

ЛОМОТЬКО Д. В., д. т. н., професор,
ПРИМАЧЕНКО Г. О., к. т. н., доцент
(Український державний університет залізничного транспорту)

Методологічний підхід до формалізації процесу функціонування динамічних мультимодальних транспортних систем

У статті наведено результати аналізу і теоретичного узагальнення підходів до формалізації процесу функціонування динамічних мультимодальних транспортних систем за участю залізничного транспорту. Зважаючи на специфіку функціонування та управління мультимодальними транспортними системами, запропоновано підхід до комплексної оцінки загальносистемного ефекту від діяльності транспортних підприємств при мультимодальних перевезеннях на основі побудови математичних моделей кожної з підсистем мультимодальної транспортної системи. Покращення процесів управління вантажо- та контейнеропотоками передбачено за рахунок упровадження відповідних систем підтримки прийняття рішень на базі інтелектуальних технологій.

Ключові слова: мультимодальна транспортна система, системний аналіз, контейнерні перевезення.

Вступ

Розвиток мультимодальних перевезень в Україні відповідно до Стратегії акціонерного товариства «Українська залізниця» (АТ «УЗ») на 2019 – 2023 роки [1] базується на збільшенні ролі залізничного транспорту, що забезпечує 22 % перевезень контейнерів із та до портів, та автомобільному транспорту, що перевозить 78 % контейнерів. Згідно з [2] мультимодальне перевезення (МП) – це перевезення вантажів двома або більше видами транспорту на підставі договору МП, що здійснюється за документом МП (перевізний документ, транспортна накладна, коносамент тощо). Останній підтверджує укладення договору МП (договір між оператором МП та замовником послуги МП) і прийняття вантажу під свою відповідальність оператором МП. Оператором МП вважається суб'єкт господарювання, який укладає договір МП, приймає на час перевезення під свою відповідальність вантаж, оформлює документ МП та здійснює чи забезпечує здійснення перевезення вантажу до місця призначення від замовника [2].

Важливим елементом розвитку залізничного транспорту у сфері МП є збільшення контейнерних перевезень, що можливо зробити шляхом поширення практики організації регулярних контейнерних поїздів. Крім того, в оптимістичному прогнозі враховано можливість залучення додаткових обсягів контейнерних перевезень транзитом територією України між Європейським Союзом (ЄС) і Китаєм, Іраном та Індією. Прогноз контейнерних перевезень, який враховує збільшення обсягів перевезень

контейнерів за рахунок нових вантажопотоків та переключення частини вантажів з автотранспорту на залізничний транспорт, свідчить про збільшення частки перевезень контейнерів із портів залізничним транспортом. Загальний обсяг перевезень контейнерів збільшується і, відповідно до прогнозних показників Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року, має скласти не менше 1 млн TEU (двадцятифутовий еквівалент) в 2025 році та 2 млн TEU у 2030 році [3]. Додатковий обсяг контейнерних перевезень буде забезпечуватися регулярними контейнерними поїздами і планується зменшення повагонних контейнерних відправлень. Припускається, що до 2025 року більшість (понад 95 %) контейнерів, які перевозяться залізницею, будуть перевозитися графіковими контейнерними поїздами. Іншим можливим шляхом збільшення МП є залучення комбінованих (контрейлерних) перевезень. У Європі МП відбуваються в трейлерах та знімних кузовах для комбінованих автомобільно-залізничних перевезень. Такі МП наразі в Україні здійснюються в незначних обсягах, але можуть мати значний потенціал, особливо для перевезень в імпортному та експортному сполученнях. Така можливість має бути докладно проаналізована та відповідним чином опрацьована, якщо потенціал таких перевезень існує.

Як показує досвід, процес розвитку мультимодальних транспортних систем (МТС) необхідно здійснювати з урахуванням можливості отримання загальносистемного ефекту від функціонування окремих підсистем як єдиної системи.

Постановка проблеми дослідження

Усе в нашому житті має системну структуру. Для того щоб впливати на будь-яку систему з точки зору прийняття управлінських рішень, необхідно розшифрувати їх системну структуру. Розвиток системи – це перехід з одного рівня організації на інший. Розвиток підприємств іде через розвиток людей, що на них працюють.

МТС містить і соціальну підсистему, що являє собою множину соціальних індивідів, кожен з яких може розглядатися як система, і гомогенну підсистему, що управляє своїм персоналом у більшому ступені, ніж персонал управляє даною компанією. Це призводить до зменшення різноманіття. Тому соціальна підсистема є статичною і гомогенною, а сам процес здійснення МП – динамічним і гетерогенним.

Неможливо вирішувати складну проблему простими методами [4]. Щоб вирішити складну проблему, необхідно як мінімум володіти рішенням, не простішим за проблему. Тому система управління не може бути простішою за ту, якою вона призвана управляти. Є ті параметри системи, якими ми можемо управляти (внутрішнє середовище), а є ті, на які ми можемо лише впливати (зовнішнє середовище). Процес здійснення МП поєднує два види середовища.

Набуття системою нової властивості називається синергією. Організацію МП слід розглядати як складну систему, що містить множину

взаємопов'язаних елементів, які впливають один на одного.

Загальну теорію систем вперше була запропоновано американським біологом австрійського походження Л. Берталанфі у 1930-х роках. Одним із представників, хто вперше розглянув підприємство як соціальну систему, є американський дослідник Ч. Бернард, який протягом 20 років був на посту президента New York Bell Telephone Company. На основі системного підходу він аналізував діяльність організаторів та управлінців компаній. Математичний опис теорії систем надав у своїх працях американський вчений угорського походження професор Р. Калман [5].

МТС – складна, відкрита система (для нормального функціонування організації необхідно обмінюватися із зовнішнім середовищем різноманітними ресурсами). Важливими властивостями системи є її динамічність і взаємопов'язаність елементів, зміна будь-якого елемента системи, як правило, приводить до зміни системи в цілому.

Базовий сценарій прогнозування обсягів МП за участю залізничного транспорту [1] подано на рис. 1: частка перевезень контейнерів з/до портів залізничним транспортом у 2025 році – 35 %, у 2030 році – 45 %; залучення з 2021 року незначних (до 1 контейнерного поїзда на день у 2025 році) додаткових обсягів транзитних перевезень між ЄС і Китаєм, Іраном та Індією.

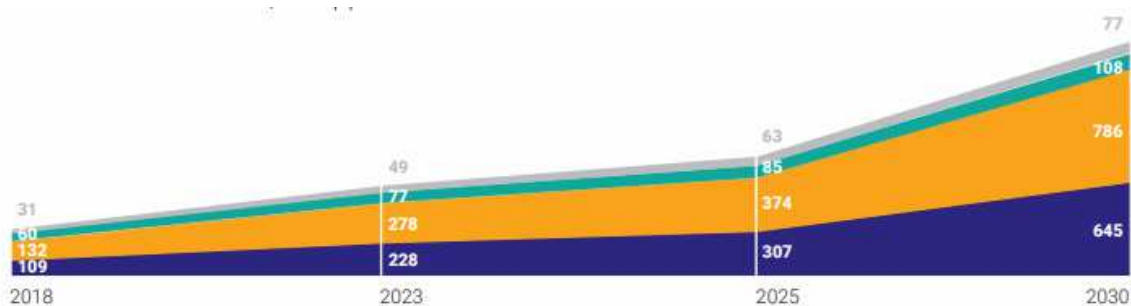


Рис. 1. Базовий сценарій прогнозування обсягів МП за участю залізничного транспорту

Оптимістичний сценарій [1] зображено на рис. 2: частка перевезень контейнерів із/до портів залізничним транспортом у 2025 році – 45 %, у 2030 році – 55 %; залучення з 2021 року значних (до 2 контейнерних поїздів на день у 2025 році) додаткових обсягів транзитних перевезень між ЄС і Китаєм, Іраном та Індією.

Таким чином, процес функціонування динамічних МТС є актуальним для України на сьогодні і потребує формалізації з метою покращення процесів управління вантажо- та контейнеропотоками, впровадження

відповідних систем підтримки прийняття рішень на базі інтелектуальних технологій.

Запровадження нової системи управління перевезеннями необхідно врахувати при формалізації динамічних МТС. Наразі управління перевезеннями не централізоване, а більшість рішень приймається в регіонах на різних рівнях управління. Це спричинює виникнення великої кількості неефективних процесів у зв'язку з недостатнім рівнем координації на рівні підрозділів регіональних філій. Необхідно збільшувати ефективність шляхом централізації функцій управління

перевезеннями. Це здійснюється шляхом запровадження головного центру управління перевезеннями, який здійснює контроль за регіональними центрами перевезень (протягом 2019 –

2020 рр.), та повної передачі функціонала з Управління перевезеннями Головному центру управління перевезень АТ «УЗ».

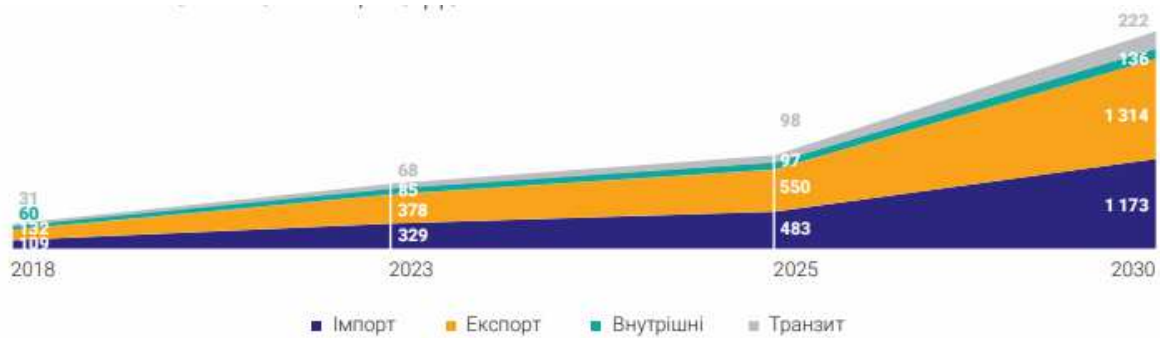


Рис. 2. Оптимістичний сценарій прогнозу оцінки обсягів МП за участю залізничного транспорту

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Вивітленню проблем МП та розвитку МТС присвячені праці таких дослідників, як: А. В. Базилук, Т. В. Бутко [6], Н. І. Богомолова, Т. А. Воркут, В. М. Гурнак, М. Ф. Дмитриченко, В. П. Ільчук, Н. М. Колеснікова, М. О. Криворучко, О. В. Лаврухін [7], П. І. Підлісний, О. Є. Соколова, І. О. Хоменко, В. Г. Шинкаренко, С. М. Шкарлет, В. В. Чорний, В. П. Яновська, та багатьох інших науковців. Водночас поряд із вагомими результатами у сфері МТС до сьогодні немає системного дослідження передумов сталого розвитку МП, що виступало б імпульсом економічної безпеки кожної ланки логістичного ланцюга доставки вантажів [8].

У загальному розумінні сталий розвиток – це концепт стосовно необхідності встановлення балансу між задоволенням сучасних потреб людства і захистом інтересів майбутніх поколінь, включаючи їхню потребу в безпечному і здоровому довкіллі. Термін «сталий розвиток» має достатньо велику кількість тлумачень [9], у наукових публікаціях він виник у другій половині 1980-х років і був «узаконений» на конференції ООН з навколишнього середовища та розвитку, яка відбулася в Ріо-де-Жанейро. Сьогодні цей термін сприймається як універсальне поняття, як нова модель розвитку цивілізації. Тобто процес сталого розвитку є багатоаспектним і багатограним. Тому «сталий розвиток» передбачає вищий якісний рівень, ніж «розвиток», і характеризує систему, яка перебуває у динамічному русі, показники і характеристики якої, як обов'язкова умова, мають бути якісно покращені, зростати та бути у позитивній динаміці в довгостроковій перспективі. Забезпечення сталого розвитку МП насамперед потребує досягнення її динамічного розвитку, тобто такого, що передбачає гармонізацію економічного, соціального й екологічного підходів. Отже, сталий розвиток МП – це

керований розвиток, основою реалізації якого є системний підхід та сучасні інформаційні технології, які дають змогу з високою точністю прогнозувати результати та вибрати найбільш оптимальні напрями [10].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми

Оперативне управління планом формування контейнерних поїздів передусім має бути пов'язане з формуванням поїздів «підвищеної транзитності». Ця технологія передбачає таке формування технічних маршрутів, при якому змінні призначення поїздів підбираються таким чином, щоб, з одного боку, скоротити простій під накопиченням вагонів, а з іншого – максимально виключити переробку вагонів на станціях маршруту руху, тобто як наслідок – прискорити їх. Але для цього необхідно використовувати механізм відповідальності і зацікавленості причетних працівників, особливо працівників станцій, які відповідають за виконання графіка руху поїздів. Кожне недотримання часу відправлення поїзда за графіком має вважатися грубим порушенням технології експлуатаційної роботи. І навпаки, формування поїздів (груп вагонів) «підвищеної транзитності» має розглядатися, як додатково виконана робота станцією з відповідними стимулюючими заходами. Адже цим не тільки збільшується швидкість просування вагонопотоків, але й за рахунок скорочення обсягу переробки на наступних станціях створюється задел надійності в їх роботі для забезпечення виконання графіка руху, а за відповідним обґрунтуванням це стає причиною закриття сортувальних станцій для переробки вагонопотоків у майбутньому.

Останнє твердження повністю узгоджується з досвідом зарубіжних залізниць. Так, фахівці залізниць

США, Канади і низки інших країн працюють над зниженням обсягів такої трудомісткої операції, як сортування вагонів. Залізниці укладають між собою довготривалі угоди на добірку вагонів у групи, що включаються в поїзди. В результаті поїзди, в тому числі контейнерні, як правило, складаються з двох-трьох груп і прямують на всьому маршруті без сортування вагонів.

Технологічні ж операції на сортувальних станціях обмежуються переплетенням груп вагонів. При цьому простої вагонів у вузлах скорочуються на 50 %, прискорюється доставка вантажів споживачам. Ця система досить гнучка. У різні дні тижня поїзд одного і того самого маршруту (номера) може включати від однієї до трьох груп залежно від запланованого навантаження. Щоб під час перевезення здійснювати не більше двох переплетень, групи діляться на «далекі» і «ближні».

З урахуванням вищевказаного з метою прискорення доставки вантажів слід дослідити питання маршрутизації контейнерних вантажів. Одним із напрямків розвитку маршрутизації є погоджена організація навантаження не лише на декількох станціях (ступінчаста маршрутизація), але й на різних дільницях та вузлах. Цьому може служити відомий спосіб організації вантажної роботи – календарне навантаження. Для вантажовласників гірше, коли не виконуються узгоджені строки подачі порожніх вагонів під завантаження та строк доставки вантажу. Практика показує, що у багатьох випадках вантажовласників не дуже хвилює відсутність регулярності (щоденності) у відправленні вантажів, а ось невідповідність строків подачі під навантаження транспортних засобів (автомобілів, контейнерів, вагонів) сприймається як серйозне порушення договірних обов'язків.

Як показав аналіз навантаження на різних регіональних філіях АТ «УЗ», сьогодні можлива організація відправлення маршрутних груп контейнерів з різних станцій з подальшим об'єднанням їх на адресу одного району вивантаження (регіональної філії, відділення, дільниці, вузла). Це один з основних напрямків організації перевізної роботи, який дасть змогу не лише прискорити доставку вантажу, але й буде сприяти чіткій організації перевізного процесу, а загалом і підвищенню конкурентоспроможності залізничного транспорту у сфері контейнерних перевезень, особливо мультимодальних.

Для оцінки ефективності призначення маршрутів, як і поїздів «підвищеної транзитності», в умовах конкуренції слід врахувати дохід, який буде отримано від прискорення доставки вантажів за рахунок залучення додаткових обсягів перевезень.

Формулювання цілей статті

Формування та експлуатацію МТС слід розглядати з позиції системного підходу. Під МТС будемо розуміти сукупність взаємозалежних підсистем, які виконують різні функції, як правило, роз'єднані у просторі і часі та об'єднані загальною системою управління певним видом транспорту з метою координації спільного функціонування для оптимального рішення задач, що поставлені перед МТС з метою задоволення потреб клієнта. Основними нормативно-технологічними документами, що поєднують роботу всіх залізничних підсистем МТС у просторі і часі, є план формування і графік руху поїздів, автотранспортних підсистем – договір на надання транспортних послуг та подорожній лист, повітряних підсистем – вантажний маніфест, водних підсистем – договір на транспортно-експедиційні послуги та коносамент. Метою цього дослідження є формалізація діяльності кожної підсистеми МТС.

Виклад основного матеріалу дослідження

Процес функціонування сукупності транспортних підрозділів, як підсистем МТС, можна формалізувати з використанням підходу проектування та управління великих технічних систем таким чином: МТС та всі її складові частини характеризуються станом у просторі і часі. Стан МТС у кожний момент визначається множиною значень змінних, параметрів і характеристик, які описують систему. При цьому параметри є незалежними змінними, а характеристики залежать від параметрів і взаємозв'язків. При формалізації МТС, як правило, виділяють тільки основні властивості та параметри системи, що приводить до спрощення отриманих моделей.

Стан МТС визначимо за допомогою оператора

$$F(t) = \Psi^0(t; F_0; K_t; Z_t; Y_t; I_t), \quad (1)$$

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

t – момент часу;

F_0 – початковий стан МТС;

K_t – керований вхідний вплив у момент часу t , за допомогою якого здійснюються цілеспрямовані зміни у системі. Як K_t можна розглядати управлінські рішення, що приймаються відповідальними працівниками певного виду транспорту щодо розвитку МТС;

Z_t – некерований вхідний вплив у момент часу t , який характеризує вплив на МТС з боку зовнішнього середовища. Як Z_t виступають ситуація на товарному і транспортному ринку,

попит на матеріальні ресурси і транспортні послуги, потік відмов засобів транспорту та ін.;

Y_t – параметри управління МТС у момент часу t ;

I_t – сукупність параметрів і характеристик, які характеризують внутрішні властивості МТС у момент часу t . Кількість таких параметрів позначимо J , а область припустимих значень – через множину \dot{I} .

Будемо вважати входом МТС множину керованих K_t і некерованих Z_t сигналів, за допомогою яких вплив зовнішнього середовища передається МТС. Показники, що характеризують результати реакції МТС на вплив із зовнішнього середовища, називають вихідними. Вихід W є множиною показників, через які МТС впливає на середовище (рис. 3).

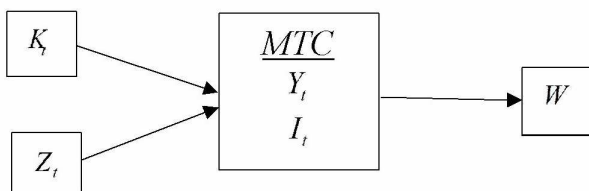


Рис. 3. Вплив зовнішнього середовища на МТС

Як W можуть виступати параметри технічного, технологічного, організаційного, фінансово-економічного, соціального та екологічного характеру, що відображені у вигляді системи техніко-експлуатаційних показників транспортної роботи. Значення вихідних параметрів W системи залежать від вхідних параметрів K_t , Z_t , внутрішніх характеристик I_t та стану системи в початковий момент. Таким чином, перетворення входів у виходи з урахуванням функціонування МТС можна подати в загальному випадку у вигляді оператора

$$W(t) = G_0(t; F_0; K_t; Z_t; I_t; T_t), \quad (2)$$

де T_t – змінення структури МТС.

Оператор G_0 по суті є законом функціонування МТС, тобто вихідний процес визначається початковим станом системи, вхідними характеристиками і процесами зміни характеристик МТС та її структури.

Таким чином, множина транспортних підрозділів

МТС, об'єднаних єдиною метою, є динамічною системою – системою із множиною станів, яка з часом переходить із одного стану в інший за правилами, що визначені операторами Ψ^0 і G_0 . Саме зміну стану і виходу МТС називають поведінкою системи – процесом, функціонуванням для досягнення певного результату в можливому фазовому просторі.

Для МТС характерною рисою можливого фазового простору є його безпосередня залежність від технологічних обмежень ресурсів, які використовуються. Це, у свою чергу, призводить до необхідності вирішення завдання ресурсозбереження.

Функціональний оптимум в області припустимих фазових траєкторій МТС, як правило, визначається її спроможністю досягати поставленої мети без залучення додаткових ресурсів. Зокрема фазовий простір Φ залізничної транспортної підсистеми може бути обмеженим за параметрами I_t – кількість локомотивів (L_t) та Z_t – інтенсивність вантажопотоків (B_t) у момент часу t .

Таким чином, фазовий простір Φ за своєю конфігурацією представляє опуклий багатокутник з обмеженнями

$$\Phi \in E_k \quad \left\{ \begin{array}{l} L_t \leq f(L_t(B_t)) \\ L_t \geq L^{\min} \\ L_t \leq L^{\max} \\ B_t \leq B_t^{\max} \end{array} \right. , \quad (3)$$

де E_k – евклідов простір розмірністю $k = 3$;

B_t^{\max} – максимально можливі вантажопотоки для даної МТС, які можуть бути встановлені за допомогою аналізу динаміки вантажопотоків;

L^{\min} , L^{\max} – відповідно, мінімальна та максимальна кількість локомотивів, що перебувають в експлуатації. Як правило, $L^{\min} = 1$, а L^{\max} визначається з урахуванням наявного парку локомотивів L , що експлуатуються, та резерву локомотивів $L^{\text{рез}}$.

Зокрема технологічну взаємодію різних підрозділів різних видів транспорту слід розглядати як взаємодію між різними підсистемами МТС, оскільки технологічні зв'язки, множина вхідних впливів, внутрішні характеристики змінюються у часі за певними закономірностями (які можна відобразити операторами Ψ^0 і G_0) з метою досягнення єдиного результату.

Структура МТС представляє часткове упорядкування її елементів і відносин між ними, а також ієрархічних відносин у системі. Це передбачає наявність загальної керуючої підсистеми і підсистем різного рівня зі своїм управлінням, з певним пріоритетом в ухваленні рішення між підсистемами. З метою оцінки рівня керованості системи доцільно використати критерій відхилення поточного стану від бажаного рівня досягнення мети. Після визначення кінцевої мети функціонування організаційна структура МТС починає «прямувати» до неї по певній фазовій траєкторії у фазовому просторі, яка залежить від багатьох чинників. Завданням управління організаційною системою буде оцінка поточного стану виконання показників, ризику їх невиконання, а також наближення їх рівня до критичної області (точки біфуркації), з якої досягнення мети буде неможливим. Оскільки врахувати абсолютно всі чинники та обмеження не є можливим за допомогою системного підходу, то виникає необхідність формалізації кінцевої мети за допомогою апарату нечітких множин у майбутніх дослідженнях.

Для управління МТС важливо знайти точки контролю за станом виконання завдання, які мають бути моментами часу прийняття рішення про управлінський вплив на діяльність елементів або про перегляд параметрів I_i , які характеризують завдання (періоди планування). Формально цю задачу можна вирішити через проходження системи по нормальній фазовій траєкторії.

Висновки

Таким чином, запропонований підхід до формалізації процесу функціонування МТС дає змогу отримати загальносистемну оцінку результатів її діяльності. Крім того, використання принципів системного аналізу у процесі моделювання МТС дає можливість врахувати емерджентність системи при її дослідженні і проектуванні у цілому, розкривати закономірності її поведінки, функціонування та розвитку з метою оптимізації синергетичного ефекту.

Зокрема сутність економічної ефективності полягає в економії часу при впровадженні мультимодальних технологій на перевезеннях вантажів, які здійснюються безперервно та спільно різними видами транспорту, що відбувається за

рахунок скорочення часу по всій логістичній мережі доставки вантажу з найменшими витратами і високою якістю виконаних для споживачів послуг. Конкурентна перевага принципу мультимодальності транспорту полягає в тому, що послуги, які охоплюють декілька етапів постачання «від дверей до дверей», надаються тільки одним перевізником і зазвичай стають менш витратними та більш ефективними порівняно із ситуацією, коли кожен з них намагається максимізувати свій прибуток на своїй окремій ділянці логістичного ланцюга постачань. Крім того, МП зменшують час доставки вантажів і характеризуються очікуваними вигодами, які одержать виробники та учасники доставки товару внаслідок економії часу. При цьому ефект мультимодальності формується внаслідок певних показників. Ефект полягає в економії часу доставки вантажу від виробництва до споживача, у зменшенні запасів, можливості встановлення конкурентоспроможних цін на продукцію, зменшенні логістичних ризиків тощо.

Список використаних джерел

1. [Стратегія акціонерного товариства «Українська залізниця» на 2019 – 2023 роки.](https://bit.ly/3kiKGgL) URL: <https://bit.ly/3kiKGgL>.
2. Проект Закону про мультимодальні перевезення № 4258 від 23.10.2020 р. URL: https://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=70239.
3. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80>.
4. Бочаров А. Системный подход и системное мышление. URL: <https://youtu.be/zsJ3SKFDU2M>.
5. Михненко П. А. Университет СИНЕРГИЯ. URL: <https://youtu.be/fzSQFvq-kgU>.
6. Butko T. Devising an automated technology to organize the railroad transportation of containers for intermodal deliveries based on the theory of point processes / [Butko T.](#), [Prokhorov V.](#), [Koiisnyk A.](#), [Parkhomenko L.](#) Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Kh., 2020, 1(3 - 103). P. 6 – 12.
7. [Lavrukhin O.](#), [Zapara V.](#), [Zapara Y.](#), [Shapatina O.](#), [Bogomazova G.](#) Investigation into the bimodal transportation process by modelling rail module states. *Transport Problems*. 2017. Vol. 12. Issue 2. P. 99 – 112.
8. Волинець Л. М. Науково-методичні підходи до збалансування показників сталого розвитку мультимодальних перевезень вантажів у міжнародному сполученні. Економіка транспортного комплексу. 2018. Вип. 32. С. 137 – 151. – DOI:10.30977/ETK.2225-2304.2018.32.0.137.

9. Підлісний П., Брайковська А. Передумови організації мультимодальних перевезень вантажів вітчизняними операторами на міжнародному ринку транспортних послуг. Економіст. 2011. № 10. С. 64 – 67.
10. Волинець Л. М. Формування стратегії управління ризиками на транспортних підприємствах. Вісник [Національного транспортного університету]. Київ: НТУ, 2012. Вип. 26. С. 78 – 84.

Ломотько Д. В., Примаченко А. А.

Методологический подход к формализации процесса функционирования динамических мультимодальных транспортных систем.

Аннотация. В статье приведены результаты анализа и теоретического обобщения подходов к формализации процесса функционирования динамических мультимодальных транспортных систем с участием железнодорожного транспорта. С учетом специфики функционирования и управления мультимодальными транспортными системами проведено формализацию комплексной оценки системного эффекта деятельности транспортных предприятий при мультимодальных перевозках на основе построения математических моделей каждой из подсистем мультимодальной транспортной системы. Авторами сформулированы определения мультимодальных перевозок, мультимодальной транспортной системы, стабильного развития мультимодальной транспортной системы, контейнерных поездов «повышенной транзитности» на основе анализа трудов ученых и практиков в области логистики, цепей поставок товаров и науки о транспорте. Проанализировано влияние внешней среды на мультимодальную транспортную систему на основе системного анализа. В результате получены зависимости и технико-эксплуатационные показатели транспортной работы на основе параметров технического, технологического, организационного, финансово-экономического, социального и экологического характера. Рассмотрены входящие и исходящие параметры мультимодальной транспортной системы в зависимости от ее состояния в конкретный момент времени. Предложенный подход к формализации процесса функционирования мультимодальной транспортной системы позволяет получить системную оценку результатов ее деятельности, а использование принципов системного анализа в процессе моделирования дает возможность учесть эмерджентность системы при ее исследовании и проектировании в целом, раскрывать закономерности ее поведения, функционирования и развития с целью оптимизации синергетического эффекта. Эффект мультимодальности перевозок определен как экономия времени доставки груза от производства до

потребителя, уменьшение запасов, возможность установления конкурентоспособных цен на продукцию, уменьшение логистических рисков.

Ключевые слова: мультимодальная транспортная система, системный анализ, контейнерные перевозки.

Lomotko D. V., Prymachenko H. O. Methodological approach to formalizing the process of functioning of dynamic multimodal transport systems.

Abstract. The article presents the results of the analysis and theoretical generalization of approaches to formalizing the process of functioning of dynamic multimodal transport systems with the participation of railway transport. Taking into account the specifics of the functioning and management of multimodal transport systems, the formalization of a comprehensive assessment of the systemic effect of the activity of transport enterprises in multimodal transportation was carried out on the basis of constructing mathematical models of each of the subsystems of the multimodal transport system. The authors formulated definitions of multimodal transport, multimodal transport system, stable development of multimodal transport system, container trains of «increased transit» based on the analysis of the works of scientists and practitioners in the field of logistics, supply chains and transport science, system analysis. The influence of the external environment on the multimodal transport system is analyzed on the basis of system analysis. As a result, dependencies and technical and operational indicators of transport work were obtained based on the parameters of a technical, technological, organizational, financial and economic, social and environmental nature. The input and output parameters of a multimodal transport system are considered depending on its state at a particular time. The proposed approach to formalizing the process of functioning of a multimodal transport system makes it possible to obtain a systematic assessment of the results of its activity, and the use of the principles of system analysis in the modeling process makes it possible to take into account the emergence of the system in its research and design as a whole, to reveal the patterns of its behavior, functioning and development in order to optimize the synergetic effect. The effect of multimodality of transportation is defined as saving the time of delivery of goods from production to the consumer, reducing stocks, the ability to establish competitive prices for products, and reducing logistics risks.

Keywords: multimodal transport system, system analysis, container transportation.

Надійшла 24.02.2021 р.

Ломотько Денис Вікторович, д. т. н., професор, завідувач кафедри транспортних систем та логістики, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: den@kart.edu.ua ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7624-2925>.

Примаченко Ганна Олександрівна, к. т. н., доцент, доцент кафедри транспортних систем та логістики, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: gannaprymachenko@kart.edu.ua ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7326-8997>.

Lomotko Denis Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Transport Systems and Logistics, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: den@kart.edu.ua ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7624-2925>.

Prymachenko Hanna Oleksandrivna, Ph Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transport Systems and Logistics, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: gannaprymachenko@kart.edu.ua ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7326-8997>.