

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-11-75-146>

УДК 656.222

Петрушов В.В., Піддубчак В.М., Замула І.В., Черніков В.С.
Український державний університет залізничного транспорту

ЗАЛІЗНИЧНИЙ ВУЗОЛ ЯК СКЛАДНА ТЕХНОЛОГІЧНА СИСТЕМА

Анотація. Обґрунтована доцільність удосконалення процесу управління вагонопотоками та функціонування інформаційних підсистем в умовах залізничних вузлів. Наведені описи технологічної структури розвинутого залізничного вузла до складу якого входять дві основні підсистеми: пасажирської і вантажної роботи. Представлено відповідне математичний опис залізничного вузла з урахуванням підмножин елементів і підмножин їх характеристик. Показаний граф технологічної лінії переробки місцевого вагонопотоку в розвинутих вузлах, який містить математичні очікування інтервалів прибуття (відправлення) місцевих вагонопотоків підсистем вузла, математичні очікування кількості місцевих вагонів в групах, які прибувають (відправляються) в (з) підсистему (и) вузла, а також безлічі процесів на вхідній технічній, вантажній і вихідній технічній станціях вузла відповідно.

Ключові слова: транспортна система, залізничний вузол, вагонопотік, технологічна система, технологічна структура, математичні моделі.

Petrushov Vasyl, Poddubchak Vitaliy, Zamula Irina, Chernikov Vladyslav
Ukrainian State University of Railway Transport

RAILWAY AS COMPLEX TECHNOLOGICAL SYSTEM

Summary. It is noted that the priority task of integrating the Ukrainian transport system into the European one is the corresponding development of the national network of international transport corridors and their transport and communication infrastructure, as well as the development of logistics systems. It was pointed out that one of the ways to increase the profit of the country's railways is to reduce their operating costs by improving the operational work and rational use of technical means. The expediency of improving the process of wagon traffic management and the functioning of information subsystems in the conditions of railway junctions is substantiated. At the same time, large railway junctions are the most complex technical and technological systems. By their work, they significantly influence such an important indicator as the turnover of a freight wagon. A structural analysis of this indicator shows that more than 80% of the total turnaround time of a wagon is idle at freight and technical stations, which are usually components of developed railway junctions. Most of these downtime are caused by the fact that the cars are idle in anticipation of technological operations. This situation indicates a significant reserve for improving the quality of railways by improving the technology of railway junctions and speeding up the processing of local cars at the junctions. Descriptions of the technological structure of the developed railway junction are given, which include two main subsystems: passenger and freight work. The corresponding mathematical description of the railway junction is presented taking into account subsets of elements and subsets of their characteristics. Shows a graph of the processing line for processing local wagon traffic in developed nodes, which contains the mathematical expectations of the intervals of arrival (departure) of local wagon flows of subsystems, mathematical expectations of the number of local wagons in groups arriving (departing) to (from) subsystem (s) processes at the input technical, cargo and source technical stations of the node, respectively.

Keywords: transport system, railway junction, car flow, technological system, technological structure, mathematical models.

Постановка проблеми. Як показує світовий досвід залізниць розвинутих країн світу (Західної Європи, Північної Америки, Японії) на відміну від залізниць України та інших країн СНД, в умовах жорсткої конкуренції (як у середині мережі, так й з іншими видами транспорту), що склалася історично із моменту створення залізниць, більш оперативно реагують на ринкові зміни та проблеми. Однак пріоритетними питаннями у більшості випадків залишаються такі ж, як і на залізницях України: строки виконання перевезень, швидкість доставки, збереження вантажів, зменшення експлуатаційних витрат та конкурентоспроможність [1–9]. За розрахунками фахівців, уже на початку ХХІ століття вантажообіг Євразійського транспортного коридору становитиме 20–30 млн. тонн за рік. Виходячи з цього, можна констатувати, що першочерговою задачею інтеграції української транспортної системи в європейську є відповідний розвиток національної мережі Міжнародних

транспортних коридорів та їх транспортно-комунікаційної інфраструктури, а також розбудова логістичних систем. Це повинно забезпечити збільшення транзитних та експортно-імпорتنних потоків при суттєвому підвищенні якості обслуговування (швидкості та надійності перевезень, рівня сервісу тощо) [10].

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що в умовах державного регулювання багатьох аспектів діяльності залізниць, одним із засобів збільшення їх прибутку є зниження експлуатаційних витрат за рахунок вдосконалення експлуатаційної роботи та раціонального використання технічних засобів. Великі залізничні вузли, що є найбільш складними технічними та технологічними системами, своєю роботою суттєво впливають на такий важливий показник, як оборот вантажного вагона.

Структурний аналіз даного показника показує, що більше 80% загального часу обігу вагон простояє на вантажних та технічних станціях

ях, які, зазвичай, є складовими розвинених залізничних вузлів. Більша частина таких простоїв викликана тим, що вагони простоюють в очікуванні виконання технологічних операцій [11; 12]. Така ситуація свідчить про значний резерв у підвищенні якості роботи залізниць через вдосконалення технологій роботи залізничних вузлів та прискорення переробки місцевих вагонів у вузлах.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Основними причинами виникнення затримок у просуванні місцевих вагонів у вузлах є: інтенсивний рух, у тому числі пасажирських поїздів та велика завантаженість підсистем вузла (станцій, дільниць, тощо). Позначається також сезонна та добова нерівномірності і неритмічність надходження місцевих вагонів на технічні станції вузла. Через ці та інші причини простій місцевих вагонів під накопиченням іноді перевищує 40 годин [11–16]. Дана ситуація свідчить про існування резерву у підвищенні якості роботи залізниць, який можна використовувати через прискорення переробки (зокрема технічної) місцевих вагонів в залізничних вузлах.

Мета і завдання дослідження. Враховуючи вищесказане, можна стверджувати, що на сучасному етапі розвитку й функціонуванні галузі потрібен перегляд технологій обробки місцевих вагонів у великих залізничних вузлах, які є складними технологічними системами. Тому викладені в статті матеріали є актуальними та затребуваними

Викладення основного матеріалу. Враховуючи складність процесів усередині розвинених вузлів, виникає потреба у більш глибокому вивченні причинно-наслідкових зв'язків технологічних процесів. Через те, при дослідженні вузлів було використано системний підхід. За призначенням великі вузли, як складні системи, відносяться до активних (цілеспрямованих), штучно створених людино-машинних систем відкритого типу, що на протязі всього часу іс-

нування штучно змінювалися та вдосконалювалися відповідно до мети. Будучи самостійними та неформальними (фізичними) системами, вузлі водночас є підсистемами міжнародної та національної мережі залізниць та транспортних вузлів України. За ступенем організованості є добре організованими системами, оскільки мають чітке поділення вузлової роботи за технологічними особливостями, та розподіленням її між спеціалізованими станціями [17–19]. Межами системи є межі економічного регіону або населеного пункту обслуговування. До складу вузла входять дві основні підсистеми: пасажирської та вантажної роботи (рис. 1).

Функціонування системи характеризується вхідними (Y'_x) та вихідними (Y''_x) потоками (матеріальними та інформаційними) з напрямку x , де $x \in X$, X – загальна кількість вхідних та вихідних каналів системи (дільниць примикання вузла), та загальним процесом функціонування вузла (рис. 1). Матеріальні потоки визначаються інтенсивністю – інтервалом прибуття (відправлення) та кількістю вагонів у групах (поїздах), що прибувають (відправляються). Вихідний потік є похідною від вхідного потоку та множини процесів системи:

$$Y''_x = f(Y'_x, \Pi), \tag{1}$$

де Y'_x – вхідний потік;

Y''_x – вихідний потік;

Π – множина процесів системи.

Відповідно до теорії множин, множиною технологічних підсистем вузла є залізничні станції, які, у свою чергу, є сукупностями елементів – елементарних виробничих одиниць: маневрових локомотивів, бригад технічного та комерційного огляду, колій у станційних парках та інше. Формально залізничний вузол як система:

$$M = \bigcup_{u=1}^U W_u, \tag{2}$$

де W_u – підсистеми (залізничні станції) вузла, $u \in U$;

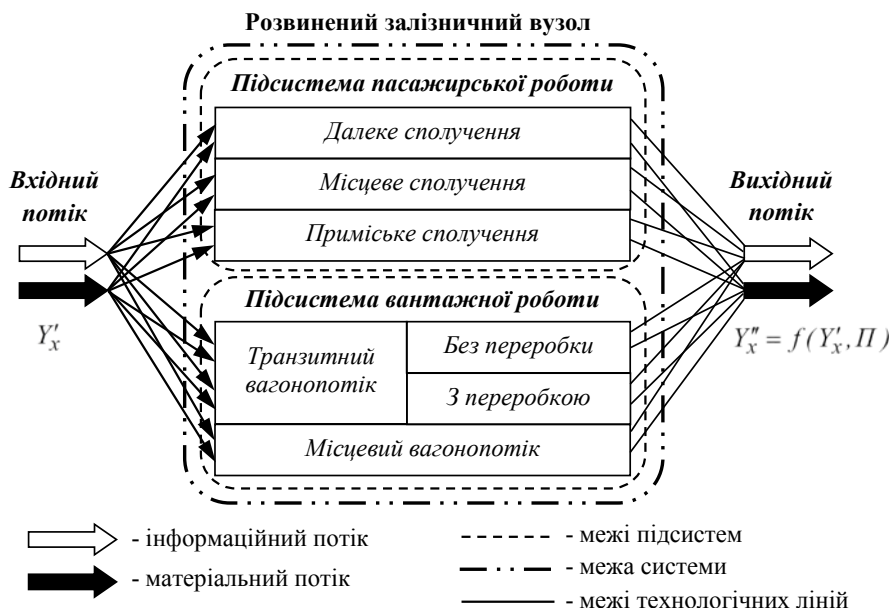
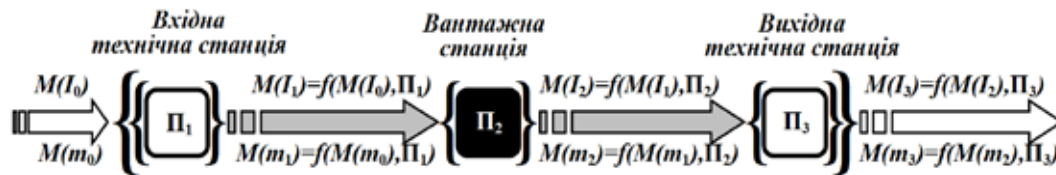


Рис. 1. Технологічна структура розвинутого залізничного вузла



{ } – межі підсистем та всієї системи;

$M(I_0), M(I_1), M(I_2), M(I_3)$ – математичні сподівання інтервалів прибуття (відправлення) місцевих вагонопотоків до підсистем вузла;

$M(m_0), M(m_1), M(m_2), M(m_3)$ – математичні сподівання кількості місцевих вагонів у групах, що прибувають (відправляються) до (з) підсистем вузла;

Π_1, Π_2, Π_3 – множини процесів на вхідній технічній, вантажній та вихідній технічній станціях вузла відповідно.

Рис. 2. Граф технологічної лінії переробки місцевого вагонопотоку у розвинених вузлах

U – загальна кількість підсистем (залізничних станцій) у системі.

Кожна підсистема має набір власних елементів та їх характеристик і може бути представлена як:

$$W_u = \bigcup_{d=1}^D G_d \{ \{K_1 : K_1\}, \{K_2 : K_2\}, \{K_3 : K_3\}, \dots, \{K_h : K_h\} \}, \quad h = 1, 2, \dots, H, \quad (3)$$

де G_d – елементи підсистем, $d \in D$;

D – кількість елементів у кожній підсистемі (залізничній станції);

$K_1 : K_1, K_2 : K_2, K_3 : K_3, \dots, K_h : K_h$ – набір відповідних характеристик елементів, $h \in H$;

H – кількість характеристик кожного елементу підсистеми.

Тоді, залізничний вузол є сукупністю підмножин елементів та підмножин їх характеристик:

$$M \Leftrightarrow \bigcup_{u=1}^U W_u \left\{ \bigcup_{d=1}^D G_d \{ \{K_1 : K_1\}, \{K_2 : K_2\}, \{K_3 : K_3\}, \dots, \{K_h : K_h\} \} \right\}, \quad h = 1, 2, \dots, H. \quad (4)$$

Ефективне функціонування розвинутого вузла, як складної технологічної системи має ряд обмежень та умов. Підмножини різних підсистем (залізничних станцій) не можуть мати загальних елементів. Підмножини елементів кожної з підсистем можуть мати загальні елементи з іншими підмножинами даної підсистеми. Варіанти слідування різних за призначенням інформаційних потоків у системі не мають принципових відмінностей. Однак рух матеріальних потоків (поїздів та груп вагонів) має деякі обмеження відповідно до належності до технологічних ліній.

При побудові математичної моделі враховувалися наступні обмеження:

$$\left. \begin{aligned} W_i \cap W_j &= \emptyset, \quad i = 1, 2, \dots, U; \quad j = 1, 2, \dots, U \\ G_i \cap G_j &\neq \emptyset, \quad i = 1, 2, \dots, D; \quad j = 1, 2, \dots, D \\ N_{\text{вант}}^{\text{в-потр}} &\leq N_{\text{вант}}^{\text{в-наяв}} \\ N_{\text{пасаж 6-22}}^{\text{в-потр}} &\leq N_{\text{пасаж 6-22}}^{\text{в-наяв}} \\ N_{\text{пасаж 22-6}}^{\text{в-потр}} &\leq N_{\text{пасаж 22-6}}^{\text{в-наяв}} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

де $N_{\text{вант}}^{\text{в-потр}}$, $N_{\text{вант}}^{\text{в-наяв}}$ – потрібна та наявна пропускні спроможності вантажного ходу вузла для вантажних поїздів відповідно;

$N_{\text{пасаж 6-22}}^{\text{в-потр}}$, $N_{\text{пасаж 6-22}}^{\text{в-наяв}}$, $N_{\text{пасаж 22-6}}^{\text{в-потр}}$, $N_{\text{пасаж 22-6}}^{\text{в-наяв}}$ – потрібні та наявні пропускні спроможності пасажирського ходу вузла для вантажних поїздів у період із 06⁰⁰ до 22⁰⁰ та із 22⁰⁰ до 06⁰⁰ години відповідно.

З рахуванням того, що основна увага належить технічній переробці місцевого вагонопотоку, процеси вантажних станцій доцільно розглядати за принципом методу «чорної скриньки» (рис. 2). Даний метод передбачає дослідження вхідних та вихідних потоків відповідної підсистеми та, при необхідності, на їх основі встановлення принципів функціонування об'єкта, що досліджується.

Висновки. Наведене описання технологічної структури розвинутого залізничного вузла, а також представлений граф технологічної лінії переробки місцевого вагонопотоку у розвинених вузлах можуть застосовуватися при проведенні науково-дослідних робіт з удосконалення експлуатаційної роботи та раціонального використання технічних засобів на залізницях України. При цьому отримані результати вказують на наявність значного резерву у покращенні експлуатаційної роботи залізничного вузла.

Список літератури:

1. Основные параметры Европейской транспортной системы. URL: <http://www.nationalsecurity.ru/maps/europerivertransport.htm> (дата звернення: 04.11.2019).
2. Haramina H., Talan I., Mihaljević B. Improvement of suburban railway services by Infrastructure and timetable modifications based on Simulation modeling. *Transport problems*. 2018. Vol. 13, Issue 3. P. 15–27.
3. Rakhmangulov A., Sladkowski A., Osintsev N., Mishkurov P., Muravev D. Dynamic optimization of railcar traffic volumes at railway nodes. Rail transport – systems approach. Studies in systems, decision and control 87. Cham: Switzerland. 2017. P. 405–456.
4. Karel Volesky, Martin Kendra, Radoslav Valovic. The instruments of rationalization in railway freight transport. International scientific conference “Transport of 21st century”. Warsaw, Poland, 18–21 September 2007. Warsaw University of Technology, Poland, 2007. P. 347–351.
5. Любохинець Л.М. Реформування залізничного транспорту: досвід країн ЄС. Збірник наукових праць Дніпропетровського нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна «Проблеми економіки транспорту». Дніпро, 2016. Вип. 12. С. 77–83.

6. Kornelia Ambrus-Somogyi. A new Pavement Model with Traffic Change // I International Interdisciplinary Technical Conference of Young Scientists. Poznan, 17-18 April 2008. Poznan, Poland. 2008. P. 186–190.
7. Krystof Koper. The role of upgrading process as a method of fighting obsolescence of technical objects and a way to minimize environmental impact. I International Interdisciplinary Technical Conference of Young Scientists. Poznan, 17-18 April 2008. Poznan, Poland. 2008. P. 209–212.
8. Thomas Kulpa. Review of freight transport modeling techniques in Poland // I International Interdisciplinary Technical Conference of Young Scientists. Poznan, 17-18 April 2008. Poznan, Poland. 2008. P. 191–195.
9. Thomas Seidier, Denisa Cihlarova. Traffic Service in the City of Ostrava // I International Interdisciplinary Technical Conference of Young Scientists. Poznan, 17-18 April 2008. Poznan, Poland. 2008. P. 201–205.
10. Бакаев А.А., Пирожков С.И., Ровенко В.П., Бакаев Л.А., Кут Ю.А. Международные коридоры Украины: сети и моделирование : учебное пособие. Київ : КУЕТТ, 2003. В 2 томах. 518 с.
11. Апатцев В.И. Оптимизация работы железнодорожных узлов. *Железнодорожный транспорт*. 1998. № 11. С. 2–6.
12. Яновський П.О. Управління вагонопотоками на залізницях. Київ : КУЕТТ, 2006. 362 с.
13. Бобровський В.І. Теоретичні основи удосконалення конструкцій та технології роботи залізничних станцій : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05.22.20 Експлуатація та ремонт засобів транспорту. Дніпро, 2002. 33 с.
14. Волканова Н.Д. Удосконалення діяльності транспортного вузла : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора економ. наук : спец. 08.00.03 Економіка та управління національним господарством. Харків, 2007. 23 с.
15. Кочнев Ф.П., Сотников И.Б. Управление эксплуатационной работой железных дорог. Москва : Транспорт, 1990. 424 с.
16. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте / П.С. Грунтов, Ю.В. Дьяков, А.М. Макарошкин и др.; под ред. П.С. Грунтова. Москва : Транспорт, 1990. 543 с.
17. Катренко А.В. Системний аналіз об'єктів та процесів комп'ютеризації. Львів : Науковий світ, 2003. 424 с.
18. Крюков М.М., Кравець Т.В. Методи і моделі дослідження операцій. Київ, 2006. 218 с.
19. Viacheslav Matsiuk, Viktor Myronenko. Optimization of the local traffic volume processing in railway junctions // 7-th European conference of young research and scientific workers. University of Zilina, Slovak Republic. Zilina, 2007. С. 153–156.

References:

1. Osnovnyye parametry Evropeyskoy transportnoy sistemy [The main parameters of the European transport system]. URL: <http://www.nationalsecurity.ru/maps/euoperivertransport.htm> (accessed 04.11.2019).
2. Haramina, H., Talan, I., & Mihaljević, B. (2018). Improvement of suburban railway services by Infrastructure and timetable modifications based on Simulation modelling. *Transport problems*, vol. 13, issue 3, pp. 15–27.
3. Rakhmangulov, A., Sladkowski, A., Osintsev, N., Mishkurov, P. & Muravev, D. (2017). Dynamic optimization of railcar traffic volumes at railway nodes. *Rail transport – systems approach*. Cham: Springer International, pp. 405–456.
4. Karel Volesky, Martin Kendra, Radoslav Valovic (2007). The instruments of rationalization in railway freight transport. *International scientific conference "Transport of 21st century"* (Warsaw, Poland, September 18-21). Warsaw, pp. 347–351.
5. Liubokhynets, L.M. (2016). Reformuvannya zaliznychnoho transportu: dosvid krain YeS [Reforming rail transport: the experience of EU countries]. Collection of scientific works of Dnepropetrovsk Nat. un-that of iron. trans. them. Acad. V. Lazaryan "Problems of Transport Economy", vol. 12, pp. 77–83.
6. Kornelia Ambrus-Somogyi (2008). A new Pavement Model with Traffic Change. *I International Interdisciplinary Technical Conference of Young Scientists. Poznan* (Poznan, Poland, April 17-18). Poznan, pp. 186–190.
7. Krystof Koper (2008). The role of upgrading process as a method of fighting obsolescence of technical objects and a way to minimize environmental impact. *I International Interdisciplinary Technical Conference of Young Scientists* (Poznan, Poland, April 17-18). Poznan, pp. 209–212.
8. Thomas Kulpa (2008). Review of freight transport modeling techniques in Poland. *I International Interdisciplinary Technical Conference of Young Scientists* (Poznan, Poland, April 17-18). Poznan, pp. 191–195.
9. Thomas Seidier, Denisa Cihlarova (2008). Traffic Service in the City of Ostrava. *I International Interdisciplinary Technical Conference of Young Scientists* (Poznan, Poland, April 17-18). Poznan, pp. 201–205.
10. Bakaev, A.A., Pirozhkov, S.I., Rovenko, V.P., Bakaev, L.A., & Kut, Ju.A. (2003). *Mezhdunarodnye koridory Ukrainy: seti i modelirovanie* [International Corridors of Ukraine: Networks and Modeling]. Kyiv: KUETT. (in Ukrainian)
11. Apatcev, V.I. (1998). Optimizacija raboty zheleznodorozhnyh uzlov [Optimization of railway junctions]. *Railway transport*, no. 11, pp. 2–6.
12. Yanovskiy, P.O. (2006). *Upravlinnia vahonopotokamy na zaliznytsiakh* [Management of railroad carriages]. Kyiv: KUETT. (in Ukrainian)
13. Bobrovskiy, V.I. (2002). *Teoretychni osnovy udoskonalennia konstruksii ta tekhnologii roboty zaliznychnykh stantsii* [Theoretical bases of improvement of constructions and technology of work of railway stations]. Dnipro: Dnepropetrovsk. nat. University Railway. trans. them. V. Lazaryan. (in Ukrainian)
14. Volkanova, N.D. (2007). *Udoskonalennia diialnistiu transportnoho vuzla* [Improvement of transport hub activity]. Kharkiv: Ukrainian State Academy of Railway Transport. (in Ukrainian)
15. Kochnev, F.P., & Sotnikov, I.B. (1990). *Upravlenie jekspluatacionnoj rabotoj zheleznyh dorog* [Management of operational work of railways]. Moscow: Transport. (in Russian)
16. Gruntov, P.S., D'jakov, Ju.V., & Makarochkin, A.M. (1990). *Upravlenie jekspluatacionnoj rabotoj i kachestvom perevozok na zheleznodorozhnom transporte* [Management of operational work and quality of rail transportation]. Moscow: Transport. (in Russian)
17. Katrenko, A.V. (2003). *Systemnyi analiz obektiv ta protsesiv kompiuteryzatsii* [System analysis of objects and processes of computerization]. Lviv: Science. (in Ukrainian)
18. Kriukov, M.M., & Kravets, T.V. (2006). *Metody i modeli doslidzhennia operatsii* [Operations research methods and models]. Kyiv: KUETT. (in Ukrainian)
19. Viacheslav Matsiuk, Viktor Myronenko (2007). Optimization of the local traffic volume processing in railway junctions. *7-th European conference of young research and scientific workers* (Slovak Republic, Zilina). Zilina, pp. 153–156.