвитку (ЮНКТАД) мультимодальні перевезення (Multimodal transport) - це перевезення вантажів двома і більше видами транспорту [1].

В англomовній редакції Конвенції ООН «Про міжнародні змішані перевезення вантажів» (United Nations Convention on International Multimodal Transport of Goods) від 1980 року так званої Женевської конвенції застосовується термін «multimodal», а в україномовній та російськомовній міститься його переклад як «змішані», «смешанные». Можливо, це є однією із причин змішування понять «мультимодальні» та «змішані» перевезення. В Конвенції зазначено, що «міжнародне змішане перевезення – це перевезення вантажів з використанням мінімум двох різних видів транспорту на підставі договору змішаного перевезення з місця в одній країні, де вантажі надходять до відання оператора змішаного перевезення, до місця доставки в іншій країні» [2].

Відповідна термінологія розглядається в ряді офіційних документів ООН та в міжнародних конвенціях і нормативно-правових актах деяких країн, наприклад: Європейської економічної комісії, Європейської конференції міністрів транспорту, Організації співробітництва залізниць тощо.

В світовій практиці вантажних перевезень, коли для транспортування вантажу застосовується декілька видів транспорту, використовують різні терміни: «мультимодальні», «змішані», «комбіновані», «інтермодальні». В будь-якому випадку, всі поняття передбачають такий процес перевезення, коли необхідно доставити вантаж із однієї точки в іншу, застосовуючи декілька видів транспорту.

Розширене визначення терміну наводиться в праці [3], автори якого зазначають, що мультимодальні разом із сегментованими перевезеннями є різновидом змішаних перевезень, та приводять наступне визначення: «міжнародне мультимодальне перевезення це вантажне перевезення двома або більше видами транспорту, за одним

контрактом (з наскрізною тарифною ставкою), за одним документом (наскрізним коносаментом) та однією відповідальною стороною – оператором мультимодальних перевезень».

Аналізуючи мультимодальні перевезення з правової точки зору, Н.О. Бутакова зазначає, що це «складний вид підприємницької діяльності, пов'язаний з об'єднанням різних транспортних організацій з метою переміщення товарів з пункту відправлення в пункт призначення на різних видах транспорту за єдиним документом протягом усього маршруту» [4].

В праці [5] наводиться наступне трактування поняття «мультимодальне перевезення»: «це перевезення вантажів, коли особа, яка її організує, несе відповідальність за вантаж на всьому шляху транспортування, незалежно від кількості видів транспорту, що приймають участь, при оформленні єдиного перевізного документа».

Транспортно-логістичні компанії, в тому числі і вітчизняні, наводять трактування поняття «мультимодальні перевезення» на власних інтернет-сайтах, наприклад:

1) «вантажоперевезення, які здійснюються за допомогою декількох видів транспорту в межах одного договору» [6];

2) «комбінування різних видів транспорту для здійснення одного перевезення» [7];

3) «процес доставки вантажу декількома видами транспорту, з використанням перевантажувальних терміналів; ... здійснюється по одному контракту» [8].

Єдиного підходу щодо трактування поняття «мультимодальні перевезення» наразі ще не напрацьовано. Термінологічні суперечності щодо визначення поняття існують, однак слід зазначити, що головною відмінною рисою даного виду перевезень є наявність оператора мультимодальних перевезень, який несе відповідальність за весь процес доставки вантажу, виконане принаймні двома видами транспорту при оформленні єдиного транспортного документу.

Неповністю вирішено питання щодо законодавчого регулювання розвитку мультимодальних перевезень в Україні, зокрема організаційних та правових засад, а також державної підтримки.

Правовідносини в сфері мультимодальних перевезень на даний час регулюються рядом нормативно-правових актів, зокрема: Господарським кодексом України, Цивільним кодексом України, Митним кодексом України, Повітряним кодексом України, Кодексом торговельного мореплавства України, Законами України “Про транспорт”, “Про залізничний транспорт”, “Про автомобільний транспорт”, “Про транзит вантажів”, “Про транспортно-експедиторську діяльність”, “Про зовнішньоекономічну діяльність” тощо.

Проектом Закону України "Про мультимодальні перевезення" визначається, що: мультимодальні перевезення передбачають використання двох та більше видів транспорту; цей вид перевезення вантажів здійснюється на підставі договору мультимодального перевезення; на всьому маршруті мультимодального перевезення застосовується єдиний перевізний документ (документ мультимодального перевезення вантажів).

Слід звернути увагу, що при здійсненні міжнародних мультимодальних перевезень необхідно дотримуватися правил міжнародних договорів, до яких приєдналася Україна, даючи свою згоду на їх виконання. Вони є першорядними в порівнянні із вітчизняними законодавчим актом.

Питання транзитних мультимодальних перевезень вантажів в Україні регулюється Законом України “Про транзит вантажів”.

2 грудня 2020 р. Україна приєдналася до Угоди про розвиток мультимодальних перевезень ТРАСЕКА. Держави-учасниці «Основної багатосторонньої угоди про міжнародний транспорт щодо розвитку коридору Європа - Кавказ – Азія» (ОБУ) визначили мультимодальні перевезення вантажів як перспективний вид перевезень. ОБУ має за мету координувати дії учасників процесу мультимодальних перевезень шляхом створення єдиної правової основи для здійснення даного виду перевезень, чіткого визначення

поняття «документ мультимодального перевезення» та його змісту, встановлення межі відповідальності оператора мультимодального перевезення та вантажовідправника, визначення необхідності укладання єдиного договору мультимодального перевезення протягом усіх етапів транспортування незалежно від зміни виду транспорту [9].

У відповідності до Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, ратифікованою Законом України №1678-VII від 16.09.2014 р., визначено напрями співробітництва в сфері міжнародних перевезень. Україна зобов'язалася гармонізувати вітчизняне законодавство в сфері транспорту протягом десяти років перехідного періоду з метою скоординованого розвитку та лібералізації перевезень [10].

Міжнародні мультимодальні перевезення є складним транспортно-логістичним процесом, який передбачає визначення оптимального маршруту (за певними критеріями), вибір та обґрунтування ефективного способу виконання транспортного процесу, контролювання кожного етапу перевезення, організацію взаємодії в роботі визначених видів транспорту та пунктів перевалки вантажу, оформлення необхідних супровідних документів, врахування численних факторів ризику тощо. Тому слід зазначити, що даний вид перевезення є одним з найскладніших в організаційному питанні способом доставки вантажів.

Організація мультимодальних перевезень опирається на взаємодію учасників, які приймають участь в перевезенні вантажів (рис. 1).

Суттєвою перевагою та головною особливістю мультимодального процесу транспортування вантажів є те, що в ролі організатора процесу доставки виступає оператор мультимодальних перевезень (ОМП). Укладаючи договір мультимодального перевезення, замовник послуги повністю перекладає на єдиного оператора всі організаційні питання щодо перевізного процесу на всьому маршруті. Таким чином, на ОМП покладається

відповідальність за повний транспортно-логістичний цикл, що в свою чергу сприяє еволюції ефективної системи управління, контролю та координування роботи всіх елементів різних рівнів транспортно-логістичної системи. ОМП пропонуючи замовникам асортимент транспортно-логістичних послуг, також враховує потреби замовника щодо оптимізації процесу доставки вантажу за визначеними критеріями, здійснює оформлення пакету документів на перевезення, координування перевезень різними видами транспорту, розробку логістичної схеми транспортування вантажу, контроль за проходженням товарного потоку, калькуляцію наскрізної тарифної ставки.



Рисунок 1 – Учасники мультимодального перевезення

ОМП обирає вид транспорту та маршрут перевезення, має право їх змінювати за умови внесення змін до договору, який укладено з замовником послуги. У випадку, якщо замовник не надав всіх необхідних товарно-транспортних документів, супровідних документів ОМП має право не приступати до виконання обов'язків за договором мультимодального перевезення.

Згідно Конвенції ООН про міжнародні змішані перевезення

вантажів ОМП несе відповідальність:

- за навмисне внесення в документ змішаного перевезення неправильних даних або, навпаки, не вносить певні дані (стаття 11);
- за вантаж з моменту його прийняття від вантажовідправника або особи, що діє від його імені, до моменту передавання вантажоотримувачу (стаття 14);
- за діяльність або бездіяльність своїх службовців та агентів, або інших осіб, які надають послуги в межах виконання договору змішаного перевезення (стаття 15);
- за збитки, які пов'язані із втратою або пошкодженням вантажу, затримкою в доставці, за умови, що в цей період вантаж перебував у введенні оператора; ця відповідальність знімається, якщо буде доведено, що ОМП вжив всіх можливих заходів, щоб уникнути подібних обставин та наслідків (стаття 16);
- за супутні причини, що призвели до збитків через втрату або пошкодження вантажу, затримку в доставці, які не обумовлені провиною з його боку (стаття 17) [2].

Для порівняння розглянемо межі відповідальності ОМП у відповідності до норм, визначених у Проекті Закону України «Про мультимодальні перевезення», схваленому в першому читанні. Договором мультимодального перевезення визначаються обов'язки ОМП, які він має виконувати в повному обсязі та належним чином. А також він несе відповідальність за певні дії або бездіяльність фактичних перевізників, власників мультимодальних терміналів, третіх осіб, які залучені до надання послуги мультимодального перевезення [11].

Особливість здійснення міжнародних мультимодальних перевезень полягає також в тому, що ОМП та фактичні перевізники повинні використовувати в якості товарно-транспортних документів тільки ті, які визначені міжнародними договорами України. ОМП використовують єдиний перевізний документ на тій частині маршруту, який проходить по території України, і на території іноземних держав, якщо це передбачено міжнародними договорами України.

Питання оптимізації транспортних процесів є актуальним для сучасного суспільства, оскільки людина завжди прагне знайти якнайкраще рішення в будь-якій сфері діяльності. Визначення оптимальних маршрутів для мультимодальних перевезень сприятиме своєчасному та з мінімальними витратами виконанню замовлення на транспортування вантажу.

Моделюючи процес мультимодальних перевезень ОМП намагається знайти оптимальний план, який пропонує найкращий варіант використання існуючих умов для забезпечення максимально можливого економічного ефекту (наприклад, швидкісна доставка за мінімальних витрат). На практиці, як правило, ефективність процесу мультимодального перевезення оцінюється не за одним, а одночасно за кількома критеріями. Одні з них максимізуємо, інші – мінімізуємо.

В організаційному аспекті здійснення мультимодальних перевезень важливе місце посідає питання визначення єдиної наскрізної тарифної ставки. Згідно світового досвіду величина наскрізної ставки може варіюватися залежно від того, чи володіє ОМП транспортними засобами. ОМП маючи власні транспортні засоби (Carrier-МТО) зацікавлені їх завантажувати, хоча це не завжди може мінімізувати витрати, але дасть кращі можливості у випадку неповного завантаження транспортних засобів тарифікувати граничні витрати. ОМП, які не володіють власним транспортом (Non-Carrier-МТО), розглядають кілька можливих варіантів перевезення за певними критеріями. Визначаючи розмір тарифу враховують місце відправлення та призначення, можливі варіанти маршруту. Тариф має бути певною мірою бути привабливим для замовника послуги як за величиною вартості так і за строками доставки, оскільки не завжди вимогою замовника є критерій мінімум витрат часу та мінімум вартості.

Як зазначають автори [12], світовий досвід формування наскрізного тарифу свідчить, що в його основу покладено: вартість перевезення вантажу видами транспорту, що залученні до процесу транспортування (фактичні перевізники); вартість основних та супутніх послуг, що надаються в транспортних терміналах, на

митниці; вартість страхування відповідальності ОМП; запланований прибуток ОМП.

Правові питання документаційного забезпечення мультимодальних перевезень в міжнародному сполученні розглядалися під час:

- 1) Бернської міжнародної конвенції про залізничні перевезення вантажів 1890 року (передбачена спеціальна форма накладної);
- 2) Стокгольмської конференції Міжнародної торгової палати 1927 року (актуальність питання про необхідність уніфікації документів на змішаного перевезення);
- 3) Токійської конференції Міжнародного морського комітету 1969 року (розроблено «Токійські правила»);
- 4) засідання Міжнародної федерації експедиторських асоціацій (FIATA), на якому розроблено FBL (FIATA Multimodal Transport Bill of Lading) - мультимодальний транспортний коносамент FIATA, оборотний документ експедитора, який приймає на себе зобов'язання та відповідальність перевізника; FWB (FIATA Multimodal Transport Waybill) - мультимодальний транспортний коносамент FIATA, необоротний документ експедитора, який приймає на себе зобов'язання та відповідальність перевізника (може використовуватися як морська накладна);
- 5) засідання БІМКО розробила в 1977 році такий коносамент, як COMBIDOC, що в основному використовується оператором змішаного перевезення, який експлуатує морські судна (Vessel Operator Multimodal Transport Operator, VOMTO);
- 6) ООН ухвалено Конференцію з торгівлі та розвитку (ЮНКТАД) та MULTIDOC - документ, розроблений з метою сприяння впровадженню в практику Конвенції ООН про міжнародні змішані перевезення вантажів.

В практиці діяльності ОМП мають місце ситуації, коли можна досягнути зменшення тарифу при міжнародних перевезеннях за рахунок знижок з базової ставки тарифів, при бронюванні місць, при

забезпеченні завантаження транспортних засобів у зворотних рейсах, при організації колових поїздок.

З метою мінімізації ризиків, які можуть мати місце в процесі міжнародних мультимодальних перевезень проводиться страхування вантажів та професійної відповідальності. Відповідна норма права закріплена в законопроекті України «Про мультимодальні перевезення» (стаття 18). Міжнародні перевезення для всіх учасників транспортно-логістичного процесу мають високий ступінь комерційних, підприємницьких та логістичних ризиків. При транспортуванні мають справу зі статичним видом ризику (ризик втрати): найчастіше мають місце пошкодження та втрата вантажу, ніж його пошкодження. Підприємницькі ризики в міжнародних перевезеннях можуть мати місце для вантажовідправника та вантажоотримувача (невиконання договірних обов'язків, форс-мажорних обставин). Транспортний ризик як частина підприємницького (втрати або пошкодження вантажу в процесі транспортування) в міжнародних перевезеннях відрізняється, на відміну від внутрішніх, більш складними умовами доставки вантажу. Транспортні ризики в міжнародній торгівлі згідно Правил INCOTERMS класифікуються за ступенем ризику та переходу прав власності на товар. Для учасників мультимодальних перевезень має місце ще репутаційний ризик, тобто втрата репутації через невиконання послуги.

В діяльності ОМП ймовірність виникнення ризику досить висока, тому він повинен розробляти: політику уникнення ризику, політику прийняття ризику, політику зниження ступеня ризику. Однак ступінь ризику є неоднаковий на різних видах транспорту. Так, перевезення вантажу повітряним транспортом має меншу ймовірність псування вантажу, а найбільша ймовірність виникнення страхового випадку при транспортуванні автомобільним та водними видами транспорту. Можливими причинами страхових випадків можуть бути: аварійна ситуацій, в результаті якої втрачено або пошкоджено вантаж; недотримання умов зберігання та транспортування вантажу, в результаті чого втрачено або пошкоджено вантаж, втрачено його

корисні властивості; недотримання термінів доставки вантажу, а саме їх перевищення з незалежних від перевізника причин, в результаті чого відбулося псування вантажу (наприклад, через несприятливі погодні умови, природні катаклізми, розбійний напад тощо).

Для зняття матеріальної відповідальності за вантаж, який прийнято до транспортування, компанія-перевізник страхує свою відповідальність (CMR) при міжнародних вантажних перевезеннях. Наявність CMR є однією із переваг вантажоперевізника при пошуку потенційних клієнтів.

Розвиток міжнародного автомобільного сполучення актуалізував питання обов'язкового страхування цивільної відповідальності іноземних власників автотранспортних засобів. В країнах-членах міжнародної системи автомобільного страхування «Зелена картка» застосовується сертифікат єдиної форми (Бельгія, Великобританія, Греція, Данія, Ірландія, Італія, Люксембург, Нідерланди, ФРН та Франція). Україна стала членом цієї системи в 1997 році. Наша країна представлена в цій міжнародній системі Моторним (транспортним) страховим бюро України (МТСБУ), яке виступає гарантом відшкодування шкоди на території країн-членів «Зеленої картки», заподіяної власниками транспортних засобів, які зареєстровані в Україні. Сертифікат «Зелена картка» може діяти в межах до 1 року. Цей термін обирається на власний розсуд страхувальником. Крім того, сертифікат має різну вартість в залежності від країни відвідування, строку дії сертифікату, типу транспортного засобу.

Для страхування вантажів при морських перевезеннях використовують застереження Інституту лондонських страховиків, які визначають обсяг відповідальності, що приймає на себе страхова компанія:

- застереження типу А “З відповідальністю за всі ризики” – відповідальність за пошкодження або загибель майна, що перевозиться, яка виникла за будь-яких обставин. Необхідно доводити необхідність та обґрунтованість заходів з порятунку вантажу у повному обсязі. Застереження типу А надає

найширше страхове покриття та користується найбільшою популярністю.

- застереження типу В “З відповідальністю за приватну аварію” – компенсація виплачується при стихійних лихах (землетрусі, дії вулкану або блискавки), катастрофах внаслідок зіткнення судна або іншого транспортного засобу з будь-якими зовнішніми об'єктами, викидання за борт або намокання, пожежах, вибухах (середнє страхове покриття);
- застереження типу С “Без відповідальності за пошкодження” дуже схожі із застереженнями типу В, однак відшкодування збитків за варіантом С є меншим.

На підставі застереження Інституту лондонських страховиків можна також страхувати вантажі, які перевозяться автотранспортом.

При визначенні ступеня ризику під час здійснення міжнародних перевезень враховують ряд основних факторів, а саме: вид та характер вантажу, тип обсягу страхової відповідальності, технічні характеристики транспортного засобу, маршрут транспортування, вартість вантажу, спосіб відправлення вантажу. Наприклад, під час тривалого простою на митниці є висока ймовірність крадіжок. Як свідчить статистика, з автотранспортного засобу крадіжка вантажу для злочинців є найзручнішою. В зв'язку з цим автомобільні перевезення вважають найризикованішими та мають найвищі тарифні ставки. При морських перевезеннях привертає увагу фактор віку транспортного засобу. Як правило, судна, які експлуатуються понад 15 років найчастіше потрапляють в аварійні ситуації. Перші позиції в списку суден посідають танкери, ролкерні судна. З криміногенної точки зору найнебезпечнішими регіонами для морських перевезень є райони Східного Африканського узбережжя та Південно-Китайського моря (піратство), Південної Африки (тероризм). Регіонами, де найчастіше судна сідають на мілину, мають місце пожежі та вибухи є Біскайська та Мексиканська затоки, протоки Ла-Манш та Па-де-Кале, Північноатлантична траса, моря Південно-Східної та Східної Азії, Західне узбережжя Африканського континенту.

Важливою складовою організації мультимодальних перевезень є використання інформаційних систем. Інформаційні потоки необхідні для супроводу доставки вантажів в транспортно-логістичній системі, гарантуючи її стійкість та керованість. Процес мультимодального перевезення вантажів є досить складним, оскільки вимагає координованості дій всіх його учасників. Не маючи повного інформаційного забезпечення неможливо відслідкувати де перебуває вантаж, забезпечити своєчасну перевалку та доставку вантажу. Виникає потреба в інформаційному забезпеченні всіх сторін мультимодального перевезення вантажу: вантажовідправника, вантажоотримувача, оператора мультимодального перевезення, представників транспортно-логістичних компаній. В міжнародних перевезеннях виникають певні складнощі в здійсненні контролю за транспортними засобами та вантажними одиницями.

Центр ООН зі спрощення процедур торгівлі та електронним діловим операціям (СЕФАКТ ООН) здійснює розробку базових семантичних стандартів, серед яких Стандарт ООН для електронного обміну даних в управлінні, торгівлі та на транспорті (ЕДІФАКТ ООН). Для кожного сектора економічної діяльності створено «довідкові моделі даних» (ДМД), зокрема, для управління мультимодальними транспортними послугами (ДМД ММП). В ДМД зібрано всі необхідні вимоги щодо певного сектора економічної діяльності, а також вони охоплюють вимоги до інформації та документації. В Україні нині розглядається питання розвитку та застосування ДМД в практичній діяльності в сфері торгівлі, транспорту і логістики з метою цифрової трансформації обміну даними та документами при мультимодальних перевезеннях.

II. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ МІЖНАРОДНИХ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Технологічний аспект мультимодальних перевезень полягає у підготовці вантажу до перевезення, доставки його на термінал, виконання навантажувально-розвантажувальних робіт, складських робіт, безпосередньо сам процес транспортування, забезпечення

взаємодії транспорту. Детальне погодження технологічних процесів між собою є важливим завданням в процесі здійснення мультимодальних перевезень. Процес взаємодії полягає в синхронізації та координації технологічних режимів видів транспорту. Даний процес здійснюється вже на стадії розробки проекту і продовжується під час оперативного регулювання транспортних процесів. Під час формування технологічної системи доставки вантажу відбувається взаємоузгодження технічних, технологічних, економічних, організаційних, комерційних та правових питань, які потребують вирішення для забезпечення ефективного перевезення вантажу. Так, наприклад, при визначенні технологічних питань щодо вибору видів та марки транспортних засобів враховують технічні можливості, а саме відповідність вантажопідйомності транспортних засобів обсягам вантажу, що планується перевести. Також виникають небезпеки втрати матеріальних цінностей в наслідок передачі вантажу з одного виду транспорту на інший. Тому в наш час все більше віддається перевага транспортування вантажів у контейнерах, застосування технології знімного кузова, трейлерні та контрейлерні системи перевезення вантажів.

Сучасні мультимодальні технології транспортування вантажів розрізняють в залежності від складу мультимодальної системи транспортування (рис. 2).

Вибір способу транспортування та виду транспорту, тобто технології перевезення, може здійснюватися на основі таких критеріїв, як: мінімальні затрати на транспортування; час доставки вантажу; максимальна надійність та безпека; мінімальні затрати, пов'язані з запасами в дорозі; потужність і доступність видів транспорту; продуктова диференціація. Однак головним критерієм, як правило, є транспортні витрати. Під час розв'язання конкретних транспортних задач часто потрібно враховувати додаткові обмеження, що не зустрічалися при розгляді простих варіантів даних задач. Замовники транспортних послуг нині доволі часто звертають увагу на додаткові критерії, до яких належать можливість отримання

замовленого товару в чітко визначені строки, якісне інформаційне супроводження процесу виконання замовлення.



Рисунок 2 – Мультимодальна система транспортування вантажів

В складі мультимодальної транспортної мережі розглядають: мультимодальні транспортні коридори, мультимодальні транспортні вузли, мультимодальні транспортні шляхи, мультимодальні транспортно-логістичні центри.

Транспортний вузол, який пов'язує між собою мережі різних видів транспорту є мультимодальним. Новими вузловими елементами є портали, хаби, термінали, гетвеї.

Найбільш складним транспортним вузлом, де перетинаються різні види транспорту, вважаються морські гирлові порти. Вони

пов'язують сухопутний та водний види транспорту (морський, річковий, залізничний, автомобільний). Основним завданням такого транспортного вузла є передача вантажу з сухопутного транспорту на водний або навпаки. Робота порту організується таким чином, щоб час перебування суден та сухопутного транспорту був мінімальним. Сучасні судна мають вантажопідйомність від десяти до ста тисяч тонн, що дає можливість зменшити вартість перевезення та скоротити час на навантажувально-розвантажувальні роботи.

Морські транспортні вузли в складі виробничої структури мають технологічні перевантажувальні комплекси, необхідні для комплексного обслуговування морського транспорту, виконання навантажувально-розвантажувальних робіт в процесі приймання або передавання вантажів з залізничного, автомобільного, річкового транспорту. Деякі порти, в залежності від їх складу та обсягів вантажообігу, можуть мати: спеціалізоване підйомно-транспортне обладнання, яке використовується для обробки спеціалізованих суден та конкретних видів вантажів; причали для контейнерів, ліхтеровозів, поромів, суден з горизонтальним способом вантажообробки; причали для спеціалізованих вантажів (генеральних, швидкопсувних, небезпечних вантажів тощо). Схема механізації перевантажувальних робіт може бути наступною: в оперативній зоні розміщуються портові крани, вантажопідйомність яких залежить від характеру вантажу (від 10 т і вище); з метою розширення складської площі навалочних вантажів портові крани можуть бути розміщені в дві лінії.

Про ефективність діяльності порту свідчить система показників (рис. 3).

До найбільш продуктивних морських портів світу належать:

1) порт Шанхаю, КНР - глибоководний морський і річковий порт, найбільший в світі за вантажообігом, має торгівельні зв'язки з 500 портами 200 країн світу, має 125 причалів, вантажообіг в 2019 р. становив 43,3 млн. TEU, обробляється понад 2000 контейнерних судів в місяць;

2) порт Сінгапуру – загальна площа 436 га, обладнаний причалами для суден різного типу, щоденно приймає близько 150

суден, вантажообіг в 2019 р. становив 37,19 млн. TEU, приймає вантажі з 600 портів 123 країн світу;

3) порт Роттердама, Нідерланди – за обсягами оброблюваних вантажів займає перше місце в Європі, вантажообіг в 2019 р. становив 14,81 млн. TEU, протяжність 40 км, має одну з найбільших в світі портових акваторій, що дозволяє обслуговувати величезні судна, вважається найбільш технологічним через високий рівень автоматизації навантажувально-розвантажувальних робіт та унікальної портової спецтехніки;

4) Порт Джебель-Алі, ОАЕ – найбільший за розмірами та завантаженістю порт Близького Сходу, має 77 причалів, вхідна глибина 17 метрів, обробляє щорічно вантажі в кількості 15 млн. TEU, порт може обслуговувати судна вантажопідйомністю до 545 тис.т та довжиною до 414 м, має сполучення з вантажним аеропортом Дубая та забезпечує протягом чотирьох годин процес перевантаження між літаками та морськими суднами;

5) Порт Лос-Анджелеса, США - найбільший порт Американського континенту, вхідна глибина 10-16 метрів, загальна площа 3,5 тис.га, має 270 глибоководних причалів, 27 вантажних терміналів, вантажообіг в 2020 р. становив 9,2 млн. TEU, найбільш завантажени контейнерний порт США;

6) Порт Пусан, Південна Корея – займає важливу позицію в загальносвітовій логістиці, має загальну площу 153 га, вантажообіг в 2019 р. становив 21,99 млн. TEU, приймає судна водотоннажністю до 50 тис. т, довжиною до 330 м, з осадом при повній завантаженості до 12,5 м, є одним з найважливіших портів світу, через який проходить переважна більшість морепродуктів світу;

7) Порт Амбарлі, Туреччина – один з найстаріших в світі, має вихід до Мармурового та Чорного морів, вантажообіг в 2020 р. становив близько 8 млн. TEU.

В 2020 році лише 14 портів в світі мали обсяг перевалки вантажів понад 10 млн. TEU. До них належать такі порти, як: Шанхай, Сінгапур, Нінбо, Шеньчжень, Гуанчжоу, Циндао, Пусан, Тяньцзін, Гонконг, Роттердам, Дубаї, Келанг, Антверпен, Сямень.

В 2020 р. морські порти Європи мали обсяг перевалки вантажів 76,8 млн TEU, що на 2,8% менше у порівнянні з минулим роком. Найбільші обсяги контейнерообігу забезпечили: Роттердам (Нідерланди), Антверпен (Бельгія), Гамбург (Німеччина), Пірей (Греція), Валенсія (Іспанія), Барселона (Іспанія), Генуя (Італія), Гавр (Франція), Джоя-Тауро (Італія), Гданьск (Польща), Бремерхафен (Німеччина), Фелікстоу (Англія).

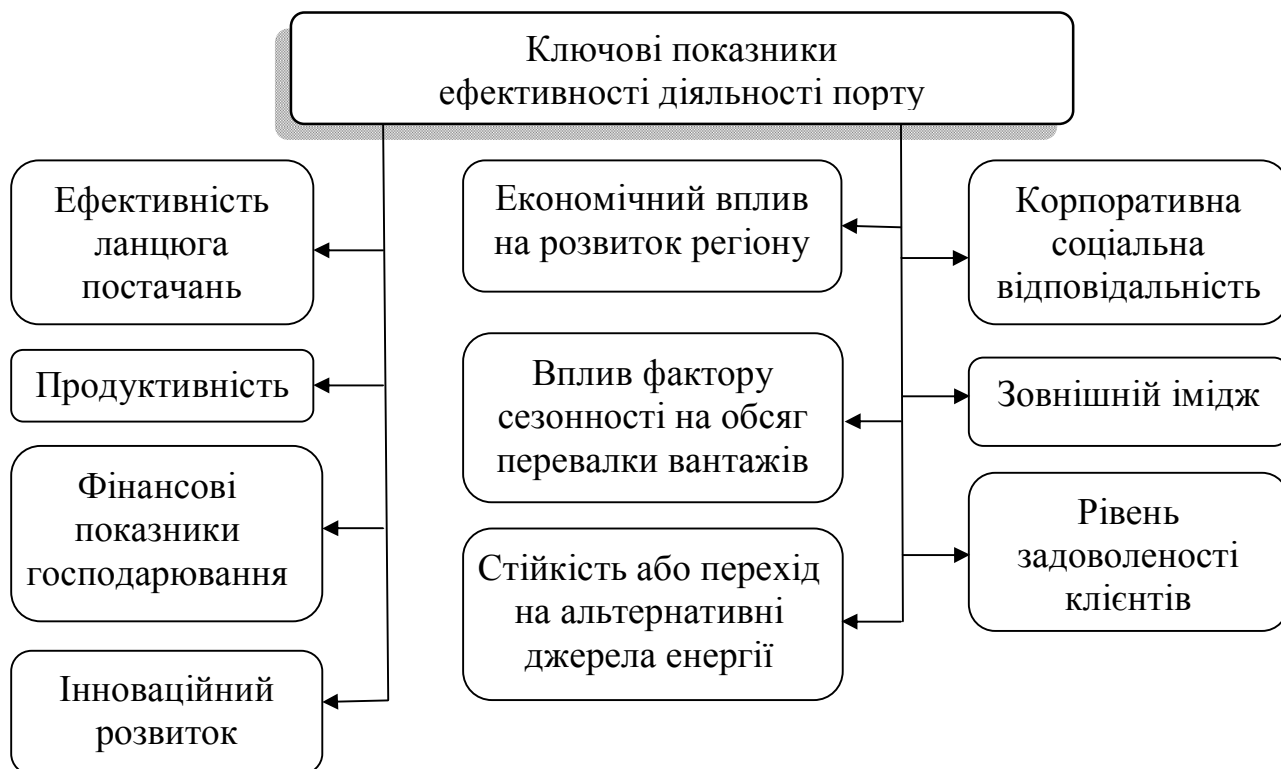


Рисунок 3 – Система ключових показників ефективності діяльності порту

За підсумками 2019 року обсяги перевалки вантажів в 13 діючих українських портах (за винятком портів, які розташовані в Криму) становили понад 160 млн. т, що становило історичний рекорд. Максимальні обсяги перевалки забезпечили: порт Південний - 53,9 млн. т, Миколаїв - 33,4 млн. т, Чорноморськ – 26,2 млн. т, Одеса – 25,3 млн. т, Маріуполь 6,5 млн. т (таблиця 1). Загальна кількість суден, які було обслуговано становило 11850, що на 1,7% в порівнянні з 2018 р. До п'ятірки основних вантажів увійшли:

продукція аграрного сектора економіки, руда, чорні метали, вугілля, контейнери. Перевалка транзитних вантажів збільшилася на 8 % в порівнянні з минулим роком (до 11 млн. т). Контейнерні вантажі, перевалка яких здійснювалася в морських портах, становила 7,9% в загальному обсязі вантажообігу України в 2019 році (12,7 млн.т вантажів у контейнерах або 1,007 млн. TEU, що на 19% більше за минулий рік). Найбільший показник перевалки контейнерів був у 2008 році – 1,262 млн. TEU. Слід зазначити, що перевалка контейнерів здійснюється в Одеському (64,5% українського контейнерообороту), Південному та Чорноморському портах і лише приватними стивідорними компаніями на п'яти контейнерних термінах:

1) «КТО» - оператор найбільшого в Україні контейнерного терміналу в Одеському порту, входить до складу німецького логістичного холдингу Hamburger Hafen und Logistik AG (391,4 тис. TEU або 38,9% українського контейнерного потоку);

2) «Бруклін-Київ Порт» - оператор контейнерного терміналу на базі причалів №42-43 ДП «Одеський морський торговий порт», місткість терміналу – 5,7 тис. TEU;

3) «ТІС-КТ» - найбільш глибоководний контейнерний термінал в Україні, має найдовший контейнерний причал, який обслуговується найбільшим перевантажувачем виробництва компанії ZPMC, приймає судна фідерного сервісу «ТІС - Поті – ТІС» (на даний час закритий через скорочення обсягу вантажоперевезень), організованого контейнерним перевізником Maersk, є учасником Міжнародної асоціації «Транскаспійський міжнародний транспортний маршрут» або Middle Corridor (218,6 тис. TEU, що на 75% більше у порівнянні з 2018 р.);

4) термінал Чорноморського рибного порту (вантажобіг 4038 тис.т).

Таблиця 1 – Результати діяльності морських портів Одеської області, 2019 р.

Порти	Суднозаходів	Перевезено вантажів, млн. тонн	Ріст у порівнянні з 2018 р., %	Обсяг обробки контейнерів, TEU
Одеська область, в цілому	8212	111,1	20,5	218 661
Одеський морський порт	1447	25,343	16,8	649458
Морський порт «Південний»	1044	53,862	26,1	218661
Морський порт Чорноморськ	1534	26,153	21,4	139154

В 2021 р. контейнерний термінал DP World TIS Pivdennyi як частина портової групи DP World організував співпрацю з Akkon Lines (турецька контейнерна лінія), що надає можливість отримати зручний доступ з морського порту «Південний» Одеської області до турецьких (Амбарлі, Гебзе, Гемліка, Мерсіна, Аліага), середземноморських (Констанци, Валенсії, Барселони, Кастельона, Салерно, Генуї) та північно-африканських портів (Сусса, Бізе, Аннаби тощо). В свою чергу, іноземні перевізники матимуть доступ до мультимодальної транспортної інфраструктури України, зокрема мережі сухих портів та залізничних терміналів. Контейнерний термінал DP World TIS Pivdennyi в 2020 році мав обсяги контейнерообігу на рівні 245 тис. TEU, що на 12% більше в порівнянні з минулим роком.

Обсяги переробки вантажів, в тому числі контейнерів, в морських портах України в період пандемії в цілому скоротилися, за винятком Одеського морського порту (таблиця 2).

Інфраструктура українських портів розвивається, однак для формування достатніх умов для здійснення мультимодальних перевезень необхідно забезпечити нормальне функціонування автомобільного та залізничного сполучення, системи інформаційного

обміну, інтеграції роботи митних органів та кінцевих вантажоотримувачів, тобто всієї логістичної мережі. Зокрема, для розвитку морських транспортних вузлів, в яких будівництво та технологічний розвиток терміналів відбувається активно, нагальною є потреба формування припортової залізничної інфраструктури.

Таблиця 2 – Динаміка обсягів переробки вантажів стивідорними компаніями в морських портах України за січень-серпень 2021 р. в порівнянні з аналогічним періодом 2020 р.

	Всього вантажів, тис. тонн	Контейнери		
		тонн	шт.	TEU
Всього по морським портам				
2020 р.	118804,42	9523	482022	776053
2021 р.	106256,28	8826,13	452264	760559
у % до 2020 р.	89,4	92,7	93,8	98,0
Всього по державним стивідорним компаніям морським торговельним портам на причалах АМПУ				
2020 р.	27220,08	7,28	477	553
2021 р.	24466,72	7,12	338	373
у % до 2020 р.	89,9	97,8	70,86	67,45
Всього по приватним стивідорним компаніям на причалах АМПУ				
2020 р.	45829,29	5776,75	294811	480081
2021 р.	42188,62	5526,6	292595	498408
у % до 2020 р.	92,06	95,67	99,25	103,82
Одеський морський порт				
2020 р.	17523,78	5776,75	294881	480081
2021 р.	16551,76	5526,60	292525	498408
у % до 2020 р.	94,5	95,7	99,3	103,8
Морський порт «Південний»				
2020 р.	46932,12	2399,05	114102	181737
2021 р.	37617,14	2146,22	101582	167165
у % до 2020 р.	80,2	89,46	89,03	91,98

Спеціалізований морський порт Ольвія				
2020 р.	2990,51	6,37	399	420
2021 р.	3181,38	2,92	202	202
у % до 2020 р.	106,38	45,84	50,63	48,1
Морський порт Чорноморськ				
2020 р.	17460,02	1340,8	72710	113815
2021 р.	17104,15	1150,09	57884	94782
у % до 2020 р.	97,96	85,78	79,61	83,28

В зв'язку з інтенсивним розвитком контейнерних перевезень вантажів як найдешевшого виду транспортування, актуальним постало питання побудови контейнерних пунктів і на залізничному транспорті. Такі пункти в більшості випадків розташовуються на автомобільно-залізничних терміналах. Контейнерні пункти являють собою асфальтобетонний майданчик, обладнаний спеціалізованою перевантажувальною технікою.

В країнах Західної Європи практика будівництва мережі автомобільно-залізничних терміналів розпочалася наприкінці ХХ століття. Термінали можна класифікувати на наступні види: перший забезпечує обслуговування автопоїздів; другий – перевантаження с додаються перевантаження напівпричепів.

Автомобільно-залізничний термінал, як правило, становить собою інтермодальний термінал, що діє на договірних засадах та надає повний перелік послуг: навантаження, розвантаження, перевалка, підвозу-розвозу вантажу, криге (складське) та відкрите зберігання на короткий час, пакування, митне оформлення, обслуговування вантажів тощо.

З метою скорочення термінальних витрат в практику діяльності зазначених об'єктів транспортної інфраструктури впроваджуються термінальні інновації, наприклад, системи управління інформацією на основі електронного обміну даними (EDI), які суттєво прискорюють інформаційну обробку та прискорюють процес мультимодального перевезення вантажів. Автоматизація робіт на транспортних термінах підвищує їх продуктивність, хоча і вимагає на початковому етапі

значних капітальних витрат. Економічна сторона впровадження інновацій полягає в тому, що зменшення термінальних витрат суттєво впливає на тарифи мультимодальних перевезень вантажів, міжнародну торгівлю в цілому, розвиток транспортної системи, зміну конкуренції між видами транспорту.

Наразі Україні потрібна технічна допомога у реалізації проекту щодо системи зміни колії. Це необхідно зробити, щоб забезпечити розвиток мультимодального транспорту в напрямку Європа-Азія, зокрема в межах існуючих транспортних коридорів, визначених мережею TEN-T. В країнах Європи (крім США, Прибалтики, Іспанії, Португалії, Ірландії, Фінляндії) використовуються колії шириною 1435 мм. В Україні цей показник становить 1520 мм.

Світова система мультимодальних перевезень розвивається швидкими темпами, переформатовуючи інфраструктуру мультимодальних перевезень під свої потреби та удосконалюючи світову логістику.

Сучасні мультимодальні транспортно-логістичні центри (МТЛЦ) є одним з елементів інфраструктури мультимодальних перевезень, які забезпечують безперебійну роботу світової транспортної мережі, комплексне логістичне обслуговування, скорочення транспортних витрат та часу на транспортування вантажів. МТЛЦ маючи територіальну локацію, дозволяють учасникам процесу мультимодального перевезення розміщуватися близько один від одного і таки чином отримувати економію на трансакційних витратах. Наприклад, як свідчить досвід країн ЄС використання МТЛЦ призводить до скорочення витрат на навантажувально-розвантажувальні роботи до 15-30%, на загальні логістичні витрати на 12-35%.

Асоціація європейських логістичних платформ (Europlatforms EEIG) визначає, що в транспортно-логістичний центр (ТЛЦ) становить собою певний район, в якому вся діяльність стосовно транспортування, обробки, розподілу вантажів у внутрішніх та міжнародних перевезеннях здійснюється на комерційній основі

різними операторами. Інформація щодо найбільш ефективних ТЛЦ ЄС за даними Europlatforms EEIG наведена в таблиці 3.

Таблиця 3 – Найбільш ефективні ТЛЦ ЄС за даними Europlatforms EEIG [13]

Місце в рейтингу	ТЛЦ	Країна	Загальна площа, га	Транспортне сполучення
1.	Interporto Verona	Італія	250	авто – залізн. – авіа
2.	GVZ Bremen	Німеччина	475	авто – залізн.
3.	GVZ Nürnberg	Німеччина	337	авто – залізн. – річка
4.	GVZ Berlin Süd	Німеччина	440	авто – залізн.
5.	Plaza Logistica Zaragoza	Іспанія	61	авто – залізн.
6.	Interporto Nola Campano	Італія	300	авто – залізн.
7.	Interporto Padova	Італія	110	авто – залізн.
8.	Interporto Bologna	Італія	420	авто – залізн.
9.	GVZ Leipzig	Німеччина	600	авто – залізн. – авіа
10.	Interporto Parma	Італія	254	авто – залізн.
11.	ZAL Barcelona	Іспанія	150	авто – залізн. – море – авіа
12.	Interporto di Torino	Італія	300	авто – залізн.
13.	BILK Logistics Center	Угорщина	100	авто – залізн.
14.	Interporto Novara	Італія	18	авто – залізн.
15.	CLIP Logistics	Польща	10	авто – залізн.
16.	Delta 3 Dourges	Франція	333	авто – залізн. – море
17.	GVZ Berlin West	Німеччина	226	авто – залізн. – річка
18.	Cargo Center Graz	Австрія	15	авто – залізн.
19.	GVZ Südwestsachsen	Німеччина	172	авто – залізн.
20.	DIRFT Daventry	Великобританія	190	авто – залізн.

Перший європейський транспортно-логістичний центр з'явився в Баварії в місті Ingolstadt. Його місцезонаштування обрано таким чином, щоб мінімізувати витрати на транспортування. На території ТЛЦ розташовано залізничні та автомобільні під'їзні шляхи. На даний час найбільшими МТЛЦ Німеччини є GVZ-Dresden, GVZ-

Bremen NW, GVZ Vel am Rhein, GVZ Nuremberg, GVZ Frankfurt/ Oder (etc), GVZ-Osnabruck, GVZ Herne-Emscher, GVZ Kiel, GVZ Kassel, GVZ Hamburg, GVZ Bremen SW, GVZ Rostock, GV Kolenz. Ці центри характеризуються високим рівнем логістичного сервісу [14].

Згідно даним Всесвітнього банку Німеччина має найкращий показник Індексу ефективності логістики (LPI), а також її визнано найефективнішим логістичним центром в світі з 2012 і по теперішній час. Серед найкращих логістичні центри Північної Рейн-Вестфалії (NW, нім. Nordrhein-Westfalen), які становлять четверту частину всіх логістичних центрів Німеччини. NW має високий рівень розвитку транспортної інфраструктури, зокрема: щільну мережу автомобільних доріг та залізниця, 2 великих міжнародних аеропорти, розгалужену мережу внутрішніх та міжнародних водних шляхів. В п'ятірку найкращих за версією Всесвітнього банку також входить Швеція, Бельгія, Австрія, Японія. Україна займає 66 місце в світовому рейтингу, маючи 2,83 бали, що свідчить про значні проблеми у вітчизняній логістичній системі, і як результат, це призводить до затримок в процесі транспортування та додаткових витрат (табл. 4).

Один з найбільших транспортно-логістичних центрів Європи та світу розташовано в Італії – Bologna Freight Village (BFV), який функціонує з 1972 р., обслуговує 16% міжнародного вантажообігу. На його базі вперше в Європі почали використовувати різні види транспорту для вантажних перевезень та надавати супутні послуги. Тому його вважають першим європейським мультимодальним транспортно-логістичним центром. В межах BFV проходить 5 головних залізничних ліній, 4 автомобільні шосе, функціонують різноманітні міжнародні логістичні та транспортно-експедиційні компанії, склади, митна служба, станції обслуговування [15]. В більшості ТЛЦ Італії є в наявності інтермодальний термінал. Специфіка італійської концепції побудови транспортної інфраструктури ТЛЦ має за мету залучення морського транзиту та розвиток взаємодії морського виду транспорту з автомобільним та залізничним.

Таблиця 4 – Глобальний рейтинг LPI, 2018 р. [16]

Країна	LPI Рейтинг	LPI оцінка	Митне обслуговування	Інфраструктура	Міжнародні перевезення	Компетенції в логістиці	Відслідковування	Пунктуальність
Німеччина	1	4,20	4,09	4,37	3,86	4,31	4,24	4,39
Швеція	2	4,05	4,05	4,24	3,92	3,98	3,88	4,28
Бельгія	3	4,04	3,66	3,98	3,99	4,13	4,05	4,41
Австрія	4	4,03	3,71	4,18	3,88	4,08	4,09	4,25
Японія	5	4,03	3,99	4,25	3,59	4,09	4,05	4,25
Нідерланди	6	4,02	3,92	4,21	3,68	4,09	4,02	4,25
Сінгапур	7	4,00	3,89	4,06	3,58	4,10	4,08	4,32
Данія	8	3,99	3,92	3,96	3,53	4,01	4,18	4,41
Великобританія	9	3,99	3,77	4,03	3,67	4,05	4,11	4,33
Фінляндія	10	3,97	3,82	4,00	3,56	3,89	4,32	4,2
Україна	66	2,83	2,49	2,22	2,83	2,84	3,11	3,42

Якщо розглядати Американський континент, то одним з найбільших ТЛЦ цієї частини світу є «АльянсТехас» (США). Це багатофункціональний об'єкт, в якому розміщено понад 170 компаній. Інфраструктура побудована з можливістю взаємодії видів транспорту: залізничного, автомобільного, авіаційного. Крім того, на території ТЛЦ «АльянсТехас» діє міжнародна зона вільної торгівлі.

В країнах Азії відбуваються успішні інтеграційні процеси щодо створення ТЛЦ. Наприклад, раніше морські порти та логістичні центри або складське господарство створювалися окремо. Нині відбуваються зміни в сторону створення МТЛЦ з широким спектром функціональних задач транспортно-логістичної діяльності: транспортно-експедиційні послуги, складування, зборка, об'єднання вантажу, маркування та пакування, класифікація вантажу, навантажувально-розвантажувальні операції тощо. Провідним міжнародним МТЛЦ Південно-Східної Азії є порт Сингапуру.

Важливим фактором міжнародного співробітництва в сфері вантажних перевезень та логістики є транспортно-логістичні кластери. Як зазначає В.І. Копитко, сучасні процеси інтеграції України в міжнародну транспортно-логістичну систему, стратегічні цілі країн-сусідів, обумовлюють доцільність формування у прикордонних регіонах нашої держави транспортно-логістичних кластерів, а не окремих транспортно-логістичних центрів [17].

Транспортно-логістичні кластери об'єднують численні транспортні підприємства, транспортні вузли, транспортно-логістичні центри та шляхи сполучення в єдину систему, і таким чином досягається ефект синергії в досягненні цілей транспортно-логістичної діяльності [18]. Активізація процесів формування транспортно-логістичних кластерів в свою чергу сприятиме ефективному використанню транзитного потенціалу України.

Транзитний потенціал України пов'язаний з географічним розташуванням держави, але недостатньо розвинена та застаріла транспортна інфраструктура, не дають в повній мірі його використовувати. Однак, останній час зростає попит на мультимодальні перевезення з азійськими країнами. А це означає, що оновлення та розбудова мультимодальної транспортної інфраструктури формату «море-залізниця» є одним із основних завдань на найближчий час. Як приклад, у вересні 2021 року запущено перший в історії України контейнерний поїзд за маршрутом Україна – КНР з експортним вантажем за маршрутом м. Київ (з контейнерного терміналу «ЦТС «Ліски» Укрзалізниці) – м. Сіань. Довжина маршруту складає майже 10 тисяч кілометрів через територію чотирьох країн, орієнтовний час перевезення – 18 діб, обсяг перевезення – 43 од. 40-футових контейнерів. До цього часу Україна лише приймала з Китаю контейнерні поїзди з імпортом вантажем.

За обсягами залізничного перевезення Китай нині є торговельним напрямком №1 для України. За 2020 рік активність перевезень зросла: Кількість потягів на 66%, обсяг вантажів на 73%. Основними є два маршрути: «Китай - Монголія - Росія - Білорусь (Брест) – Європа» і

«Китай - Казахстан - Росія - Білорусь (Брест) – Європа». На міжнародній лінії «Китай-Європа-Китай» функціонує 650 поїздів. Згідно даним консалтингової служби Roland Berger в 2020 році було перевезено 820 тис. TEU через залізничні коридори «Нового Шовкового шляху».

Новий міжнародний мультимодальний маршрут North-South Multimodal Route «NS Express» (Північно-південний експрес) являє собою міжнародний мультимодальний коридор Туреччина-Україна-Польща. Даний маршрут почав функціонувати з березня 2021 року. Він з'єднує морське поромне сполучення Каакасу (Туреччина) – порт Чорноморськ (залізнично-поромний комплекс) - Славкув (Польща) – країни європейської співдружності та Скандинавії. Даний проект передбачає використання автомобільного, залізничного та морського видів транспорту. Маршрут забезпечує постійне транспортне з'єднання та безперервну доставку вантажів один раз на тиждень з транзитним часом доставки 5 днів.

В країнах Східної Європи в зв'язку із зростаючим обсягом транзитних вантажів плануються до реалізації проекти з будівництва: в Угощині найбільшого інтермодального терміналу з перевантаження контейнерів East-West Gate потужністю 1 млн. у зв'язку TEU, в Польщі найбільшого в Європі логістичного центру в районі Малашевичі (проектна пропускна здатність - 55 пар вантажних поїздів). Реалізація цих великих інфраструктурних проектів вимагає від України модернізації власної мережі колій, забезпечення надійної та швидкої доставки вантажів потужністю 2,5-5 млн. TEU на рік між Азією та Європою. Польська станція Малашевичі має свої «слабкі» місця, а саме: збільшити пропускну здатність залізничної інфраструктури досить важко, не має залізничного розгалуження та сортувальних потужностей, в ЄС є обмеження по довжині потягу тому виникає затримка в часі відправлення. Всі ці проблеми може вирішити Львівський залізничний вузол як більш вигідне географічне розташування для сортування поїздів (рис. 4).

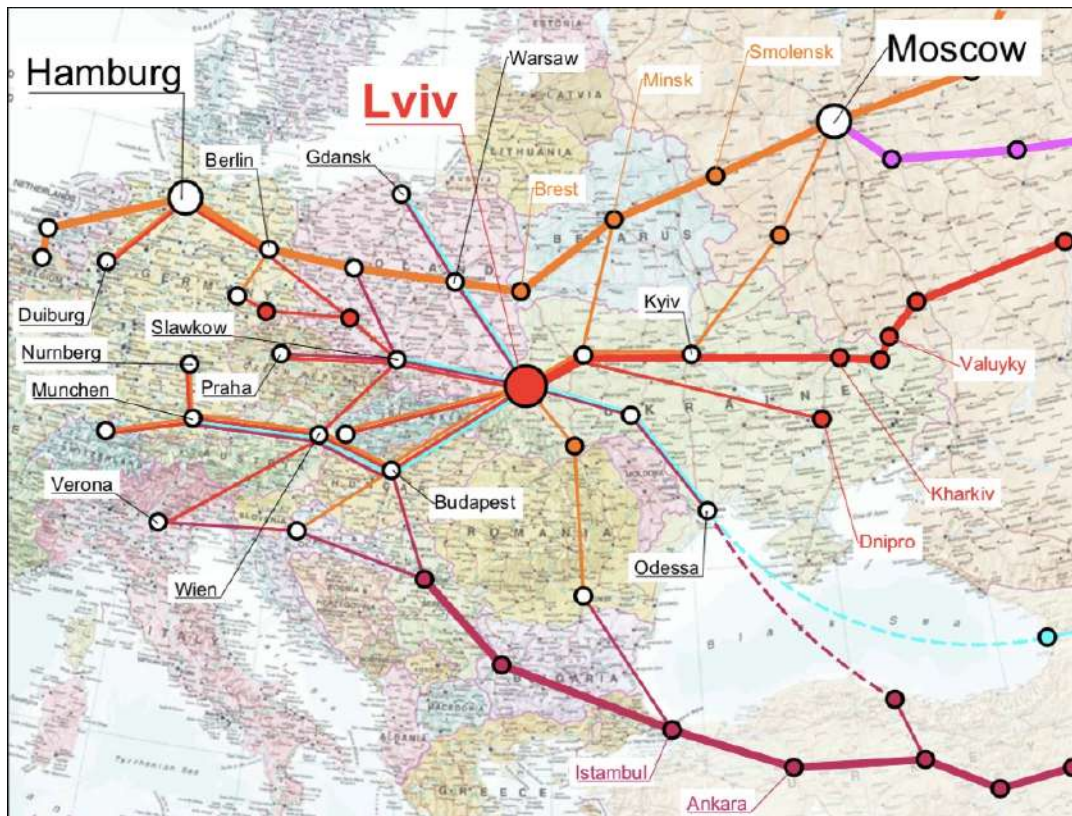


Рисунок 4 – “Залізничне серце Євразії” [19]

Високою концентрацією транспортних потоків, а також максимальною пропускнуою здатністю і високим рівнем розвитку мультимодальної транспортної інфраструктури характеризується мультимодальний транспортний коридор (МТК).

МТК - це сукупність технічно оснащених магістральних комунікацій декількох універсальних видів транспорту з відповідною облаштованістю об'єктів митної, прикордонної, телекомунікаційної, сервісної та іншої необхідної інфраструктури, що забезпечують перевезення вантажів у внутрішньому та міжнародному сполученні на напрямках їхньої найбільшої концентрації [20].

Актуальним нині стає питання екологічності перевезень (захист навколишнього природного середовища, зміна клімату та споживання енергії). Так в сфері мультимодальних перевезень країни ЄС нині переорієнтовуються на використання більш екологічно чистих видів транспорту при організації перевезень значною частиною маршруту (заміна автомобільного виду транспорту). Для українських

транспортних компаній, що спеціалізуються на міжнародних перевезеннях, важливим є дотримання цих принципів політики ЄС.

Починаючи з 2017 р. українські перевізники зіткнулися з проблемами обмеженості дозволів на перевезення вантажів автомобільним транспортом територією країн ЄС. Українські перевізники доставляють вантажі автомобільним транспортом у відповідності до багатосторонньої системи транспортних квот ЄКМТ. У випадку, якщо перевезення не покриті багатосторонньою системою Міжнародного транспортного форуму (МТФ), то вони здійснюються на основі двосторонніх дозволів.

Як приклад, в 2020 році українські перевізники отримали 160 тис. дозволів при потребі 200 тис. одиниць, які були повністю вичерпані до жовтня того ж року. Проблеми виникли з боку Республіки Польща. Нестача дозволів призвела до скорочення товарообігу між обома країнами та ЄС в цілому, вплинула на появу корупційних схем та розвиток "чорного ринку". Польща є країною-транзитером між Україною та країнами Західної та Центральної Європи. Для часткового вирішення даного питання в 2020 р. Україна здійснила запровадження електронного бронювання дозволів.

У випадку, коли дозволи вичерпані, вантажовласники повинні або змінити спосіб транспортування (заміна виду транспорту), або змінити транспортний маршрут (якщо не вистачає транзитного дозволу), заміна перевізника (який має дозвіл ЄКМТ або який базується в іншій країні). Проблема полягає в тому, що обсяг міжнародних вантажних перевезень автомобільним транспортом між Україною та країнами ЄС є досить великим.

Разом з тим, українсько-азербайджанська змішана Комісія з питань міжнародних автомобільних перевезень домовилися про збільшення квоти на 2022 рік: квота універсальних дозволів - 3,2 тис. (збільшена на 45%), для перевезень до/з третіх країн - 1,4 тис. (на 27%). Збільшення квоти вдалося тримати вперше за 10 років. Така ж домовленість досягнута із Болгарією. В 2022 р. Україна отримує на 25% більше дозволів на міжнародні автомобільні перевезення (з 20,3 тис. до 25, 5 тис. дозволів). Згідно домовленості універсальний бланк

дозволу можна застосовувати для двостороннього, транзитного перевезення, в прямому та зворотному повідомленні.

В грудні 2020 року Європейська комісія затвердила "Стратегію сталого та розумного розвитку мобільності". Згідно зі стратегією визначено 10 ключових сфер, зокрема: «сталість розвитку» передбачає посилення використання транспортних засобів з нульовими викидами до 2030 р., екологізацію вантажних перевезень шляхом збільшення в двічі залізних вантажних перевезень до 2050 р.; «розумний транспорт» передбачає реалізацію підключення та автоматизації мультимодальної мобільності; «стійкий транспорт» визначає необхідність добудови TNT-T до 2030 р. На українські транспортні та транспортно-логістичні компанії, які здійснюють міжнародні автомобільні вантажні перевезення в європейські країни «сталість розвитку» може мати негативний вплив. Що особливо відчутно нині у взаємовідносинах із Польщею. З точки зору Європейської комісії треба скорочувати обсяги перевезень автомобільним транспортом та переорієнтовуватися на більш залізничний транспорт як більш екологічний, що, в свою чергу, сприятиме росту інвестицій в мультимодальні комплекси на кордоні України та країн ЄС.

Світовий ринок мультимодальних перевезень навіть в умовах кризових явищ щорічно зростає, а тому підвищується роль транспорту в міжнародних економічних зв'язках. З метою прискорення руху матеріальних потоків постійно розробляються нові транспортно-логістичні технології, будуються об'єкти транспортної інфраструктури, вирішуються організаційно-технологічні аспекти взаємодії видів транспорту.

Розбудова та оновлення вже існуючої мультимодальної транспортної інфраструктури, зокрема системи терміналів та шляхів сполучення, ефективне використання транзитного потенціалу, сприятиме активному входженню України в світову транспортно-логістичну систему та розвитку мультимодальної системи транспортування.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Терминология комбинированных перевозок (Terminology on combined transport). United Nations. New York and Geneva, 2001. 71 с. URL: <http://www.unecce.org/fileadmin/DAM/trans/wp24/documents/term.pdf>
- [2] Конвенция Организации Объединенных Наций о международных смешанных перевозках грузов. Женева, 24 мая 1980 г. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_189
- [3] Підлісний, П. І. Роль контейнеризації змішаних вантажних перевезень у розвитку світової торгівлі / П. І. Підлісний, Н. О. Паткевич, Ю. В. Цветов // Економічний форум. - 2016. - № 3. - С. 67-81.
- [4] Бутакова Н. А. Правовое регулирование мультимодальной перевозки грузов: компаративный подход : дисс. ... д. ю. н., спец. 12.00.03. М., 2016. 495 с.
- [5] Гринёв А.А., Евреенова Н.Ю. Мультимодальные перевозки: Конспект лекций. – М.: МИИТ, 2013. – 175 с.
- [6] Офіційний сайт логістичної компанії «Гуд Логістик». URL: <https://goodlogistics.com.ua/uk/multimodalnye-perevozki/>
- [7] Офіційний сайт ТОВ «ЗАММЛЕР УКРАЇНА». URL: <https://www.zammler.com.ua/services/perevozki/>
- [8] Офіційний сайт логістичної компанії «UTEC Logistics». URL: <https://utec.ua/delivery-types/multimodalne-perevezennya>
- [9] Угода про розвиток мультимодальних перевезень ТРАСЕКА // Офіційний вісник України від 09.07.2021 — 2021 р., № 52, / № 1; 04.01.2021; стор. 18 /, том 2, стор. 1265, стаття 3265, код акта 105756/2021. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/417_001-09#n2
- [10] Закон України «Про ратифікацію Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони» // Відомості Верховної Ради (ВВР), 2014, № 40, ст.2021. - URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1678-18#n2>
- [11] Проект Закону України «Про мультимодальні перевезення». URL: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=70239
- [12] Гуцалюк, О.М. Методичні основи формування єдиного

- наскрізного тарифу мультимодальних перевезень / Гуцалюк О.М., Ремзіна Н.А. // Центральноукраїнський науковий вісник. Економічні науки, 2020, вип. 4(37). – С. 169-176.
- [13] Офіційна сторінка EUROPLATFORMS EEIG The European Logistics Platforms Association. URL: <https://www.europlatforms.eu>
- [14] Персдорф Г. Технологии и управление в логистике. Опыт Германии: материалы Российско-Германского семинара; 08.10.2010; Киров, Россия. – С. 124–137. [Gerhard Persdorf. Tehnologii i upravlenie v logistike. Opyt Germanii: materialy Rossijsko-Germanskogo seminarara; 2010 October 8; Kirov, Russia. p. 124-137. (In Russ.)]
- [15] Боняр, С. М. Міжнародний досвід створення мультимодальних-транспортно-логістичних центрів / С. М. Боняр, Я. Р. Корнійко // Економіка та держава. - 2012. - № 3. - С. 32-35.
- [16] Офіційна сторінка THE WORLD BANK. URL: <https://ipi.worldbank.org/international/global?sort=asc&order=Customs#datatable>
- [17] Копитко, В. І. Формування транспортно-логістичних систем в умовах реформування залізничної галузі / В.І. Копитко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 40. – С. 281-284.
- [18] Лозова Г. М., Клименко В. В. Транспортно-логістичні кластери як передумова реалізації виробничого потенціалу національної економіки // Актуальні напрямки розвитку технічного та виробничого потенціалу національної економіки (економічний аспект): монографія / за ред. Л.М. Савчук, В.І. Дубницького, Л.М. Бандоріної. – Дніпро: Пороги, 2021. – С.69-82.
- [19] Офіційний сайт V Міжнародної спеціалізованої виставки «Rail EXPO 2021». URL: <https://railexpoua.com/novyny/zaliznychne-sertseievrazii-maie-pulsuvaty-v-ukraini/>
- [20] Ширяєва, С. В. Основні складові мультимодальної транспортної мережі / С.В. Ширяєва, К.І. Даньківська // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2015. – Вип. 1 (31). URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/31_1_tech_2015/568-573.pdf

Розвиток інтермодальних перевезень в умовах України та у міжнародному сполученні

Ольга Шапатіна

*Український державний університет залізничного транспорту
м. Харків, Україна*

I. ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПРИ ДОСТАВЦІ ВАНТАЖІВ РІЗНИМИ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ

Транспорт відіграє важливу роль у світовій економіці, сприяє розвитку країни в цілому та їх виходу на світовий ринок. Протягом останніх років залізничний транспорт України залишається провідною галуззю, яка забезпечує майже 82% вантажних і 36% пасажирських перевезень, здійснюваних всіма видами транспорту [1]. В сучасних умовах залізницям все складніше забезпечувати перевізний процес, головним чином внаслідок зношення інфраструктури і повільного оновлення локомотивного та вагонного парку.

Активний процес входження України до європейського економічного простору та світової транспортної мережі вимагає від залізниці нових підходів до організації доставки вантажів від відправників до одержувачів при взаємодії з іншими видами транспорту. За 2020 рік вантажообіг залізничного транспорту становив 56 %, а автомобільного – 33 % вантажообігу всіх видів транспорту [2].

За таких умов особливої актуальності набувають інтермодальні перевезення як перспективний напрямок розвитку транспортної галузі за участю залізниці. Так масове переміщення вантажів на великі відстані виконується за допомогою залізничного транспорту, тоді як автомобільний транспорт здійснює оперативну доставку вантажів в значно меншому обсязі. Переваги інтермодального транспорту визначаються його мобільністю та дальністю транспортування [3].

Поєднання переваг усіх видів транспорту в єдиному процесі управління рухом дозволяє досягти значної ефективності за рахунок вибору маршруту на основі маневрування типом транспортного

засобу. У зв'язку з тим, що транспортні засоби відносяться до технічних систем довготривалої дії постає завдання щодо забезпечення високої ефективності їх функціонування [4]. Враховуючи конкуренцію на ринку транспортних послуг рішення цієї задачі є актуальним.

Транспортні системи відносяться до багатофункціональних систем, тому що можуть виконувати завдання з перевезень різними способами, які характеризуються показниками ефективності. Так необхідно обирати той спосіб перевезень, який для даного стану системи буде оптимальним. Транспортна система включає в себе комплекс технічних засобів, які забезпечують транспортні операції, управління і контролю рухом, і загалом складаються з багатьох конкретних для даної системи елементів [5].

Так, задача з перевезення різноманітної номенклатури і обсягу продукції може виконуватись різними способами. Будемо вважати, що при перевезенні j -м способом умовний показник технічної ефективності системи дорівнює F_j . Нехай для визначеності $F_1 > F_2 > \dots > F_n$. Тоді транспортну систему в залежності від типу транспорту, обсягу і номенклатури продукції, що перевозиться, можна розділити на n підсистем G_1, G_2, \dots, G_n за умови, що в кожному таку підсистему входять складові, які забезпечують перевезення j -м способом.

Припустимо наступні варіанти оцінки ефективності функціонування транспортних систем:

-кожний елемент системи може входити в склад тільки однієї підсистеми;

-підсистеми можуть виконувати задачі з перевезень за умови працездатності як всіх елементів системи, так і лише частини, тобто $G_1 \supset G_2 \supset \dots \supset G_n$ [5].

Отже, відповідно до другого варіанта транспортна система буде підтримуватись j -м способом за умови, що всі елементи підсистеми G_j працездатні, а в підсистемі G_{j-1}^* є хоча б один елемент, що

відмовив (G_{j-1}^* – множина елементів системи, які належать підсистемі G_{j-1} і одночасно не належать підсистемі G_j).

Тоді ефективність функціонування транспортної системи можна визначити [5] таким чином:

$$E = \sum_{i=1}^n F_j (P_j - P_{j-1}), \quad (1)$$

де відповідно P_j , P_{j-1} – імовірності безвідмовної роботи j -ої та $j-1$ транспортної підсистеми.

Відповідно до цього розглянемо процедуру оцінки ефективності системи управління транспортного процесу згідно з рисунком 1.

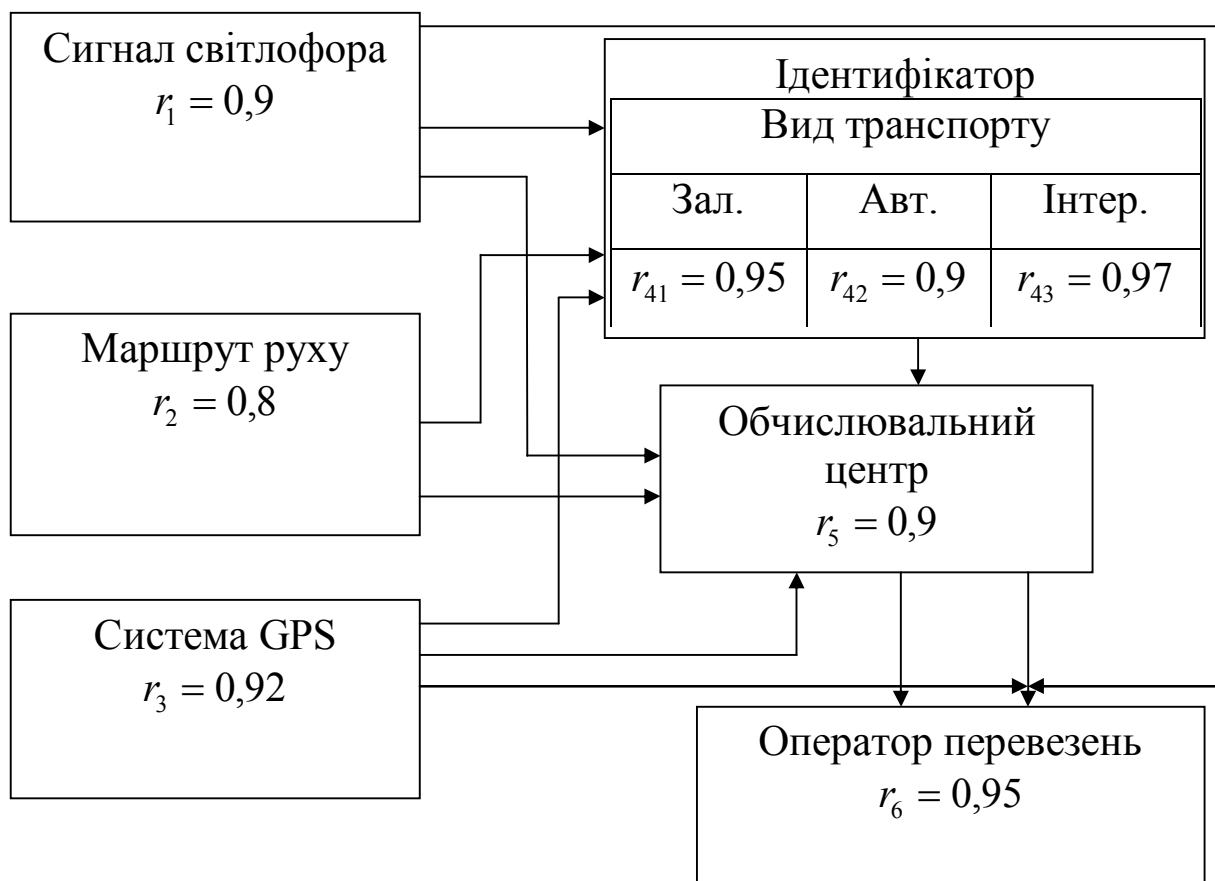


Рисунок 1 – Структурна схема системи транспортних перевезень

Процес управління транспортною системою включає контроль руху, вибір транспортного засобу за допомогою служби диспетчерського управління транспортним парком, служби диспетчерського управління рухом та обчислювального центру [5].

Тоді існують комбінації способів виконання кожного окремого етапу, що забезпечуються транспортною системою процесу перевезень, відповідні цим комбінаціям показники технічної ефективності зведені до таблиці 1.

Таблиця 1 – Показники технічної ефективності при різних системах обслуговування

Спосіб виконання	Етапи			Показник технічної ефективності
	Вибір транспортного супроводження	Визначення місця знаходження	Супровід виконання задачі з перевезення	
1	GPS	Ідентифікатор	Система GPS	1,0
2	Маршрут руху	Ідентифікатор	Система GPS	0,7
3	Маршрут руху	Ідентифікатор	Сигнали світлофора, обчислювальний центр	0,4
4	Сигнали світлофора	Сигнали світлофора	Сигнали світлофора, обчислювальний центр	0,2
5	Сигнали світлофора	Сигнали світлофора	Сигнали світлофора, обчислювальний центр	0,1

Відмітимо, що для виконання транспортного процесу будь-яким способом необхідно, щоб диспетчерська служба, що забезпечує управління рухом, завжди була працездатною [5].

Спочатку оцінимо повну імовірність виконання транспортною системою задачі з перевезення деякої продукції. Виконання задачі з перевезення першим способом оцінюється наступним чином

$$h_1 = r_1 \cdot r_2 \cdot r_3 \cdot r_{4i} \cdot r_5 \cdot r_6 \quad (2)$$

Виконання задачі другим способом може бути проведене тільки тоді, коли не визначено маршрут руху, тобто з імовірністю

$$h_2 = g_1 \cdot r_3 \cdot r_{4i} \cdot r_5 \cdot r_6 \quad (3)$$

Виконання задачі третім способом проводиться тільки тоді, коли виникла відмова системи GPS, тобто з імовірністю

$$h_3 = r_1 \cdot g_3 \cdot r_{4i} \cdot r_5 \cdot r_6 \quad (4)$$

Виконання задачі четвертим способом буде проводиться в тому випадку, коли виникла відмова або:

- служби диспетчерського управління парком;
- служби диспетчерського управління парком і системи маршруту руху;
- служби диспетчерського управління парком і системи GPS;
- системи GPS і маршруту руху.

При цьому система сигналізації світлофорів і обчислювального центру функціонують справно, тоді імовірність цієї ситуації визначається [5]

$$h_4 = r_2 \cdot r_5 \cdot r_6 \cdot (g_{4i} \cdot r_1 \cdot r_2 + g_{4i} \cdot g_1 \cdot r_3 + g_{4i} \cdot g_1 \cdot g_3 + r_{4i} \cdot g_1 \cdot g_2) \quad (5)$$

Виконання задачі п'ятим способом проводиться тільки у випадку, коли додатково ще відмовив обчислювальний центр, тобто з імовірністю [5]

$$h_5 = r_2 \cdot g_5 \cdot r_6 \cdot (g_{4i} + g_1 \cdot g_3 \cdot r_{4i}) \quad (6)$$

Тоді ефективність функціонування транспортної системи визначимо за формулою (1), для залізничного транспорту отримаємо $E_1 = 0,6136$, для автомобільного транспорту – $E_2 = 0,5860$, для інтермодального транспорту – $E = 0,6230$.

Таким чином, визначено, що забезпечення ефективності роботи транспортних систем доцільно оцінювати на основі приведеного критерію ефективності з врахуванням комплексу станів при виконанні завдань і етапами їх виконання.

На основі критерію ефективності формалізовано процедуру вибору оптимального варіанту транспортного забезпечення шляхом комбінування способів перевезень на кожному етапі виконання транспортних завдань [5]. Згідно наведених розрахунків доказано, що запровадження інтермодальних перевезень має найбільшу ефективність у порівнянні з іншими видами вантажних перевезень.

Наведена процедура визначення ефективності роботи транспортних систем може бути покладена в основу створення єдиного критерію оцінки комплексної взаємодії різних видів транспорту при перевезенні вантажів [5].

II. ВИБІР КРИТЕРІЮ ОЦІНКИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ МЕТОДАМИ КВАЛІМЕТРІЇ

Згідно Проекту Закону України № 4258 від 22.10.2020 «Про мультимодальні перевезення», Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року (Розпорядження Кабінету міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р), «Комплексної програми оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки», введена в дію наказом Міністерства транспорту та зв'язку

України від 14 жовтня 2008 р. № 1259, Стратегією розвитку ПАТ «Укрзалізниця» 2017–2021 роки, а також згідно Директив Європейського парламенту та ради залізничного транспорту (the Directives of European Parliament and Council the railway transportations) поставлені задачі щодо вдосконалення вантажних перевезень і поновлення рухомого складу. В цих умовах необхідно обґрунтувати взаємодію залізничного та автомобільного видів транспорту, визначити критерій оцінки ефективності перевезень. Реалізація проведених досліджень дозволить забезпечити вибір оптимального варіанту перевезення при різних обсягах перевезень вантажів та на різну дальність перевезень [6].

При організації вантажних перевезень основними критеріями вибору транспортного засобу є: вартість перевезення, швидкість, надійність, безпека та якість доставки вантажів [7].

Вартість перевезення та швидкість доставки вантажів багато в чому залежать від вибору маршруту перевезень. Разом з цим вибір транспортних засобів для перевезення є одним із головних інструментів з покращення якості доставки вантажів. Так при здійсненні інтермодальних (мультимодальних) перевезень вантаж на всьому шляху прямування знаходиться в тій самій транспортній одиниці, що сприяє якості та схоронності доставлених вантажів у зв'язку із зменшенням вантажних операцій. Як показують дослідження для об'єктивної оцінки якості доставки вантажів доцільно використовувати методи теоретичної кваліметрії [8].

Однією з складових цього методу є вирішення задачі вибору оптимального маршруту, для чого використовується багато методів, зокрема, таких як: алгоритм Дейкстри, методи штучного інтелекту, мурашиний алгоритм, нейронні мережі, методи генетичних алгоритмів [9].

Разом з цим різноманіття транспортних засобів не дозволяє комплексно оцінювати їх властивості. У різних видів транспорту діапазон використання технічних характеристик відрізняється. Тому виникає необхідність у використанні комплексного показника якості транспортних засобів.

З іншого боку, це визначає необхідність обґрунтувати критерій ефективності різних видів транспортних технологій. Відповідно до досягнутого досвіду і його розвитку таким критерієм може бути приведений «тран» [10].

Рівняння кваліметрії для оцінки показника технічного рівня транспортного засобу за допомогою «трану» у загальному вигляді буде дорівнювати

$$Z = f(Q, h, V, g, v, L, V_{max}), \quad (7)$$

де Q – вантажопідйомність транспортного засобу, т; h – характеристика складності шляху, м; V – технічна швидкість транспортного засобу, км/год.; g – повна маса транспортного засобу у завантаженому стані, т; v – об'єм транспортного засобу, м³; L – дальність перевезення вантажу, км; V_{max} – максимальна швидкість транспортного засобу, км/год.

За допомогою методу аналізу розмірностей визначимо робочий вигляд даного рівняння [11]. Будь-яка функція від незалежних змінних аргументів може бути відображена через добуток цих аргументів, що взяті з різними показниками ступені, тобто

$$Z = C^l Q^\alpha h^\beta V^\chi g^\delta v^\varepsilon L^\kappa V_{max}^\lambda \quad (8)$$

Після проведення процедур пошуку показників ступеней у загальному вигляді формула розмірностей обох частин рівняння при основних одиницях виміру M, L_x, L_y, L_z, T , при цьому приймаємо $Q=M, L=L_x, L_y, L_z, T=T$. Тоді рівняння буде мати вигляд

$$\frac{M(L_x^{1/2}L_z^{1/2})^3}{T^2} = M^\alpha \cdot L_y^\beta \cdot \left(\frac{L_x^{1/2}L_z^{1/2}}{T}\right)^\chi \cdot M^\delta \cdot (L_xL_yL_z)^\varepsilon \cdot (L_x^{1/2}L_z^{1/2})^\kappa \cdot \left(\frac{L_x^{1/2}L_z^{1/2}}{T}\right)^\lambda \quad (9)$$

Тоді виконуючи порівняння коефіцієнтів при відповідних параметрах якості, знаходимо: $\alpha=1-\delta, \beta=-\varepsilon=-1/2+\kappa/2, \chi=2-\lambda, \delta=\delta,$

$\varepsilon=1/2-\kappa/2$, $\kappa=\kappa$, $\lambda=\lambda$. Таким чином, попередній вираз приймає наступний вигляд

$$Z = C' \cdot QV^2 \cdot \left(\frac{v}{h}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{g}{Q}\right)^\delta \cdot \left(\frac{V_{max}}{V}\right)^2 \cdot \left(L \frac{h^{1/2}}{v^{1/2}}\right)^\kappa. \quad (10)$$

Згідно інженерного аналізу можна прийняти, що $\delta=-1$, тобто якість транспортного засобу буде пропорційна величині коефіцієнта комерційної віддачі $\frac{g}{Q}$ що не суперечить практиці. А показник приймає значення $\kappa=2$ з метою спрощення параметрів у складі рівняння, приймаємо значення $\lambda=2$ як показник запасу кінетичної енергії.

Отже, остаточно прийнявши $\delta=1$, $\kappa=2$, $\lambda=2$, отримаємо

$$Z = C' \cdot QV^2L \cdot \frac{Q}{g} \cdot \left(\frac{V_{max}}{V}\right)^2 \cdot L \left(\sqrt{\frac{h}{v}}\right) = C' \cdot QV^2L \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3. \quad (11)$$

Звичайно приймають значення постійної $C'=1$, що спрощує розрахунки, не завдаючи шкоди кваліметрії транспортних засобів. Аналізуючи отриманий результат можна констатувати, що множник у вигляді $A=Q \cdot V^2 \cdot L$ є кількісною величиною корисного ефекту транспортної операції, $k_1 = \frac{P}{G}$ характеризує вагову досконалість даного транспортного засобу, тобто вантажну віддачу до ваги транспортного засобу, $k_2 = \left(\frac{V_x}{V}\right)^2$ враховує запас кінетичної енергії, $k_3 = L \left(\sqrt{\frac{h}{v}}\right)$ характеризує дорожні переваги транспортного засобу.

Отже, у наведеному вигляді цього показника не враховані такі важливі показники як: питомі витрати на утримання конкретного транспортного засобу, витрати часу на виконання технологічних операцій, значення рівня конкурентоспроможності [8]. З урахуванням цих показників кваліметричний критерій узагальненого рівня транспортного засобу приймає вигляд

$$Z = A' \cdot \prod_{i=1}^m k_i = \frac{Q \cdot V^2 \cdot L}{\varphi \cdot \Delta\tau} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \rightarrow \max, \quad (12)$$

де $A' = \frac{A}{\varphi \cdot \Delta\tau}$; A – величина корисного ефекту транспортної операції, $A = Q \cdot V^2 \cdot L$; φ – коефіцієнт, що враховує відношення витрат на утримання транспортного засобу за життєвий цикл до вартості транспортного засобу, $\varphi = \frac{C_{жци_i}}{c_i}$; $C_{жци_i}$ – витрати на утримання транспортного засобу за життєвий цикл, грн.; c_i – вартість транспортного засобу, грн.; $\Delta\tau = 1 - \tau$; τ – коефіцієнт скорочення часу під технологічними операціями, $\tau = \frac{\Delta T}{T}$; ΔT – приріст значення часу під технологічними операціями за різними технологіями, год.; T – значення часу під технологічними операціями за базовою технологією, год.; k'_i – коефіцієнти окремих властивостей, $k_i = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5$; k_1 – коефіцієнт комерційної віддачі; k_2 – коефіцієнт запасу динамічних властивостей транспортного засобу; k_3 – коефіцієнт дорожніх переваг транспортного засобу; k_4 – коефіцієнт конкурентоспроможності транспортного засобу; k_5 – коефіцієнт надійності транспортного засобу.

За таких обмежень:

$$\begin{cases} C_{жци_i} > 0, c_i > 0, Q > 0, \\ \Delta T > 0, T > 0, L > 0, \\ 0 < V \leq V_{max}, \tau < 1. \end{cases} \quad (13)$$

Відмітимо, що окремими задачами щодо визначення критерію якості є обґрунтування оптимальних обсягів при відповідній вантажопідйомності транспортного засобу і дальності перевезень. Визначимо в рамках зміни тарифних нормативів і цін для кожного

виду транспорту оптимальні витрати на перевезення. На рисунку 2 приведені графічні залежності зміни $P=f(Q,L)$ у вигляді тримірної моделі

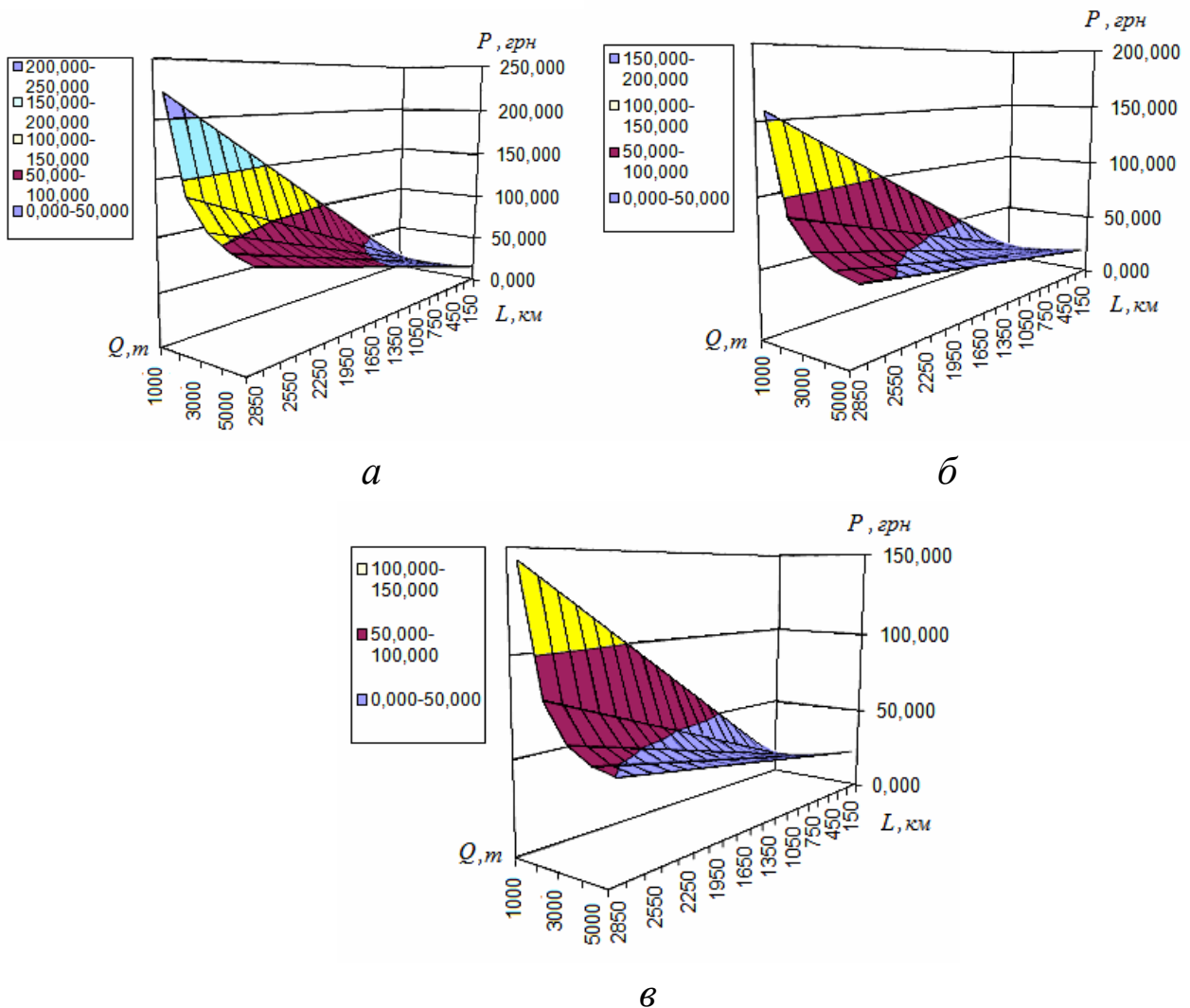


Рисунок 2 – Сумарні витрати на перевезення вантажів транспортними засобами: а – автомобільним; б – залізничним; в – інтермодальним

Згідно наведених залежностей можна зробити висновок, що автомобільний транспорт може конкурувати з інтермодальним на невеликій відстані перевезення і при незначних обсягах. А залізничні перевезення навпаки на коротких відстанях неефективні і поступаються інтермодальним перевезенням в середньому діапазоні дальностей, і майже однакові при дальніх перевезеннях.

Отже, комплексний кваліметричний критерій узагальненого рівня транспортного засобу Z (12) – це нелінійна функція, яка є мультиплікативною. У такому випадку рішення можливо знайти шляхом логарифмування обох частин рівняння, тоді отримаємо

$$\ln Z = \ln Q + 2\ln V + \ln L - \ln \phi - \ln(1 - \tau) + \ln k_1 + \ln k_2 + \ln k_3 + \ln k_4 + \ln k_5. \quad (14)$$

У зв'язку з тим, що функція є монотонно-зростаючою, то справедливе таке рівняння

$$\max \ln Z = \max Z. \quad (15)$$

В загальному вигляді рішення зводиться до задачі лінійного програмування, якщо обмеження мають лінійну залежність, або задачі динамічного програмування, якщо обмеження мають нелінійну залежність. Тоді запишемо

$$Z = e^{Q + 2V + L - \phi - (1 - \tau) + k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5}. \quad (16)$$

Комплексний кваліметричний критерій узагальненого рівня транспортного засобу \bar{z} може бути визначений для комбінації видів транспорту як

$$\bar{z} = \max \left\{ \sum_{i=1}^N \frac{Z_i}{N} \right\}, N = \overline{1, N}, \quad (17)$$

де N – кількість видів транспорту.

Згідно наведеного при виборі технології перевезень вантажів треба враховувати важливість кожної складової кваліметричного критерію у будь-який період часу при прийнятті рішень, реалізація вибору виду транспорту наведена на рисунку 3.

Тобто, виходячи з характеристики транспортного засобу, оцінюється оптимальна їх кількість, зона дії та вантажопідйомність, і з урахуванням рівня скорочення непродуктивних витрат часу і витрат на утримання транспортного засобу за життєвий цикл та рівня конкурентоспроможності визначається комплексний кваліметричний рівень цього транспортного засобу.

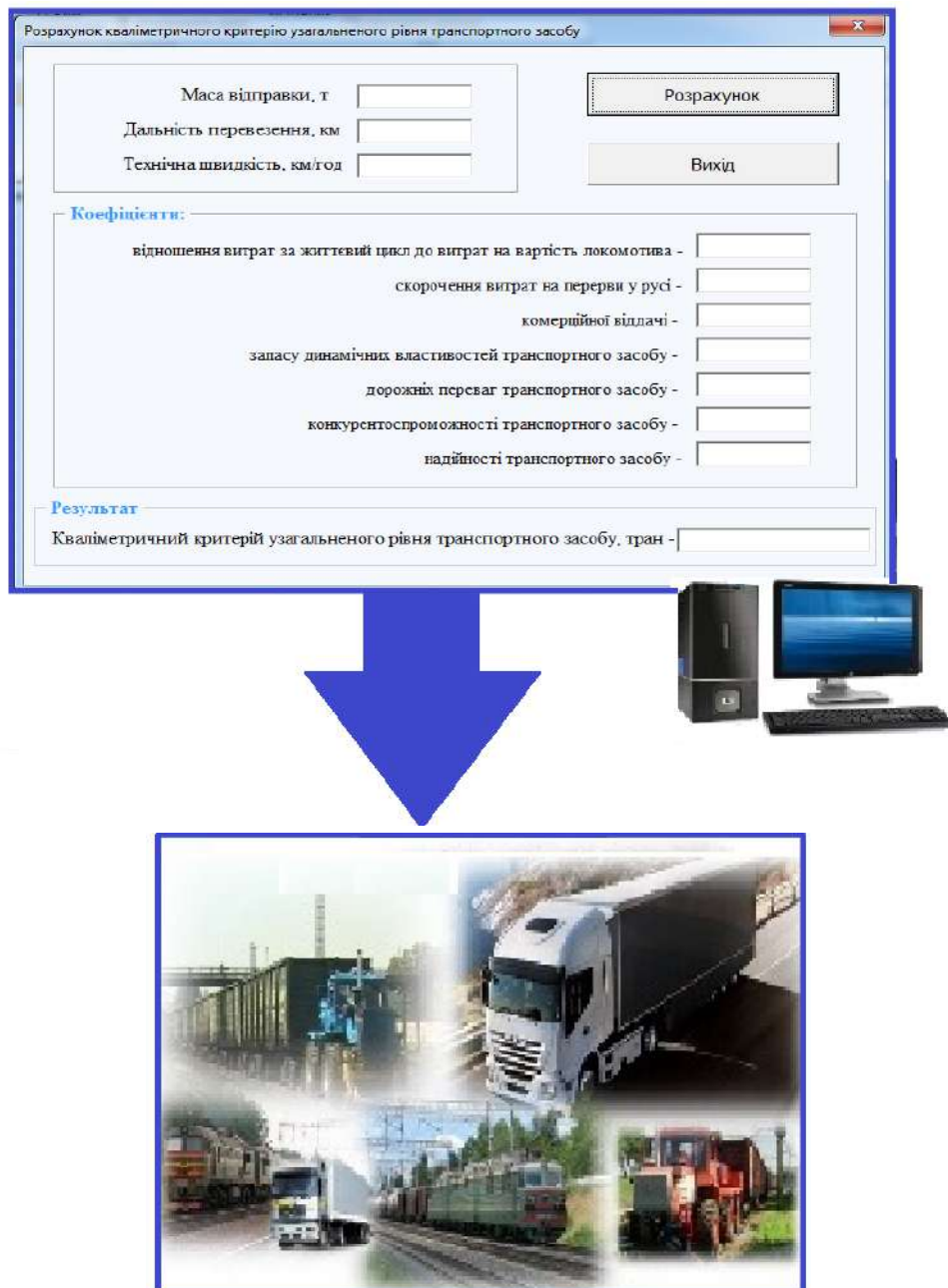


Рисунок 3 – Реалізація вибору виду транспорту за допомогою комплексного кваліметричного критерію узагальненого рівня транспортного засобу

Таким чином, на підставі проведеного аналізу показано, що на ефективність перевезень впливає вибір транспортного засобу з урахуванням діапазону оптимальних значень вантажопідйомності цього транспортного засобу та зони дальності перевезень на основі визначення оптимального значення комплексного кваліметричного критерію.

Запропонований кваліметричний критерій може бути використаний як для підвищення ефективності взаємодії автомобільного та залізничного транспорту, так і для інших видів транспорту через його комплексний характер [8].

На підставі оцінки рівня транспортного засобу показано, що вплив транспортного засобу на ефективність перевезення має комплексний характер, залежить від багатьох показників, що дозволило встановити наступне:

1. Складові комплексного кваліметричного критерію для визначення узагальненого рівня транспортного засобу є суперечливими, тому при виборі технології перевезень вантажів треба враховувати важливість тієї чи іншої складової критерію у кожний конкретний момент часу при прийнятті рішень.

2. Для уточнення кваліметричного показника необхідно визначити зону дії транспортних засобів при різних обсягах перевезень вантажів та на різну дальність перевезень.

3. За результатами розрахунків отримано: для залізничного транспорту $Z=1215 \cdot 10^{12}$ тран, для інтермодального $Z=6075 \cdot 10^{12}$ тран, а для автомобільного $Z=506,25 \cdot 10^{12}$ тран, що показує перспективність перевезень вантажів інтермодальним транспортом.

III. РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНУВАННЯ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Організація інтермодальних перевезень вантажів є одним із головних напрямів розвитку експортного та транзитного потенціалу України. Планування інтермодальних перевезень сприяє підвищенню конкурентоспроможності системи вантажних залізничних перевезень в державі.

В теперішній час найбільше застосування із всіх видів інтермодальних перевезень на залізницях України знайшли контейнерні, які дозволяють залучати до перевезень автомобільний, залізничний, морський, річковий та повітряний транспорт, а також забезпечують безпеку доставки вантажів.

Так за 2020 рік територією України перевезено понад 425 тис. контейнерів в умовних одиницях (ДФЕ), що на 10,7 % перевищує показник 2019 року. Ріст перевезень є результатом системної, злагодженої роботи, яка була направлена на організацію більшої кількості контейнерних поїздів, залучення нових міжнародних маршрутів, вдосконалення технології перевезення [12].

Також здійснюються прямі контейнерні перевезення з Китайської Народної Республіки до України. Поїзди привозять до України добрива, обладнання, вироби з кольорових металів, медичне та фармацевтичне обладнання, взуття та інші товари народного вжитку. Загалом, за підсумком 2020 року кількість прийнятих контейнерних поїздів із Китаю сягнула 22. Також значно зросла кількість контейнерних поїздів за маршрутом Китай–країни Західної Європи, який пролягає територією України [13].

Отже, особливої актуальності набуває ефективне використання транзитного потенціалу України за умови здійснення інтермодальних перевезень. Для того, щоб інтермодальні оператори та разом із ними і вантажовідправники змогли скористатись всіма перевагами залізничного транспорту, є необхідним впровадження сучасної технології планування інтермодальних перевезень.

Так однією з важливих задач є задача оперативного планування перевезень, в результаті вирішення якої буде визначатись маршрут всіма видами транспорту, що задіяні. При цьому буде враховуватись не лише довжина шляху, а й затримки при переході видів транспорту. В сучасних умовах значна кількість вантажовласників вимагає від перевізника, в першу чергу, прискорення доставки і не обов'язково з мінімізацією експлуатаційних витрат [14].

За таких умов вантажовідправник не повинен укладати окремих договорів із транспортними підприємствами та особисто

контролювати всі ланки перевезення. Така зручність є важливим фактором, який забезпечує даному виду перевезень постійний притік нових клієнтів, особливо зважаючи на те, що оператори також здійснюють контроль митних операцій при перетині міждержавних кордонів [15].

Інтермодальні перевезення є рятівним колом для залізничної галузі України, адже її територією проходять декілька міжнародних транспортних коридорів. Однак для підвищення конкурентоспроможності і привабливості інтермодальних перевезень необхідно зробити їх максимально зручними для клієнтів за рахунок максимального наближення останніх до процесу планування [15]. Однією з першочергових задач є задача оперативного планування перевезення, в результаті вирішення якої буде визначатись маршрут із урахуванням не лише довжини сегментів, що відповідають різним видам транспорту, а й фактору часу. Мета застосування даного підходу полягає у забезпеченні підвищення точності урахування часів затримок під час передачі вантажу від одного транспортного підприємства до іншого, та забезпеченні можливості одночасного урахування вимог клієнта щодо вартості перевезення та терміну доставки [9].

Так, одним із критеріїв при плануванні інтермодальних перевезень є його вартість. Цільову функцію наведено у вигляді витрат, які припадають на один контейнер:

$$C(X, t_0) = \left(e_{\text{док}} + n \sum_{i=1}^{\#X} \left(L_{x_i} e_{x_i} + (e_{x_i}^{\partial_1} + e_{x_i}^{\partial_2}) + \theta \left(|m_{x_i} - m_{x_{i+1}}| \right) \left(e_{S_{x_i}^{\text{кінець}}, S_{x_{i+1}}^{\text{поч}}} + \left(e_{S_{x_{i+1}}^{\text{поч}}}^{\text{скл}} + \chi e_{S_{x_{i+1}}^{\text{поч}}}^{\text{ох}}} \right) \tau_{S_{x_i}^{\text{кінець}}, S_{x_{i+1}}^{\text{поч}}}^{\text{пер}}(t_0) \right) \right) \right) / n \rightarrow \min, \quad (18)$$

де X – впорядкований змінний вектор (множина) номерів дуг, що відповідає маршруту переміщення вантажу на графі; $e_{\text{док}}$ – витрати на оформлення перевізних документів; n – обсяг партії вантажу, приведений до 20-ти футових контейнерів (TEU); $\#X$ – потужність

множини елементів змінного вектора X ; L_{x_i} – довжина ділянки маршруту, що відповідає i -му елементу множини x ; e_{x_i} – питомі витрати на переміщення контейнера на ділянку, що відповідає дузі x_i ; $e_{x_i}^{\partial_1}$ – додаткові витрати на дузі x_i , що пов'язані з вантажем (плата за додаткове кріплення, плата за перевантаження тощо); $e_{x_i}^{\partial_2}$ – додаткові витрати на дузі x_i , що пов'язані зі специфікою просування транспортного засобу (судовий збір, плата за льодову проводку судна, сезонна надбавка до тарифу); $e_{s_{x_i}^{кінц}}, e_{s_{x_{i+1}}^{поч}}$ – питомі витрати, що пов'язані з вивантаженням контейнера на кінцевому терміналі дуги x_i , переміщенням та навантаженням на терміналі дуги x_{i+1} ; $e_{s_{x_{i+1}}^{СКЛ}}^{поч}$ – вартість зберігання на складі терміналу, який розташований на початковій вершині дуги x_{i+1} під час очікування навантаження; $e_{s_{x_{i+1}}^{ох}}^{поч}$ – питома вартість охорони контейнера на складі терміналу, який розташований на початковій вершині дуги x_{i+1} під час очікування; χ – булева змінна, що приймає значення 1, якщо охорона необхідна, та 0 – в іншому випадку; m_{x_i} – вид транспортного сполучення на дузі x_i ; $\tau_{s_{x_i}^2, s_{x_{i+1}}^1}^{nep}(t_0)$ – часовий інтервал затримки при переході між дугами x_i та x_{i+1} (при зміні одного виду транспорту на інший або при виконанні операцій із поїздами на залізничних станціях, митних операцій тощо), який залежить від моменту початку реалізації маршруту t_0 ; $\theta(x)$ – функція Гевісайда, яка визначена наступним чином [15]:

$$\theta(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases} \quad (19)$$

Другим критерієм є час доставки вантажу, який можна представити у вигляді наступної цільової функції:

$$T(X, t_0) = \sum_{i=1}^{\#X} \left(\frac{L_{x_i}}{V_{x_i}} k_{x_i}^{zam}(t_0) + \tau_{s_{x_i}^{kinz}, s_{x_{i+1}}^{poch}}^{nep}(t_0) \right) \rightarrow \min, \quad (20)$$

де V_{x_i} – середня швидкість переміщення по дузі x_i ; $k_{x_i}^{zam}(t_0)$ – коефіцієнт затримки при переміщенні по дузі x_i , який залежить від моменту початку реалізації маршруту t_0 .

Для отримання адекватного рішення на керуючі змінні моделі накладаються певні обмеження:

$$\begin{cases} t^{lm} \leq t_0 \leq t^{nm} \\ s_{x_i}^{kinz} = s_{x_{i+1}}^{poch}, i = 1, 2 \dots \#X \\ s_{x_1}^{poch} = s^{poch} \\ s_{x_{\#X}}^{kinz} = s^{kinz} \\ n \leq w_{x_i}(t_0), i = 1, 2 \dots \#X \end{cases}, \quad (21)$$

де t^{lm} та t^{nm} – ліва та права межа інтервалу можливого початку реалізації маршруту, визначені вантажовідправником; s^{poch} та s^{kinz} – номери вершин графа транспортної мережі, які відповідають початковому і кінцевому пунктам маршруту відповідно; $s_{x_i}^{kinz}$ та $s_{x_{i+1}}^{poch}$ – номер кінцевої вершини дуги x_i та номер початкової вершини дуги x_{i+1} відповідно; $s_{x_1}^{poch}$ та $s_{x_{\#X}}^{kinz}$ – номер початкової вершини першої дуги маршруту та номер кінцевої вершини останньої дуги маршруту відповідно; $w_{x_i}(t_0)$ – кількість вільних контейнеро-місць на момент

початку переміщення вантажу по дузі x_i в залежності від моменту початку реалізації маршруту t_0 .

Так перше обмеження забезпечує пошук рішення, момент початку реалізації маршруту якого знаходиться в межах певного часового інтервалу, який відповідає умовам вантажовідправника. Друге обмеження забезпечує цілісність маршруту, контролюючи співпадіння кінцевої вершини попередньої дуги та початкової вершини наступної дуги. Третє та четверте обмеження забезпечують відбір тільки тих варіантів маршрутів, які сполучають вершини транспортної мережі, які визначені вантажовідправником у якості початкового і кінцевого пунктів переміщення вантажу. П'яте обмеження забезпечує вибір лише тих маршрутів, які забезпечують наявність достатньої кількості вільних контейнеромісць для забезпечення можливості переміщення партії вантажу в повному обсязі по всіх ділянках маршруту [15].

Таким чином, у такій постановці задача вибору оптимального плану інтермодального перевезення є задачею багатоцільової або векторної оптимізації [9].

Вирішення задач векторної оптимізації є не лише концептуально але й технічно більш складним процесом у порівнянні із задачами, які використовують тільки один критерій. Концептуальна складність полягає в тому, що в загальному випадку не існує єдиного рішення, яке б одночасно відповідало мінімумам по всіх критеріях. Таким чином, рішення задачі може бути лише компромісним, тобто таким, яке задовольняє певним вимогам або співвідношенням між критеріями, або прагне до певного рівня балансу [15].

Отже, існує ціла множина «кращих» рішень, яка називається множина Парето (Парето-фронт). По-перше, розв'язання такої задачі зводиться до відшукування по всій області можливих варіантів рішень із множини рішень, що відповідають Парето-фронті. Отже пошук множини точок Парето-фронті представляє значну обчислювальну складність, яка може зростати із більш ніж експоненційною швидкістю в порівнянні із лінійною швидкістю збільшення

розмірності задачі. Тоді з метою подолання цих труднощів запропоновано використання спеціального евристичного оптимізаційного алгоритму NSGA-III. Цей алгоритм відноситься до класу генетичних алгоритмів, які базуються на принципах збереження та покращення генофонду у живій природі [15]. Даний алгоритм був спеціально розроблений для вирішення задач багатоцільової оптимізації, який був створений у результаті подальшого розвитку алгоритму NSGA-II. Його основна відмінність – це новий механізм контролю локальної скупченості множини Парето-фронт, а саме оцінка відстані скупченості була замінена оцінкою щільності, яка визначається за допомогою опорних точок.

Отже, на першому кроці роботи алгоритму відбувається ініціалізація початкової популяції рішень $P = \{x_i\}_{i=1}^N$, а також множини опорних точок $R = \{r_i\}_{i=1}^N$. Кожна особина популяції представляє собою вектор змінних «хромосом», а елемент вектора - це «ген». Кожен ген містить номер дуги графа, яка була обрана для побудови маршруту. Останній ген хромосоми містить момент часу початку здійснення перевезення. На другому кроці алгоритму на основі поточної «батьківської» популяції генерується наступна популяція «нащадків» за допомогою генетичних операцій, таких як схрещування і мутація. На третьому кроці застосовується недоміноване сортування сукупної множини рішень $P \cup Q$ із виділенням із неї g недомінованих фронтів рішень $F_1, F_2 \dots F_g$. На четвертому кроці починаючи з фронту F_1 рішення копіюються до тимчасового архіву \bar{P} до тих пір, поки його розмір не зрівняється або не перевищить значення N таким чином, що $\bar{P} = \bigcup_{i=1}^{k-1} F_i$. Якщо розмір популяції \bar{P} дорівнює N , тоді місткість архіву використовується в якості нової популяції $P = \bar{P}$ і якщо умови зупинення роботи алгоритму не досягнуті (крок 7), тоді виконується наступний крок алгоритму. На п'ятому кроці виконується визначення величини скупченості по опорних точках множини R , шляхом визначення прив'язки точок рішень до найближчої до них опорної точки. Під близькістю до опорної точки розуміється не безпосередня відстань до неї, а довжина перпендикуляру, опущеного на пряму, яка

проходить через точку початку координат і відповідну опорну точку (рис. 4). Таким чином, число точок рішень, які асоціюються з даною опорною точкою називається її величиною щільності (рис. 4). Після обробки точок останнього фронту F_g і додавання їх до множини нової популяції P поточна величина щільності опорних точок перераховується. На шостому кроці відбувається випадковий відбір точки рішення із підмножини рішень, які знаходяться в області опорної точки із найменшою величиною щільності до тих пір, поки чисельність популяції P не зрівняється з N . На сьомому кроці алгоритм виконує перевірку критеріїв зупинки і якщо хоч один із них досягнуто, відбувається зупинка алгоритму і видача результату його роботи у вигляді Парето-фронту, який представлений фронтом F_1 . Всі інші фронти відкидаються у наслідок того, що вони були допоміжними і використовувались лише для підтримання різноманіття популяції для запобігання потрапляння до локальних мінімумів. У випадку, якщо поточний стан алгоритму не відповідає жодному з критеріїв зупинки, алгоритм повторно продовжує виконання, починаючи з другого кроку [15].

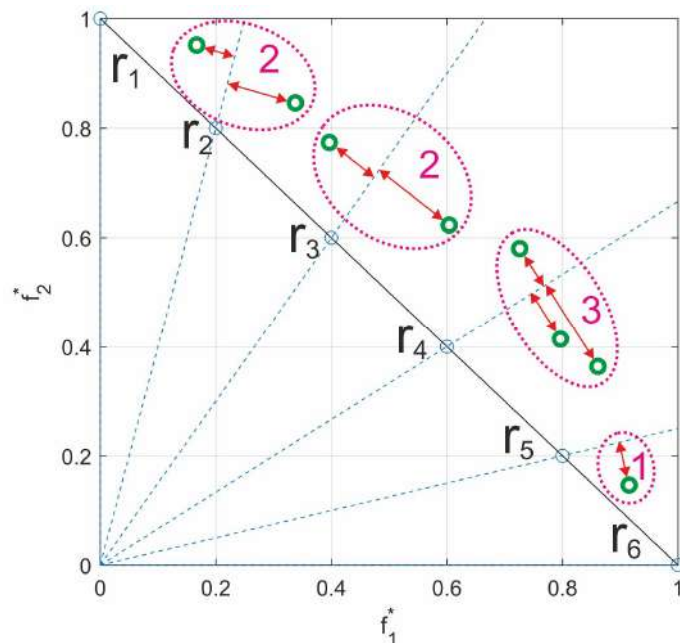


Рисунок 4 – Визначення величини щільності опорних точок

Так, на основі сформованої моделі створене програмне забезпечення у середовищі Matlab. У якості вихідних даних була використана абстрактна транспортна мережа, яка містить ділянки шляху, що відповідають чотирьом типам сполучення: автомобільному, залізничному, морському та авіаційному. Дана мережа представлена орієнтованим графом, який наведено на рисунку 5.

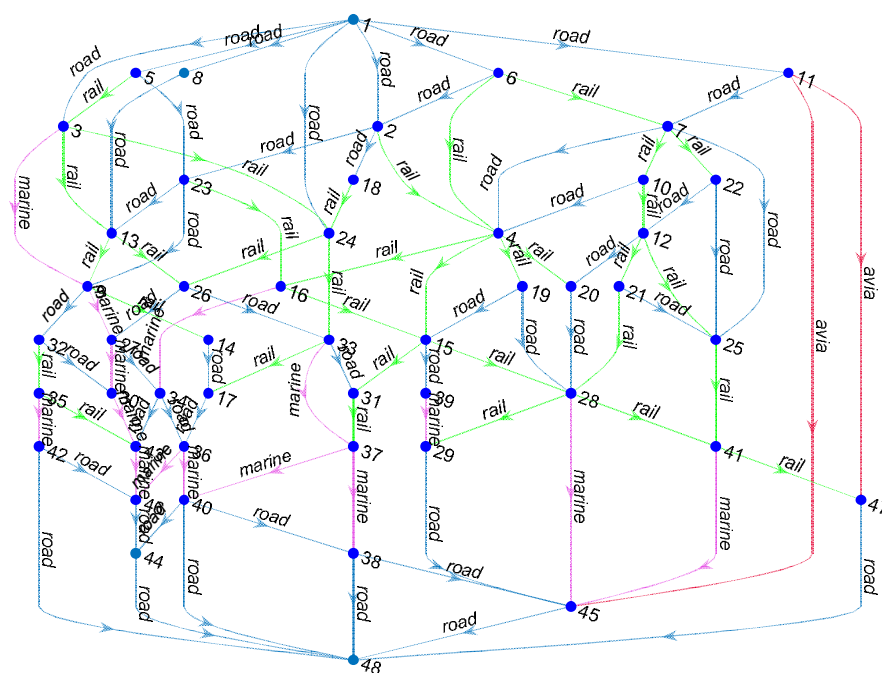


Рисунок 5 – Орграф транспортної мережі у задачі планування інтермодальних контейнерних перевезень

Параметрами дуги графа є вид сполучення, відстань, швидкість переміщення і вартість перевезення одного контейнера типу TEU на 1 км. У кожній вершині графу також визначені вартості перевантаження із одного виду транспорту на інший, що відповідають парам дуг, одна з яких представляє ділянку маршруту, по якій вантаж прибуває до даного пункту, друга дуга представляє ділянку, по якій вантаж відбуває від даної точки маршруту. Початкова точка кожної дуги також асоціюється із розкладом затримок початку переміщення по даній дузі, який відповідає

моменту часу потрапляння вантажу в ході реалізації перевезення до даного пункту [15].

Із застосуванням генетичного алгоритму типу NSGA-III було отримано множину Парето-оптимальних рішень, яка представлена на рисунку 7. На рисунку 6 наведений результат ранжювання популяції рішень у ході виконання алгоритму NSGA-III.

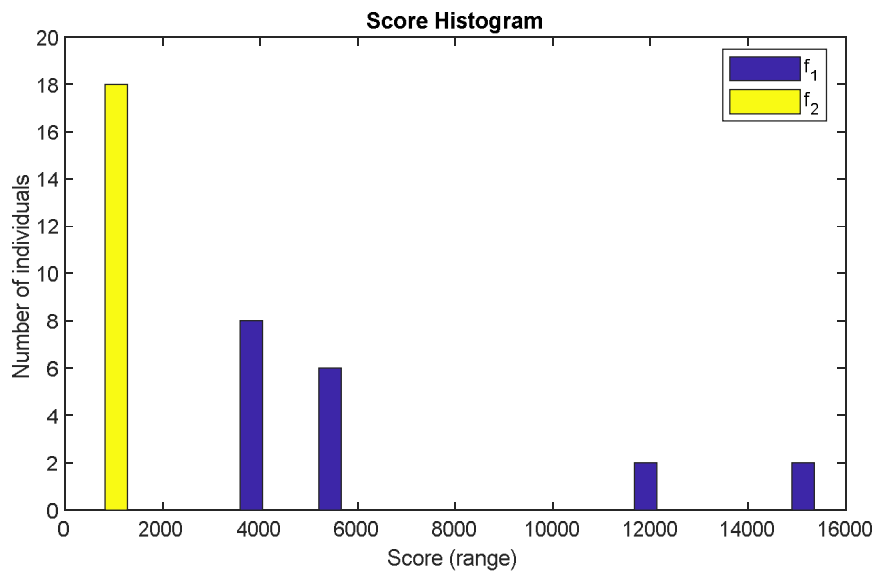


Рисунок 6 – Результат ранжювання популяції рішень за значеннями компонентів цільових векторів у ході виконання алгоритму NSGA-III

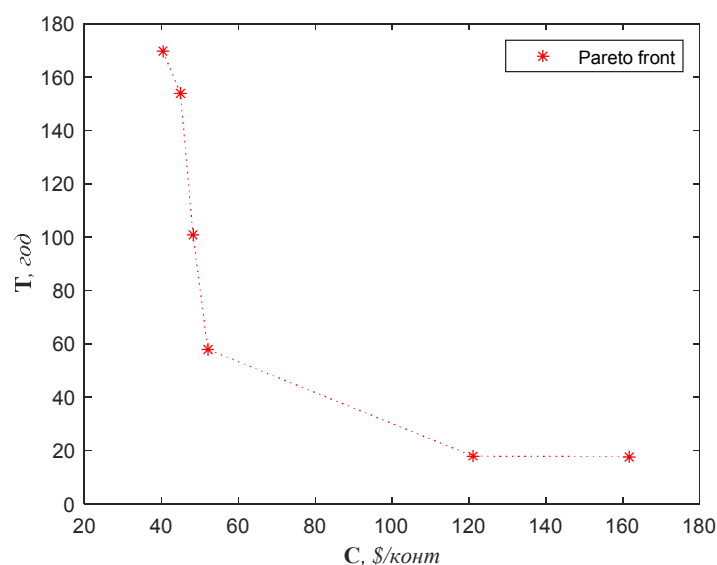


Рисунок 7 – Множина рішень Парето-фронт, отримана за допомогою алгоритму NSGA-III

Таким чином, множина Парето-оптимальних рішень включає шість цільових векторів (рис. 7). На рисунку 8 наведено множину маршрутів, які відповідають даним цільовим векторам.

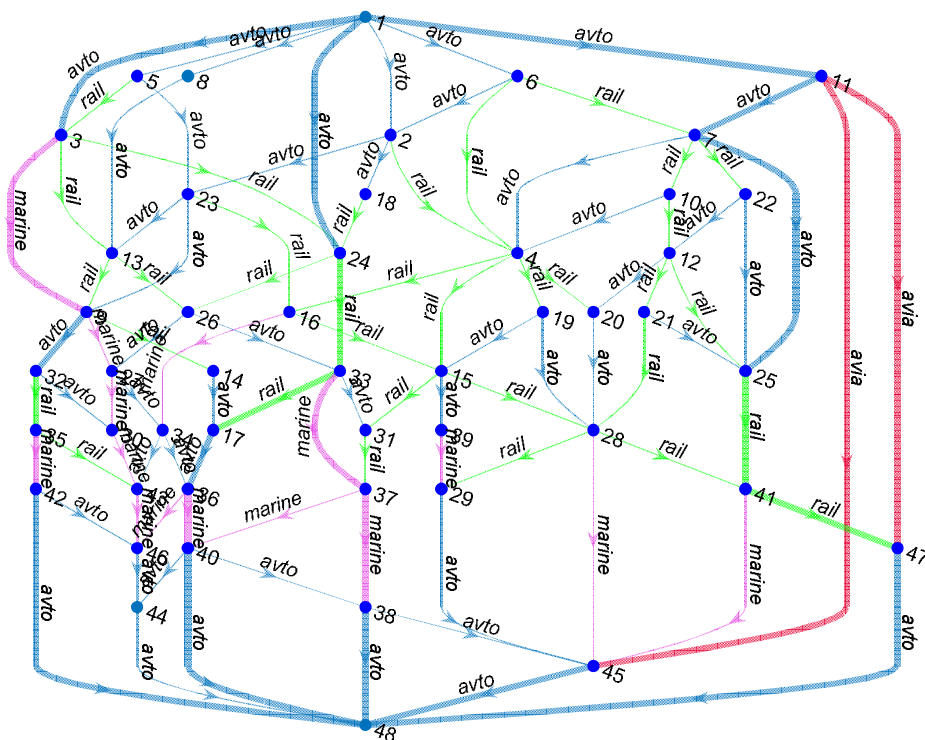


Рисунок 8 – Множина рішень Парето-фронту, отримана за допомогою алгоритму NSGA-III

Отже, Парето-фронт представляє собою множину недомінованих цільових векторів, кожен з яких є кращим за інші за значенням хоча б однієї цільової функції. Таким чином, кожен із представлених маршрутів є кращим за хоча б один інший маршрут, що відповідає цільовому вектору отриманої множини Парето, або за критерієм вартості перевезення або за критерієм терміну доставки [15].

Так, виділення із цієї множини єдиного рішення, яке максимально задовольняє всім технічним вимогам представляє окрему задачу, яка іноді також може представляти значну складність. Ключовим моментом для вирішення цієї задачі є вибір методу, який найкращим чином враховує всі чинники, які є важливими при прийнятті даного рішення.

Існують методи, які не потребують додаткової інформації, як, наприклад, метод граничної корисності (англ. marginal utility method). Однак при виборі маршруту необхідно враховувати вимоги вантажовідправника щодо терміну доставки та вартості перевезення. У зв'язку з цим значний інтерес представляє так званий метод зважених стрес-функцій (англ. Weighted Stress Function Method, WFSM). Його основними перевагами є: орієнтованість на багатокритеріальний вибір із можливістю врахування ступеня важливості кожного критерію, а також врахування значення ідеального вектора при здійсненні вибору [15].

Даний метод був інспірований поведінкою пластичних матеріалів певного класу, таких як термопластичні вулканізати. Ці матеріали є особливою групою термопластичних еластомерів, які мають цікаві механічні властивості. Стрес і напруження – це два різні, але тісно пов'язані між собою поняття. Стрес визначається як сила, що припадає на одиницю площі, яка може викликати зміну предмету або фізичного тіла. Напруження визначається як величина деформації, яку може зазнати матеріал внаслідок застосування стресу. Зв'язок між стресом і напруженням, яку демонструє конкретний матеріал, відображається кривою напруження та деформації [15].

Даний метод побудований на аналогії із стресово-деформаційною поведінкою матеріалу. Таким чином, стрес визначається як різниця між ідеальною точкою і цільовим вектором (рис. 9). Величина стресу також залежить від ваги критерію.

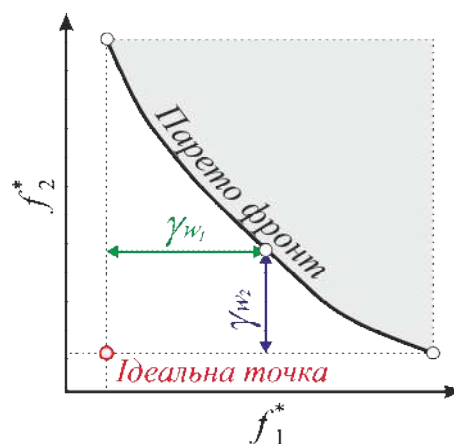


Рисунок 9 – Визначення стрес функції

Отже, величина стресу залежить від ваг, які асоціюються із кожним критерієм, тобто компонентом цільового вектора. Таким чином, вага, що відповідає певному критерію є аналогом параметра еластичності матеріалу за певним напрямком дії зусилля (стресу). Оптимальному рішенню відповідає цільовий вектор, який провокує мінімальний рівень стресу. Обчислення величин стрес-функцій базується на значеннях цільових векторів, але для цього значення цільових функцій потребують нормалізації таким чином, щоб вони належали числовому інтервалу $[0,1]$. Нормалізоване значення цільової функції можна отримати за наступною формулою [9]:

$$f_{ij}^* = \frac{f_{ij} - f_i^{\min}}{f_i^{\max} - f_i^{\min}}, \quad (22)$$

де f_{ij} – значення i -ї цільової функції j -ї цільового вектора Парето-фронту; f_i^{\min} , f_i^{\max} – мінімальне і максимальне значення i -ї цільової функції по всій множині точок Парето-фронту.

Відповідне значення стрес-функції можна обчислити за наступною формулою:

$$\gamma_{ij}(f_{ij}^*, w_i) = 1 + \alpha_{ij}(f_{ij}^*, w_i) \beta_i(w_i), \quad (23)$$

де $\alpha_{ij}(f_{ij}^*, w_i)$ і $\beta_i(w_i)$ – коефіцієнти еластичності, що відповідають компонентам цільових векторів та обраним вагам.

Другий коефіцієнт розраховується за формулою [16]:

$$\beta_i(w_i) = 1 - \frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi(2w_i - 1)}{2(1 + \delta_2)}\right)}{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2(1 + \delta_2)}\right)}, \quad (24)$$

де δ_2 – параметр, значення якого приймаємо на рівні $\delta_2 = 0,008$, як найкраще значення, яке було встановлене досвідним шляхом [17].

Перший коефіцієнт обчислюється за формулою:

$$\alpha_{ij}(f_{ij}^*, w_i) = \begin{cases} S \frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi(f_{ij}^* - w_i)}{\psi_i(w_i)}\right) \psi_i(w_i)}{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi w_i}{\phi_i(w_i)} - \delta_1\right) \phi_i(w_i)}, & f_{ij}^* \geq w_i \\ \frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi(f_{ij}^* - w_i)}{\phi_i(w_i)}\right)}{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi w_i}{\phi_i(w_i)}\right)}, & f_i < w_i \end{cases}, \quad (25)$$

де додаткові коефіцієнти визначаються як

$$\psi(w_i) = \frac{3}{4} w_i^2 + 2(1 - w_i) + \delta_1 \quad \text{та} \quad \phi(w_i) = \frac{3}{4} w_i^2 + w_i + \delta_1; \quad \delta_1 - \text{додатковий}$$

параметр, який використовується для відлаштування від зони, що наближена до асимптоти; S – корегуючий коефіцієнт, який застосовано для забезпечення плавності при сполученні двох частин кривої [15].

Слід зазначити, що у [16] наведено формулу без корегуючого коефіцієнту, що робить її непридатною для практичного застосування, у [17] наведено значення $\delta_1 = 0,002$, як найкраще значення, встановлене досвідним шляхом. Однак, при даному значенні мають місце значні викривлення форм кривих, що призводить до втрати сенсу застосування даного методу [15]. Досвідним шляхом було встановлено, що значення параметру δ_1 , при яких дані викривлення відсутні, знаходиться у межах $0,33 < \delta_1 < 0,88$. При здійсненні розрахунків значення параметру було прийняте на рівні $\delta_1 = 0,5$. Також слід зазначити, що значення корегуючого коефіцієнту S залежить від значень параметрів δ_1 та w_i . При

здійсненні розрахунків застосовувався наступний вигляд залежності

$$s(w_i, \delta_i) = 0,4 \left(\frac{w_i}{\delta_i} \right)^{0,1w_i\delta_i}.$$

Отже, цільовий вектор множини Парето і відповідні йому значення керуючої змінної t_0 та керуючого змінного вектору X , що відповідають оптимальному рішення, повинні також відповідати мінімуму наступної цільової функції [15]:

$$Q(X_j, t_{0j}) = \left| \gamma_{1j} \left(f_{1j}^*(X_j, t_{0j}), w_1 \right) - \gamma_{2j} \left(f_{2j}^*(X_j, t_{0j}), w_2 \right) \right| \rightarrow \min. \quad (26)$$

За методом зваженої стрес-функції були проведені розрахунки. Величини вагових коефіцієнтів, що відображають рівень значущості критеріїв були прийняті наступні: $w_1 = 0,6$, $w_2 = 0,4$. Результати яких були зведені в таблицю 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунків щодо визначення оптимального маршруту інтермодального контейнерного перевезення

№	Маршрут	Загальна відстань	$C(x)$, $\{f_1(x)\}$, \$/конт	$T(x)$, $\{f_2(x)\}$, год	$f_1^*(x)$	$f_2^*(x)$	$Q(x)$
1	1,24,33,37,38,48	4604	4036,36	169,57	0	1	0,981615
2	1,3,9,32,35,42,48	4116	4492,69	153,88	0,0376	0,8967	0,430953
3	1,24,33,17,36,40,48	2964	4818,74	100,81	0,0645	0,5476	0,395761
4	1,11,7,25,41,47,48	2407	5203,52	57,86	0,0962	0,265	6,906039
5	1,11,47,48	4147	12099,70	17,84	0,6648	0,0018	1,534167
6	1,11,45,48	4458	16166,13	17,57	1	0	17,35612

За результатами розрахунку оптимальний маршрут відповідає цільовому вектору №3, так як він має мінімальне значення функції Q . На рисунку 10 наведена Парето-фронт та показана відстань між точкою рішення та ідеальною точкою. На рисунку 11 оптимальний показаний маршрут на графі транспортної мережі.

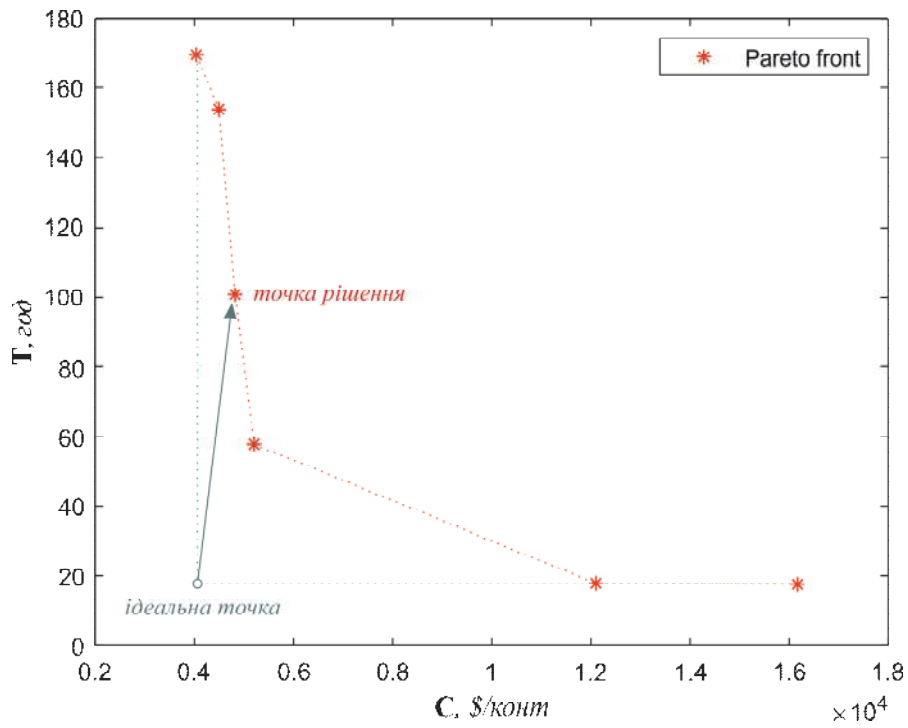


Рисунок 10 – Відстань між точкою рішення та ідеальною точкою

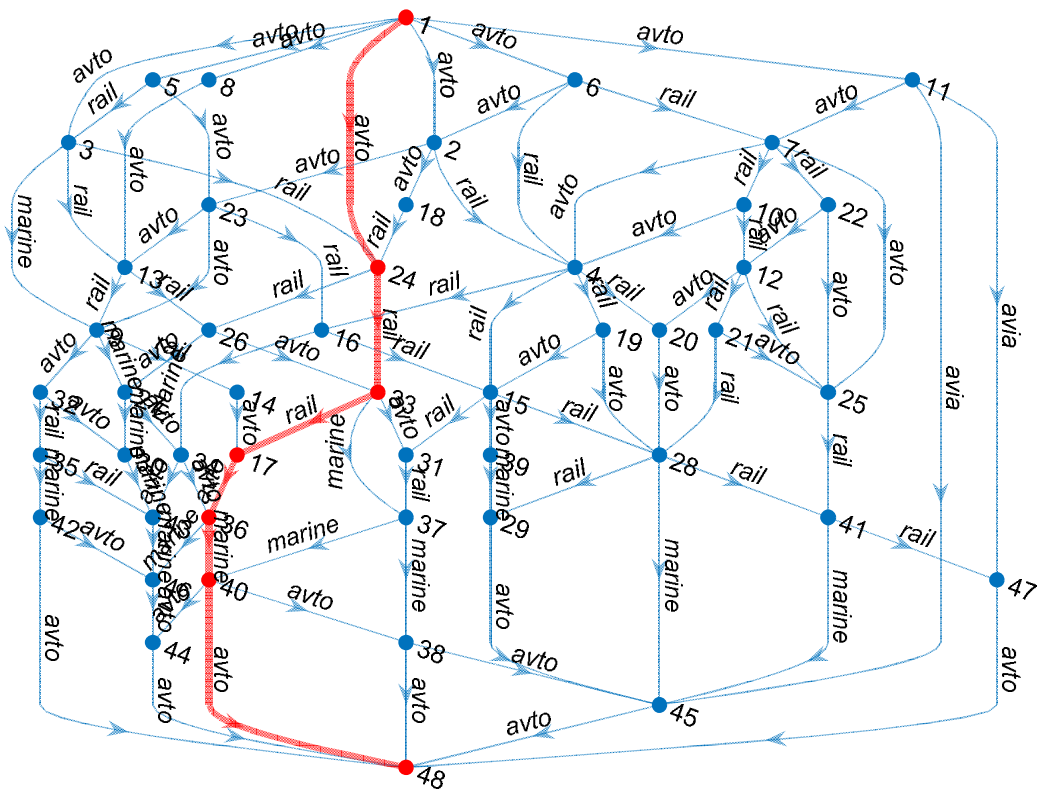


Рисунок 11 – Оптимальний маршрут інтермодального контейнерного перевезення на графі транспортної мережі

За результатами розрахунку довжина маршруту склала 2964 км, тривалість маршруту – 100,81 годин, а вартість перевезення одного контейнера склала 4818,74 доларів США.

Дана технологія забезпечить скорочення витрат інтермодальних операторів в середньому на 8% за умови її застосування на складних транспортних мережах та до 50% скорочення тривалості перевезення у порівнянні із традиційною технологією планування [15].

У результаті дослідження було встановлено, що розроблена математична модель, яка складається із двох цільових функцій та системи обмежень, дозволяє адекватно відтворювати процес планування інтермодальних перевезень, використовуючи у якості вихідних даних графові структури великої розмірності та всю необхідну додаткову інформацію [15].

Результати моделювання підтверджують, що математична модель та розроблений метод її оптимізації, який полягає у послідовному використанні спеціалізованих засобів математичного апарату, дозволяють досягати поставленої мети і є раціональним вибором у якості основи автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень [15].

Так, формується критерій вибору транспортної системи на основі кваліметричної оцінки, яка враховує обсяги перевезень вантажів, швидкість доставки вантажів та дальність маршруту. На основі методів генетичних алгоритмів моделюється оптимальний маршрут доставки вантажів, обирається вид транспорту та визначається взаємодія видів транспорту.

Розвиток інтермодальних перевезень набуває актуальності ще й у зв'язку із розширенням Укрзалізницею географії міжнародних контейнерних перевезень, так Укрзалізниця та DHL Global Forwarding домовились розвивати контейнерні залізничні перевезення у напрямку Китай–Європа та планують запроваджувати нові міжнародні маршрути.

Таким чином, реалізація покращення якості управління перевезень передбачає визначення оптимального маршруту доставки вантажів, пошук оптимальної взаємодії видів транспорту при

здійсненні, зокрема, інтермодальних перевезень. Отримана процедура оцінки якості управління перевезень може доповнювати традиційні підходи до формування транспортних технологій, в тому числі, з появою нових транспортних засобів. Розроблена процедура оцінки транспортних технологій може бути використана для недискримінаційного доступу до інфраструктури.

Злагоджена та узгоджена робота всіх задіяних видів транспорту дозволить підвищити якість транспортних послуг, зменшити термін доставки та збільшити рівень довіри до всього транспортного комплексу України в цілому.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Інформація про Українські залізниці. URL: <https://mtu.gov.ua/content/informaciya-pro-ukrainski-zalznici.html>.
- [2] Публікація документів Державної Служби Статистики України, Держстат України, 1998-2020. URL: <http://ukrstat.org/>.
- [3] А. М. Котенко, О. С. Крашенінін, О. О. Шапатіна, "Вибір кількості типів технічних залізничних засобів для інтермодальних перевезень", *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології»*, 2014, Вип. 24, с. 202–207.
- [4] A. Krashenin, O. Shapatina, V. Ponomarenko, "Estimation of vehicle operating time taking into account the influence of a number of factors", *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології»*, 2021, Вип. 37, с. 76–85, doi:10.32703/2617-9040-2021-37-9.
- [5] О. С. Крашенінін, О. О. Шапатіна, "Визначення ефективності перевезень різними транспортними засобами", *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*, 2021, Вип. 2, с. 3–8, doi: 10.18664/ikszt.v26i2.235237.
- [6] О. О. Шапатіна, "Формування автоматизованої технології управління інтермодальними перевезеннями": автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. Харків, 2020. 21 с.
- [7] О. С. Крашенінін, О. О. Шапатіна, "Вибір виду транспортного забезпечення на основі положень теорії нечітких множин", *Розвиток методів управління та господарювання на транспорті. Збірник наукових праць*, 2016, Вип. 2(55), с. 101–113.
- [8] S. Panchenko, O. Lavrukhin, O. Shapatina, "Creating a qualimetric criterion for the generalized level of vehicle", *Eastern-European journal of enterprise technologies*, 2017, Vol. 1, № 3(85), pp. 39–45, doi: 10.15587/1729-4061.2017.92203.
- [9] Т. В. Бутько, О. М. Костенніков, В. М. Прохоров, О. О. Шапатіна, "Розробка автоматизованої технології планування інтермодальних

перевезень на основі векторної оптимізації", *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*, 2019, Вип. 188, с. 71-85.

- [10] Ю. М. Андрианов, М. В. Лопатин, Квалиметрические аспекты управления качеством новой техники, ЛГУ, 1983, 288 с.
- [11] А. Дешковский, Ю. Койфман, "Метод размерностей в решении задач", *ФПВ*, 2002, Вип. 2, с. 71–81.
- [12] Перевезення контейнерів територією України у 2020 році зросли майже на 11%. URL: https://www.uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/532811/.
- [13] Укрзалізниця з початку 2021 року прийняла 4 контейнерні поїзди з Китаю до України. URL: https://www.uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/page-10/536547/.
- [14] О. М. Костенніков, О. О. Шапатіна, А. Л. Кравець, К. В. Кім, "Пропозиції щодо підвищення якості транспортних послуг за рахунок удосконалення технології інтермодальних перевезень", *Інтелектуальні транспортні технології: тези доповідей I Міжнар. наук.-техн. конф.*, Трускавець-Харків, 24-30 січня 2020 р., УкрДУЗТ, 2020, с. 62-63.
- [15] О. О. Шапатіна, "Формування автоматизованої технології управління інтермодальними перевезеннями": дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. Харків, 2020. 203 с.
- [16] R. Denysiuk, A. Gaspar-Cunha, "Weighted Stress Function Method for Multiobjective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition", *Proceedings of 9th International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization (EMO 2017)*, Münster, Germany, March 19-22, 2017, pp. 176–190.
- [17] J. C. Ferreira, C. M. Fonseca, A. Gaspar-Cunha, "Methodology to select solutions from the pareto-optimal set: a comparative study". *Proceedings of 9th Annual Conference on Genetic on Evolutionary Computation (GECCO 2007)*, ACM, New York, pp. 789–796.

Наукове видання

*Рекомендовано до друку Вченою Радою наукової установи
Академія технічних наук України (протокол №1 від 05.01.2022 року)*

НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ У ГАЛУЗІ ТРАНСПОРТУ

Колективна монографія

Мова видання: українська

Загальна редакція Д.В. Ломотько

Художнє оформлення Н.М. Кузь
Комп'ютерна верстка М.В. Кузь

ISBN 978-617-7926-26-8

Віддруковано з готового макету замовника

Підписано до друку 27.01.2022 р.
Формат 60x84 1/16. Умов. друк. арк. 12,55.
Папір офсетний. Гарнітура “Times New Roman”.
Друк цифровий. Зам № 641.
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.
76000, м. Івано-Франківськ, вул. Шота Руставелі, 1,
тел. (099) 700-47-45, e-mail: kgm.print@i.ua