

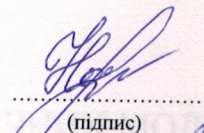
**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**  
Навчально-науковий інститут транспорту та будівництва  
Кафедра логістичного управління та безпеки руху на транспорті

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
до кваліфікаційної роботи  
освітньо-кваліфікаційного рівня магістр

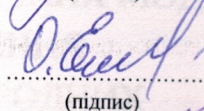
галузі знань 27 – «Транспорт»  
спеціальності 273 «Залізничний транспорт». Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті

на тему: «Дослідження транспортного забезпечення при міжнародних залізничних перевезеннях з урахуванням їх інтероперабельності»

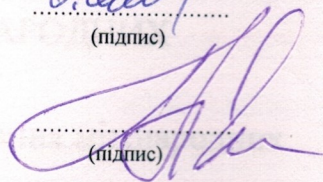
Виконав: студент групи ІБЗТ-19зм  
Новомлинська Н.Ю.

  
.....  
(підпис)

Керівник: доц. Спіфанова О.В.

  
.....  
(підпис)

Завідувач кафедри: проф. Червечька-Білецька Н.Б.

  
.....  
(підпис)

Рецензент: Бичков Д.С.

.....  
(підпис)

## **2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ВАНТАЖОПОТОКІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ**

### **2.1 Особливості використання тверджень до моделювання**

Успішність функціонування залізничної транспортної системи великою мірою залежить від якості управління різноманітними за характером своєї діяльності її підрозділами. Мережа залізниць України повинна ефективно забезпечувати пропуск потоків вантажів та пасажирів, як між регіонами в межах країни, так і між сусідськими державами своєю територією, використовуючи для цього всі можливості транспортних коридорів (ТК).

Рішення такої транспортної задачі можливе двома шляхами: напрямком розвитку залізничної мережі або через підвищення ефективності використання вже існуючої. Побудова нових ліній край витратна справа, що потребує тривалого часу. Тому, вочевидь, вигідніше застосування другого варіанту, у рамках реалізації якого можна виділити такі завдання: дослідження властивостей потоків поїздів та функціонування транспортної мережі; визначення перевізних можливостей мережі; оптимізація руху поїздів на розгалуженій залізничній мережі.

Розробка засобу моделювання перевізного процесу та дослідження транспортних потоків залізничної системи України є актуальним для розвитку галузі науковим та практичним завданням. Важливість цієї теми підкреслюється її зв'язком із прийнятими Міністерством інфраструктури комплексними програмами утвердження України, як транзитної держави та приєднання її до конвенції про міжнародні залізничні перевезення [1, 2]. Вирішення питань, що порушуються в статті, спрямовані на сприяння виконанню комплексних цільових програм по реструктуризації залізничного транспорту України, підвищенню безпеки руху та створенню національної мережі ТК України [2, 3].

Українська залізнична транспортна система, за своїми розмірами, щільністю залізниць, обсягом перевізної роботи посідає одне з чільних місць з посеред провідних європейських країн (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Основні характеристики залізниць провідних держав Європи

Показник	Іспанія	Німеччина	Польща	Україна	Франція
Площа, тис. км <sup>2</sup>	564,70	357,00	312,70	603,70	547,70
Довжина мережі, тис. км	12,30	40,80	23,40	22,08	31,90
Щільність мережі за площею, км/1000км <sup>2</sup>	21,80	114,30	74,80	36,60	58,30
Вантажнапруженість, млн т·км/км·нетто	0,79	1,66	2,88	8,12	1,55
Частка електрифіков. ліній, %	55,80	45,20	49,60	42,15	44,50

У порівнянні статистичних даних двадцяти чотирьох країн Європи, що подають інформацію про свою діяльність [4], обсяги перевезень вантажів на залізницях України вже на двотисячний рік дорівнювали кількості перевезень у Білорусії, Молдові, Румунії, Словаччині та Угорщині узятих разом.

Націленість нашої держави на тісну співпрацю з європейським співтовариством, перспектива вступу до Всесвітньої організації торгівлі та одержання статусу країни з ринковою економікою спонукає залізничний транспорт України до інтеграції у світову транспортну систему. На теперішній час ця стратегія є пріоритетною і пов'язана з розвитком міжнародних ТК [2]. В рамках цієї політики, на другій Пан'європейській конференції, була затверджена система дев'яти міжнародних ТК три з яких мають проходити територією України:

коридор №3 – Берлін (Дрезден) – Вроцлав – Львів – Київ (довжина основного ходу –1640 км, у тому числі Україною: залізничний – 694 км. автошляховий – 612 км);

коридор №5 – Трієст – Любляна – Будапешт – Братислава – Ужгород – Львів (загальна довжина – 1595км, у тому числі Україною: залізничний – 266 км, автошляховий – 339 км із відгалуженням 47км);

коридор №9 – Гельсінкі – Санкт-Петербург – Київ (Москва) Одеса (Кишинів) - Бухарест – Олександрополіс (довжина основного ходу – 3400 км, у тому числі Україною: залізничний – 1496км, автошляховий – 997 км із відгалуженнями – 152 і 242 км).

Процес перевезень на залізничному транспорті характеризується високими вимогами до безпеки руху, економічності, а також суворим дотриманням строків доставки пасажирів і вантажів. Забезпечення цього пов'язане з використанням прогресивних методів організації вагонопотоків, графіків руху поїздів і технологічних процесів всіх видів лінійних підрозділів.

Одне з головних місць, в управлінні експлуатацією залізниць, відведено завданню раціональної організації вагонопотоків. Її рішення сприяє оптимальному розподілу сортувальної роботи між станціями, забезпеченню своєчасної доставки вантажів, скороченню загальних витрат вагоно-годин під накопичення і переробку, зниженню собівартості перевезень і підвищенню ефективності перевізного процесу.

В експлуатаційних розрахунках вагонопотоки, як правило, визначаються середньодобовим числом вагонів по всіх різновидах вантажів спільно. На кожній станції або ділянці визначається й підтримується певний баланс навантажених і порожніх вагонів. Для цього розробляються схеми напрямку вагонів кожного роду з районів їхнього надлишку до районів з нестачею, причому порожній пробіг непродуктивний і тому повинен бути мінімальним.

Вагонопотоки до пункту призначення, як правило, пропускають за найкоротшим напрямком, однак техніко-економічні розрахунки можуть показати, що більш доцільно направляти вагонопотоки по паралельних лініях з кращим технічним оснащенням (двоколійні, з електротягою і т.д.), хоча й більшої довжини.

Таке планування є основою для подальших розрахунків розмірів руху, необхідної пропускної й переробної здатності залізничної систем та побудови графіків руху.

Результати розрахунків навантажених вагонопотоків подають у табличній формі, у вигляді діаграм і ступінчастих графіків. Такі методи подання вагонопотоків ще поширені на багатьох залізницях, але вони вже значно відстають від можливостей, що надають сучасні комп'ютеризовані інформаційно-керуючих технологій. Це призводить до стримування росту продуктивності залізничних перевезень та обмежує конкурентоспроможність залізниць на ринку транспортних послуг [5, 6]. Тому пропонуються такі напрямки удосконалення технологій планування залізничних транспортних потоків:

- збільшення наочності графічного подання транспортної мережі у сукупності всіх її компонентів та взаємозв'язків;
- використання зручного інструменту для опису та аналізу асинхронних, розподілених та паралельних систем із складною структурою;
- моделювання динаміки функціонування системи й зокрема паралельних процесів, що протікають у ній;
- залучення математичних засобів аналізу транспортної мережі, що дозволяють створювати рівняння станів та інші математичні співвідношення, що описують динаміку системи;
- використання зручних для композиції структури та динаміки потоків транспортних систем семіотичних елементів, що однаково зрозумілі і фахівцям-практикам і науковцям;
- розробка ефективних та надійних програмно-апаратних комп'ютерних комплексів, які б мали зручний людино-машинний інтерфейс та реалізували обговорені в попередніх пунктах характеристики.

Методологічною основою розробки математичних моделей міжнародних залізничних перевезень є використання певних тверджень, на основі яких «сформовано системний підхід, принцип реалізації якого в теорії транспортних систем поставлений на перше місце» [4-6].

Відомо, що транспортні системи є складними системами [7]. Але, перш за все, це динамічні системи, що є стохастичними (невизначеними) через вплив багатьох внутрішніх та зовнішніх факторів. Процес управління транспортною системою можна здійснювати за різними аспектами її діяльності: технічної, організаційної, функціональної, інформаційної, економічної. Тому, очевидно, управлінські рішення можуть бути різноманітними.

Метод факторного аналізу дозволяє виявити об'єктивно існуючі фактори які впливають на об'єкт дослідження. Дуже важливим є те, що, як правило, ці фактори безпосередньо не спостерігаються, а лише якимось чином впливають на досліджувані параметри.

Математичне моделювання відноситься до найважливіших інструментів при розв'язанні різних транспортних проблем. [12]. Математичні методи дослідження транспортних процесів умовно поділені на детерміновані та ймовірнісні. В першому випадку транспорт розглядається як певний механізм, а його складові частини – станції, вузли, дільниці, напрямки – як його ланки, що зв'язані між собою жорсткими аналітичними залежностями. В другому випадку виходять з того, що експлуатаційні процеси носять ймовірнісний, а не однозначно детермінований характер.

В даній роботі ці два підходи поєднуються у вигляді величин і констант, значення яких встановлені на основі статистичних даних та ймовірнісних уявлень про транспортні процеси.

## **2.2 Методика використання системного підходу до моделювання міжнародних залізничних перевезень**

Вивченням транспортних потоків з використанням математичного моделювання ведеться вже майже 100 років. Однак, в цій галузі залишається багато невирішених питань.

В дослідженнях залізничних станцій та вузлів, як зазначається в роботі «Моделювання транспортних систем» дослідників Персіанова В.А., Скалова К.Ю. та Ускова М.С., транспортні потоки розглядаються лише з кількісної сторони (розміри руху, розподіл тривалості інтервалів між заявками на обслуговування і т.п.). Реальні ж потоки характеризуються не тільки величиною, але й структурою, формою організації, що безпосередньо впливає на розрахунок і спеціалізацію пристроїв станцій та вузлів [8, 11].

Найбільшого розвитку та розповсюдження математична теорія транспортних потоків набула на автомобільному транспорті. Вперше на транспортний потік як об'єкт дослідження звернув увагу російський вчений Дубелір Г.Д. Він вивчав пропускну спроможність магістралей та їх перетинів. Теорія транспортних потоків розглядає рух дискретних об'єктів (транспортних засобів) по двовимірним транспортним мережам.

В теорії транспортних систем потік транспортних засобів розглядається аналогічно потоку рідини чи газу. Транспортні засоби автомобільного транспорту не переміщуються так само вільно, як частинки при броунівському русі, проте й не мають обмежень графіком, як на залізничному транспорті. Крім того, потік автотранспортних засобів характеризується швидкістю, яка при збільшенні числа автомобілів зменшується. В теорії транспортних потоків розрізняють часові та просторові процеси. Співвідношення між просторовим та часовим розташуванням автомобілів відіграє винятково важливу роль в експериментальних дослідженнях потоку. Транспортний потік характеризується середніми параметрами: середня швидкість, щільність, інтенсивність.

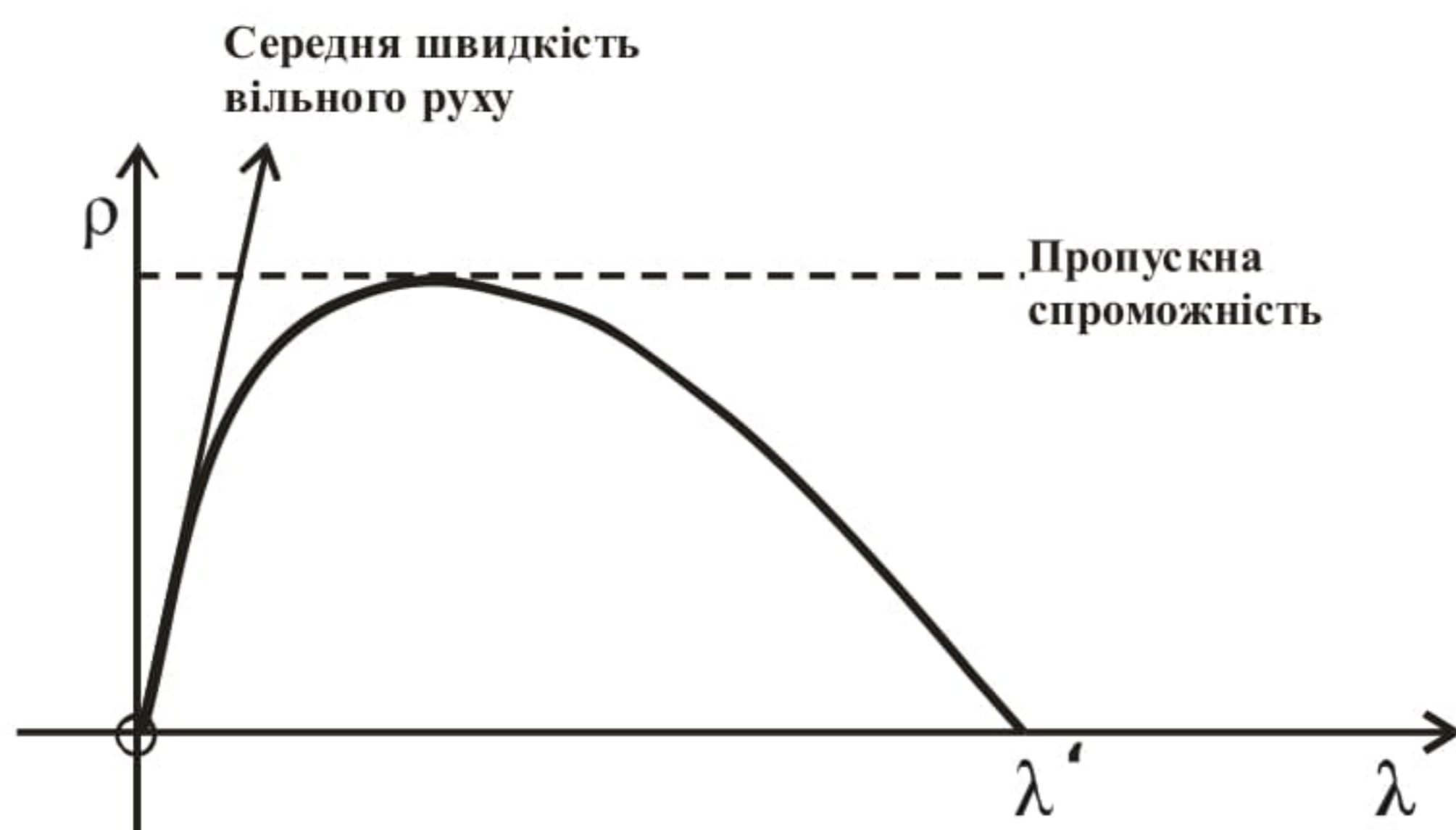


Рис. 2.1 Основна діаграма транспортного потоку

Діаграма, наведена на рис. 2.1 відображає зміну інтенсивності потоку в залежності від його щільності і називається основною діаграмою транспортного потоку [7]. Відповідно до фундаментальної діаграми,

пропускна спроможність – це максимальна кількість автомобілів, яка може пройти через певну точку смуги руху або дороги за певний період часу при переважаючих дорожньо-транспортних умовах.

Питання розрахунку пропускної спроможності на залізничному транспорті має свої особливості. Враховуючи специфіку організації експлуатаційної роботи залізничного транспорту, максимальна пропускна спроможність пристроїв та споруд залізниць розраховується на підставі правил, технічних умов, технологічних процесів, інструкцій [2, 4]. Проте фактичне значення пропускної спроможності може виявитись нижчим розрахункової, в залежності від експлуатаційних умов, технології роботи. Оскільки рух поїздів відбувається по графіку, для забезпечення стабільності роботи прокладка ниток здійснюється з певним резервом. Тому розрізняють ефективну пропускну спроможність, яка є важливим показником якості роботи залізниць.

*Раціональне використання пропускної спроможності залізничних ліній, залишається відкритим і актуальним в нинішніх умовах переходу на європейські принципи розмежування інфраструктури і перевізної діяльності на залізничному транспорті.*

#### Прогнозування на основі моделювання транспортних потоків



У роботах [8-10] зазначено, що: «Прогнозування транспортних потоків використовуються у галузі транспортної політики для планування і проектування (наприклад, для розрахунку потенціалу транспортної інфраструктури; для оцінки фінансової та соціальної життєздатності проектів, а також для розрахунку впливу на навколишнє середовище (забруднення повітря та шум))».

Прогнозування транспортних потоків являє собою процес оцінки числа транспортних засобів або людей, які будуть використовувати конкретний об'єкт транспортування в майбутньому.

Прогнозування транспортного потоку починається зі збору даних про поточний трафік. На основі цих поточних даних у поєднанні з іншими відомими даними, такими як кількість населення, зайнятість, ціна поїздки, транспортні витрати і т.п., розробляється модель попиту на перевезення (поточна). Наповнюючи цю модель прогнозними даними для населення, зайнятості і т.п. отримують оцінки розмірів майбутнього руху, як правило, для кожного сегмента транспортної інфраструктури (частина автодороги, залізничний вокзал, лінія).

В контексті моделі вантажних перевезень розглянуто такі кроки [3-8]: «1. *Виробництво і споживання*: на цьому етапі визначається кількість товарів, що транспортується з різних зон походження і обсяги товарів, що транспортуються в різні зони призначення (у вигляді матриці виробництва та споживання); 2. *Поставка*: на другому етапі визначаються потоки вантажів між зонами походження та призначення (заповнюються клітинки матриці виробництва та споживання); 3. *Види транспорту*: на цьому етапі товарні потоки розподіляються за видами транспорту (автомобільний, залізничний, внутрішній водний, комбіновані перевезення і т.п.); 4. *Розподіл*: після перетворення товарних потоків в тоннах на потоки за видами транспорту, вони можуть бути віднесені до транспортної мережі, з визначенням конкретних маршрутів транспортування і відповідних вантажопотоків по кожному маршруту».

Детальніше зупинимось на другому кроці. Для вирішення поставленої задачі другого кроку використовують гравітаційну модель [20, 23, 26].

Гравітаційна модель. Основні поняття гравітаційної моделі для аналізу транспортних потоків (торгівлі) запозичені з фізичного рівняння гравітації: величина взаємодії (обсяг торгівлі) між двома об'єктами (зонами, регіонами, країнами) пропорційна їх показникам вагомості (економічній «масі») та обернено пропорційна відстані між ними. Аналітичне рівняння основної гравітаційної моделі має такий вигляд:

$$M_{ij} = k \frac{P_i P_j}{d_{ij}^2}, \quad (2.1)$$

де  $M_{ij}$  – показник взаємодії між об'єктами  $i$  та  $j$ ;

$k$  – коефіцієнт відповідності;

$P$  – певна міра вагомості об'єктів  $i$  та  $j$  (наприклад, чисельність населення, ВВП і т.п.)

$d_{ij}$  – відстань між об'єктами.

Для розрахунку транспортних потоків гравітаційна модель приймає форму:

$$T_{ij} = K_i K_j T_i T_j f(C_{ij}), \quad \sum_j T_{ij} = T_i, \quad \sum_i T_{ij} = T_j \quad (2.2)$$

$$K_i = \frac{1}{\sum_j K_j T_j f(C_{ij})}, \quad K_j = \frac{1}{\sum_i K_i T_i f(C_{ij})}, \quad (2.3)$$

де  $T_{ij}$  – кількість тонн між пунктами відправлення  $i$  та призначення  $j$ ;

$T_i$  – кількість тонн, що відправляються з пункту  $i$ ;

$T_j$  – кількість тонн (вагонів), що прибувають до пункту  $j$ ;

$C_{ij}$  – ціна поїздки або тариф за доставку від пункту  $i$  до пункту  $j$ ;

$K_i, K_j$  – балансові коефіцієнти.

Після математичних перетворень із застосуванням методу множників Лагранжа, апроксимації Стірлінга, загальний вигляд моделі буде:

$$T_{ij} = A_i B_j T_i T_j e^{-\beta C_{ij}}, \quad \text{при } A_i = \frac{e^{-\lambda_i}}{T_i}, \quad B_j = \frac{e^{-\lambda_j}}{T_j} \quad (2.4)$$

де  $\lambda_i$ ,  $\lambda_j$ ,  $\beta$  – множники Лагранжа.

Застосування концепції «Чотирьох кроків» для моделювання та прогнозування міжнародних вагонопотоків залізницями України ускладнене у зв'язку з необхідністю збору та обробки величезного масиву статистичної інформації. А статистична інформація про вагонопотоки залізниць інших країн може бути взагалі недоступною.

## **Висновки до розділу 2**

З'ясовано, що методологічною основою розробки математичних моделей міжнародних залізничних перевезень є системний підхід.

Для реалізації стратегічних напрямків перевізної діяльності українських залізниць, що полягають у активній участі у формуванні та функціонуванні головних євразійських товарних потоків, проаналізовано існуючі наукові методи та засоби прогнозування і кількісної оцінки транспортних потоків.

Встановлено, що найбільшого розвитку та розповсюдження теорія транспортних потоків набула на автомобільному транспорті. Проте можливості застосування цієї теорії до залізничного транспорту є доволі обмеженими, оскільки залізничний транспорт має суттєві відмінності та особливості. Важливим аспектом при моделюванні транспортних потоків залізничним транспортом є пропускна спроможність ліній та напрямків, яка може бути виділена для міжнародних вантажних перевезень і визначає провізну спроможність транзитної транспортної лінії.

### **3. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ МІЖНАРОДНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

#### **3.1 Забезпечення транспортного обслуговування міжнародних залізничних перевезень**

Управління вантажними перевезеннями на залізничному транспорті України, що функціонує в умовах інтенсивної обробки вантажопотоків, потребує нових сучасних форм організації комплексного транспортного обслуговування на основі логістичних підходів.

Привабливість залізничного транспорту України як перевізника в міжнародних перевезеннях має декілька аспектів – технологічний і економічний, які, при успішному їх сполученні, визначають перевізника як надійного, а отже привабливого для користувачів транспорту – як українських так і іноземних. Технологічний аспект включає такі складові, як здатність залізниць України забезпечити необхідні об'єми перевезень за кількістю та тривалістю відповідним рухомим складом.

Основними вимогами користувачів до транспортного обслуговування, що надають залізниці України, є:

- прибуття вагонів вчасно;
- прибуття вагонів в потрібній кількості, обумовленій договором і планом перевезення;
- справний стан вагонів (порожніх), схоронність вантажу (у навантажених вагонах);
- доступність інфраструктури для вагонів (за умов міжнародних перевезень);
- надійний (керований) час транзиту вагонів.

Вимоги користувачів до змісту їх транспортного обслуговування залізницями України зведені до табл. 3.1, 3.2.

Таблиця 3.1

Зміст вимог користувачів до змісту їх транспортного обслуговування залізницями України (УЗ)

Користувачі транспортних послуг УЗ, їх розташування		Одержувачі вантажів	
		в Україні	за межами України
Відправники вантажів	в Україні	<p>Прибуття вагонів вчасно (навантажених), вантажів в схоронності</p> <p>Прибуття вагонів вчасно (порожніх), в потрібній кількості, справних</p>	<p>Прибуття вагонів вчасно (навантажених), вантажів в схоронності, вчасна передача вагонів від УЗ</p> <p>Прибуття вагонів вчасно (порожніх), в потрібній кількості, справних (на експорт)</p>
	за межами України	<p>Прибуття вагонів вчасно (навантажених), вантажів в схоронності, вчасна передача вагонів від УЗ</p> <p>Вчасний доступ вагонів до інфраструктури УЗ (вчасна передача вагонів на УЗ)</p>	<p>Прибуття вагонів вчасно (навантажених), вантажів в схоронності, вчасна передача вагонів від УЗ</p> <p>Вчасний доступ вагонів до інфраструктури УЗ (вчасна передача вагонів на УЗ)</p>

Таблиця 3.2

Основні вимоги користувачів до транспортного обслуговування, що надають залізниці України, їх позначення та пояснення

№	Зміст основних вимог	Позначення вимоги та його пояснення (англ. = укр.)
1	Прибуття вагонів вчасно (порожніх – до ВВ під навантаження, навантажених – до ОВ під вивантаження)	{TA} (timely arrival = вчасне прибуття)
2	Прибуття вагонів в потрібній кількості, обумовлений договором і планом перевезення	{WN} (wagons number = кількість та номери вагонів)
3	Справний стан вагонів (порожніх), схоронність вантажу (у навантажених вагонах)	{WF} (wagons, freight fit = вагони, вантажопридатні)
4	Доступність інфраструктури для вагонів (за певних умов)	{IA} (infrastructure accessible/affordable = інфраструктура доступна за технічними / комерційними умовами)
5	Надійний (керований) час транзиту вагонів інфраструктурою залізниць України	{TC} (time controlled = час керований)

До табл. 3.2 не включена схоронність вантажів, тому що вона є безумовною вимогою користувачів (має бути 100%, стовідсотковою, або ж несхоронність відшкодовується в претензійному порядку). Такий підхід виправданий також і тим, що випадки несхоронності не носять масового характеру, трапляються набагато рідше, ніж, наприклад, несвоєчасне подавання вагонів під навантаження, подавання вагонів непридатних в технічному чи комерційному відношенні.

Очевидно, що експертна оцінка вимог до транспортного обслуговування (табл. 3.3) істотно залежить від того, хто її дає (відправник чи одержувач вантажу), де розташований відправник або одержувач вантажу (в Україні чи за її межами), а також від умов INCOTERMS, за якими здійснюється контракт та його транспортне обслуговування. Тому більш коректною для оцінки буде наступна таблиця 3.4, в якій у клітинках зверху, справа від діагоналей наведені примірні оцінки одержувачі, а знизу, зліва від діагоналей – оцінки відправників.

Таблиця 3.3

Примірна експертна оцінка вимог різних категорій користувачів (сегментів транспортного ринку) до транспортного обслуговування, що надається і на якість якого може вплинути УЗ\*

№	Коротка назва та позначення вимоги	Відправники вантажів (ВВ)		Одержувачі вантажів (ОВ)	
		в Україні	за межами України	в Україні	за межами України
1	Вчасне прибуття {TA}	0÷1/2÷4	1÷2	...	
2	Потрібна кількість {WN}	...	...		
3	Справний вагон {WF}	...			
4	Доступна інфраструктура {IA}				
5	Керований транзит {TC}				

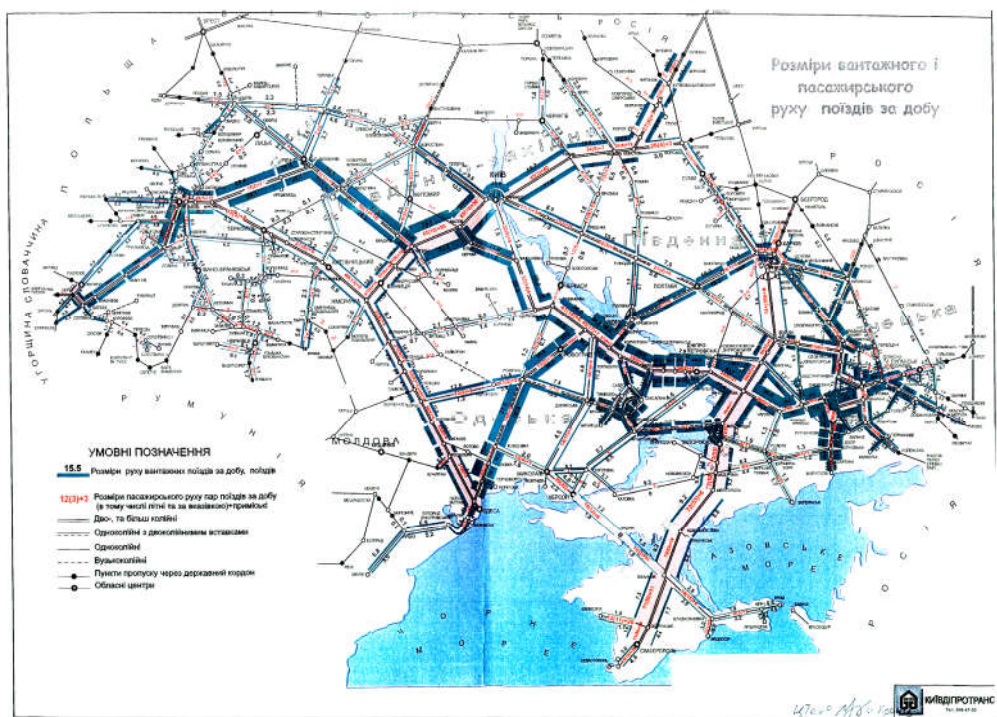
**\*Примітка.** Оцінка дається за 5-бальною шкалою, наприклад: «0» = не має значення / УЗ не може вплинути, «1» = не має великого значення / УЗ майже не впливає, «2» = має деяке значення / УЗ може вплинути, «3» = має істотне значення/певною мірою залежить від УЗ, «4» = має велике значення / залежить від УЗ, «5» = має дуже велике значення / залежить тільки від УЗ. (Можна застосовувати і 10-бальну шкалу, помноживши наведені примірні оцінки на 2. Бали можуть виставлятися дрібними, наприклад «3,6».).

Таблиця 3.4

Форма оцінки вимог користувачів до транспортного обслуговування,  
що надають залізниці України (оцінки примірні)

Користувачі транспортних послуг УЗ, їх розташування		Одержувачі вантажів (ОВ)																																								
		в Україні	за межами України																																							
Відправники вантажів (ВВ)	в Україні	Оцінки ОВ	Оцінки ОВ																																							
		<table border="1"> <tr><td>{TA}</td><td>3÷4</td></tr> <tr><td>{WN}</td><td>4÷5</td></tr> <tr><td>{WF}</td><td>2÷3</td></tr> <tr><td>{IA}</td><td>0</td></tr> <tr><td>{TC}</td><td>0</td></tr> </table> <p>Оцінки ВВ</p> <table border="1"> <tr><td>{TA}</td><td>4÷5</td></tr> <tr><td>{WN}</td><td>5</td></tr> <tr><td>{WF}</td><td>4÷5</td></tr> <tr><td>{IA}</td><td>1÷2</td></tr> <tr><td>{TC}</td><td>0÷1</td></tr> </table>	{TA}	3÷4	{WN}	4÷5	{WF}	2÷3	{IA}	0	{TC}	0	{TA}	4÷5	{WN}	5	{WF}	4÷5	{IA}	1÷2	{TC}	0÷1	<table border="1"> <tr><td>{TA}</td><td>4÷5</td></tr> <tr><td>{WN}</td><td>5</td></tr> <tr><td>{WF}</td><td>4÷5</td></tr> <tr><td>{IA}</td><td>0</td></tr> <tr><td>{TC}</td><td>0</td></tr> </table> <p>Оцінки ВВ</p> <table border="1"> <tr><td>{TA}</td><td>3÷4</td></tr> <tr><td>{WN}</td><td>5</td></tr> <tr><td>{WF}</td><td>5</td></tr> <tr><td>{IA}</td><td>0÷1</td></tr> <tr><td>{TC}</td><td>1÷2</td></tr> </table>	{TA}	4÷5	{WN}	5	{WF}	4÷5	{IA}	0	{TC}	0	{TA}	3÷4	{WN}	5	{WF}	5	{IA}	0÷1	{TC}
	{TA}	3÷4																																								
	{WN}	4÷5																																								
{WF}	2÷3																																									
{IA}	0																																									
{TC}	0																																									
{TA}	4÷5																																									
{WN}	5																																									
{WF}	4÷5																																									
{IA}	1÷2																																									
{TC}	0÷1																																									
{TA}	4÷5																																									
{WN}	5																																									
{WF}	4÷5																																									
{IA}	0																																									
{TC}	0																																									
{TA}	3÷4																																									
{WN}	5																																									
{WF}	5																																									
{IA}	0÷1																																									
{TC}	1÷2																																									
за межами України	Оцінки ОВ	Оцінки ОВ																																								
	<table border="1"> <tr><td>{TA}</td><td>2÷3</td></tr> <tr><td>{WN}</td><td>3÷4</td></tr> <tr><td>{WF}</td><td>4÷5</td></tr> <tr><td>{IA}</td><td>0</td></tr> <tr><td>{TC}</td><td>0</td></tr> </table> <p>Оцінки ВВ</p> <table border="1"> <tr><td>{TA}</td><td>0÷1</td></tr> <tr><td>{WN}</td><td>0÷1</td></tr> <tr><td>{WF}</td><td>0÷1</td></tr> <tr><td>{IA}</td><td>1÷2</td></tr> <tr><td>{TC}</td><td>2÷3</td></tr> </table>	{TA}	2÷3	{WN}	3÷4	{WF}	4÷5	{IA}	0	{TC}	0	{TA}	0÷1	{WN}	0÷1	{WF}	0÷1	{IA}	1÷2	{TC}	2÷3	<table border="1"> <tr><td>{TA}</td><td>2÷3</td></tr> <tr><td>{WN}</td><td>4</td></tr> <tr><td>{WF}</td><td>2÷3</td></tr> <tr><td>{IA}</td><td>0</td></tr> <tr><td>{TC}</td><td>0</td></tr> </table> <p>Оцінки ВВ</p> <table border="1"> <tr><td>{TA}</td><td>0</td></tr> <tr><td>{WN}</td><td>0</td></tr> <tr><td>{WF}</td><td>0</td></tr> <tr><td>{IA}</td><td>2÷3</td></tr> <tr><td>{TC}</td><td>3÷4</td></tr> </table>	{TA}	2÷3	{WN}	4	{WF}	2÷3	{IA}	0	{TC}	0	{TA}	0	{WN}	0	{WF}	0	{IA}	2÷3	{TC}	3÷4
{TA}	2÷3																																									
{WN}	3÷4																																									
{WF}	4÷5																																									
{IA}	0																																									
{TC}	0																																									
{TA}	0÷1																																									
{WN}	0÷1																																									
{WF}	0÷1																																									
{IA}	1÷2																																									
{TC}	2÷3																																									
{TA}	2÷3																																									
{WN}	4																																									
{WF}	2÷3																																									
{IA}	0																																									
{TC}	0																																									
{TA}	0																																									
{WN}	0																																									
{WF}	0																																									
{IA}	2÷3																																									
{TC}	3÷4																																									

Теоретично вагони будь-якої належності можуть працювати у будь-якому виді сполучення. Наведено дані потоків поїздів у докризовий період: розміри вантажного і пасажирського руху поїздів (рис. 3.1, а) та розрахункові маршрути найбільш масових перевезень міжнародних вантажів (рис. 3.1, б).



а) Розміри вантажного і пасажирського руху поїздів



б) Розрахункові маршрути найбільш масових перевезень міжнародних вантажів

Рис. 3.1 Дані потоків поїздів у докризовий період (до 2014 року)



Таблиця 3.5

Характеристики попиту на перевезення (обсяг  $D_i$ , тонн, та відстань перевезення  $L_i$ , км, за видами сполучення,  $i$ ) і оборот вагона різної приналежності,  $j$ , за видами сполучення  $\Theta_{ij}$  (доба)

Сполучення		Попит, $D$ , т	Відстань, $L$ , км	Вагони українські:		Вагони іноземні	
				парку УЗ	приватні		
			$j$		1	2	3
$i$							
1	Внутрішнє	$D_1$	$L_1$	$\Theta_{11}$	$\Theta_{12}$	$\Theta_{13}$	
2	Експорт	$D_2$	$L_2$	$\Theta_{21}$	$\Theta_{22}$	$\Theta_{23}$	
3	Імпорт	$D_3$	$L_3$	$\Theta_{31}$	$\Theta_{32}$	$\Theta_{33}$	
4	Транзит	$D_4$	$L_4$	$\Theta_{41}$	$\Theta_{42}$	$\Theta_{43}$	
Найвний ресурс робочого парку:				$X$	$Y$	$Z$	

Таблиця 3.6

Доходи (попередня таблиця)

Територія		Україна		За межами України	
		за відстань	за час	за відстань	за час
Вагон власності					
України	Парку УЗ	$A + BL$	$c_{kw} t_{kw}$	0	$e_{kw} T_{kw}$
		0	$c_{kw} t_{kw}$	0	$e_{kw} T_{kw}$
	Приватний, орендований	$(A + BL) \beta$	$c_{kw} t_{kw} \gamma$	0	?
		$v L \alpha$	$c_{kw} t_{kw} \gamma$	0	?
іноземний		$(A_{tr}) + B_{tr} L_{tr}$	$-e_{kw} T_{kw}$	0	0
		$v_{tr} L_{tr} \alpha$	$-e_{kw} T_{kw}$	0	0

Нові організаційно-технологічні підходи в доставці вантажів залізничним транспортом ґрунтуються на розробці раціональних графіків доставки вантажів, які враховують особливості кожного перевезення, а також технологічні можливості перевізника.

На рис. 3.2 представлено, в координатах «час – відстань», графічну модель перевезень в різних видах сполучень.

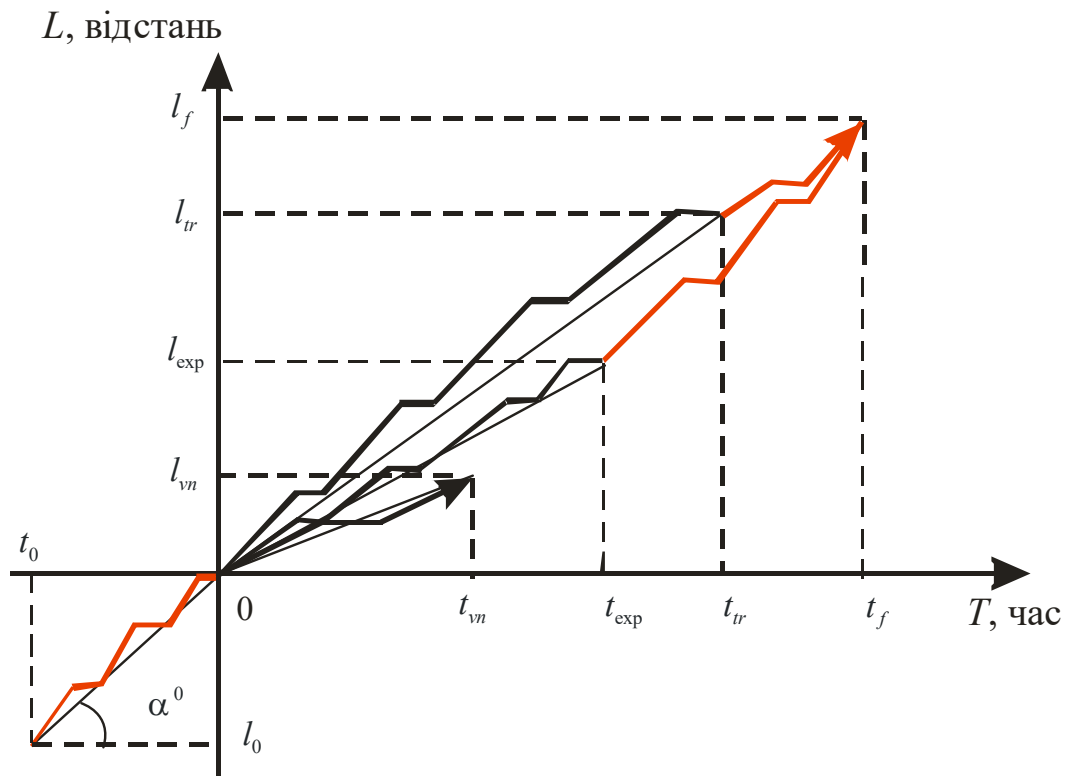


Рис. 3.2 Графічна модель перевезень у різних видах сполучень у координатах «час – відстань»

У моделі (рис. 3.2) прийнято наступні позначення:

$l_0$  - відстань перевезення із-за меж України до першої прикордонної станції залізниць України (відстань  $l_0$  враховується для імпортних та транзитних вантажів і відповідних вагонів);

$t_0$  - тривалість перевезення від станції відправлення за межами України до першої прикордонної станції залізниць України, діб;

$\alpha^0$  - кут, тангенс якого дорівнює співвідношенню «масштабованій маршрутній швидкості»:  $\text{tg} \alpha^0 = l_0 / t_0$ , тобто це маршрутна швидкість, виражена через відносні (масштабовані) відстані та тривалості перевезення в різних видах сполучення, де за одиниці масштабу прийняті значення, характерні для внутрішньодержавного сполучення (табл. 3.12, 3.13);

$l_{vn}$  - відстань перевезення у межах України (тарифна відстань) у внутрішньодержавному сполученні, км;

$t_{vn}$  - тривалість перевезення у межах України у внутрішньодержавному сполученні, діб;

$l_{exp}$  - відстань перевезення у межах України експортних вантажів, км;

$t_{exp}$  - тривалість перевезення у межах України експортних вантажів, діб;

Аналогічно для імпортних вантажів визначаються  $l_{imp}$  та  $t_{imp}$ ;

$l_{tr}$  - відстань перевезення у межах України транзитних вантажів, км;

$t_{tr}$  - тривалість перевезення у межах України транзитних вантажів, діб;

$l_f, t_f$  - відповідно відстань і тривалість перевезення експортного або транзитного вантажу від останньої прикордонної станції України до кінцевої станції призначення.

Разом з введеною вище  $l_0$  - відстанню перевезення із-за меж України до першої прикордонної станції залізниць України (УЗ) введемо відстані:

$l_1$  - відстані перевезень у межах УЗ:  $l_1 = \begin{cases} l_{vn} & \text{при внутрішніх перевезеннях;} \\ l_{exp}, l_{imp} & \text{при експортних, імпортних;} \\ l_{tr} & \text{при транзитних перевезеннях.} \end{cases}$

$l_2$  - відстані перевезень за межами УЗ до кінцевої станції призначення експортних або транзитних вантажів (вище ця відстань була позначена як  $l_f$ ).

Тривалості перевезень на відстані  $l_1$  та  $l_2$  складають відповідно  $t_1$  та  $t_2$ . Тривалості перевезень  $t_0, t_1$  та  $t_2$  є складовими часу обороту вагона в різних видах сполучення  $\Theta_{int}$ , який в загальному випадку можна визначити за формулою:

$$\Theta_{int} = \frac{(1 + \alpha)}{24} \left[ \frac{1}{(1 + \alpha)} (\tau_{sh} + \tau_{cn} + \tau_{01} + \tau_{12}) + \left( \frac{l_0}{d_0} \tau_0 + \frac{l_1}{d_1} \tau_1 + \frac{l_2}{d_2} \tau_2 \right) + \left( \frac{l_0}{v_0} + \frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2} \right) \right], \quad (3.1)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт порожнього пробігу вагона (по відношенню до навантаженого); в міжнародних перевезеннях можна приймати  $\alpha \approx 1$ .

$\tau_{sh}$  – тривалість знаходження вагона в користуванні відправника (підготовка до навантаження, навантаження тощо), год.;

$\tau_{cn}$  – тривалість знаходження вагона в користуванні одержувача (підготовка до вивантаження, вивантаження тощо), год.;

$\tau_{01}$  – тривалість перетину кордону після прибуття імпортного або транзитного вантажу в Україну (на першу прикордонну станцію), год.;

$\tau_{12}$  – тривалість перетину кордону до відправлення експортного або транзитного вантажу з України (з останньої прикордонної станції), год.;

$\tau_0$ ,  $\tau_1$  та  $\tau_2$  – тривалості простоїв вагона на технічних станціях залізниць відповідно: до прибуття в Україну, в Україні та після відправлення з України, год.;

$d_0$ ,  $d_1$  та  $d_2$  – середня відстань між технічними станціями залізниць відповідно: до прибуття в Україну, в Україні та після відправлення з України, км;

$v_0$ ,  $v_1$  та  $v_2$  – середня дільнична швидкість руху вантажних поїздів між технічними станціями залізниць відповідно: до прибуття в Україну, в Україні та після відправлення з України, км/год.

Отже, в формулі (3.1) представлені складові часу обороту вагона (год.):

$[(\tau_{sh} + \tau_{cn})]$  – тривалість простоїв вагона у відправника і одержувача вантажу;

$[(\tau_{01} + \tau_{12})]$  – тривалість простоїв вагона на прикордонних переходах при «вході» в Україну та при «виході» з України;

$\left[ \left( \frac{l_0}{d_0} \tau_0 + \frac{l_1}{d_1} \tau_1 + \frac{l_2}{d_2} \tau_2 \right) \right]$  – тривалість простоїв вагона на технічних станціях до «входу» в Україну та після «виходу» з України;

$\left[ \left( \frac{l_0}{v_0} + \frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2} \right) \right]$  – тривалість знаходження вагона в русі між станціями.

Час обороту вагона можна представити також у вигляді:

$$\Theta_{\text{int}} = \frac{1}{24} \left[ \begin{aligned} &(\tau_{sh}) + \left( \frac{l_0}{d_0} \tau_0 + \frac{l_0}{v_0} \right) (1 + \alpha) + (\tau_{01}) + \left( \frac{l_1}{d_1} \tau_1 + \frac{l_1}{v_1} \right) (1 + \alpha) \\ &+ (\tau_{12}) + \left( \frac{l_2}{d_2} \tau_2 + \frac{l_2}{v_2} \right) (1 + \alpha) + (\tau_{cn}) \end{aligned} \right], \quad (3.2).$$

Формулу (3.2), в якій всі ті ж елементи, що входять до формули (3.1), розташовані в технологічній часовій послідовності міжнародного перевезення, зручно використовувати для розрахунків за формою табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Розрахунок тривалості обороту вагона за видами сполучень (год.)

Сполучення	$\tau_{sh}$	$\frac{l_0}{d_0} \tau_0 \times (1 + \alpha)$	$\frac{l_0}{v_0} \times (1 + \alpha)$	$\tau_{01}$	$\frac{l_1}{d_1} \tau_1 \times (1 + \alpha)$	$\frac{l_1}{v_1} \times (1 + \alpha)$	$\tau_{12}$	$\frac{l_2}{d_2} \tau_2 \times (1 + \alpha)$	$\frac{l_2}{v_2} \times (1 + \alpha)$	$\tau_{cn}$	$\Theta_{\text{int}}$
Внутрішнє		0	0	0			0	0	0		
Експорт		0	0	0							
Імпорт							0	0	0		
Транзит											

З урахуванням спрощення  $\alpha \approx 1$  можна розрахувати оборот вагона за спрощеною таблицею 3.8:

Таблиця 3.8

Спрощений розрахунок тривалості обороту вагона за видами сполучень (год.)

Сполучення	$\tau_{sh}$	$2 \frac{l_0}{d_0} \tau_0$	$2 \frac{l_0}{v_0}$	$\tau_{01}$	$2 \frac{l_1}{d_1} \tau_1$	$2 \frac{l_1}{v_1}$	$\tau_{12}$	$2 \frac{l_2}{d_2} \tau_2$	$2 \frac{l_2}{v_2}$	$\tau_{cn}$	$\Theta_{\text{int}}$
Внутрішнє		0	0	0			0	0	0		
Експорт		0	0	0							

Імпорт							0	0	0		
Транзит											
Місце і час знаходження вагона, їх позначення	Час за межами України (до прибуття в Україну) - $T_0$		Час в межах України - $T_1$				Час за межами України (після відправлення з України) - $T_2$			Всього в обороті $\Theta_{int} = T_0 + T_1 + T_2$	

Таблиця 3.9

Розрахункові формули часу обороту вагона  $\Theta_{int} = T_0 + T_1 + T_2$ 

Місце і час знаходження вагона, за видами сполучення	Час за межами України (до прибуття в Україну) - $T_0$	Час в межах України - $T_1$	Час за межами України (після відправлення з України) - $T_2$
Внутрішнє	$T_0 = 0$	$T_1 = \tau_{sh} + 2l_1 \left( \frac{\tau_1}{d_1} + \frac{1}{v_1} \right) + \tau_{cn}$	$T_2 = 0$
Експорт	$T_0 = 0$	$T_1 = \tau_{sh} + \tau_{12} + 2l_1 \left( \frac{\tau_1}{d_1} + \frac{1}{v_1} \right) + \tau_{01}$	$T_2 = 2l_2 \left( \frac{\tau_2}{d_2} + \frac{1}{v_2} \right) + \tau_{cn}$
Імпорт	$T_0 = \tau_{sh} + 2l_0 \left( \frac{\tau_0}{d_0} + \frac{1}{v_0} \right)$	$T_1 = \tau_{01} + 2l_1 \left( \frac{\tau_1}{d_1} + \frac{1}{v_1} \right) + \tau_{cn} + \tau_{12}$	$T_2 = 0$
Транзит	$T_0 = \tau_{sh} + 2l_0 \left( \frac{\tau_0}{d_0} + \frac{1}{v_0} \right)$	$T_1 = 2 \left[ \tau_{01} + l_1 \left( \frac{\tau_1}{d_1} + \frac{1}{v_1} \right) + \tau_{12} \right]$	$T_2 = 2l_2 \left( \frac{\tau_2}{d_2} + \frac{1}{v_2} \right) + \tau_{cn}$

Таблиця 3.10

Підсумкові формули для розрахунку обороту вагона за видами сполучення

Сполучення	Формули для розрахунку обороту вагона за видами сполучення
Внутрішнє	$\Theta_{int} = \tau_{sh} + 2l_1 \left( \frac{\tau_1}{d_1} + \frac{1}{v_1} \right) + \tau_{cn}$

Експорт	$\Theta_{\text{int}} = \tau_{sh} + \tau_{12} + 2[l_1(\frac{\tau_1}{d_1} + \frac{1}{v_1}) + l_2(\frac{\tau_2}{d_2} + \frac{1}{v_2})] + \tau_{01} + \tau_{cn}$
Імпорт	$\Theta_{\text{int}} = \tau_{sh} + \tau_{01} + 2[l_0(\frac{\tau_0}{d_0} + \frac{1}{v_0}) + l_1(\frac{\tau_1}{d_1} + \frac{1}{v_1})] + \tau_{12} + \tau_{cn}$
Транзит	$\Theta_{\text{int}} = \tau_{sh} + 2[l_0(\frac{\tau_0}{d_0} + \frac{1}{v_0}) + \tau_{01} + l_1(\frac{\tau_1}{d_1} + \frac{1}{v_1}) + \tau_{12} + l_2(\frac{\tau_2}{d_2} + \frac{1}{v_2})] + \tau_{cn}$

Таблиця 3.11

Спрощені підсумкові формули для розрахунку обороту вагона за видами сполучення

Сполучення	Формули для розрахунку обороту вагона за видами сполучення
Внутрішнє	$\Theta_{\text{int}} = \tau_{sh} + 2l_1(\frac{\tau_1}{d_1} + \frac{1}{v_1}) + \tau_{cn}$
Експорт	$\Theta_{\text{int}} = \tau_{sh} + 2[l_1(\frac{\tau_1}{d_1} + \frac{1}{v_1}) + l_2(\frac{\tau_2}{d_2} + \frac{1}{v_2}) + \tau_{bc}] + \tau_{cn}$ ; при $\tau_{01} \approx \tau_{12} = \tau_{bc}$ , де $\tau_{bc}$ - середня тривалість операцій та процедур перетину кордону, що відбуваються на території України.
Імпорт	$\Theta_{\text{int}} = \tau_{sh} + 2[l_0(\frac{\tau_0}{d_0} + \frac{1}{v_0}) + l_1(\frac{\tau_1}{d_1} + \frac{1}{v_1}) + \tau_{bc}] + \tau_{cn}$
Транзит	$\Theta_{\text{int}} = \tau_{sh} + 2[l_0(\frac{\tau_0}{d_0} + \frac{1}{v_0}) + l_1(\frac{\tau_1}{d_1} + \frac{1}{v_1}) + l_2(\frac{\tau_2}{d_2} + \frac{1}{v_2}) + 2\tau_{bc}] + \tau_{cn}$

Таблиця 3.12

Натуральні показники перевезень вантажів в межах УЗ (приклад)

Показники за видами сполучень:	Внутрішнє	Експорт	Транзит	Імпорт
Відстань перевезення вантажу, км	480	564	789	533
Тривалість перевезення вантажу, доба	3,21	4,43	4,94	4,26
Комерційна швидкість, км/доба	149,5	127,3	159,7	125,1
Коефіцієнт порожнього пробігу (до вантажного)	0,61	0,92	0,97	0,94
Порожній рейс, км	293	519	765	501
Повний рейс, км	773	1083	1554	1034

Таблиця 3.13

Масштабовані показники перевезень вантажів в межах УЗ (розрахунок)

Показники за видами сполучень:	Внутрішнє	Експорт	Транзит	Імпорт
Відстань перевезення вантажу, км	1,000	1,175	1,644	1,110
Тривалість перевезення вантажу, доба	1,000	1,380	1,539	1,327
Комерційна швидкість, км/доба	1,000	0,851	1,068	0,837
Коефіцієнт порожнього пробігу (до вантажного)	0,610	0,920	0,970	0,940
Порожній рейс, км	0,610	1,081	1,594	1,044
Повний рейс, км	1,610	2,256	3,238	2,154

З  $m$  класів (належностей) вагонів, в кожному з яких по  $S_i$  одиниць вагонного парку ( $i = 1, 2, \dots, m - 1, m$ ), треба забезпечити перевезення в  $n$  видах сполучень з потребою (попитом) у  $D_j$  вагонів ( $j = 1, 2, \dots, n - 1, n$ ).

Необхідно розподілити наявний парк вагонів різної належності між видами сполучень при максимальних доходах для залізниць України. Якщо  $x_{ij}$  – кількість вагонів робочого парку  $i$ -ої належності, що забезпечує перевезення в  $j$ -му виді сполучення, то задача зводиться до розрахунку таких невід'ємних цілочисельних значень  $x_{ij}$ , що задовольняють умовам:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = D_j, \quad (j = 1, 2, \dots, n); \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = S_i, \quad (i = 1, 2, \dots, m),$$

При яких сумарні доходи залізниць України від перевезень  $R$  будуть найбільшими:  $R = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n r_{ij} \cdot x_{ij} = \max$ , де  $r_{ij}$  - комерційний результат експлуатації вагона.

Форма представлення задачі наведена у табл. 3.14.



Таблиця 3.14

Матриця для розрахунку задачі максимізації сумарних доходів від перевезень методами лінійного програмування

Сполучення, <i>j</i>		Внутрішнє сполучення	Експорт	Транзит	Імпорт	Пропозиція (робочий парк вагонів N)
		ВС, <i>j=1</i>	ЕК, <i>j=2</i>	ТР, <i>j=3</i>	ІМ, <i>j=4</i>	
Вагони, <i>i</i>						
Вагони парку залізниць України	УкЗл, <i>i=1</i>	$r_{11}$  $x_{11}$	$r_{12}$  $x_{12}$	$r_{13}$  $x_{13}$	$r_{14}$  $x_{14}$	$S_1$
Вагони власні або орендовані, українські	УкВл, <i>i=2</i>	$r_{21}$  $x_{21}$	$r_{22}$  $x_{22}$	$r_{23}$  $x_{23}$	$r_{24}$  $x_{24}$	$S_2$
Вагони парку залізниць іноземних держав	ІнЗл, <i>i=3</i>	$r_{31}$  $x_{31}$	$r_{32}$  $x_{32}$	$r_{33}$  $x_{33}$	$r_{34}$  $x_{34}$	$S_3$
Вагони власні або орендовані, іноземні	ІнВл, <i>i=4</i>	$r_{41}$  $x_{41}$	$r_{42}$  $x_{42}$	$r_{43}$  $x_{43}$	$r_{44}$  $x_{44}$	$S_4$
Попит (потреба у вагонах)		$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	

Складові  $r_{ij}$  комерційного результату експлуатації  $i$ -го класу вагона у  $j$ -му виді сполучення наступні:

1. Тариф вантажного рейсу в межах залізниць України –  $p_{ij1}$ , ( $k=1$ ), перша складова.
2. Тариф порожнього рейсу в межах залізниць України –  $p_{ij2}$ , ( $k=2$ ), друга складова і т.д.
3. Плата за користування вагоном належності України в межах залізниць України –  $p_{ij3}$ , ( $k=3$ ).

4. Плата за користування вагоном належності України за межами залізниць України –  $p_{ij4}$ , ( $k = 4$ ).

5.  $\pm$  Плата за користування іноземним вагоном у межах залізниць України –  $p_{ij5}$ , ( $k = 4$ ) і т.д.,  $k = 1, 2, \dots, q - 1, q$ .

З урахуванням наведеного маємо класичну задачу цілочисельного лінійного програмування, яка розв'язується відомими методами [22, 24], у т.ч. за допомогою стандартних засобів Excel.

Графічна інтерпретація економічного критерію ефективності наведена на рис. 3.3, в якому використані наступні позначення

Вагони:

УкЗл,  $i=1$  – вагони парку залізниць України;

УкВл,  $i=2$  – вагони власні або орендовані, українські;

ІнЗл,  $i=3$  – вагони парку залізниць іноземних держав;

ІнВл,  $i=4$  – вагони власні або орендовані, іноземні.

Сполучення:

ВС,  $j=1$  – внутрішньодержавне сполучення;

ЕК,  $j=2$  – експорт;

ТР,  $j=3$  – транзит;

ІМ,  $j=4$  – імпорт.

$D$  – попит на перевезення за видами сполучення, т-км;  $N$  – робочий парк вагонів;

$\sum R$  - сумарні доходи від перевезень.

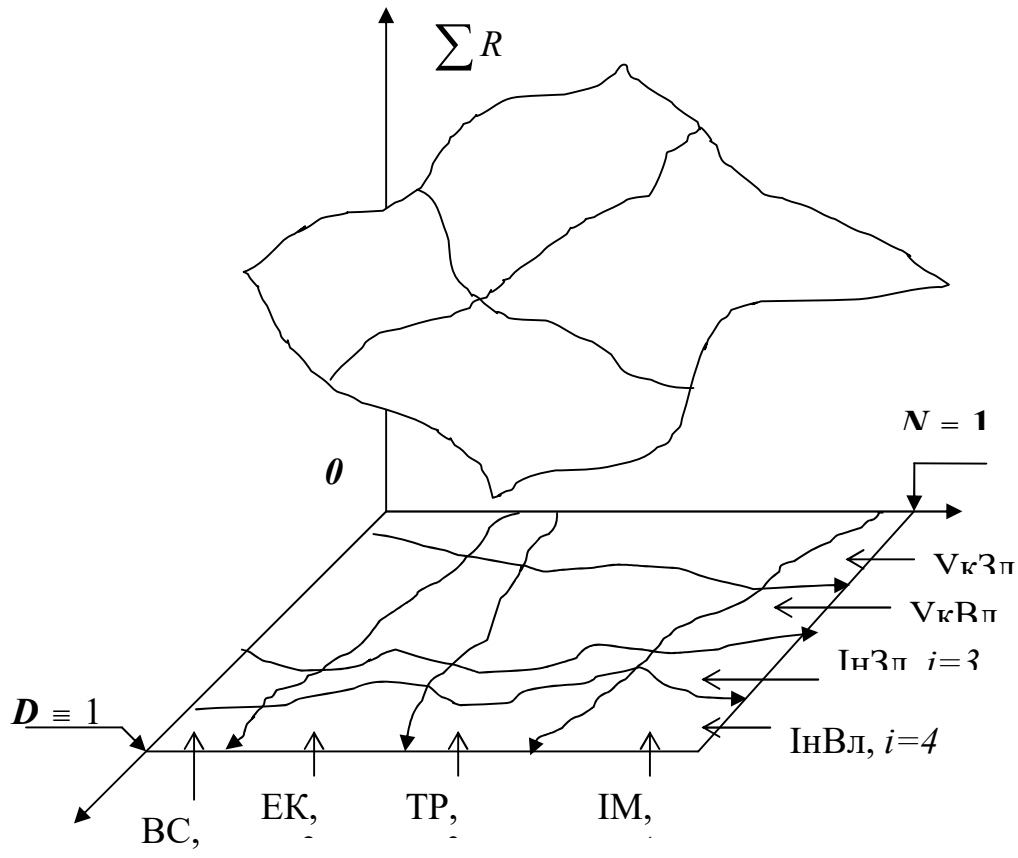


Рис. 3.3 Графічна інтерпретація економічного критерію ефективності

### 3.2. Особливості доставки вантажів при здійсненні міжнародних перевезень

Процеси реформування залізничного транспорту, зростаюча конкуренція з іншими видами транспорту, зростаючі стандарти транспортних послуг з урахуванням вимог вантажовласників диктують необхідність дотримання логістичного принципу доставки «точно в строк» [13, 15].

Терміни доставки вантажів передбачені Статутом залізниць України [14], Правилами перевезення вантажів, а в міжнародних сполученнях – Угодою про міжнародне вантажне сполучення СМГС.

Нормативний (юридичний) термін доставки вантажу обчислюється за такою узагальненою формулою:

$$T_{\text{дос}}^{\text{ю}} = t_{\text{відп}} + \sum_{i=1}^k \frac{L_i}{V_i} + \sum t_{\text{снц}} + \sum t_{\text{доод}} + \sum t_{\text{затр}} + t_{\text{приб}} \dots (3.3)$$

де  $t_{відн}$  – встановлений час на операції по відправленню;

$L$  – відстань між станціями відправлення та призначення, км, (у внутрішніх сполученнях визначається згідно з Тарифним керівництвом № 4 [16]; у міжнародному сполученні – за Тарифною політикою залізниць України);

$V$  – встановлена Правилами перевезень вантажів та Угодою СМГС швидкість переміщення вантажу, яка залежить від виду відправлення, швидкості (малої та великої), способу перевезення та роду вантажу, км/добу;

$\sum_{i=1}^k \frac{L_i}{V_i}$  – враховує, що нормативна швидкість впродовж частин шляху

слідкування може змінюватись, так, наприклад, для маршрутів і «ядра» маршрутів призначенням на станції розформування швидкість доставки до станції розформування і від станції розформування різна.

$k$  – кількість змін швидкості доставки (у випадку однієї станцій розформування на шляху маршруту з «ядром»,  $k = 2$ );

$\sum t_{сц}$  – додатковий час пов'язаний зі специфікою перевезення (наприклад, у випадку негабаритного вантажу терміни доставки збільшуються на 1 добу на кожну передачу вантажу з однієї залізниці на іншу);

$\sum t_{дод}$  – час на додаткові операції (поромні перевезення, перехід з однієї ширини колії на іншу, на накопичення і сортування на вантажосортувальних платформах дрібних відправок);

$t_{приб}$  – встановлений час на операції по прибуттю вантажу;

$\sum t_{затр}$  – час на який збільшується термін доставки, у зв'язку з затримками, не з вини залізниці (переадресація, виконання митних та інших адміністративних процедур, час необхідний для ветеринарного огляду та напування тварин, виправлення навантаження або упаковки).

Існуюча галузева статистична звітність не дає можливості безпосередньо визначити тривалість прямування вагонів від вхідних до вихідних станцій. Це можна зробити лише розрахунковим шляхом, використовуючи відповідні звітні показники: середній простій (год.) транзитних вагонів з переробкою та без переробки на основних сортувальних станціях (рис. 3.4), середній простій (діб) вагонів на прикордонних передавальних станціях (табл. 3.15, рис. 3.5), тарифні відстані між станціями та дільничні швидкості по кожній залізниці.

Таблиця 3.15

Середній простій поїздів на прикордонних передавальних станціях

№ п/п	Прикордонна передавальна станція	Середній простій, діб	№ п/п	Прикордонна передавальна станція	Середній простій, діб, за 9 місяців 2008 року
1.	Іловайськ	1,83	14.	Ларга	0,00
2.	Красна Могила	2,06	15.	Ужгород	3,73
3.	Куп'янськ-Сорт.	1,33	16.	Сарни	1,62
4.	Харків-Сорт.	2,83	17.	Ізов	2,97
5.	Щорс	1,27	18.	Ягодин	1,69
6.	Коростень	0,98	19.	Вадул - Сирет	10,17
7.	Хутір-Михайлівський	0,99	20.	Мостиська - II	2,56
8.	Могилів-Подільський	1,37	21.	Ковель	2,72
9.	Чернігів	0,95	22.	Мамалига	1,54
10.	Чоп	1,32	23.	Рава Руська	3,20
11.	Батєве	2,25	24.	Кучурган	1,83
12.	Дякове	1,85	25.	Слобідка	1,00
13.	Сокиряни	1,92	26.	Рені	4,16

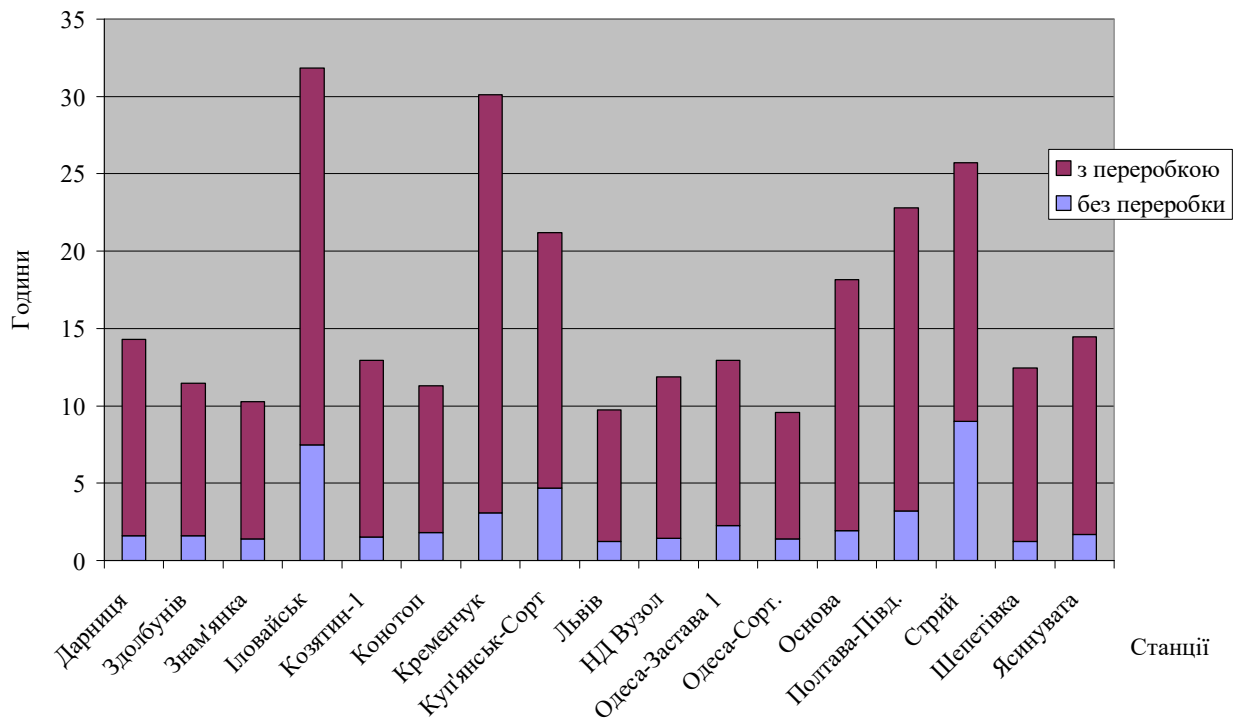


Рис. 3.4 Середній простій транзитних вагонів з переробкою та без переробки на сортувальних станціях українських залізниць

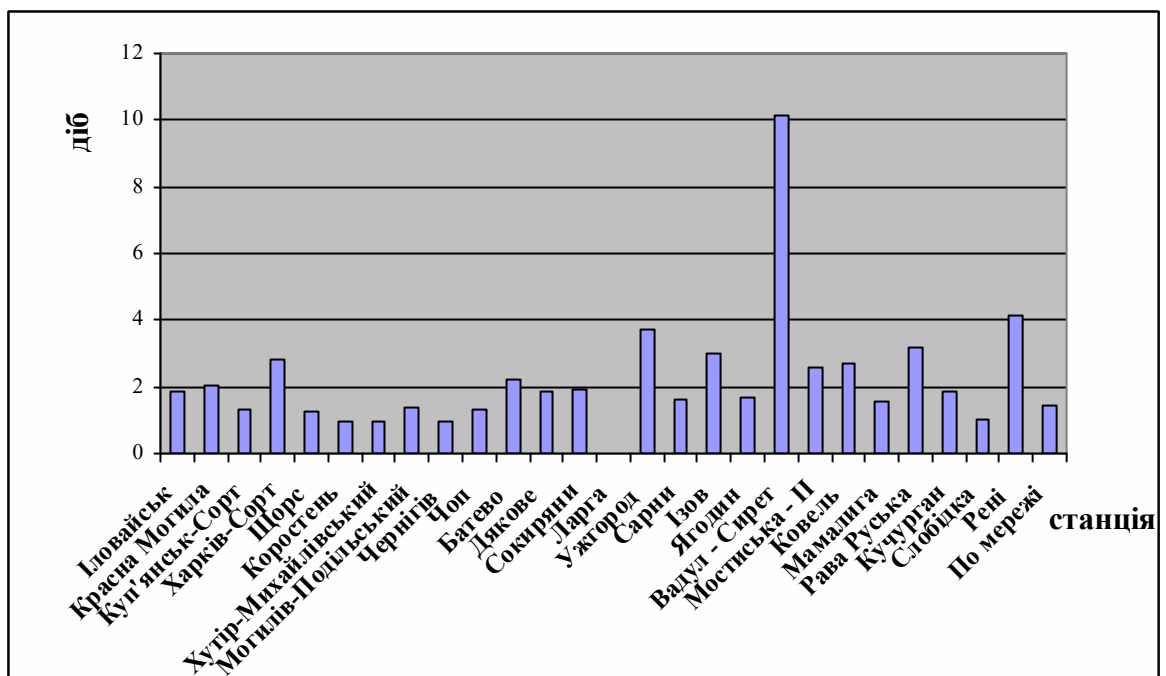


Рис. 3.5 Простій вагонів на прикордонних передавальних станціях

Для розрахунку тривалості слідування транзитних вагонів від вхідних до вихідних станцій українських залізниць було обрано найбільш характерні маршрути прямування – з найбільшими розмірами вантажного руху за добу, враховуючи стратегічні маршрути.

Маршрут 1: Чоп – Батеве – Стрий – Львів – Здолбунів – Шепетівка – Козятин – Дарниця – Конотоп – Хутір-Михайлівський – Зернове.

Маршрут 2: Тополі – Куп'янськ-сорт. – Основа – Полтава – Кременчук – Знам'янка – Одеса-сорт.

Маршрут 3: Чоп – Батеве – Стрий – Львів – Здолбунів – Шепетівка – Козятин – Фастів – Знам'янка – Нижньодніпровськ-вузол – Червоноармійськ – Яснувата – Іловайськ – Квашине.

Отримані розрахункові дані наведені у табл. 3.16.

Таблиця 3.16

Дані до аналізу часу просування міжнародних вагонопотоків

№ п/п	Показник	Маршрут 1	Маршрут 2	Маршрут 3
1.	Протяжність маршруту, км	1199	917	1663
2.	Строк доставки вантажу згідно СМГС, діб	6	5	11
3.	Сумарний час простоїв на приймально-передавальних станціях, год	109,44	31,92	129,6
4.	Загальний час проходження транзиту без переробки, год (діб)	158,68 (6,58)	80,53 (3,33)	203,9 (8,45)
5.	Загальний час проходження транзиту з переробкою, год (діб)	220,59 (9,17)	179,07 (7,5)	304,69 (12,6)
6.	Відсоток часу знаходження на приймально-передавальних станціях від загального часу проходження транзиту без переробки, %	68,97	39,64*	63,56
7.	Відсоток часу знаходження на приймально-передавальних станціях від загального часу проходження транзиту з переробкою, %	49,62	17,83*	42,54

Розрахунок тривалості слідування вівся враховуючи два випадки технології перевезення: вагонна відправка, що відповідає просуванню транзитного вагонопотоку з переробкою на попутних технічних станціях та маршрутна відправка, що відповідає просуванню транзитного вагонопотоку без переробки (без переламу маси поїзда). Отримані дані порівнювались зі

сроком доставки вантажу згідно СМГС, що враховує відстань перевезення для вагонної відправки при малій швидкості та можливому перевантаженні вантажу або перестановці вагонів на візки іншої ширини. Проведений аналіз представлено графічно на рис. 3.6. на прикладі маршруту станція Квашине – станція Чоп, протяжністю 1663 км.

З рис. 3.6. видно, що юридичний термін доставки (11 діб), що припадає на українську частину шляху знаходиться між максимальною тривалістю слідування транзитного вагонопотоку з переробкою (304 год.) та тривалістю слідування транзиту без переробки (203 год.). Важливою задачею є визначення можливих меж точності доставки. Тобто встановлення нормативних відхилень фактичного терміну доставки від графікового. Адже чим більша точність доставки, тим більший має бути тариф.

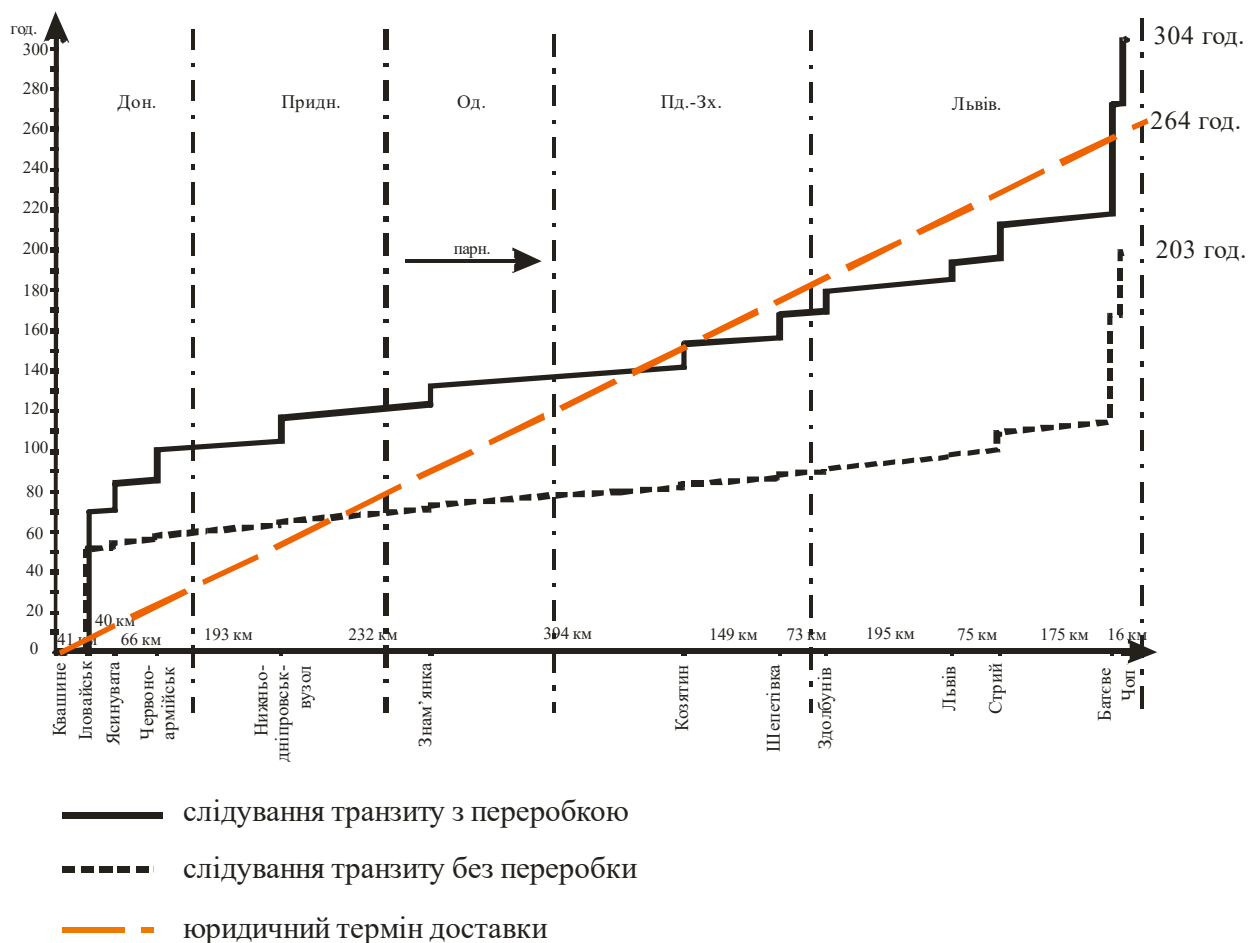


Рис. 3.6 Графік доставки транзитного вантажопотоку по маршруту станція Квашине – станція Чоп



Однак, як це не парадоксально, відхилення фактичних термінів доставки від юридичних не обліковуються в галузевій статистичній звітності залізниць. Про важливість цього показника час від часу нагадують залізничникам претензійні справи, які виграють в судах вантажоодержувачі з приводу прострочення доставки вантажів. В таких випадках доводиться повертати вантажоодержувачу у вигляді штрафу за прострочення доставки вантажу від 6 до 30% перевізної плати, що регламентується нормативними документами залізничного транспорту [10]. Зважаючи на обсяги перевезення вантажів, це величезні грошові втрати залізниць, інформація про які, на жаль не є відкритою. Наявність такої інформації та її статистична обробка дозволила б мати відповідні математичні, економіко-математичні моделі виникнення негативного явища прострочення доставки, залежно від різних технологічних параметрів, якими перевізник може керувати, а також тих параметрів, на які він вплинути не може, але повинен їх враховувати.

Не маючи поки що таких апріорних моделей та інформації, слід генерувати їх на певних адекватних теоретичних засадах. Тут в нагоді стають теорія ймовірностей та математична статистика.

Сформулюємо задачу. На часовій осі позначимо момент нормативного (юридичного) строку доставки -  $t_N$  (рис. 3.7). Відповідальність за прострочення доставки у вигляді штрафу починається не відразу після настання нормативного строку, а через певний час  $\Delta t_{\min}$ .

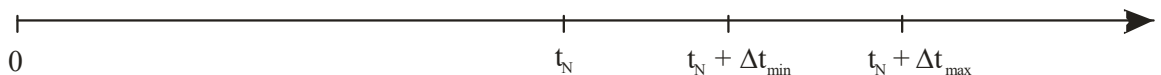


Рис. 3.7 Часова вісь моментів  $t_N$ ,  $\Delta t_{\min}$ ,  $\Delta t_{\max}$

Так, наприклад, Статутом залізниць України, статтею 116 встановлено, що мінімальна відповідальність залізниці настає при простроченні доставки на 2 доби (в цьому випадку штраф складає 10 % перевізної плати), а згідно положень статті 27 Угоди про міжнародне залізничне вантажне сполучення (СМГС) мінімальна відповідальність настає при простроченні доставки  $\Delta t_{\min} = 0,1t_N$ . Максимальний розмір штрафу відповідає простроченню терміну доставки на  $\Delta t_{\max}$  і більше. Наприклад, Статутом залізниць статтею 116 встановлений максимальний штраф 30 % перевізної плати, що відповідає простроченню доставки від 4 діб і більше. А згідно СМГС 30 % перевізної плати стягується із залізниці у випадку прострочення доставки  $\Delta t_{\max} = 0,4t_N$ .

Методами теорії ймовірності можна визначити ймовірність доставки вантажу з простроченням, що тягне за собою штрафні санкції – тобто ймовірність потрапляння випадкової величини - фактичного терміну доставки в інтервал  $(t_N + \Delta t_{\min} ; t_N + \Delta t_{\max})$ .

Зокрема, відома «центральна гранична теорема» обґрунтовує широке поширення нормального закону і пояснює механізм його утворення. Теорема дозволяє стверджувати, що завжди, коли випадкова величина утворюється в результаті складання великого числа незалежних випадкових величин, дисперсії яких малі в порівнянні з дисперсією суми, закон розподілу цієї випадкової величини виявляється практично нормальним законом. А оскільки випадкові величини завжди породжуються нескінченною кількістю причин і найчастіше жодна з них не має дисперсії, порівнянної з дисперсією самої випадкової величини, то більшість випадкових величин, що зустрічаються на практиці, підпорядковані нормальному закону розподілу.

З таким механізмом впливу великої кількості випадкових факторів на процес доставки вантажу, в результаті чого термін доставки стає випадковою величиною та можливістю його застосування в умовах залізничного транспорту можна погодитися лише частково. Адже кожного разу, коли в процесі доставки відбувається «запізнення» порівняно з графіком доставки

вантажу, відбувається і оперативне втручання в процес з метою прискорення доставки. Отже, можна зробити припущення щодо певної асиметричності відхилень фактичних термінів доставки від нормативних (середніх) величин, що відобразатиметься у зміщенні медіани розподілу вліво, у той час як нормальний розподіл є симетричним. Також не на користь нормального закону розподілу і той факт, що при такому розподілі є як додатні, так і від'ємні відхилення випадкової величини у межах від  $-\infty$  до  $+\infty$ , тоді як термін доставки вантажу за суттю завжди є додатньою величиною більшою 0. Таким чином, є всі підстави для моделювання терміну доставки вантажів (та й будь-якої тривалості процесу на транспорті) не менш поширеним в практичних техніко-економічних застосуваннях показниковим розподілом щільності ймовірності випадкової величини.

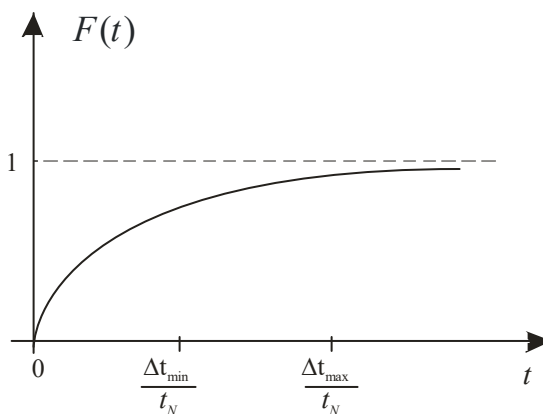


Рис. 3.8 Показникова функція розподілу випадкової величини часу доставки

Використовуючи показникову функцію розподілу (рис. 3.8), знаходимо ймовірність прострочення доставки, що тягне за собою штрафні санкції, тобто ймовірність потрапляння випадкової величини в інтервал  $(t_N + \Delta t_{\min}; t_N + \Delta t_{\max})$ :

$$P(D_L) = \exp\left\{-\frac{\Delta t_{MIN}}{t_N}\right\} - \exp\left\{-\frac{\Delta t_{MAX}}{t_N}\right\}, \quad (3.4)$$

де  $\Delta t_{MIN}$  - мінімальне прострочення (понад нормативний термін доставки), при якому може наступати мінімальна відповідальність залізниці у розмірі  $\gamma_{MIN}$  від перевізної плати;

$\Delta t_{MAX}$  - максимальне прострочення (понад нормативний термін доставки), при якому може наступати максимальна відповідальність залізниці у розмірі  $\gamma_{MAX}$  від перевізної плати;

$t_N$  - нормативний термін доставки вантажу.

Рис. 3.9 графічно відображає представлену формулу ймовірності прострочення доставки. З рисунку видно, що найбільш ймовірне прострочення на 1–2 доби виникає при терміні доставки від 1–3 діб, що є цілком логічним. Крім високої ймовірності затримки, чим менший термін доставки, тим більшої точності вимагає вантажоотримувач.

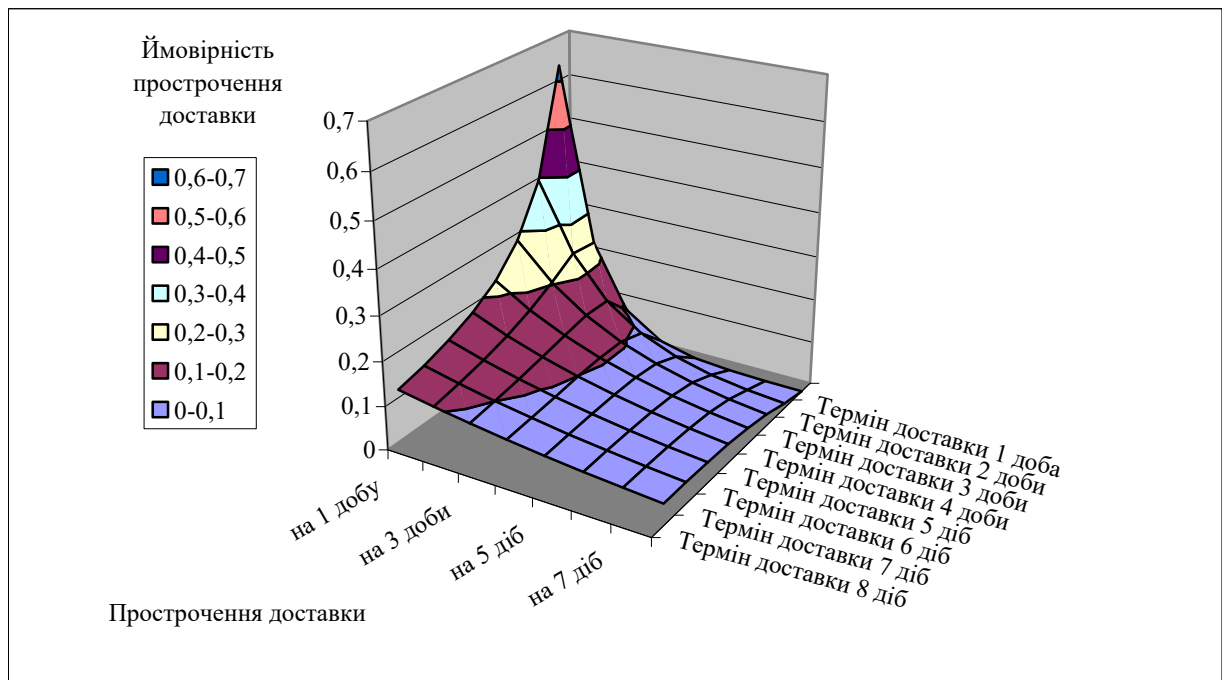


Рис. 3.9 Ймовірність прострочення доставки при певних значеннях  $t_N$ ,

$\Delta t_{MIN}$  та  $\Delta t_{MAX}$