

О. Ю. ПАПАХОВ^{1*}, Р. М. КОМПАНИЕЦЬ^{2*}, М. І. СЕРГІЄНКО^{3*}, Р. В. КИРИЧОК^{4*}

^{1*} Каф. «Транспортний сервіс та логістика», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (067) 564 65 65, ел. пошта: parahova0362@gmail.com, ORCID 0000-0003-2357-8158

^{2*} Каф. «Транспортний сервіс та логістика», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (066) 050 64 52, ел. пошта: rkompaniets@gmail.com, ORCID 0009-0001-7036-4227

^{3*} Каф. «Транспортний сервіс та логістика», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (096) 506 56 89, ел. пошта: maria14032012@gmail.com, ORCID 0009-0001-7983-1119

^{4*} Каф. «Транспортний сервіс та логістика», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (098) 493 61 55, ел. пошта: kir.ramiroso@gmail.com, ORCID 0009-0005-4803-6883

МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ТЕРМІНАЛІВ В ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВІ ОЦІНКИ РИЗИКУ

Задачі, пов'язані з раціональним використанням різних видів транспорту та їхньою взаємодією під час перевантажувальних операцій в інтермодальних терміналах, стають дедалі актуальнішими. **Метою** проведеного дослідження є аналіз комплексної методики проектування інтермодальних терміналів, яка забезпечує оцінку ефективності запропонованих проектних рішень. В статті надана загальна характеристика унімодальних, бімодальних, інтермодальних та мультимодальних видів перевезення, наведено їхні відмінності; досліджується особливості функціонування інтермодальних терміналів, їх значення для виконання логістичних завдань та вплив на об'єднання різних видів транспорту у процесі вантажоперевезень. У даній роботі наведено окремі категорії витрат, пов'язаних із управлінням терміналом, його адміністративними функціями та наданням різноманітних послуг. Проте для прийняття обґрунтованого рішення щодо будівництва терміналу необхідно врахувати значно ширший перелік витрат, які не були детально розглянуті в цьому дослідженні. Запропонована **методика** створення інтермодальних терміналів у транспортних системах дає змогу оцінювати проектні рішення, враховуючи особливості транспортних одиниць, що обробляються. Дослідження побудовані на аналізі порядку електронної взаємодії між морськими портами та залізницею в процесі інтермодального перевезення вантажів. В якості **наукової новизни** представлено новий підхід до розробки комплексної методики проектування інтермодальних терміналів, яка охоплює проектування як технологічних процесів, так і інфраструктурних об'єктів на основі ризиків. **Результати.** Одним із ключових аспектів стабільного розвитку транспортної системи є прогнозування попиту на перевезення. Існує багато підходів до планування перевезень. Обчислювальна ефективність, необхідна для вибору маршруту, різко знижується зі збільшенням кількості видів транспорту та терміналів. Складські та вантажно-розвантажувальні зони в інтермодальному терміналі виконують подвійну роль, забезпечуючи як зберігання, так і сортування інтермодальних транспортних одиниць. Проектування інтермодальних терміналів на основі оцінки ризику є комплексною задачею, яка поєднує технічні та економічні аспекти. **Практична значимість.** Отримані результати можуть бути використані при транспортно-експедиторському обслуговуванні інтермодальних вантажних перевезень, що дозволяє використовувати її в інтелектуальних системах для підтримки оптимального прийняття рішень оперативним персоналом. Методика забезпечує ефективне управління транспортними процесами в умовах невизначеності та ризиків у комп'ютерній мережі інформаційного середовища АСУ ВП УЗ-С, інтегруючись у комплекс завдань на автоматизованих робочих місцях вантажних інтермодальних терміналів.

Ключові слова: інтермодальний термінал, транспортна система, інтермодальні транспортні одиниці, перевантажувальні операції, термінальне обслуговування, вантажно-розвантажувальні механізми.

Вступ

В умовах глобалізованого ринку та сучасних економічних реалій інтермодальні перевезення відіграють важливу роль у логістичних системах, забезпечуючи оптимальне транспортування вантажів шляхом поєднання різних видів транспорту. У цьому ключовому аспекті аналізуються сучасні підходи до інтермодальних та мультимодальних схем транспортування ванта-

жів за принципом «від дверей до дверей». Водночас варто підкреслити, що наразі серед науковців і практиків бракує єдиного розуміння термінології та базових принципів організації міжнародних комбінованих перевезень.

Деякі дослідники спираються на визначення, прийняте на Конференції UNCTAD з питань мультимодальних перевезень, де були сформульовані терміни для різних типів транспортування [1]. У ряді джерел інтермодальні перевезення розглядаються як загальне поняття, що охоплює

всі зазначені види транспортування. Їх визначають як процес доставки вантажу кількома видами транспорту, коли один із перевізників бере на себе організацію повного циклу транспортування «від дверей до дверей» - від початкового пункту відправлення або порту через одну чи кілька проміжних точок до кінцевого місця призначення. Залежно від розподілу відповідальності між перевізниками, які беруть участь у такому процесі, оформлюються відповідні транспортні документи.

Постановка завдання дослідження

У сфері управління вантажними перевезеннями ключову роль відіграє ефективна маршрутизація та оптимальний розподіл транспортних засобів між маршрутами. Особливості інтермодальних перевезень додають до стандартного завдання маршрутизації низку специфічних обмежень і додаткових параметрів.

Мета дослідження

Аналіз комплексної методики проектування інтермодальних терміналів, яка забезпечує оцінку ефективності запропонованих проектних рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

При здійсненні міжнародних перевезень вантажів часто застосовуються різні типи транспорту в межах однієї доставки. У зв'язку з цим розрізняють такі види перевезення: унімодальні, бімодальні, інтермодальні та мультимодальні. У науковій літературі представлено широкий спектр тлумачень цих термінів, але єдиної концепції їхнього визначення досі не сформовано.

До унімодальних перевезень відноситься доставка вантажу від відправника до отримувача одним видом транспорту: автомобільним, залізничним чи водним [2]. Основними перевагами унімодальних перевезень є:

- гнучкість вибору, при якому можливо підібрати транспорт, який найкраще відповідає потребам в перевезеннях за швидкістю та вартістю;
- простота контролю, при якій один перевізник відповідає за весь маршрут та спрощує відстеження руху;
- економія часу, при якій оптимальний маршрут скорочує час доставки вантажу, а відсутність перевантажень зменшує витрати на координацію.

Для організації унімодальних перевезень необхідно визначити початкову та кінцеву точки маршруту, а також врахувати тип вантажу, його

обсяг і пункт призначення. Витрати на перевезення залежать від обраного транспорту та додаткових послуг. У договорі на перевезення зазначають дати відправлення та прибуття, а також дані сторін. Цей варіант доставки ідеально підходить, коли потрібна швидкість та прозорість.

Бімодальні, або контрейлерні, перевезення поєднують два типи транспорту - автомобільний та залізничний. Наприклад, вантажівку або напівпричіп транспортують на спеціальній залізничній платформі, що сприяє економії часу та зменшенню витрат пального [3]. Існують два основні типи бімодальних перевезень:

- контрейлерні, при яких напівпричеми чи знімні кузови встановлюють на спеціальні залізничні платформи;
- роудрейлерн, при яких використовують автомобілі, які можуть рухатись як дорогами, так і залізницею після переобладнання коліс.

Бімодальні перевезення є ефективними для маршрутів протяжністю від 200 до 500 км, хоча можуть використовуватися і на більших відстанях. У країнах Європи цей вид транспортування набув значної популярності та отримує державну підтримку. В Україні ж він лише починає розвиватися. Такі перевезення сприяють економії пального, поєднуючи швидкість автомобільного транспорту з економічними перевагами залізничного.

Інтермодальні перевезення передбачають використання кількох видів транспорту (залізничного, автомобільного чи водного), але кожним етапом керує окрема компанія [4]. Замовник укладає договори з різними перевізниками та самостійно координує маршрут, відстежує вантаж і вирішує всі питання.

Особливістю інтермодальних перевезень є:

- замовник сам шукає перевізників для кожного виду транспорту;
- організація маршруту перевезення та контроль покладаються на власника вантажу;
- необхідно оформлювати кілька договорів на перевезення та пакетів документів до них.

Результат інтермодальних перевезень залежить від умінь замовника координувати процес. Такий підхід зручний, якщо потрібно комбінувати види транспорту, але вимагає більше часу та зусиль на організацію процесу перевезення.

Операційні дослідження зосереджувалися переважно на транспортних проблемах унімодальних перевезень. Автор статті [5] стверджує, що дослідження інтермодальних вантажних перевезень стають новою галуззю застосування

транспортних досліджень, що вони все ще перебувають на допарадигматичній фазі та потребують моделей іншого типу, ніж ті, що застосовуються до унімодальних перевезень. У статті наведено огляд моделей операційних досліджень, які зараз використовуються в цій новій галузі, та проблем моделювання, які необхідно вирішити.

При мультимодальних перевезеннях також використовують кілька видів транспорту, але весь процес контролює одна логістична компанія [6]. Це оптимізує доставку, адже оператор самостійно вибирає маршрут і транспорт, укладаючи договори з підрядниками.

До перевагами мультимодальних перевезень можливо віднести:

- наявність єдиного виконавця, який відповідає за весь процес перевезення, що спрощує контроль і знижує ризики;
- зручність перевезення для замовника, що відокремлює доставку «від дверей до дверей» з мінімальною участю клієнта;
- простота оформлення перевезення, при якій укладається один договір, і якому прописані всі умови.

Цей варіант перевезення є ідеальний для міжнародних перевезень, де необхідна комбінація, наприклад, морського та автомобільного транспорту. У договорі зазначають, що відповідальність за вантаж несе логістична компанія, яка обирає оптимальний маршрут.

При мультимодальних перевезеннях два або більше пов'язаних між собою різних видів транспорту здійснюють перевезення вантажів з пункту відправлення до пункту призначення. Обчислювальна ефективність, необхідна для вибору маршруту, різко знижується зі збільшенням кількості видів транспорту та терміналів. З різними цілями, мінімізацією витрат, часу, ризику та ненадійності, зазвичай вважається, що вибір маршруту мультимодального транспортування є задачею багатокритеріального прийняття рішень (MCDM). На основі теорії нечіткого аналітичного ієрархічного процесу (АНП) та штучних нейронних мереж (ANN) автори [7] створили гібридну модель MCDM. Запропонований метод робить систему вибору маршруту в мультимодальних перевезеннях більш повною, науковою, справедливою та точною.

Хоча інтермодальні та мультимодальні перевезення передбачають використання кількох видів транспорту, між ними є ключові відмінності:

- при організації мультимодальних перевезень усе координує одна компанія, а інтермодальних – замовник працює з кількома перевізниками;

- при організації інтермодальних перевезень відповідальність розподілена між різними компаніями, що ускладнює вирішення проблем у разі пошкодження вантажу, а мультимодальних – уся відповідальність лежить на одній фірмі;

- оформлення документації при організації мультимодальних перевезень потребує одного договору, тоді як при інтермодальних – кількох пакетів документів.

Багато компаній віддають перевагу мультимодальним перевезенням, адже вони знижують ризики та спрощують процес. Один договір із чіткими умовами гарантує, що оператор несе повну відповідальність за збереження вантажу та дотримання термінів його доставки.

Метою цієї статті [8] є опис програми TIMPlan, яка вирішувала проблеми мультимодальних та унімодальних перевезень однієї з найбільших іспанських транспортних компаній. Перша проблема була пов'язана з мультимодальними перевезеннями та відображала поєднання щонайменше двох видів транспорту в одному транспортному ланцюзі без зміни контейнера для товарів. Автори [8] описували гібридний алгоритм, що поєднував лінійне програмування та автоматизоване планування, для вирішення проблеми мультимодальних перевезень, використовуючи переваги обох видів методів. Друга проблема стосувалася поширеної проблеми унімодальних перевезень: доставки товарів з центрального складу до споживачів з часовими вікнами, де використовувався лише автомобільний вид транспорту. Це добре відома задача маршрутизації транспортних засобів з часовими вікнами (VRTPTW). Авторами [8] був описаний підхід оптимізації на основі мурашиної колонії, який використовується для вирішення VRTPTW.

Існує багато підходів до планування мультимодальних перевезень. У статті [9] автори розглядають реальну проблему, зокрема, зосереджуючись на інтермодальних вантажних перевезеннях. Описано систему, яка вирішувала проблеми мультимодальних перевезень у контексті проекту для великої компанії. Вона поєднувала лінійне програмування з автоматизованими методами планування для отримання якісних рішень. Було запропоновано новий гібридний алгоритм, який поєднував лінійне програмування та планування для вирішення проблеми мультимодальних перевезень, використовуючи переваги обох видів методів. Система також інтегрувала компонент виконання, який контролював виконання, відстежував збої, якщо це необхідно, підтримуючи більшу частину плану у виконанні.

У дослідженні [10] представлено огляд проблеми планування маршрутизації вантажів у мультимодальній транспортній мережі з точки зору формулювання моделі та підходів до її вирішення. У цьому дослідженні характеристики формулювання виокремлено та класифіковано за шістьма аспектами, а моделі оптимізації в останніх дослідженнях визначено на основі їхніх відповідних характеристик формулювання. Крім того, обговорювалися підходи до вирішення оптимізаційних моделей, зокрема евристичні алгоритми. У роботі [10] автори розглянули задачу оптимізації мультимодальних перевезень при транспортуванні вантажів кількома видами транспорту, такими як: автомобільний, залізничний, морський або річковий. Особа, яка приймає рішення, може вибрати перевізника вантажу для заданої початкової точки відправлення та кінцевого пункту його отримання. Оптимізація процесу прийняття рішень здійснюється методом динамічного програмування.

При прийнятті рішення щодо вибору між інтермодальними та мультимодальними перевезеннями необхідно враховувати особливості кожного з цих видів транспортування. Мультимодальні перевезення часто є кращим вибором для великих комерційних компаній, оскільки вони передбачають чіткий розподіл обов'язків між учасниками процесу. У разі затримок або пошкодження вантажу відповідальність несе конкретна організація. Натомість інтермодальне транспортування вимагає ретельної підготовки, включаючи організацію процесу, оформлення необхідної документації та готовність нести відповідальність за весь ланцюжок доставки.

Основний матеріал дослідження

Транспорт є ключовим елементом у мережах поставок, забезпечуючи ефективне та безперебійне переміщення сировини та готової продукції від початкових до кінцевих пунктів. Особливості вантажів, що перевозяться, визначають організацію транспортних процесів і технології, які застосовуються під час перевантажувальних операцій. Зростання обсягів вантажопотоків у економічних системах підкреслює необхідність забезпечення стабільної роботи транспортної інфраструктури. Це вимагає не лише раціонального використання різних видів транспорту, але й розробки оптимальних рішень для розташування інтермодальних терміналів у транспортній мережі.

Одним із ключових аспектів стабільного розвитку транспортної системи є прогнозування по-

питу на перевезення. У сфері вантажних перевезень особливу увагу приділяють розвитку швидкісного залізничного транспорту, зокрема в контексті інтермодальних перевезень. Ефективність таких перевезень значною мірою залежить від створення інтегрованої транспортної мережі, яка базується на сучасній інфраструктурі, спроектованій з урахуванням оптимальних рішень. Транспортна галузь активно розвивається, враховуючи екологічні та соціальні чинники. Транспортні засоби чинять негативний вплив на навколишнє середовище через викиди шкідливих речовин, шумове забруднення та зростання кількості аварій на дорогах. Зменшення цього впливу є однією із головних задач транспортної політики країн із розвинутою економікою. Для цього застосовуються різноманітні заходи, зокрема підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту, збільшення його частки у вантажопотоках, а також сприяння розвитку інтермодальних перевезень шляхом створення сучасних транспортно-логістичних терміналів. Останніми роками зростання обсягів інтермодальних перевезень підкреслює важливість модернізації та будівництва спеціалізованих терміналів.

Для виконання транспортних операцій необхідні перевантажувальні вузли, де виконуються різноманітні роботи з обробки вантажів. Інтермодальний термінал являє собою спеціалізований об'єкт з відповідною інфраструктурою, який забезпечує ефективне переміщення інтермодальних транспортних одиниць (ІТО) між різними видами транспортних засобів, а також дозволяє проводити операції з цими одиницями.

Інтермодальні термінали є ключовими елементами транспортно-логістичних систем, які виконують функції концентрації, розподілу та обробки вантажів. Вони забезпечують послуги з перевантаження, тимчасового зберігання вантажів, а також інші операції, пов'язані з логістикою та доставкою. У рамках інтермодальних транспортних мереж термінали різної потужності виконують спеціалізовані завдання, сприяючи ефективній взаємодії між різними видами транспорту. Класифікація інтермодальних терміналів може здійснюватися за кількома ознаками:

- типи інтермодальних транспортних одиниць (ІТО), що обслуговуються;
- види транспортних засобів, залучених до перевезення та доставки ІТО;
- річна пропускна спроможність терміналу, яка визначена обсягом обробки ІТО;

- роль і функції терміналу в структурі інтермодальних транспортних мереж.

В якості наукової новизни представлено новий підхід до розробки комплексної методики проектування інтермодальних терміналів, яка охоплює проектування як технологічних процесів, так і інфраструктурних об'єктів.

Класифікацію інтермодальних терміналів за основними ознаками наведено в табл. 1 відповідно [11].

Таблиця 1

Класифікація інтермодальних терміналів	
Класифікаційний признак	Види терміналів
Вид обслуговуваного вантажу	Термінали для наливних вантажів, тарноштучних, навалочних і насипних, контейнерних терміналів, термінали типу «Ro-Ro» для обробки суден з горизонтальним навантаженням
Кількість взаємодіючих видів транспорту	Унімодальні та інтермодальні термінали
Охват обслуговуваних споживачів	Термінали загального користування, для обслуговування групи клієнтів у складі логістичних центрів, для власних потреб вантажовласників
Характер взаємодії з іншими об'єктами інфраструктури	Автономні та інтегровані термінали
Виконувані функції в транспортній системі	Перевалочні термінали, універсальні, спеціалізовані, термінально-складські комплекси

Організація функціонально-просторового устрою інтермодальних терміналів впливає на їхню пропускну спроможність, тобто на можливість обробляти та відправляти певний обсяг вантажів за одиницю часу. Цей процес також пов'язаний із витратами, які залежать від обсягу оброблених вантажів, особливостей просторово-функціональних рішень та типу застосованих вантажно-розвантажувальних механізмів.

У цьому контексті підвищення пропускну спроможності інтермодальних терміналів можливе завдяки змінам у функціональній та просторовій організації терміналів, а також удосконаленню їх обладнання для навантаження та розвантаження. Проте варто відмітити, що такі заходи призводять до додаткових витрат, які впливають на загальну собівартість експлуатації

терміналів.

Взаємодія різних видів транспорту в інтермодальних терміналах сприяє підвищенню їхньої пропускну спроможності, одночасно зменшуючи операційні витрати.

При розробці функціональних і просторових рішень для інтермодального терміналу та його обладнання необхідно враховувати особливості терміналу, а також обсяги й типи інтермодальних транспортних одиниць (ІТО), що обробляються за одиницю часу. Загалом такі рішення охоплюють:

- мережу залізнично-автомобільних шляхів терміналу;
- майданчики для зберігання та перевантаження контейнерів, знімних кузовів, напівпричепів і тягачів із напівпричепами;
- зони для паркування вантажних транспортних засобів, які очікують на обслуговування;
- зони для навантаження/розвантаження, будівлі та технічні споруди.

Рішення щодо облаштування інтермодальних терміналів залежать від їх типу та розташування. Наземні, морські й внутрішні термінали відрізняються за функціональними характеристиками, просторовою організацією та обладнанням для вантажно-розвантажувальних робіт. Продуктивність таких терміналів визначається їхньою здатністю обробляти вантажі, включаючи вантажопідйомність транспортних засобів і обсяг складських приміщень для інтермодальних транспортних одиниць (ІТО). Ефективна робота терміналу забезпечується завдяки оптимально спроектованій мережі залізничних і автомобільних шляхів. Окремі транспортні маршрути мають бути належним чином пов'язані між собою, а вся інфраструктура повинна відповідати технічним стандартам, будівельним нормам і вимогам безпеки. Доступ до терміналу забезпечується через під'їзні колії, які з'єднують його з автомобільними дорогами загального користування, що дозволяє транспортувати вантажі відповідно до технології їх обробки.

Складські та вантажно-розвантажувальні зони в інтермодальному терміналі виконують подвійну роль, забезпечуючи як зберігання, так і сортування інтермодальних транспортних одиниць (ІТО). Ці зони мають бути спроектовані з урахуванням технічних особливостей терміналу, а також типу й характеристик вантажів, що обробляються. Ефективність роботи таких майданчиків досягається завдяки розміщенню в їхній зоні основного обладнання для навантаження та розвантаження, що мінімізує кількість необхідних операцій [12].

Однією із ключових завдань компаній, що спеціалізуються на інтермодальних перевезеннях, є мінімізація втрат, які можуть виникати на різних етапах транспортування вантажів. Для зменшення цих втрат необхідно застосовувати ефективні тактики та стратегії під час планування й організації кожного етапу перевезень. Оцінка ризиків базується на аналізі середньостатистичних збитків, отриманих у результаті виконання певних операцій за попередні періоди може розраховуватися за формулою:

$$B_{\text{бр}} = 1,6 \cdot N_{\text{кат}} + 0,34 \cdot N_{\text{ав}} + 0,004 \cdot N_{\text{бр}}, \quad (1)$$

де $B_{\text{бр}}$ – показник умовних сукупних втрат порушення безпеки руху, нормований на одиницю роботи;

$N_{\text{кат}}$ – кількість катастроф;

$N_{\text{ав}}$ – кількість аварій;

$N_{\text{бр}}$ – кількість випадків шлюбу у роботі транспорту за період.

У ситуації, коли доступна велика статистична вибірка, частоту появи збитків зазвичай розглядають як ймовірність настання відповідного ризику.

Наведемо формулу визначення ймовірності здійснення деякого події J .

$$P(J) = \frac{m}{n}, \quad (2)$$

де $P(J)$ – ймовірність настання події J ;

m – кількість випадків, які можуть здійснити подію J ;

n – загальна кількість випадків настання події J .

У ситуаціях, коли в ході діяльності виникають економічні ризики, транспортно-експедиційні підприємства стикаються з такими видами втрат:

- витрати на компенсацію фінансових збитків;

- витрати, пов'язані з організаційними та управлінськими заходами.

Наведемо формулу для визначення сукупних витрат, пов'язаних із ризиками, для транспортно-експедиційних компаній:

$$R_{\text{заг}} = R_{\text{риз вит}} + R_{\text{обсл риз}}, \quad (3)$$

де $R_{\text{заг}}$ – загальні ризикові витрати;

$R_{\text{риз вит}}$ – ризикові витрати відшкодування, що виникають після здійснення економічного ризику;

$R_{\text{обсл риз}}$ – витрати обслуговування ризику, які виникають до його здійснення.

Проектування інтермодальних терміналів на

основі оцінки ризику є комплексною задачею, яка поєднує технічні та економічні аспекти. З технологічної точки зору, процес проектування передбачає створення оптимальної схеми терміналу з урахуванням особливостей інтермодальних транспортних одиниць (ІТО) та їх переміщення по території термінально-складського комплексу [13].

Основна мета цього етапу – розробити структуру інтермодального терміналу та визначити взаємозв'язки між його ключовими зонами з технологічної перспективи. Об'єктно-орієнтований підхід до проектування включає визначення габаритів терміналу з урахуванням його функціональних і просторових зон, які формуються на основі технологічного планування. На даному етапі розраховуються ключові параметри, що описують функціональне та просторове планування терміналу. Процес проектування інтермодального терміналу складається з чотирьох послідовних етапів [11].

Перший етап охоплює:

- ідентифікацію постачальників і отримувачів;

- аналіз річного та середньодобового обсягу вантажів, що проходять через термінал, а також структури інтермодальних транспортних одиниць (ІТО);

- прогнозування змін обсягів і структури вантажів у контексті розвитку систем інтермодального транспорту;

- визначення процентного співвідношення ІТО, що обробляються на терміналі;

- розрахунок середнього часу зберігання ІТО.

Другий етап охоплює:

- характеристику процедури обробки ІТО на терміналі;

- визначення планувальних рішень (функціональних і просторових зон) для проектного терміналу;

- вибір методу зберігання ІТО на території терміналу;

- розрахунок коефіцієнта нерівномірності потоку ІТО.

Третій етап передбачає:

- оцінку та обчислення тривалості транспортних циклів для перевезення інтермодальних транспортних одиниць (ІТО) через термінал;

- визначення добової трудомісткості обробки ІТО на терміналі;

- підрахунок необхідної кількості вантажно-розвантажувальних механізмів і персоналу для обслуговування ІТО, враховуючи їх тип та категорії праці;

- розрахунок пропускної спроможності автомобільного та залізничного транспорту, задіяного для доставки та вивезення ІТО;

- визначення потрібної місткості складських приміщень;

- обчислення параметрів організації фронтів навантаження-розвантаження та характеристик транспортних шляхів;

- оцінку капітальних та експлуатаційних витрат для запланованого інтермодального терміналу.

Четвертий етап охоплює:

- визначення оціночних показників для окремих проектних рішень;

- всебічну оцінку проектних рішень для інтермодального терміналу.

Описані етапи потребують ґрунтовного аналізу для оптимізації технологічних процесів і обладнання, а також компонування, що охоплює параметризацію вхідних даних, необхідних для розробки терміналу та проведення формальних розрахунків окремих стадій проектування.

На основі запропонованої методики створення інтермодального терміналу, з урахуванням формалізації ключових етапів проектування, розглянуто приклад практичної реалізації наземного інтермодального терміналу.

Формулювання логістичної задачі.

Вихідні дані та вимоги до проектування терміналу:

1. Обслуговування транспортних (вантажних) одиниць: контейнери стандарту ISO (1A, 1B, 1C), напівпричепи (NS) та знімні кузови (NW).

2. Обробка вантажів за різними напрямками: импорт, експорт, транзит.

3. Технологічний процес обробки інтермодальних транспортних одиниць (ІТО) передбачає як тимчасове зберігання, так і пряму переробку залізничних вагонів та трейлерних платформ.

4. Середньодобова кількість ІТО, що обробляються терміналом, наведена у табл. 2.

5. Перевантаження вантажів здійснюється за допомогою рейкового портального крана.

Таблиця 2

Кількість інтермодальних транспортних одиниць на день, що обслуговуються терміналом

№	n_N	n_P	n_{P-N}	n_{S-S}	n_{T-BP}	n_{PN}	n_{PP}
1A	25	17	17	12	10	0	8
1B	25	17	15	10	8	0	8
1C	28	17	10	8	3	8	0
NW	5	8	0	0	0	0	0
NS	8	10	0	0	0	0	0

Примітка. Кількість ІТО на залізничному

транспорті: n_N (імпорт), n_P (експорт), n_{P-N} (транзит). Кількість ІТО на автомобільному транспорті (транзит) n_{S-S} . Кількість ІТО на залізничному транспорті без перевалки транзитом n_{T-BP} . Кількість незавантажених ІТО на залізничному транспорті: n_{PN} (експорт), n_{PP} (імпорт).

В інтермодальному терміналі виконується максимум три операції з перевалки. Відсоткове співвідношення кількості операцій для кожного типу ІТО, що проходить через термінал, відображено у табл. 3.

Таблиця 3

Відсоткове співвідношення операцій з перевалки

№	n_N	n_P	n_{P-N}	n_{S-S}	n_{PN}	n_{PP}
1	10	10	20	0	10	10
2	80	80	80	100	90	90
3	10	10	0	0	0	0

Примітка. Відсоткове співвідношення числа операцій, виконаних на певному вигляді транспорту $u(ko^N)$. Середній час зберігання ІТО: n_N - 24 год; n_P - 12 год; n_{P-N} - 48 год; n_{S-S} - 24 год. Коefіцієнт нерівномірності надходження ІТЕ приймаємо рівним 1,2.

Встановлення параметрів функціональних і просторових зон терміналу.

За умови, що протягом тривалого часу потік транспортних засобів залишається збалансованим, пропускна спроможність досягне рівня 274 ІТО.

З урахуванням можливості використання двох залізничних ліній, пропускна спроможність залізничного транспорту досягне 137 ІТО в кожному напрямку. При застосуванні вагонів із місткістю три транспортні одиниці, потреба у вагонах для одного напрямку (з урахуванням коefіцієнта використання вагонів 0,9) становитиме 42 вагони для перевезення контейнерів та 5 вагонів для напівпричепів і знімних кузовів.

З урахуванням довжини фітінгової платформи (19,62 м), загальна довжина рухомого складу на одному залізничному напрямку складатиме 714 метрів. На кожному напрямку передбачено по два поїзди щодня, кожен довжиною 357 метрів, не враховуючи довжину локомотива. Таким чином, довжина однієї залізничної колії на терміналі, з урахуванням простору для маневрування, становитиме 406 метрів.

Для транспортних одиниць, які проходять проміжну обробку, необхідно облаштувати спеціальну площадку для їх тимчасового зберігання. З урахуванням щоденного обсягу контейнерів, знімних кузовів та напівпричепів, що обробляються на терміналі, а також очікуваного часу їх перебування, складський майданчик має

забезпечувати місткість: 428 місць для контейнерів, 17 місць для знімних кузовів та 19 місць для напівпричепів.

При розташуванні контейнерів уздовж вантажних колій максимальна довжина єдиного майданчика для їх зберігання не має перевищувати 406 метрів. Якщо взяти до уваги, що довжина однієї транспортної одиниці (ІТО) становить 6,5 метрів, то на одному майданчику можна розмістити до 59 таких одиниць. За умови коефіцієнта штабелювання, що дорівнює 2, у межах одного відсіку можливо зберігати до 118 ІТО. Таким чином, для розміщення 428 контейнерів на складі з урахуванням зазначеного коефіцієнта штабелювання необхідно організувати чотири відсіки для зберігання.

Іншим важливим показником для розрахунку є кількість кранів, задіяних у перевантажувальних роботах. Для цього необхідно визначити загальну кількість операцій (N_{ko}), враховуючи обробку контейнерів, знімних кузовів і напівпричепів у заданому напрямку. Деякі вантажі обробляються за схемою «залізничний вагон – автомобіль», а інші – за схемою «вагон – склад – автомобіль». Загалом необхідно виконати 644 операції. Припускаючи, що середній час одного циклу роботи крана становить 4 хвилини, робочий день триває 16 годин, а коефіцієнт використання робочого часу крана дорівнює 0,8, кількість необхідних кранів (N_M) можна обчислити за відповідною формулою:

$$N_M = \frac{N_{ko}}{q_u}, \quad (4)$$

де q_u – добова продуктивність кранів (вантажнорозвантажувальних механізмів), визначається ставленням:

$$q_u = \frac{T_o \cdot \beta_u}{t_u} \quad (5)$$

де T_o – добова тривалість роботи вантажнорозвантажувальних механізмів (приймаємо рівним 2 зміни по 8 годин, разом 960 хвилин);

β_u – коефіцієнт використання робочого часу крана (0,8);

t_u – середній час циклу крана – 4 хв/операція.

Згідно з описаною методикою розрахунку, кількість вантажнорозвантажувальних механізмів устанавлюється на рівні чотирьох одиниць. Слід зазначити, що при використанні чотирьох кранів їхній потенціал для перевантаження не буде повністю задіяний, тоді як трьох кранів може бути недостатньо для забезпечення ефективної роботи інтермодального терміналу за

умов підвищеної сукупності ІТО.

Для оцінки ефективності ухваленого рішення слід брати до уваги витрати на зведення терміналу та його експлуатаційні витрати [14]. Витрати на функціонування інтермодального терміналу охоплюють кошти на утримання залізничної інфраструктури, обладнання для вантажнорозвантажувальних робіт та його технічне обслуговування, системи управління терміналом, а також оплату праці висококваліфікованих працівників.

Наукова новизна і практична значимість

У статті представлено новий підхід до розробки комплексної методики проектування інтермодальних терміналів, яка охоплює проектування як технологічних процесів, так і інфраструктурних об'єктів на основі оцінки ризику.

Отримані результати можуть бути використані при транспортно-експедиторському обслуговуванні інтермодальних вантажних перевезень, що дозволяє використовувати її в інтелектуальних системах для підтримки оптимального прийняття рішень оперативним персоналом. Методика забезпечує ефективне управління транспортними процесами в умовах невизначеності та ризиків у комп'ютерній мережі інформаційного середовища АСУ ВП УЗ-Є, інтегруючись у комплекс завдань на автоматизованих робочих місцях вантажних інтермодальних терміналів.

Висновки

Розробка інтермодальних терміналів є складним, багатоступеневим процесом, який базується на технічних і технологічних вимогах, визначених нормативними актами. Структура терміналу та його технічне забезпечення залежать від особливостей вантажних одиниць і технологічних операцій, що виконуються. Таким чином, для визначення розмірів терміналу, його пропускної спроможності, планування функціональних і просторових зон, а також необхідної кількості вантажнорозвантажувальних механізмів для забезпечення певного вантажопотоку потрібен комплекс розрахунків. Під час проектування важливо аналізувати різні варіанти рішень, щоб обрати оптимальний з урахуванням встановлених критеріїв оцінки.

Зростання частки інтермодальних перевезень у загальному обсязі вантажопотоків сприяє підвищенню навантаження на наявні інтермодальні термінали. Це свідчить про те, що незабаром буде досягнуто максимальної пропускної спроможності існуючих об'єктів. У зв'язку з цим виникає потреба в оновленні наявних та створенні

нових термінально-складських комплексів. У статті представлено підхід до розробки комплексної методології проектування інтермодальних терміналів, яка охоплює проектування як технологічних процесів, так і інфраструктурних об'єктів.

Отримані результати можуть бути використані при транспортно-експедиторському обслуговуванні інтермодальних вантажних перевезень у контейнерах, що дозволяє використовувати її в інтелектуальних системах для підтримки оптимального прийняття рішень оперативним персоналом. Методика забезпечує ефективне управління транспортними процесами в умовах невизначеності та ризиків у комп'ютерній мережі інформаційного середовища АСУ ВП УЗ-Є, інтегруючись у комплекс завдань на автоматизованих робочих місцях вантажних інтермодальних терміналів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Implementation of multimodal transport rules. URL: <http://unctad.org/en/docs/posdtetlbd2.en.pdf>.
2. Гринів Н. Т., Гагарін С. В., Данилович Т. Б. Логістичні процедури транспортних технологій. *Видавництво НУ «Львівська політехніка»*. 2007. С. 194–198.
3. Котенко А. М., Шапатіна О. О. Удосконалення технології комбінованих перевезень вантажів. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2013. № 42. С. 45.
4. Котенко А. М., Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Вибір кількості типів технічних залізничних засобів для інтермодальних перевезень. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології»*. 2014. № 24. С. 202–207.
5. Macharis C., Bontekoning Y. Opportunities for OR in Intermodal Freight Transport Research: a Review. *European Journal of Operational Research*. 2019. No. 153. P. 400–446.

6. Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Визначення ефективності перевезень різними транспортними засобами. *Інформаційно керуючі системи на залізничному транспорті*. 2021. № 2. С. 3–8.

7. Qu L., Chen Y. A Hybrid MCDM Method for Route Selection of Multimodal Transportation Network. *Proceedings of the 5th international symposium on Neural Networks*. 2018. P. 374–383.

8. Solving Multi-modal and Uni-modal Transportation Problems through TIMIPlan / J. García et al. *IFAC Proceedings*. 2012. Vol. 45, no. 24. P. 203–208.

9. Solving Multi-modal and Uni-modal Transportation Problems through TIMIPlan / J. García et al. *IFAC Proceedings*. 2012. Vol. 45, no. 24. P. 203–208.

10. Sun Y., Lang M., Wang D. Optimization Models and Solution Algorithms for Freight Routing Planning Problem in the Multi-Modal Transportation Networks. *The Open Civil Engineering Journal*. 2015. No. 9. P. 714–723.

11. Pyza D., Jachimowski R. Designing of transshipment terminals in the aspect of selected intermodal transport systems. *MATEC Web of Conferences*. 2019. P. 1–7.

12. Burdzik R., Cieśla M., Ślaskowski A. Cargo Loading and Unloading Efficiency Analysis in Multimodal Transport. *Traffic&Transportation*. 2014. Vol. 26, no. 4. P. 323–331.

13. Lebedeva O., Kripak M., Gozbenko V. Increasing effectiveness of the transportation network by using the automation of a Voronoi diagram. *Transportation Research Procedia*. 2018. P. 427–433.

14. Sonmez R., Ontepeli B. Predesign cost estimation of urban railway projects with parametric modelling. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2009. Vol. 5, no. 4. P. 405–409.

Надійшла в редколегію 07.07.2025

Прийнята до друку 15.09.2025

O. PAKHOV, R. KOMPANIETS, M. SERHIENKO, R. KIRICHOK

METHODOLOGY FOR DESIGNING INTERMODAL TERMINALS IN TRANSPORT SYSTEMS BASED ON RISK ASSESSMENT

The tasks associated with the rational use of different modes of transport and their interaction during transshipment operations in intermodal terminals are becoming increasingly **relevant**. The **purpose** of this study is to analyse a comprehensive methodology for designing intermodal terminals, which provides an assessment of the effectiveness of the proposed design solutions. The article provides a general characteristic of unimodal, bimodal, intermodal and multimodal modes of transportation, their differences are presented; the features of the functioning of intermodal terminals, their importance for the performance of logistical tasks and the impact on the combination of various modes of transport in the process of cargo transportation are investigated. This work presents individual categories of costs associated with terminal management, its administrative functions and the provision of various services. However, in order to make an informed decision on the construction of a terminal, it is necessary to take into account a much wider

list of costs that were not considered in detail in this study. The proposed methodology for creating intermodal terminals in transport systems allows you to evaluate design solutions, taking into account the features of the transport units being processed. The research is based on the analysis of the order of electronic interaction between seaports and railways in the process of intermodal cargo transportation. As a **scientific novelty**, a new approach to the development of a comprehensive methodology for designing intermodal terminals is presented, which covers the design of both technological processes and infrastructure facilities based on risks. **Results.** One of the key aspects of the sustainable development of the transport system is the forecasting of transportation demand. There are many approaches to transportation planning. The computational efficiency required for route selection decreases sharply with an increase in the number of transport modes and terminals. Warehouse and loading and unloading areas in an intermodal terminal perform a dual role, providing both storage and sorting of intermodal transport units. Designing intermodal terminals based on risk assessment is a complex task that combines technical and economic aspects. **Practical significance.** The results obtained can be used in the transport and forwarding service of intermodal cargo transportation, which allows its use in intelligent systems to support optimal decision-making by operational personnel. The method provides effective management of transport processes in conditions of uncertainty and risks in the computer network of the information environment of the ACS of the UZ-E enterprise, integrating into a set of tasks at automated workplaces of cargo intermodal terminals.

Keywords: intermodal terminal, transport system, intermodal transport units, transshipment operations, terminal services, loading and unloading mechanisms.