

УДК 656.073.25(477)

DOI: 10.15587/1729-4061.2018.151929

Дослідження умов взаємодії різних видів транспорту на інтермодальних терміналах

В. В. Петрушов, О. Е. Шандер

Проведеними дослідженнями в організації взаємодії різних видів транспорту на інтермодальних терміналах встановлено, що для досягнення ефективного функціонування перевантажувальних терміналів необхідним є удосконалення технологічного процесу роботи терміналу. Зокрема, за умови задоволення основних вимог—безперервність, ритмічність, паралельність та поточність усіх операцій, максимальне суміщення при високій якості безумовного використання. Доведено, що досягнення відповідних умов можливе при використанні дескриптивної моделі двохпортального терміналу, функціонування якого забезпечується процесами самосинхронізації руху автоматизованих платформ, здійснюючих перевезення контейнерів між автомобільним та залізничним порталами.

Встановлено, що створення досконалих комп'ютерних моделей для потреб організації взаємодії різних видів транспорту на інтермодальних терміналах як проектно-конструкторську задачу треба вирішувати у поєднанні дескриптивних та аналітичних моделей. В даних моделях виділяються програмні та апаратні компоненти, забезпечуючі умови здійснення концепції самосинхронізації руху навантажувачів. Зокрема встановлено, що самосинхронний підхід управління забезпечує велику ступінь узгодження при функціонуванні контейнерного терміналу та дозволяє збільшити паралельність процесів, тобто одночасне здійснення подій у системі.

Показана можливість формалізації процесів самосинхронізації засобами мереж Петрі. Цей математичний апарат дуже зручний для моделювання динамічних дискретних систем та дозволяє дослідити послідовне виконання всіх процесів, що відбуваються на інтермодальному терміналі. На основі моделювання доведено, що середній простій контейнера на терміналі зменшується, що дозволяє збільшити переробну спроможність та зменшити питомі витрати на переробку контейнера на терміналі.

Таким чином, є підстави стверджувати, що цілком можливою є розробка технологічно завершених термінальних структур «морський порт—залізничний портал—автомобільний портал» у різних конфігураціях. Тип конфігурації залежить від обраних логістичних маршрутів доставки вантажів, застосувавши для цього наведену методіку організації роботи двохпортального терміналу

Ключові слова: самосинхронізація, мережа Петрі, інтермодальні перевезення, контейнерний термінал

1. Вступ

В умовах глобалізації міжнародних відносин найважливішими напрямками транспортної політики держав є пошук оптимального поєднання умов функціонування основних міжнародних транспортних коридорів. Розбудова національної мережі міжнародних транспортних коридорів, які є складовими Критських міжнародних транспортних коридорів та відповідають нормам і стандартам Європейського Союзу, надають умови для залучення додаткових обсягів перевезень. XXI століття ставить проблему розвитку відносин у сфері континентального транспортного сполучення в новому форматі Європа–Азія. При цьому основною сучасною тенденцією світової транспортної системи є розвиток змішаних перевезень вантажів. Міжнародна практика свідчить, що в останні роки дві третини перевезень вантажів у міжнародному сполученні здійснювалось у змішаних сполученнях «від дверей до дверей». Змішані перевезення отримують все більше визнання як у міжнародному, так і у внутрішньому сполученні, при цьому змішані перевезення дають вантажовласникові ряд переваг, які полягають у найбільш ефективному поєднанні декількох видів транспорту. Змішані перевезення (інтермодальні перевезення) надають можливість оптимізувати терміни перевезення, зменшити витрати на зберігання та перевезення вантажу [1, 2].

Важливими умовами розвитку стали простір і час переміщення речей, людей та інформації. З середини XX століття зонами інтенсивного виробництва були США, Західна Європа, Японія та СРСР. З 90-х років (після розпаду СРСР) до них додалися Китай, Південно-Східна Азія, Індія та Латинська Америка.

Масштаби цих нових систем такі, що виникла і зростає величезна «різниця потенціалів» – Азія гостро потребує канали швидкого товарообміну із Західною Європою. За прогнозами Міжнародного Валютного Фонду, товарообіг між Азією і Європою у майбутньому році складе майже трильйон доларів. Транспортні міжконтинентальні системи набувають за цих умов зростаюче стратегічне значення в геополітиці.

Зараз основні транспортні потоки з Південно-Східної Азії в Європу спрямовані через Суецький канал, пропускна здатність якого вже вичерпана. Забезпечити зростаючий товарообіг можна тільки новими коридорами по суші, використовуючи такі види сполучень, як мультимодальні та інтермодальні перевезення [3, 4].

Важливу роль в узгодженні роботи різних видів транспорту грає раціональне розподілення обсягів вантажів, що перевозяться, в тому числі й переключення частки обсягів вантажів з одного виду транспорту на інший. Важливим елементом у взаємодії різних видів транспорту відіграють термінали, на яких виконуються великий розмір перевантажувальних операцій. Неефективна взаємодія різних видів транспорту на терміналах знижує ефективність розвитку інтермодальних перевезень, продуктивність праці та збільшує собівартість перевезень і терміни доставки вантажів. Тому за таких умов, важливим є дослідження умов взаємодії різних видів транспорту на інтермодальних терміналах, що робить дану тему актуальною.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Увага науковців до розвитку мультимодальних систем та інтермодальних транспортних технологій доставки вантажів неухильно зростає, що пов'язано з численними перевагами такого способу транспортування [5]. Проведені дослідження свідчать, що створення інтермодальної транспортної системи повинно здійснюватися на базі вантажних транспортно-розподільчих та термінальних комплексів, які споруджуються в місці стику різних видів транспорту. Тому важливу увагу приділяють дослідженню умов функціонування термінальних комплексів.

Виходячи із цього, в роботі [6] досліджуються проблеми інтермодальних вантажних перевезень з точки зору системи та управління з використанням запропонованої моделі інтермодальних вантажних транспортних мереж. Відповідна модель враховує часові інтервали надходження контейнерів на термінал. У цьому дослідженні проблему інтермодального планування вантажних перевезень на термінальних комплексах розглядають окремо для кожного виду транспорту. Однак слід зазначити, що в даній роботі не наведено умов взаємодії різних видів транспорту. Дослідженням умов функціонування інтермодальних перевезень, що базуються на аналізі витрат з урахуванням технічних та експлуатаційних параметрів, розглядають в роботі [7]. Модель описує умови перевезення вантажів з урахуванням витрат на всіх етапах транспортного процесу. Мета даного дослідження полягала у визначенні того, як ефективно перерозподіляти між термінальними комплексами вантажопотоки. Описана ефективність перевезення вантажів різними видами транспорту, а також наведені умови, як вигідно перевантажувати вантажі в різних термінальних комплексах. В роботі запропоновано топологію розташування інтермодальних терміналів та умови їх ефективного функціонування. Але не розглянуто в певній мірі злагодженої роботи самого інтермодального терміналу при виконанні вантажних операцій. В роботі [8] представлений детальний аналіз застосування імітаційних моделей у розвитку термінальних комплексів та проведено моделювання функціонування терміналу при взаємодії різних видів транспорту. Але у відповідному дослідженні мало враховано умови функціонування інтермодальних терміналів з урахуванням транспортних засобів, які зараз виконують функції по перевантаженню вантажів.

Досить велика увага авторів зосереджена на вирішенні проблем, пов'язаних з функціонуванням інтермодальних вантажних перевезень, на основі маршрутизації потоків [9, 10]. Ці дослідження пропонують моделі оптимізації інтермодальних мереж для вивчення конкурентоспроможності альтернативних маршрутів для переміщення вантажів. В даних моделях важливим елементом є інтермодальні термінали. Правильність функціонування термінального комплексу дає змогу ефективно розподіляти вантажні потоки. Тому важливим є удосконалювати процеси взаємодії різних видів транспорту на інтермодальних терміналах. В дослідженнях [11, 12] розглядають стан змішаних перевезень вантажів, в залежності від умов та специфіки виконання перевезень, а також дають правовий аналіз поняття «перевезення вантажів у прямому змішаному сполученні». Дослідження спрямовані на формування те-

хнології роботи термінальних комплексів, з точки зору більш злагодженої роботи при перевантаженні з різних видів транспорту. Запропоновані підходи до оптимізації транспортних потоків, які надходять до інтермодальних терміналів. Перспективи стійкого розвитку транспорту в Європі пов'язують із стимулюванням змішаних (інтермодальних) перевезень. Тому в Європі більш детально розглядають особливості функціонування інтермодальної системи вантажних перевезень з точки зору поведінки організаторів перевезень та характеристик транспортного процесу доставки вантажів [13]. Тому важливим є вирішення питань стосовно функціонування інтермодальних терміналів, а саме синхронізація процесів при виконанні вантажних операцій, які є основними при формуванні змішаного перевезення. Виходячи з цього, треба розглянути актуальні аспекти організації взаємодії різних видів транспорту на інтермодальних терміналах, які є суттєвими для налагодження ефективного функціонування терміналу.

3. Ціль та задачі дослідження

Метою роботи є підвищення ефективності перевантаження та доставки вантажів завдяки розробці методики раціональної організації роботи інтермодальних терміналів. Відповідні умови нададуть можливість підвищити ефективність транспортного процесу при організації інтермодальних перевезень.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- встановити особливості умов функціонування інтермодальних терміналів при виконанні вантажних операцій;
- сформулювати технологічний процес роботи контейнерного майданчика при взаємодії різних видів транспорту;
- формалізувати технологію роботи інтермодального терміналу з використанням мереж Петрі.

4. Матеріали та методи дослідження

4.1. Особливості умов функціонування інтермодальних терміналів при виконанні вантажних операцій

Інтермодальні перевезення вантажів (ІПВ) набули у сучасній виробничій сфері значення визнаної універсальної схеми транспортування майже всіх видів продукції. Відповідна схема функціонує стало й ефективно, на етапі її запровадження слід зосереджувати зусилля на організації взаємодії різних видів транспорту на перевантажувальних терміналах ІВП. Якщо всі ланки виробничого процесу будуть працювати злагоджено, то технологічний процес роботи терміналу буде задовольняти основні засади його функціонування. До основних засад функціонування терміналу відносять: безперервність, ритмічність, паралельність та поточність усіх операцій, їх максимальне суміщення при високій якості безумовного використання.

Пошук шляхів вирішення зазначених вимог повинен враховувати існуючий у методології дослідження ІПВ концептуальний зсув «від функцій до процесів». Це означає, що ступінь інтеграції окремих функцій технологічних ланок досягла такої міри, що їхній системний ефект вже значно перевищує той,

який можна було б очікувати від звичайного адитивного накопичення результатів. Тут йдеться про досягнення синергетичої взаємодії системного характеру, коли на першому плані вже домінують процеси самоорганізації (цілеспрямованість, адаптація, самозбереження, самоналагодження). Саме тому й треба відшукувати серед вже існуючих (або ж синтезувати нові) процеси, які б задовольняли вимогам поліпшення взаємодії різних видів транспорту, задіяних в ІВП (безперервність, ритмічність, паралельність, поточність). Як вже зазначалося, для вдосконалення технології роботи контейнерного терміналу потрібна комп'ютерна модель з обробки контейнерів, яка й визначатиме характер потрібних нам процесів. Якщо цю задачу розглядати у світлі сучасних інформаційних технологій, то вона повинна вирішуватися як задача апаратної підтримки інтелектуальних систем, серед шляхів розв'язання якої є реалізація концепції самосинхронізації [14].

4. 2. Формування технологічного процесу роботи контейнерного майданчика при взаємодії різних видів транспорту

Для вирішення відповідного завдання створимо уявну описову модель інтермодального контейнерного терміналу, з одного боку (порталу) якого надходять контейнери залізничним транспортом (портал Z), а з протилежного – автомобільним транспортом (портал A) (рис. 1).

На території терміналу існують дві зустрічні смуги переміщення контейнерів: від Z до A та від A до Z, по яким здійснюється циклічне переміщення вантажів за допомогою автотранспорту. Перевантаження на магістральні залізничні платформи чи автомобільні причепа (або ж з них) здійснюються мостовими кранами K1 та K2 з майданчиків, на яких може перебувати лише один навантажувач. Отже їхній рух повинен бути керованим, щоб уникнути зіткнень під час заїзду (виїзду) на крановий майданчик.

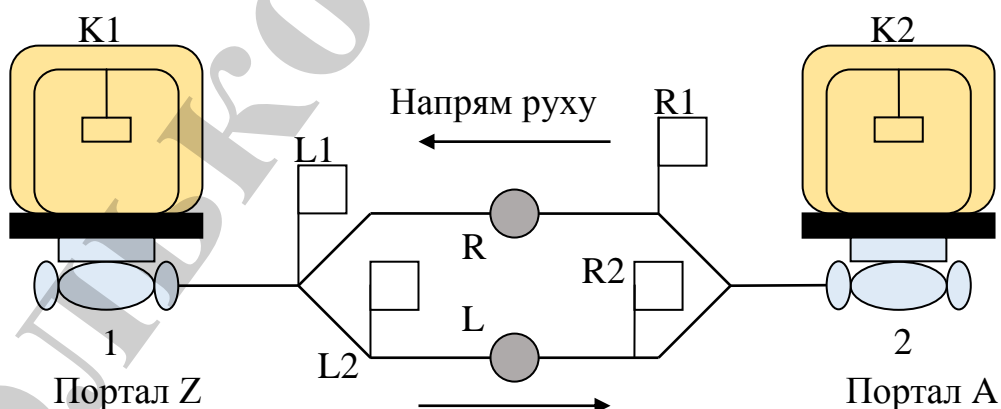


Рис. 1. Описова модель інтермодального контейнерного терміналу

Розглянемо можливу технологічну ситуацію, у якій буде здійснюватися керування. Навантажувач 1 перебуває на майданчику крана K1 і на нього завантажуються контейнер, після чого формується відповідний сигнал про завершення цієї операції. Навантажувач 2 перебуває на майданчику крана K2, де

відбувається розвантаження автомобільного транспорту і після того, як контейнер буде встановлено на нього, також формується сигнал про завершення операції. Далі автонавантажувач переміщуються по шляхах, позначених на рис. 1 векторами напряму руху. Для уникнення зіткнень навантажувачів на одноколієних під'їзних шляхах до кранів, встановлені чотири світлофора: L1, L2, R1, R2.

Здійснення митного контролю (догляду) відбувається у зонах R, L. Світлофори можна інтерпретувати як предикати, що приймають значення 1 якщо шлях відкритий, 0 – коли шлях закритий. Окрім того, внесемо до розгляду й інші предикати та пропозиціональні змінні, які необхідні для повного опису функціонування терміналу:

– змінні x_1, x_2, x_R, x_L , які моделюють датчики формування сигналів про перебування навантажувачів у відповідних зонах терміналу: 1 – перебуває тут; 0 – тут відсутній;

– $x_{\downarrow}^1, x_{\uparrow}^1, x_{\downarrow}^2, x_{\uparrow}^2$ – сигнали від відповідного навантажувача про завершення завантаження \downarrow або розвантаження \uparrow ;

– $y_0^1, y_+^1, y_0^2, y_+^2$ – сигнали про проходження митного контролю: + – результат позитивний, 0 – результат негативний.

4. 3. Формалізація технології роботи інтермодального терміналу з використанням мереж Петрі

Для вирішення поставленого завдання пропонується використовувати математичний апарат мереж Петрі. Цей математичний апарат дуже зручний для моделювання динамічних дискретних систем. Базова мережа Петрі складається з позицій, переходів, дуг і фішок. Позицією моделюються умови, при цьому наявність фішки на відповідній позиції вказує на виконання умови. Перехід у мережі Петрі моделює подію, тобто дію, що відбувається в системі. Виникнення події відповідає спрацьовуванню (або запуску) переходу.

У мереж Петрі причинно наслідковий зв'язок "умова-подія" представлений у вигляді позицій та переходів між ними. Причому у вигляді позиції можна представити певний стан системи, або операцію, яка виконується з об'єктом (вагоном, контейнером). Оскільки переходи з одного стану до іншого є спрямованими, то можна казати, що граф мереж Петрі є дводольним орієнтованим мультиграфом [15, 16].

Дуги сполучають між собою позиції та переходи. На рис. 2 представлено Мережі Петрі з 4 позиціями та 2 переходами.

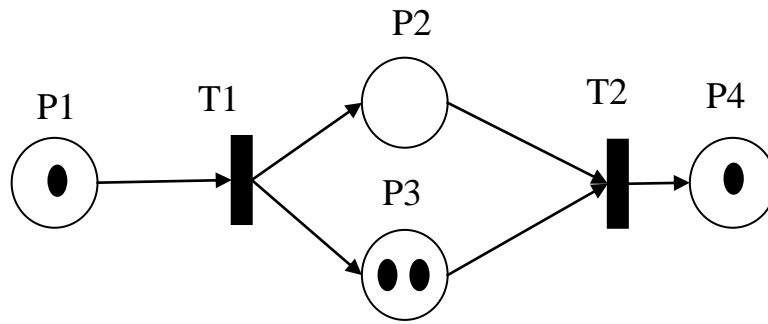


Рис. 2. Мережі Петрі з 4 позиціями та 2 переходами

Мережа Петрі може бути представлена як відповідна множина

$$N = (P, T, G, \Omega), \tag{1}$$

де P –множина всіх позицій; T –множина переходів; G –множина дуг мережі; Ω –множина ваг дуг.

Таким чином, можна використовувати мережі Петрі для моделювання процесу перевантаження контейнеру з одного виду транспорту на інший з метою аналізу станів системи та переходів між ними. Цей апарат дозволяє дослідити послідовне виконання всіх процесів, що відбуваються на інтермодальному терміналі. Формалізуємо технологічний процес $P_i, i=1,2$ руху i -ої платформи за допомогою графічних засобів мережі Петрі (рис. 3).

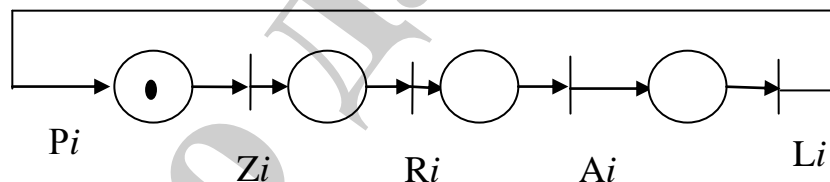


Рис. 3. Формалізація технологічного процесу графом мережі Петрі для однієї платформи

Цей процес є послідовним і містить у собі цикли Z_i – вивантаження контейнеру з залізничного транспорту, R_i, L_i – проходження зон митного контролю, A_i – завантаження контейнеру на автомобільний транспорт (цими символами позначені переходи мережі Петрі). Наявність маркера на вхідній (вихідній) позиції переходу тлумачиться як рух навантажувача з попереднього (даного) пункту у даний (наступний) пункт. Факт спрацьовування переходів Z, R, A, L тлумачиться як завершення завантаження, проходження зони R , завершення розвантаження, проходження зони L відповідно. Загальна модель синхронізації процесів P_1 і P_2 руху навантажувача у обох напрямках, початковими станами для яких є Z^1 та A^2 зображено на рис. 4.

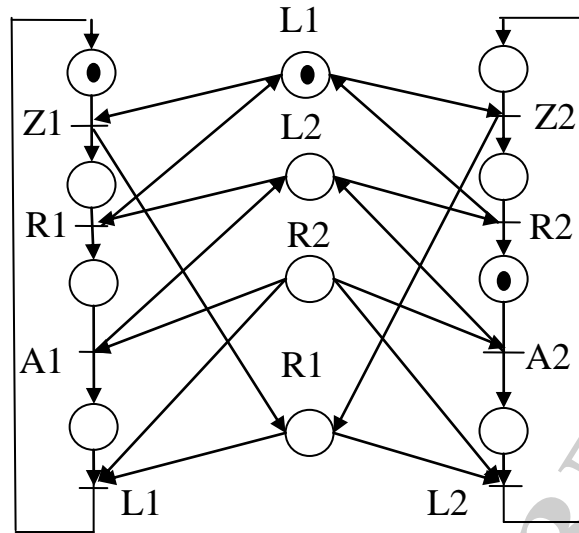


Рис. 4. Формалізація технологічного процесу графом мережі Петрі для двох платформ

Синхронізація здійснюється за допомогою позицій, позначених символами L1, L2, R1, R2, а механізм її реалізації еквівалентний використанню світлофорів Е. Дейкстри [16]. Аналіз цієї мережі Петрі показує, що вона є активною, безпечною і сталою у функціонуванні (неможливе одночасне збудження однойменних переходів, тобто перетинання маршрутів у якому-небудь пункті (зоні) шляху).

Також слід зазначити, що у даному варіанті здійснюється жорстка синхронізація. Виїзд навантажувача з даного пункту Z, R, A, L можливий тільки у тому випадку, коли інший буде готовий до виїзду з діаметрально розташованих до них пунктів A, L, Z, R відповідно. Проте технологічні ситуації можуть бути різними як за тривалістю операцій, так і за станом обладнання та механізмів, що так чи інакше вимагатиме зміни порядку руху навантажувачів.

Один з прикладів зміни порядку виїзду наведений на рис. 5: виїзд одного навантажувача з даного пункту Z, R, A, L можливий після виїзду іншого з наступного по напрямку руху пункту A, L, Z, R.

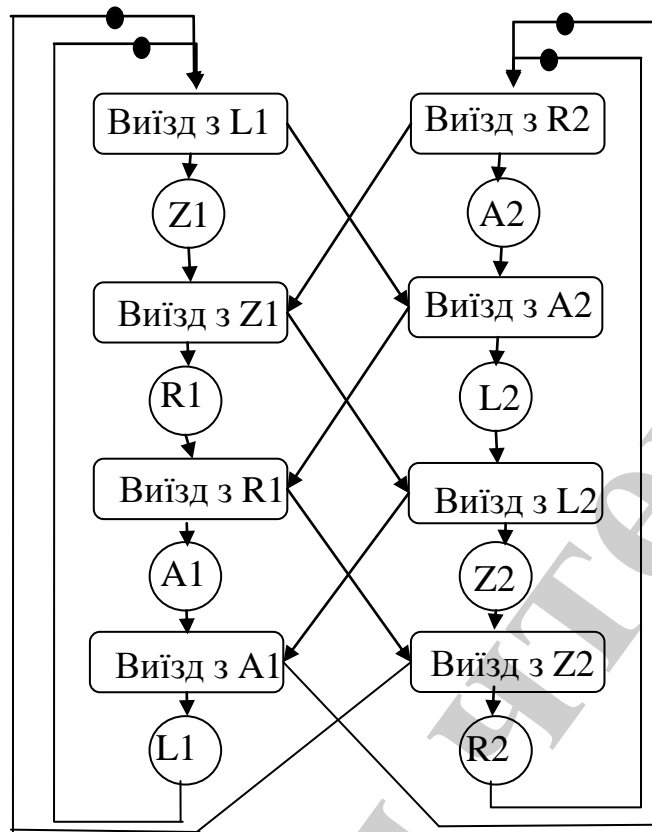


Рис. 5. Маркований граф для ситуацій зміни виїзду

Далі слід здійснити стандартну процедуру синтезу сигнального графа у відповідності до мережі Петрі на рис. 4, та на його основі побудувати функції збудження для парафазної реалізації RS-тригерів. У даному випадку з посиланням на [15] для конструювання відповідного контролера для загальної системи керування знадобляться близько 20 таких тригерів.

При цьому слід зазначити, що сучасна технологія реконфігурованого комп'ютерного на базі програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС) [17] дозволяє створювати значно складніші комп'ютерні архітектури. Логічні інтегральні схеми повинні забезпечувати такі функціональні властивості як живучість, адаптивність та кооперацію обчислювальних і мережевих систем. Отже цілком можливою є розробка технологічно завершених термінальних структур «морський порт – залізничний портал – автомобільний портал» у різних конфігураціях в залежності від обраних логістичних маршрутів.

5. Результати досліджень умов функціонування інтермодального терміналу

В результаті моделювання роботи терміналу було отримані відповідні показники, які дозволяють зробити висновок стосовно ефективності роботи контейнерного терміналу.

Побудова мережі Петрі для модуля контейнерного терміналу, який обслуговується кранами, наведено на рис. 6. Кран виконує три варіанти технологічного циклу:

- вивантаження навантаженого контейнера на майданчик і зворотний порожній рейс крана до вагону;
- навантаження навантаженого контейнера з майданчика на автомобіль і зворотний порожній рейс на колишню позицію;
- безпосередня перевантаження навантаженого контейнера з майданчика на автомобіль і зворотний порожній рейс крана на вихідну позицію.

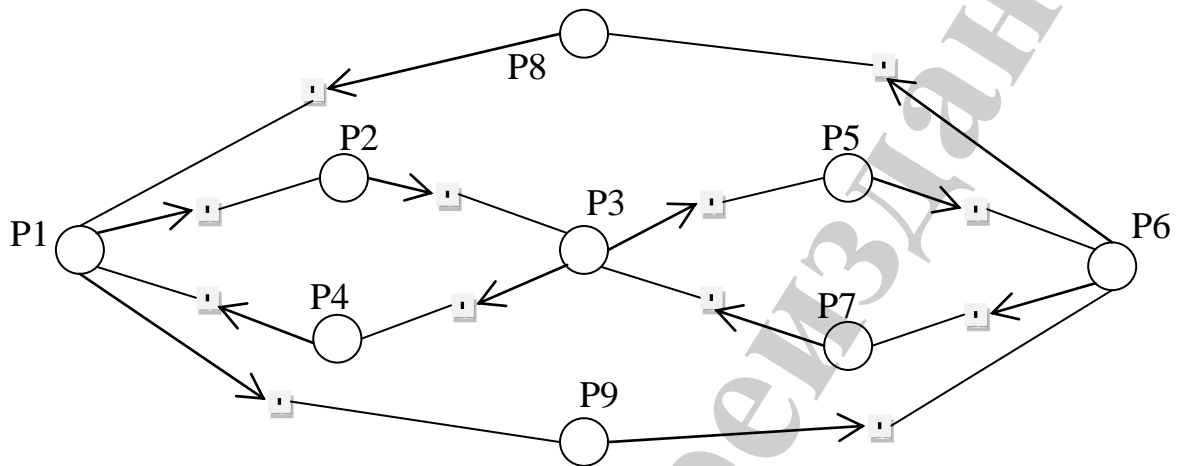


Рис. 6. Мережі Петрі для модуля контейнерного терміналу

Позиції крана p_i і позиції переходу t_{ij} наступні:

p_1, p_6 – позиції крана відповідно у вагона і автомобіля при розвантаженні або навантаженні навантаженого контейнера;

p_2, p_4 – позиції, що моделюють час переміщення крана відповідно від вагона в зону зберігання навантаженого і обраному напрямку порожнього в зворотному напрямку;

p_3 – позиція крана у зони зберігання при взятті або віддачі контейнера;

p_5, p_7 – позиції, що моделюють час переміщення крана з контейнером із зони зберігання до автомобіля і порожнього в зворотному напрямку;

p_8, p_9 – позиції, що моделюють час переміщення крана з контейнером від вагона до автомобіля і порожнього в зворотному напрямку;

t_{12}, t_{23} – позиції переходу з p_1 на p_3 ;

t_{34}, t_{41} – позиції переходу з p_3 на p_4 ;

t_{35}, t_{56} – позиції переходу з p_3 на p_6 ;

t_{67}, t_{73} – позиції переходу з p_6 на p_3 ;

t_{18}, t_{16} – позиції переходу з p_1 на p_6 ;

t_{69}, t_{91} – позиції переходу з p_6 на p_1 .

На рис. 7 наведено фрагмент інтерфейсу моделі дослідження функціонування інтермодального терміналу.

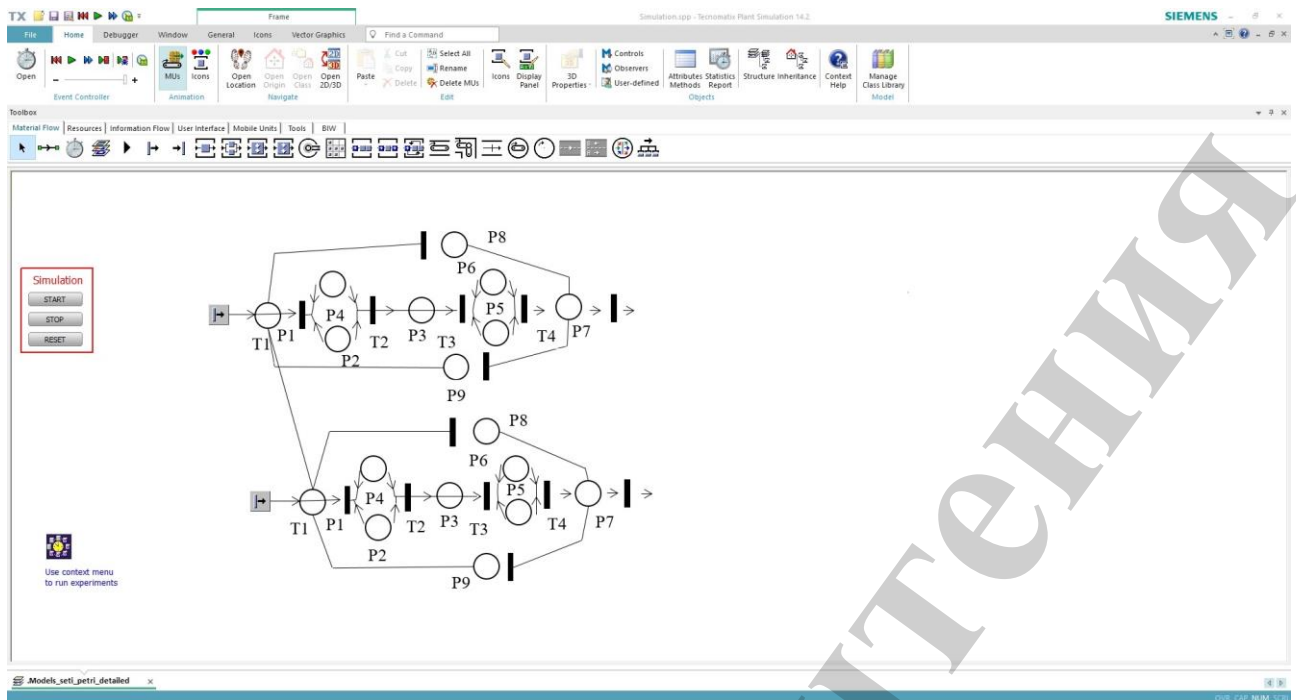


Рис. 7. Фрагмент інтерфейсу моделі дослідження функціонування інтер-модального терміналу

На рис. 8 показані залежності часу розрахунків і досягнутого при цьому прискорення при реалізації мережі Петрі.

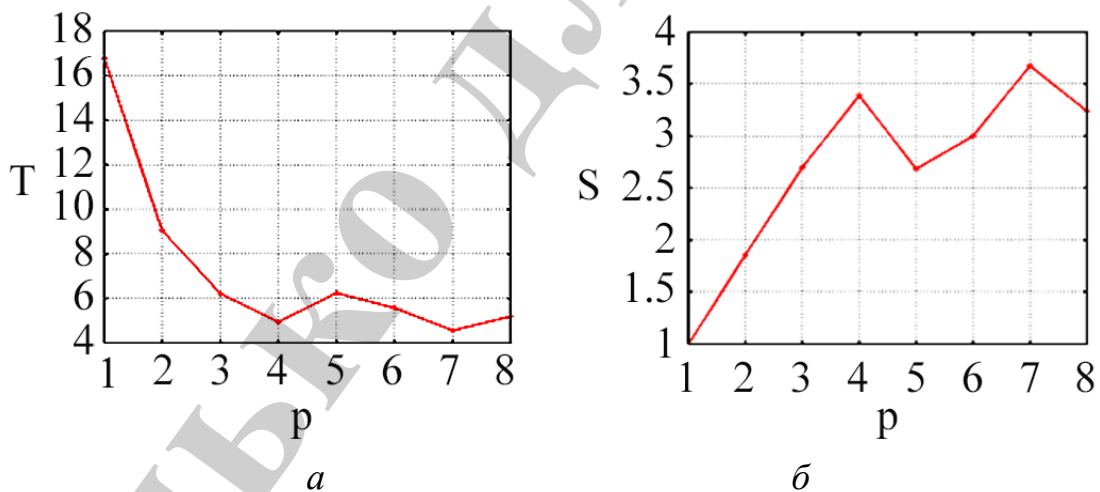


Рис. 8. Залежність часу T і прискорення S від числа процесів p при фіксованому розмірі мережі Петрі: a –залежність часу від числа процесів; $б$ –залежність прискорення від числа процесів.

Для проведення верифікації моделі в роботі запропоновано здійснити перевірку за допомогою критерію узгодження. Гіпотеза про розподіл відхилень за нормальним законом підтверджується при здійсненні перевірки за критерієм узгодження χ^2 Пірсона. Вихідні дані існуючої моделі і розрахунки параметрів моделі наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Вихідні дані і розрахунки параметрів моделі

№ спостереж.	ЦТС «Ліски»	
	Час на переміщення контейнера, хв	
	Результат спостереження	Результат моделювання
1	14,5	14,2
2	16,0	15,4
3	17,1	16,6
4	12,7	12,5
5	13,8	13,3
6	19,8	19,5
7	21,2	20,5
8	16,4	16,0
9	18,3	18,1
10	17,6	17,5
11	12,3	12,1
12	14,5	14,4
13	19,2	18,8
14	20,2	19,5
15	20,8	20,6
16	18,3	18,0
17	16,3	16,0
18	17,8	17,2
19	18,0	17,5
20	12,5	12,1
21	13,8	13,4
22	16,7	16,5
23	17,2	17,0
24	18,4	17,9
25	20,5	19,7
26	21,3	22,8
27	20,5	20,3
28	12,5	12,2
29	16,3	16,0
30	17,5	17,3

Гістограма розподілу відхилень натурних спостережень та результатів моделювання наведено на рис. 9.

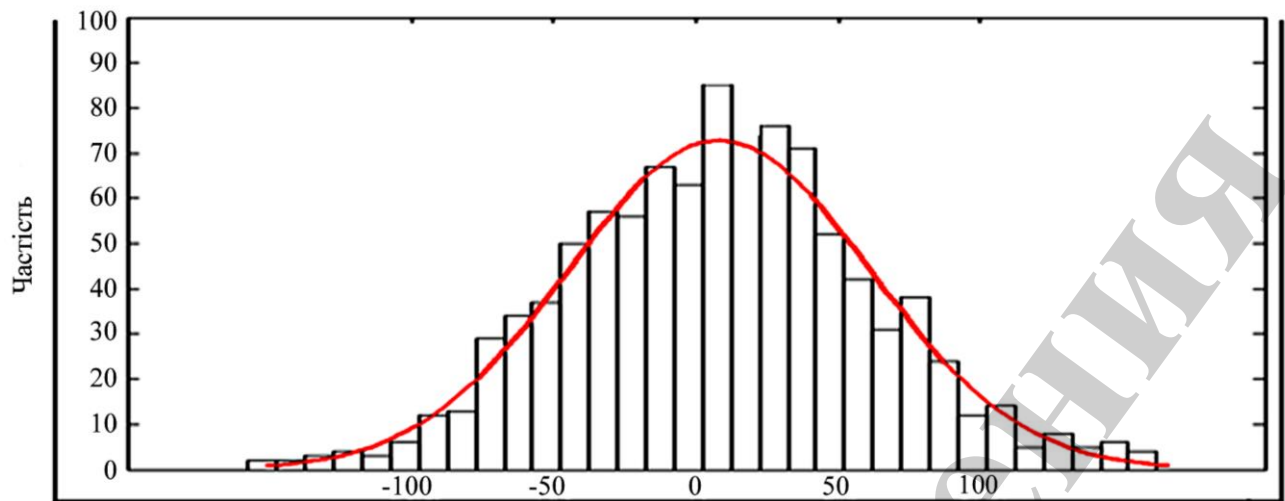


Рис. 9. Гістограма розподілу відхилень натурних спостережень та результатів моделювання

Порівняльний аналіз функціонування контейнерного терміналу при існуючій моделі управління та моделі, яка пропонується в даній роботі, зображено на рис.10–12.

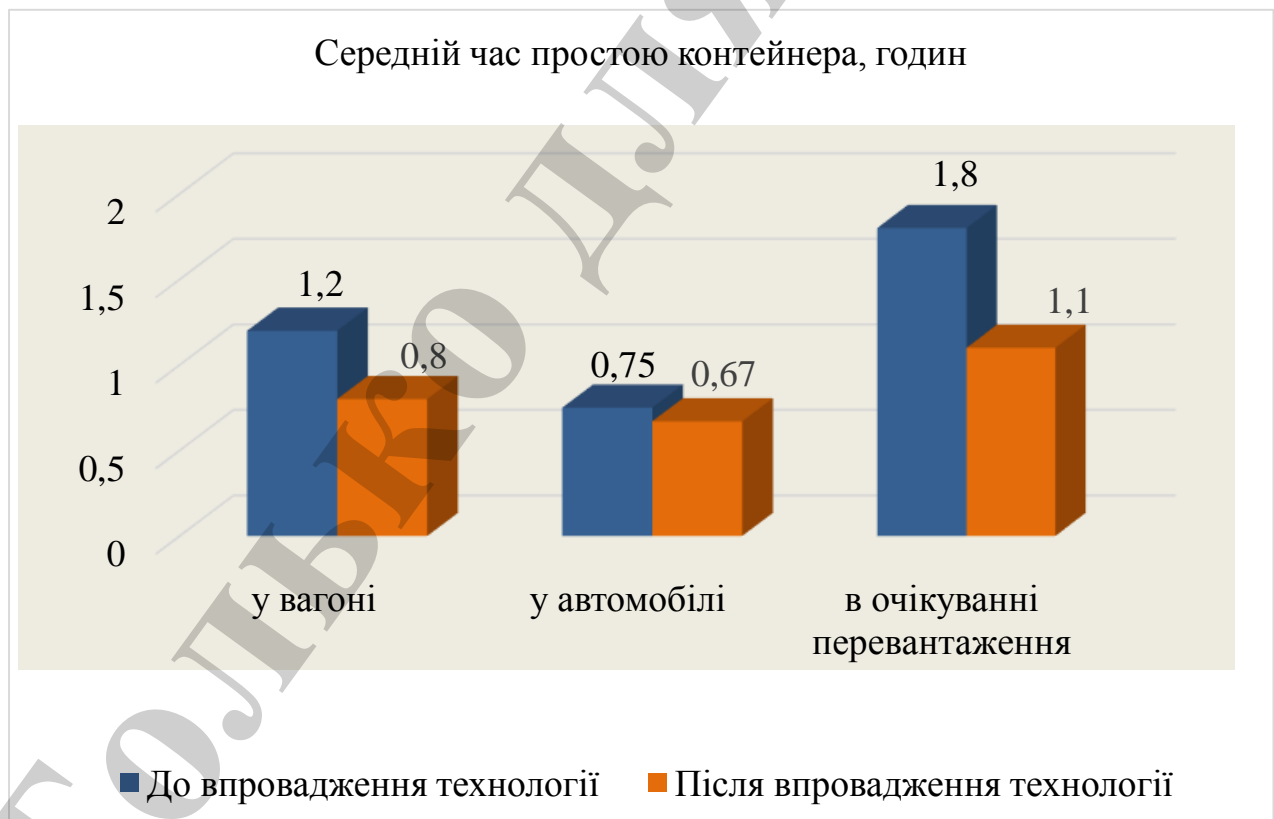


Рис. 10. Середній час простою контейнера на терміналі



Рис. 11. Розміри переробки контейнерів за місяць на терміналі

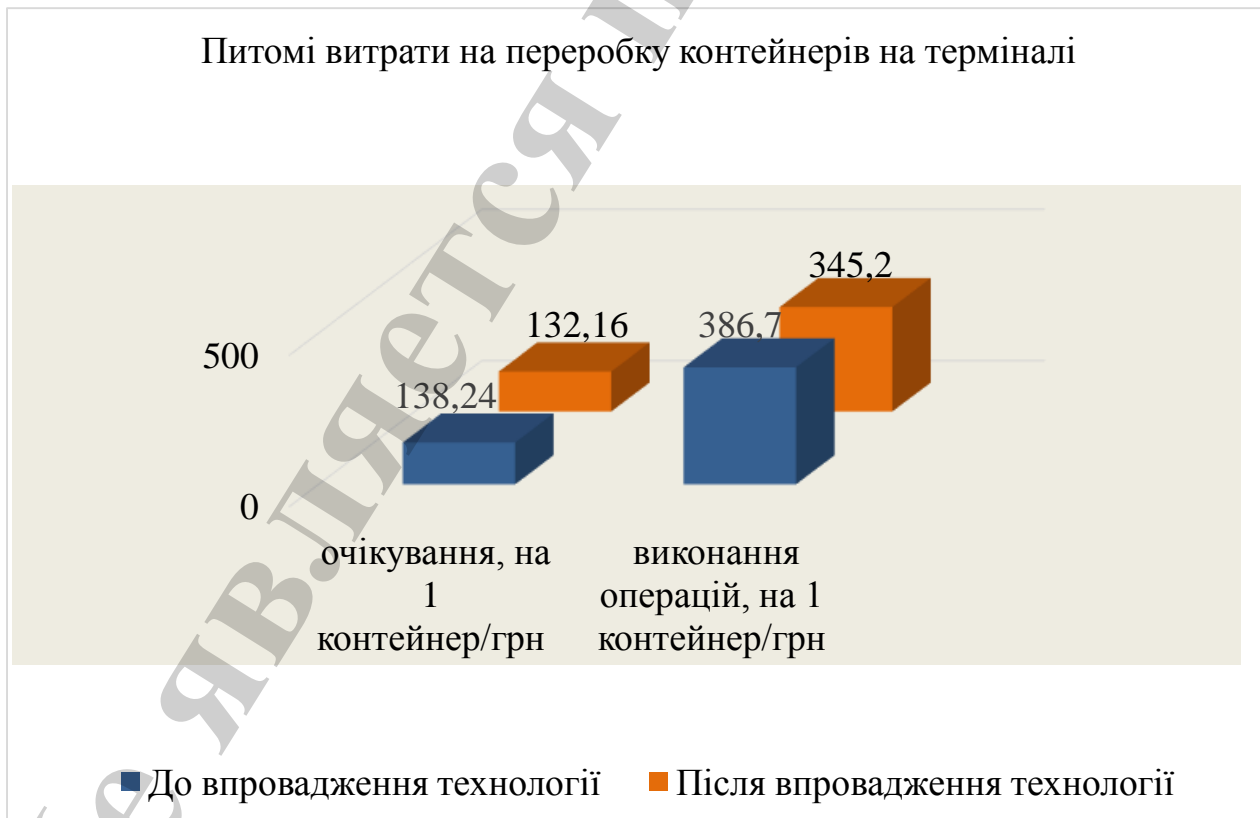


Рис. 12. Питомі витрати на переробку контейнерів на терміналі

За результатами дослідження функціонування інтермодального терміналу, яке було проведене на моделі, розробленій на основі мереж Петрі, встановлено основні фактори, які впливають на роботу терміналу. Непродуктивні витрати часу автотранспортом на інтермодальному терміналі визначаються організацією оформленням транспортної документації, нерівномірністю та інтенсивністю надходженням транспортних засобів. Використання розробленої моделі дозволяє оптимізувати процес функціонування інтермодального терміналу.

6. Обговорення результатів дослідження умов функціонування інтермодального терміналу

Перспективність розвитку інтермодальних перевезень пов'язана із можливістю забезпечувати високі швидкості доставки при дотриманні режиму праці і відпочинку водіїв автотранспортних засобів. Також задовольняє екологічні вимоги в різних країнах до автомобільного транспорту та знижує собівартість перевезень, що підвищить конкурентоспроможність національних перевізників. Всі ці чинники надають можливість поступово інтегрувати національну транспортну систему до європейської. Поряд із зазначеними чинниками перспективи інтермодальних перевезень у найближчі роки будуть визначатися розвитком мережі міжнародних транспортних коридорів, створення яких віднесено до пріоритетних напрямків міжнародного транспортного комплексу. Виходячі з цього, достатньо велику увагу потрібно приділяти інтермодальним терміналам.

Головною перевагою при організації роботи інтермодального терміналу побудованого за математичною моделлю на основі мереж Петрі є велика ступінь узгодженості. Дана властивість дозволяє підвищити ефективність при взаємодії різних видів транспорту. Зокрема, якщо проаналізувати витрати пов'язанні з очікуванням контейнера відповідної дії та витрати на виконання операцій, то вони зменшились, що є дуже позитивним показником з точки зору ефективності функціонування терміналу. Запропонована модель надала можливість зменшити середній час простою контейнера і у зв'язку з цим збільшила кількість перероблених контейнерів на терміналі.

Виходячі з цього, можна стверджувати, що відповідну модель управління можна впроваджувати на всіх інтермодальних терміналах. Але основним фактором при впровадженні є проведення аналізу умов функціонування різних термінальних комплексів, так як кожний комплекс має свій технологічний процес. Всі ці фактори ще раз підтверджують ефективність функціонування інтермодального терміналу при запропонованій моделі управління. Розроблена модель управління на інтермодальному терміналі дозволяє встановити залежність між інтенсивністю надходження транспортних засобів та оцінити витрати часу на виконання окремих операцій.

7. Висновки

1. Ефективна взаємодія різних видів транспорту на терміналах інтермодальних перевезень вантажів можлива за умови технологічної синхронізації опе-

рацій завантаження-розвантаження. Це надасть змогу уникнути вимушених зупинок роботи кранових механізмів і навантажувачів для перевезення контейнерів.

2. Створення досконалих комп'ютерних моделей для потреб організації взаємодії різних видів транспорту на інтермодальних терміналах як проектно-конструкторську задачу треба вирішувати у поєднанні дескриптивних та аналітичних моделей. Також важливим є виділення програмних та апаратних компонентів, забезпечуючих умови здійснення концепції самосинхронізації руху навантажувачів.

3. При подальшому дослідженні проблеми організації різних видів транспорту на інтермодальних терміналах слід вивчити можливості застосування технологій реконфігурованого комп'ютингу для створення гнучких (адаптивних) архітектур логічно-функціонального базису систем керування роботою терміналів.

Література

1. Петрушов В. В., Кривцун М. О. Проблеми інтермодальних перевезень в Україні // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. 2013. № 70 (1043). С. 86–91.
2. Бутько Т. В., Шандер О. Е. Формалізація процесу управління парком вантажних вагонів операторських компаній // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2014. Т. 2, № 3 (68). С. 55–58. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.22798>
3. Василенок В. Л., Негреева В. В., Шевченко Я. В. Организация интермодальных перевозок // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2015. № 4. С. 77–88.
4. Дмитриев А. В. Интермодальные технологии в логистике транспортно-экспедиторских услуг // Российское предпринимательство. 2009. Т. 16, № 5. С. 787–798.
5. Управление процессами в транспортных логистических системах: уч. пос. / Беляев В. М., Миротин Л. Б., Некрасов А. Г., Покровский А. К. Москва, 2011. 127 с.
6. Li L., Negenborn R. R., De Schutter B. Intermodal freight transport planning – A receding horizon control approach // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2015. Vol. 60. P. 77–95. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.08.002>
7. A decision analysis framework for intermodal transport: Comparing fuel price increases and the internalisation of external costs / Macharis C., Van Hoesck E., Pekin E., van Lier T. // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2010. Vol. 44, Issue 7. P. 550–561. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2010.04.006>
8. Dragović B., Tzannatos E., Park N. K. Simulation modelling in ports and container terminals: literature overview and analysis by research field, application area and tool // Flexible Services and Manufacturing Journal. 2016. Vol. 29, Issue 1. P. 4–34. doi: <https://doi.org/10.1007/s10696-016-9239-5>

9. Yang X., Low J. M. W., Tang L. C. Analysis of intermodal freight from China to Indian Ocean: A goal programming approach // *Journal of Transport Geography*. 2011. Vol. 19, Issue 4. P. 515–527. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2010.05.007>
10. Cho J. H., Kim H. S., Choi H. R. An intermodal transport network planning algorithm using dynamic programming – A case study: from Busan to Rotterdam in intermodal freight routing // *Applied Intelligence*. 2010. Vol. 36, Issue 3. P. 529–541. doi: <https://doi.org/10.1007/s10489-010-0223-6>
11. Monios J., Wilmsmeier G. The role of intermodal transport in port regionalization // *Transport Policy*. 2013. Vol. 30. P. 161–172. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.09.010>
12. Limao N. Infrastructure, Geographical Disadvantage, Transport Costs, and Trade // *The World Bank Economic Review*. 2001. Vol. 15, Issue 3. P. 451–479. doi: <https://doi.org/10.1596/1813-9450-2257>
13. Dooms M., van der Lugt L., de Langen P. W. International strategies of port authorities: The case of the Port of Rotterdam Authority // *Research in Transportation Business & Management*. 2013. Vol. 8. P. 148–157. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2013.06.004>
14. Погребна Г. Ю., Петрушов В. В. Удосконалення роботи контейнерного терміналу на станції Харків-Ліски та розрахунок його переробної спроможності // *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2014. Вип. 145. С. 78–81.
15. Аперидическая схемотехника / Варшавский В. И., Мараховский В. Б., Розенблюм Л. Я., Яковлев А. В. // *Искусственный интеллект. Программные и аппаратные средства: справочник*. Москва, 1990. С. 199–213.
16. Peterson G. *The theory of Petri nets and modeling of systems*. Moscow: Mir, 1984. 264 p.
17. Палагин А. В., Опанасенко В. Н. Технология реконфигурируемого компьютеринга // *Кибернетика и системный анализ*. 2007. № 5. С. 72–86.