

УДК 656.13 + 656.2 + 519.876.3

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ АВТОМОБІЛЬНОГО ТА ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ НА ТЕРМІНАЛІ

Т.В. Столяр, доцент, к.т.н., М.В. Питченко, студент, ХНАДУ

Анотація. Розроблено математичну модель процесу взаємодії автомобільного та залізничного транспорту на терміналі на основі мереж Петрі.

Ключові слова: термінал, транспортний вузол, вантажний фронт, математична модель, мережа Петрі, транспортне обслуговування.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА НА ТЕРМИНАЛЕ

Т.В. Столяр, доцент, к.т.н., М.В. Питченко, студент, ХНАДУ

Аннотация. Разработана математическая модель процесса взаимодействия автомобильного и железнодорожного транспорта на терминале на основе сетей Петри.

Ключевые слова: терминал, транспортный узел, грузовой фронт, математическая модель, сеть Петри, транспортное обслуживание.

MATHEMATICAL MODEL OF MOTOR AND RAILWAY TRANSPORT INTERACTION AT TERMINALS

T. Stoliar, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, M. Pitchenko, student, KhNAHU

Abstract. The mathematical model of motor and railway transport interaction at the terminal on the basis of Petri networks is developed.

Key words: terminal, transport knot, freight front, mathematical model, the Petry network, transports service.

Вступ

Незважаючи на світову кризу, останнім часом з'явилась тенденція до розвитку підприємницької діяльності та пов'язане з цим розширення господарських зв'язків, що викликає підвищений попит на організацію перевезень вантажів у міжміському та міжнародному сполученні.

Відсутність налагодженої системи транспортно-експедиційного обслуговування, що базується на прийнятій у всесвітній практиці термінальній технології руху вантажів, ускладнює процес обміну товаром, знижує ефективність використання рухомого складу транспорту, у цілому негативно позначається на розвитку усього господарського комплексу.

При обробці вантажу на терміналі виникають окремі затримки: тривалий відстій великої кількості великовантажних автомобілів на неорганізованих стоянках, затримки при переміщенні вантажу між секціями терміналу, порушення графіка сумісної роботи автомобільного та залізничного транспорту, а все це приводить до зростання правопорушень, забруднення навколишнього середовища, скорочення пропускної спроможності автомобільних доріг та значних втрат часу при обробці вантажів.

Аналіз роботи терміналу можна проводити за допомогою різних методів, але найбільш ефективним є побудова моделі. За допомогою моделювання можна без значних матері-

альних та трудових витрат у малий термін проаналізувати роботу терміналу, зробити висновки, обґрунтувати управлінські рішення та внести корективи у роботу.

Аналіз публікацій

У створення наукових основ координації й погодженої взаємодії різних видів транспорту значний внесок зробили представники радянської транспортної науки: член-кореспондент АН СРСР В.В. Звонков, академік В.Н. Образцов, А.В. Комаров, С.В. Земблін, С.М. Резер, Б.И. Шакиркин та інші [1, 2, 3].

Сучасний етап розвитку цього напрямку транспортної науки характеризується широким проникненням системного підходу до аналізу транспортного процесу [4].

Одним з перспективних напрямів розвитку та вдосконалення транспортного обслуговування у сфері виробництва, розподілення та споживання продукції за кордоном є логістика [5]. На принципах логістики основана діяльність багатофункціональних мультимодальних терміналів у країнах Західної Європи, де вони відіграють роль транспортно-логістичних центрів.

Впровадження термінальної технології дозволяє укрупнювати вантажопотоки за ви-

значеними напрямками та використовувати великовантажний рухомий склад, що, у свою чергу, веде до скорочення шляхово-транспортних подій та до скорочення питомих витрат на доставку вантажу й визволяє міжміські дороги від малотоннажного рухомого складу [6].

Мета та постановка задачі

Термінали представляють собою складні багатофункціональні системи, які об'єднані за різними ознаками: функціональною, інформаційно-керуючою та документо-фінансовою [7]. Декомпозиція організаційної структури терміналу як багатофункціональної системи дозволяє виділити дві функціонально-залежні підсистеми (рис. 1).

Основною метою проведених у даній роботі досліджень є підвищення ефективності взаємодії автомобільного та залізничного транспорту на терміналі. Об'єктом дослідження є технологічний процес взаємодії автомобільного та залізничного транспорту на терміналі, а предметом – вплив технолого-конструктивних параметрів на час знаходження вантажу на терміналі при взаємодії автомобільного та залізничного транспорту. Для досягнення поставленої мети дослідження розробляється математична модель взаємодії автомобільного та залізничного транспорту на основі теорії мереж Петрі.

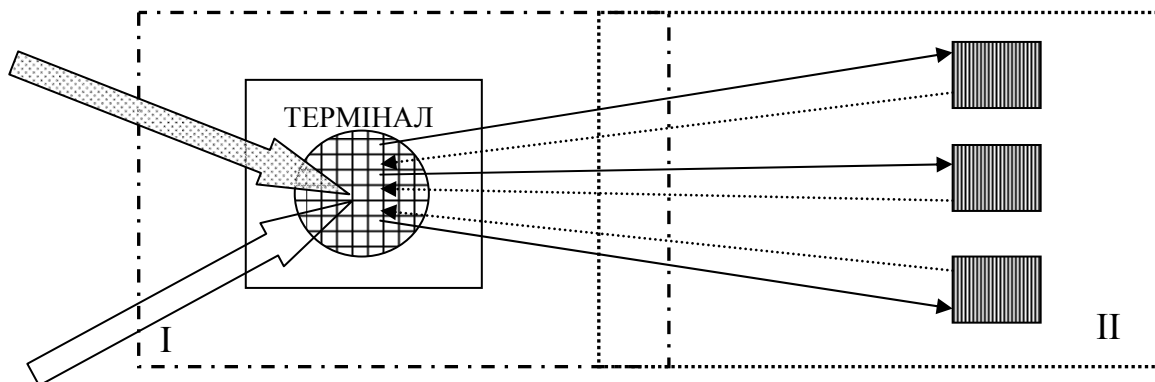








Рис. 1. Функціонально-логічна структура терміналу при взаємодії автомобільного та залізничного транспорту:  – рух вантажу з магістрального залізничного транспорту (контейнери);  – рух вантажу з магістрального залізничного транспорту (дрібнопартійні);  – місце взаємодії залізничного та автомобільного транспорту; I – підсистема функціонування терміналу; II – підсистема зовнішньої взаємодії терміналу з вантажовласниками;  – вантажовласники;  – вихідні потоки;  – вхідні потоки

Математична модель

Функціонування терміналу за участю автомобільного та залізничного транспорту можна представити як сукупність взаємодії фаз: залізничний транспорт, експедиція прийому, зона зберігання, зона комплектації та упаковки та зона навантаження.

Структурно-логічна схема переробки вантажопотоків на терміналі за участю автомобільного та залізничного транспорту представлена на рис. 2.

У фазі 1 здійснюються наступні операції: маневрування локомотива, переміщення групи вагонів до фронту, подача вагону безпосередньо до фронту, перевірка цілісності упаковки. У фазі 2 – розвантаження вантажу, перерахунок, порівняння з документами, розбраковка. У фазі 3 – безпосередньо зберігання вантажу та збір товарів за замовленнями. У фазі 4 – комплектація товарів, перевір-

ка відповідності відібраного товару документам, упаковка товару, опломбування тари, оформлення документів. У фазі 5 – навантаження автомобіля.

Прийнято вважати, що при проходженні вантажів через термінальні системи з ними відбувається ряд технологічних операцій та очікування виконання цих операцій.

Таким чином час знаходження вантажів на терміналі встановлюється за залежністю

$$t_{\text{знах}_i}^{\phi} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m t_{ij}^T + \sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^m t_{ij}^{\text{оч}}, \quad (1)$$

де t_{ij}^T – час на виконання i -ї технологічної операції в j -й фазі терміналу; $t_{ij}^{\text{оч}}$ – час очікування виконання i -ї технологічної операції в j -й фазі терміналу; n – кількість технологічних операцій, які виконуються у фазах; m – кількість фаз.

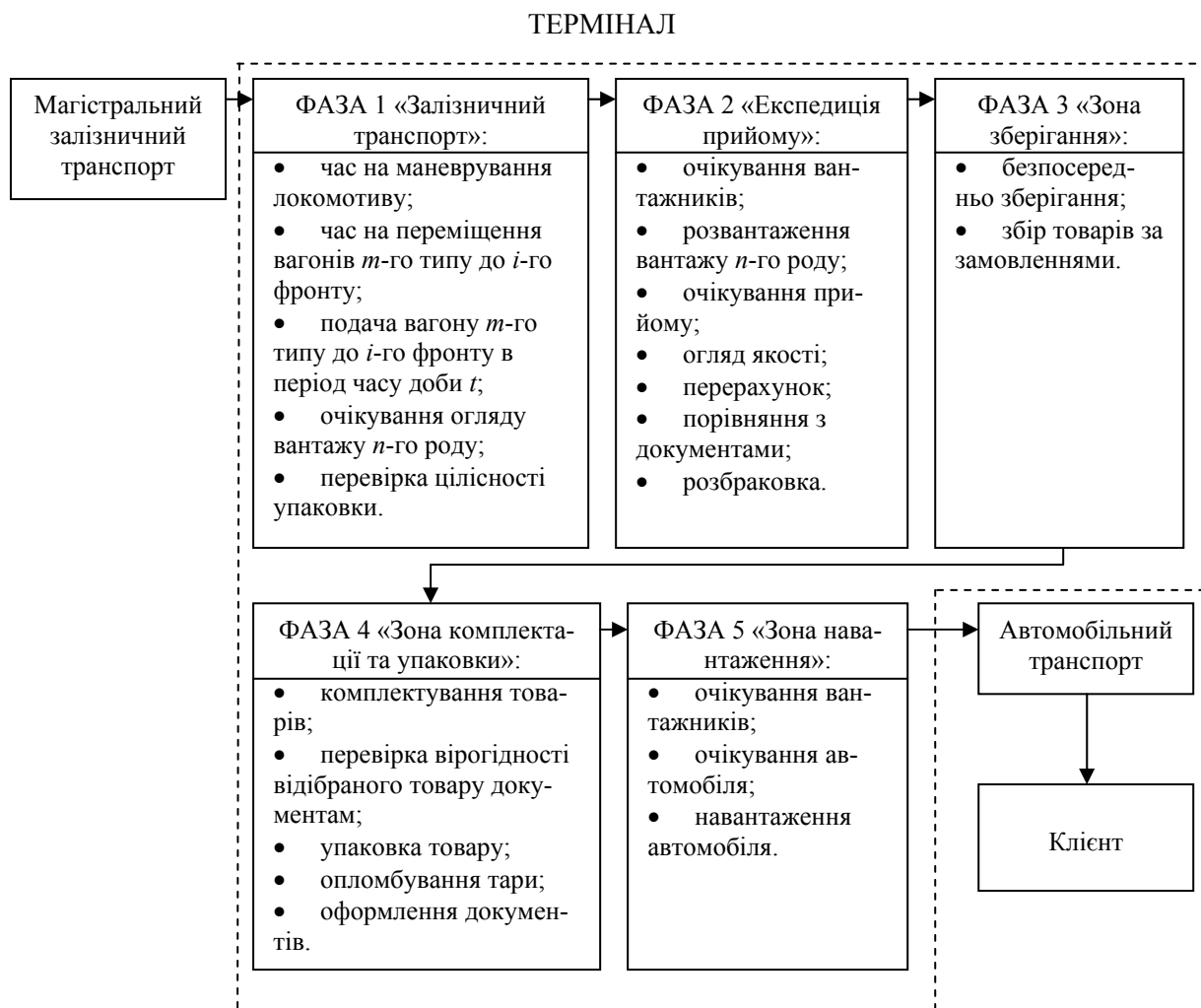


Рис. 2. Структурно-логічна схема переробки вантажопотоків на терміналі за участю автомобільного та залізничного транспорту

Час на виконання технологічних операцій нормується, а очікування виконання технологічних операцій встановлюється за допомогою моделей теорії масового обслуговування, статистичного моделювання, теорії мереж Петрі.

Нерівномірність надходження транспортних засобів та вантажів, зміна вимог вантажовласників щодо складу вимог транспортних послуг, відмови в роботі навантажувально-розвантажувальних механізмів, змінний рівень експлуатаційної надійності та інше приводять до нестационарності перебігу процесів при здійсненні термінальних та внутрішньотермінальних переміщень.

Тому для моделювання процесу взаємодії автомобільного та залізничного транспорту на терміналі як системи взаємодіючих моделей, які описують ітераційний процес поступового наближення до оптимального рішення, ефективно застосовувати апарат теорії мереж Петрі [8, 9].

Розроблену на основі теорії мереж Петрі модель взаємодії автомобільного та залізничного транспорту на терміналі представлено на рис. 3.

Моделювання взаємодії автомобільного та залізничного транспорту на терміналі проведено за допомогою програми «Интегрированная система моделирования и формального анализа на базе сетей Петри» (Северо-западный региональный центр новых информационных технологий (СЗРЦНИТ), г. Санкт-Петербург).

У наведеній на рис. 3 моделі позиція P1 відтворює кількість вагонів, які знаходяться на терміналі для подачі на вантажні фронти. За наявності вільного локомотива P6 групи вагонів подаються до вантажних фронтів P4 та P5, спеціалізованих за родами вантажів. Тільки якщо локомотив звільнився P7 відбувається розташування одного вагону на вантажний фронт P8 й P9, але якщо локомотив не встигає повернутися у позицію P7, переходи T5 та T4 блокуються й розташування вагонів по фронтах стає неможливим. Аналогічно будуть заблоковані переходи T2, T3, T10, T11 та T12, якщо в позиціях P6 та P7 не буде фішок (тобто не буде вільних маневрових локомотивів). Після потрапляння вагонів на вантажні фронти P8 та P9 проводиться огляд вантажу n -го роду T6 та T7. Тільки після проведення цих операцій вагони готові для розвантаження P10 й P11, але переходи T8 та T9 (розвантаження вантажу n -го роду з вагонів m -го типу) спрацюють тільки за рахунок наявності фішок у позиціях P17 та P18, тобто за наявності вільних навантажувально-розвантажувальних пристроїв. Після цього розвантажений вантаж потрапляє або до експедиції прийому (позиція P12), або перевантажується безпосередньо на автомобільний транспорт (позиція P27), але це можливо тільки після спрацювання переходу T18 (внутрішньотермінальне переміщення вантажу), яке, у свою чергу, залежить від наявності фішок у позиції P28 (кількість внутрішньотермінального транспорту). Таким самим чином будуть проводитись всі внутрішньотермінальні переміщення вантажу, тобто із позицій P19 в P20 та із P24 в P25 вантаж буде переміщений за рахунок спрацювання переходів T21 та T26.

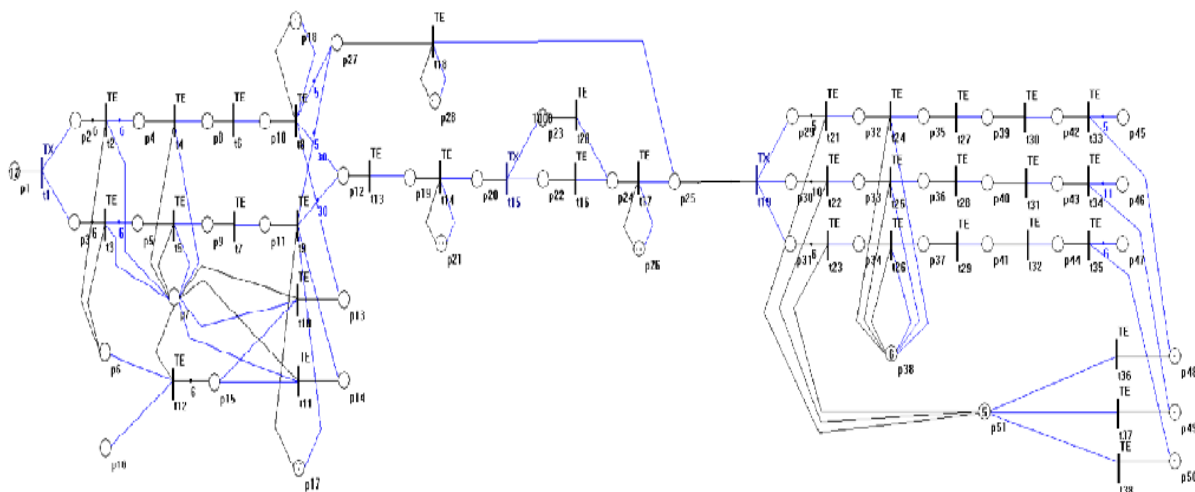


Рис. 3. Модель процесу взаємодії автомобільного та залізничного транспорту на терміналі

В експедиції прийому вантажу виконуються різноманітні операції (огляд якості, перерахунок, порівняння з документами та розбраківка); ці процеси протікають за рахунок спрацювання переходу T13 (операції з вантажем у зоні експедиції). Коли вантаж потрапив до зони зберігання P20, спрацьовує перехід-перемикач T15, який розподіляє вантаж або для зберігання на складі P23, або для формування партій за замовленнями P22. Слід зазначити, що позиція P23 має вже якусь кількість фішок, тобто деякий обсяг вантажу – це вантаж, який зберігається на складі. Але після спрацювання переходу T20 (інтенсивність накопичення партії вантажу) частка вантажу переміщується до зони навантаження P25. До цієї позиції також потрапляє вантаж, який був вже сформований по партіях після спрацювання переходу T16.

Вантаж, доставлений в зону навантаження, розподіляється по вантажних фронтах P29, P30, P31 за рахунок спрацювання переходу-перемикача T19.

Для оптимального регулювання транспортних вантажних потоків необхідно провести вибір типу та моделі автотранспорту. При цьому слід враховувати номенклатуру вантажів, що перевозяться, вантажність та розміри рухомого складу, наявність на місцях навантаження-розвантаження НРМ, відстань перевезення вантажів та інші фактори. Перевага віддається тим автомобілям, вантажність яких є кратною величиною до ваги партії вантажу.

При цьому розроблена модель дозволяє в інтерактивному режимі змінювати як вантажність, так і марку автомобіля.

Необхідна кількість автомобілів залежить від відстані перевезення (між терміналом та складами ватажоотримувача) – L та заданого обсягу перевезень – Q

$$A = \frac{Q \cdot L}{W}, \quad (2)$$

де W – продуктивність автомобіля за розрахунковий період, ткм/год

$$W = q_A \cdot \gamma \cdot L \cdot Z_E \cdot t_{ПЛ}, \quad (3)$$

де q_A – вантажність автомобіля, т; γ – коефіцієнт використання вантажності; Z_E – кількість поїздок автомобіля з вантажем за день; $t_{ПЛ}$ – планова кількість днів роботи автомобіля за розрахунковий період.

Навантаження автомобілів можливе лише після спрацювання переходів T21, T22, T23 (формування транспортної партії та подача автомобіля під навантаження), але, у свою чергу, переходи спрацюють за наявності фішок у позиції P51 (кількість вільних транспортних засобів).

Позиціями P32, P33 та P34 визначаються автомобілі, готові до навантаження, яке проходить під час спрацювання переходів T24, T25 та T26. Спрацювання цих переходів можливе тільки, якщо в позиції P38 будуть вільні фішки, тобто вільні навантажувально-розвантажувальні механізми.

Час переміщення автомобіля від терміналу до складу одержувача та зворотно задається користувачем моделі. При цьому часовий інтервал задається за нормальним законом розподілення та залежить від відстані перевезення, технічної швидкості та коефіцієнта використання пробігу автомобіля ($\beta = 0,7 - 1,0$)

$$t = \frac{L}{V_T \cdot B}. \quad (4)$$

Після навантаження автомобілі прямують до вантажоодержувачів P42, P43 та P44, де після спрацювання переходів T33, T34 та T35 вантаж розвантажується, а порожні автомобілі повертаються на термінал P51.

Після проведення моделювання було отримано статистичну інформацію по переходах та позиціях. Проаналізувавши ці результати, можна коригувати графіки сумісної роботи автомобільного та залізничного транспорту, кількість навантажувально-розвантажувальних механізмів, кількість маневрових локомотивів, кількість автомобілів та кількість бригад технічного та комерційного огляду. Саме від їхньої раціональної кількості на пряму залежить час знаходження вантажу на терміналі, час на розвантаження вагонів та час на навантаження автомобілів.

Висновки

Таким чином, розроблена модель взаємодії автомобільного та залізничного транспорту на терміналі дозволяє досліджувати та коригувати технологію роботи терміналу та безпосередньо вплив технологіко-конструктивних параметрів на час знаходження вантажу на терміналі. Також на підставі результатів моделювання можливо приймати управлінські, технологічні рішення та аналізувати час знаходження вантажу на терміналі.

Запропоновану модель можна використовувати не лише для дослідження роботи терміналів, а й для будь-якого пункту взаємодії автомобільного та залізничного транспорту (вантажні станції, склади, регіональні розподільчі центри та інші).

Перспективою подальших досліджень буде моделювання вхідних вантажопотоків на термінал з урахуванням моментної природи надходження вантажопотоку на термінал, а також випадковість процесів його обслуговування та раціоналізація параметрів підсистеми зовнішньої взаємодії терміналу та вантажовласників.

Література

1. Земблинов С.В. Основы построения транспортных узлов : учебн. / С.В. Земблинов, В.А. Бураков и др. – М. : Трансжелдориздат, 1959. – 447 с.
2. Шафиркин Б.И. Единая транспортная сеть СССР и взаимодействие различных видов транспорта : учебн. / Б.И. Шафиркин. – М. : Высшая школа, 1983. – 191 с.
3. Резер С.М. Взаимодействие транспортных систем : учебн. / С.М. Резер. – М. : Наука, 1985. – 245 с.
4. Ломотько Д.В. Системний підхід до організації перевезень за участю залізничного та автомобільного видів транспорту : зб. наук. праць ХДАМГ : ч. 2. / Д.В. Ломотько. – Харків : ХДАМГ, 2002. – С. 18–19.
5. Миротин Л.Б. Зарубежная практика создания и функционирования транспортных терминальных комплексов : уч. пособие для студентов и вузов / Л.Б. Миротин // Железнодорожный транспорт. – 2003. – № 7. – С. 1–9.
6. Павлов В.І. Транспортно-логістичний комплекс регіону: інтеграційні процеси: монографія. / В.І. Павлов, С.М. Бортник; Відповідальний редактор М.І. Долішній. – Луцьк : Надстир'я, 2005. – 256 с.
7. Нагорний Є.В. Методика визначення часу переробки тарно-штучних вантажів на терміналі / Є.В. Нагорний, А.С. Самойленко // Автомобільний транспорт : зб. наук. праць. – Харків : ХНАДУ. – 2006. – № 19. – С. 72–76.
8. Мурашко А.Г. Первое знакомство с сетями Петри : учебное пособие / А.Г. Мурашко. – К. : УМК ВО. – 71 с.
9. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем : учебное пособие / Дж. Питерсон. – М. : Мир, 1984. – 265 с.

Рецензент: В.П. Волков, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 13 квітня 2010 р.