

УДК 618.518:656.22

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.156.2015.66333>

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ВУЗЛА ШЛЯХОМ  
ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ЛОГІСТИЧНИХ ПІДХОДІВ**

Кандидати техн. наук В.М. Запара, Я.В. Запара, магістрант І.Г. Гергель

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО УЗЛА  
ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ**

Кандидаты техн. наук В.М. Запара, Я.В. Запара, магистрант И.Г. Гергель

**IMPROVEMENT TECHNOLOGY BY RAIL UNIT OF MODERN LOGISTICS APPROACHES**

Candidates of techn. sciences V.Zapara, Y.Zapara, master student I. Gergel

*На сьогодні використання сучасних логістичних підходів є обов'язковою умовою покращення роботи залізничного транспорту. За рахунок використання цих підходів проведено імітаційне моделювання роботи залізничного вузла, що дало можливість отримати його оптимальну технологію роботи при заданих параметрах. Надана вузловому диспетчеру інформація дасть можливість відслідковувати поведінку та завантаженість кожного елемента керуючої системи та приймати рішення щодо його використання.*

**Ключові слова:** залізничний вузол, імітаційне моделювання, логістичні підходи, агентне моделювання, технологія роботи, обіг вагона.

*На сегодня использование современных логистических подходов является обязательным условием улучшения работы железнодорожного транспорта. За счет использования этих подходов проведено имитационное моделирование работы железнодорожного узла, которое дало возможность получить его оптимальную технологию работы при заданных параметрах. Предоставленная узловому диспетчеру информация позволит отследить поведение и загруженность каждого элемента управляющей системы и принимать решение относительно его использования.*

**Ключевые слова:** железнодорожный узел, имитационное моделирование, логистические подходы, агентное моделирование, технология работы, оборот вагона.

*Research performance of railways indicate the need for further improvement of rail transport in the field of freight transportation through the use of modern logistics management, who will improve the*

*performance of existing and attractiveness of the railways. The example of the powerful railway junction structure described simulation model of a railway node on agent-based modeling with application of modern logistic approaches. The whole model is a combination of different types of agents that alter their state at fixed intervals based on the rules of conduct, and the status of other agents. Three-level models: infrastructure, service and manager. The result of the simulation is to obtain a number of relevant technologies rail hub at different parameters of its work. This will allow the hub (train) controller technology to work to elect one that is acceptable at the current time.*

**Keywords:** railway junction, simulation, logistics approaches, agent-based modeling, the technology works, the turnover of the car.

**Вступ.** Враховуючи сучасні тенденції розвитку світової економіки, економічний розвиток України повинен бути зорієнтований на інноваційний тип відтворення, оскільки інновації сьогодні є сферою формування конкурентних переваг будь-якої національної економіки. Головною метою подальшого функціонування залізничного транспорту має стати створення відповідного рівня його розвитку, який дозволить задовольнити життєво важливі потреби країни і населення в перевезеннях в умовах забезпечення сталого економічного зростання, забезпечивши якнайшвидший перехід до сучасної інфраструктури, що відповідає запитам та вимогам сучасної економіки. Одним із важливих елементів сучасної інфраструктури має стати логістичний підхід оптимізації інноваційної діяльності.

Логістичний підхід в сучасних умовах розвитку залізничного транспорту прискорить важливі процеси інтеграції в європейську транспортну систему з метою формування міжнародних маршрутів. Одним із завдань логістики є уникнення нераціональних перевезень короткопробіжних, невинуватених дальніх, зустрічних, порожніх пробігів, а також повторних перевезень, коли вантаж повторно перевозиться, розвантажується і завантажується на складських підприємствах посередницьких організацій.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** У зв'язку зі складною економічною ситуацією та зменшенням обсягів вантажів, заявлених вантажовласниками до перевезення, знизилися показники навантаження залізниць України. Так, за даними Департаменту управління рухом Укрзалізниці, впродовж I кварталу цього року залізничники в середньому щодоби навантажували 698,8 тис. т вантажів, що

становить 103,6 % до планового завдання та 74,4 % до минулорічного рівня. Упродовж січня-березня 2015 року в середньому за добу вивантажувалося понад 11 тис. вагонів, що становить 103,1 % до планового завдання та 76,6 % до аналогічного періоду минулого року. Обіг вантажного вагона становить 10,83 діб – 96 % до планового завдання. Обіг навантаженого вагона у січні-березні 2015 року склав 5,2 доби, прискорений на 3,8 % відповідно до планового завдання. Також на 5,17 год до планового завдання знижено час простою вагона під однією вантажною операцією і його виконання становить 74,03 год. Простій вагона на одній технічній станції знижений до планового завдання на 2,15 год до плану і його виконання становить 13,45 год. Вантажний рейс вагона у середньому склав 575,2 км, що більше планового завдання на 10,2 %. Дана інформація свідчить про необхідність подальшого вдосконалення роботи залізничного транспорту в сфері вантажних перевезень шляхом використання сучасних логістичних заходів, що дозволить покращити існуючі показники роботи та привабливість залізниць.

Підвищення ефективності в роботі залізниць багато в чому залежить від стану транспортної інфраструктури і, в першу чергу, від розвитку залізничного транспорту. Рівень попиту на залізничні перевезення в умовах посилення конкурентної боротьби визначається насамперед якістю сервісу. Практика свідчить про те, що логістична підтримка просування вантажопотоків на залізничному транспорті здійснюється фрагментарно, загострюється проблема підвищення ефективності та якості роботи залізничного транспорту. Перед залізницями України на сьогодні стоїть завдання ефективного використання рухомого складу (до 80 % часу свого обігу він знаходиться у залізничних вузлах), інструментом для

досягнення стабільної і ефективної роботи залізниці є сучасні логістичні підходи.

Одним із ключових залізничних вузлів Одеської залізниці, що розглядається у роботі, через який проходить більшість вантажів, є Знам'янський вузол. Отже, покращення його роботи значно підвищить ефективність роботи як Одеської залізниці, так і всієї Укрзалізниці в цілому.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вдосконаленню перевізного процесу у залізничних вузлах присвячена значна кількість наукових праць як вітчизняних, так і зарубіжних вчених (В.І. Бобровський, Т.В. Бутко, М.І. Данько, Д.М. Козаченко, В.М. Кулешов, В.К. Мироненко, Д.В. Ломотько, О.М. Огар, Є.М. Тішкін) [1-2], також є наукові праці молодих вчених П.В. Долгополова, Я.В. Запари, Р.Г. Коробйової, О.А. Малахової, В.І. Мацюка, Н.П. Носенка, О.О. Сичова, Ю.В. Чибісова [3-7]. Роботи науковців стосувалися вирішення багатьох складних задач та проблем, серед яких: вдосконалення технології роботи технічних та вантажних станцій, під'їзних колій та їх взаємодії; поліпшення автоматизації перевізного процесу, інформаційна підтримка працівників тощо. Проте комплексні питання ефективного використання рухомого складу та потужностей у залізничних вузлах, що його обслуговують, в частині вибору оптимальної технології роботи системи за рахунок використання логістичних підходів на основі імітаційного моделювання, висвітлені недостатньо.

Аналізуючи світовий досвід використання імітаційного моделювання, зокрема з формування агентно-орієнтованого підходу в моделюванні складних систем, слід відмітити наукові праці вчених А.М. Колмогорова, І. Прігожина, І. Стенгерса, Г. Хакена та ін. [8, 9]. Із сучасних вчених слід відмітити праці з практичного застосування імітаційного моделювання А.В. Борщова, С.І. Парінова, Н.М. Личкіна, Ю.І. Толуєва та багатьох інших [10]. Реалізація імітаційного моделювання провадиться у різних сферах, зокрема і на транспорті. На сьогодні наукових праць, присвячених використанню агентного моделювання при відтворенні роботи у залізничних вузлах України, майже немає.

Проте відомі роботи Д.А. Іванова [11] та інших російських вчених, які присвячені агентному моделюванню при створенні раціональних ланцюгів постачання у логістиці.

**Визначення мети та задачі дослідження.** В статті на прикладі потужного залізничного вузла викладена структура імітаційної моделі функціонування залізничного вузла на основі агентного моделювання із застосуванням сучасних логістичних підходів. Результатом моделювання є отримання ряду відповідних технологій роботи залізничного вузла при різних параметрах його роботи. Це дозволить вузловому (поїзному) диспетчеру обирати ту технологію роботи, яка є прийнятною на поточний час.

**Основна частина дослідження.** Імітаційне моделювання — це метод, що дозволяє будувати моделі описуваних процесів, як ці процеси проходили б насправді. Можна виділити такі різновиди імітації: метод Монте-Карло (метод статистичних випробувань); метод імітаційного моделювання (статистичне моделювання); імітаційне ігрове моделювання; агентне моделювання; метод дискретного моделювання; системна динаміка. Загальна схема підходів імітаційного моделювання наведена на рис. 1.

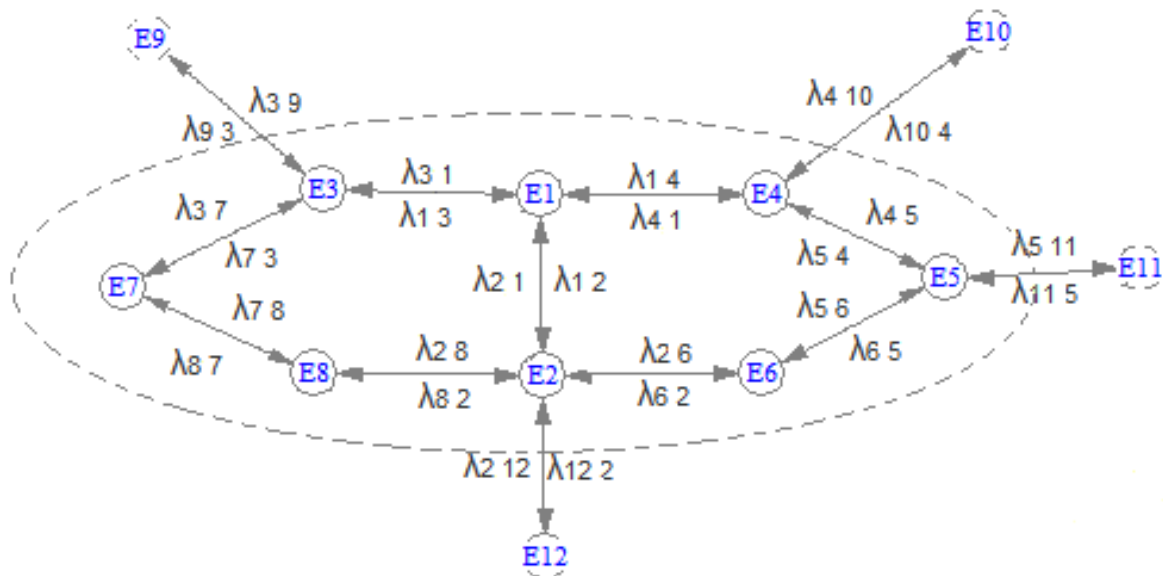
В роботі при моделюванні залізничного вузла використаний метод агентного моделювання. Агентне моделювання — це метод імітаційного моделювання, що досліджує поведінку децентралізованих агентів і те, як ця поведінка визначає поведінку всієї системи в цілому. Особливість даного виду моделювання полягає в тому, що індивідуальна поведінка кожного агента утворює глобальну поведінку системи, що моделюється.

Для отримання безпосередньо параметрів та даних базового залізничного вузла побудований відповідний граф станів (рис. 2).

При моделюванні технології роботи вузла на певний період необхідно врахувати стан вузла на початок періоду. Провести збір даних про розташування і стан вагонів та обладнання вузла можна, використовуючи дані із існуючої інформаційної системи АСК ВП УЗ-Є, або використати приблизні оцінки стану вузла на початок моделювання.



Рис. 1. Підходи в імітаційному моделюванні на шкалі рівня абстракції



E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9, E10, E11, E12 – імовірність знаходження вагона на станції Знам'янка, Долинська, Чорноліська, Користівка, П'ятихатки-стикова; E2 – імовірність знаходження вагона на станції; E3 – імовірність знаходження вагона на станції; E4 – імовірність знаходження вагона на станції; E5 – імовірність знаходження вагона на станції; E6 – імовірність знаходження вагона на станції Кривий Ріг Головний; E7 – імовірність знаходження вагона на станції Кіровоград; E8 – імовірність знаходження вагона на станції Помічна; E9 – імовірність знаходження вагона на станції ім. Тараса Шевченка; E10 – імовірність знаходження вагона на станції Кременчук; E11 – імовірність знаходження вагона на станції Дніпропетровськ; E12 – імовірність знаходження вагона на станції Миколаїв;  $\lambda_i$  – інтенсивність переходу із стану в стан, ваг/год

Рис. 2. Граф станів вантажного вагона у залізничному вузлі

Першим етапом в моделюванні є визначення параметрів моделювання системи, що задаються набором параметр-значень. Вони описують способи прийняття рішень інтелектуальними агентами, вірогідності ідентифікації несправностей вагонів та інші параметри безпосередньо імітаційної моделі

$$SO = \{\langle Y_j, Z_j \rangle, j = \overline{1, n_{so}}\}, \quad (1)$$

де  $\langle Y_j, Z_j \rangle$  – пара параметр-значення;

$n_{so}$  – кількість параметрів моделювання.

Для визначення умов функціонування вузла визначаємо його конфігурацію, що містить перелік обладнання та персоналу, які можна задіяти, та його властивості, визначаються колії, які можна використовувати тощо

$$NC_i = \{\langle K_p, \{t_p^s, t_p^b\}\rangle, \langle Q_h, \{t_h^s, t_h^b\}\rangle, p \in EQ^+, h \in Q^-\}, \quad (2)$$

де  $\langle K_p, \{t_p^s, t_p^b\}\rangle$  – кортеж, що описує інтервали часу  $\{t_p^s, t_p^b\}$ , коли доступне обладнання  $K_p$  протягом періоду моделювання;

$\langle Q_h, \{t_h^s, t_h^b\}\rangle$  – кортеж, що описує інтервали часу  $\{t_h^s, t_h^b\}$ , коли колія  $Q_h$  недоступна протягом періоду моделювання;

$EQ^+$  – об'єкти, що беруть участь в роботі вузла;

$Q^-$  – колії, використання яких неможливо при моделюванні.

Далі виконується моделювання (Sim), технології роботи вузла з обробки вагонів, що плануються для надходження у вузол ( $CF_o$ ) при визначеному початковому стані вузла ( $IS_o$ ), за певної конфігурації обладнання та колій ( $NC_i$ ) і визначених параметрів моделювання  $SO$ :

$$T_i = sim(SO, CF_o, IS_o, NC_i) = \{\langle U_l, \langle Op, \{Eq_p\}, t_s, t_e \rangle_l^m \rangle, l = \overline{1, N_{car}}, m = \overline{1, N_{op}^l}, p \in EQ^+\}, \quad (3)$$

де  $U_l$  – вантажний вагон;

$\langle Op, \{Eq_p\}, t_s, t_e \rangle_l^m$  – кортеж, що описує  $m$ -ту операцію над вагоном;

$Op$  – операція, що виконується;

$\{Eq_p\}$  – об'єкти, що задіяні в операції над вагоном;

$t_s$  – момент початку виконання операції;

$t_e$  – момент закінчення виконання операції;

$U_{car}$  – кількість вагонів, що оброблялося за період моделювання;

$n_{op}^l$  – кількість операцій над  $l$ -м вагоном;

$EQ^+$  – об'єкти, що беруть участь в роботі вузла.

Наступним етапом є розрахунок параметрів визначеної технології, що визначаються набором параметр-значень (вагоно-години по вузлу, завантаженість окремих елементів вузла тощо).

За необхідності отримання додаткових варіантів технологій роботи проводиться зміна параметрів вузла та виконується повторне моделювання.

Вся модель являє собою сукупність агентів різних типів, які змінюють свій стан через фіксовані проміжки часу на основі правил поведінки та стану інших агентів. Виділяються наступні рівні імітаційної моделі (рис. 3):

до інфраструктурного рівня відносяться неінтелектуальні елементи, такі як рухомий склад, колії, межі об'єкта;

до сервісного рівня моделі: сортувальна гірка, під'їзна колія, вантажний район, маневрова витяжка, склад, засоби механізації, фронт навантаження або вивантаження та обслуговуючий персонал, що працює у вузлі. Деякі з цих агентів є інтелектуальними та можуть приймати певні рішення самостійно;

до керуючого рівня моделі належать агенти, що моделюють роботу чергового по станції, вузлового (поїзного) диспетчера,

маневрового диспетчера, керівництво станції. Всі ці агенти є інтелектуальними і

адаптивними. Прийняття ними рішень моделюється зі значними спрощеннями.

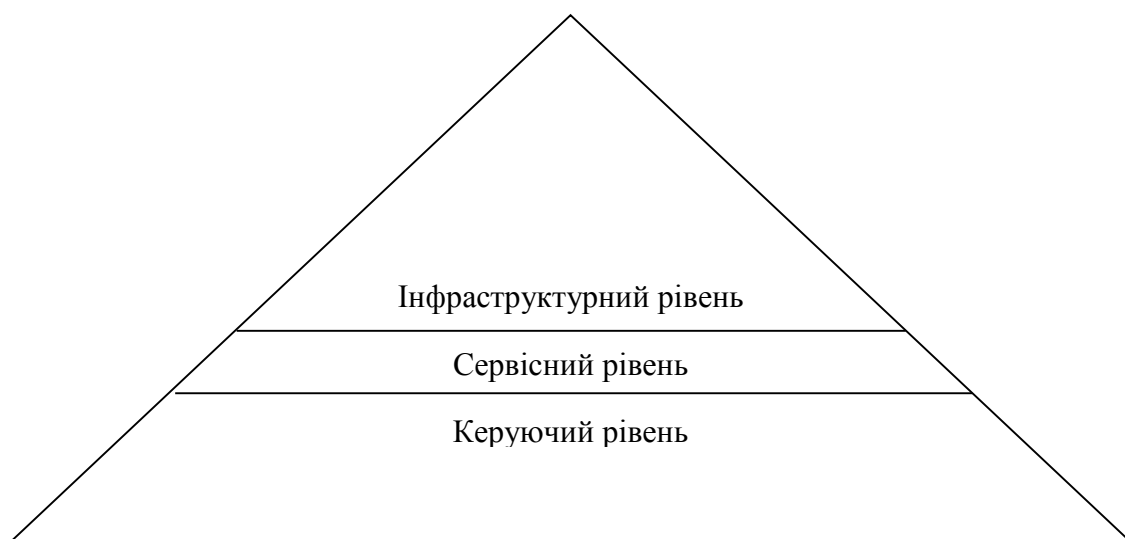


Рис. 3. Рівні імітаційної моделі залізничного вузла

Отримані дані моделювання надаються вузловому диспетчеру, який, використовуючи їх, зможе раціональніше, ефективніше спланувати роботу вузла.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Імітаційна модель з агентними принципами побудови на основі застосування логістичних підходів дозволить визначати оптимальну

технологію роботи залізничного вузла. Надана інформація вузловому диспетчеру дає можливість відслідковувати поведінку і завантаженість кожного елемента керуючої системи та приймати рішення щодо його використання. Отримання результату моделювання провадиться через АРМ вузлового (поїзного) диспетчера та виконує роль системи підтримки прийняття рішень.

### *Список використаних джерел*

1. Бутко, Т.В. Удосконалення сумісної роботи портів та залізничних вузлів на основі логістичних методів [Текст] / Т.В. Бутко, Д.В. Ломотко, Т.В. Головка // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2007. – № 3/6 (27). – С. 10-16.
2. Кулешов, В.М. Удосконалення технології сортувальної і вантажної роботи на станціях вузла в умовах розвитку інформатизації [Текст] / В.М. Кулешов, О.О. Сараєв, В.Є. Молотов // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 120. – С.28-34.
3. Носенко, М.П. Взаємодія залізниць із вантажовідправниками з метою безперебійної роботи залізничних станцій [Текст] / В.В. Кулешов, М.П. Носенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. - №4/3(34). – С.55-57.
4. Сычев, А.А. Вопросы оптимизации работы комплексного транспортного узла в составе транспортного коридора [Текст] / А.А. Сычев. – Ростов н/Д: Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион, 2007. – 28 с.
5. Долгополов, П.В. Удосконалення місцевої роботи залізничного вузла на основі поширених мереж Петрі [Текст] // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – №1. – С.51–54.
6. Козаченко, Д.М. Проблеми концентрації роботи з місцевими вагонами залізничних вузлів на технічних станціях [Текст] / Д.М. Козаченко, Р.Г. Коробйова // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези доп. 67 міжнар. наук.-практ. конф., 24-25 травня 2007 р. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2007. – С. 130-131.

7. Ломотько, Д.В. Системи підтримки прийняття рішень вузловим диспетчером при плануванні технології роботи залізничного вузла [Текст] / Д.В. Ломотько, Я. В. Запара, Є. В. Запара // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 122. – С. 12-21.
8. Колмогоров, А.Н. Теория информации и теория алгоритмов [Текст] / А. Н. Колмогоров. – М.: Наука, 1987. – 303 с.
9. Хакен, Г. Информация и самоорганизация [Текст]: пер. с англ. – М.: КомКнига, 2005. – 248 с.
10. Борщев, А.В. Практическое агентное моделирование и его место в арсенале анализа [Текст] / А.В. Борщев // Exponenta Pro. – 2004. – № 3-4. – С. 38-47.
11. Иванов, Д.А. Модель динамического структурно-функционального синтеза гибких цепей поставок на основе ключевых компетенций [Текст] / Д.А. Иванов, Б.В. Соколов, А.В. Архипов, Й. Кэшель // Логистика и управление цепями поставок. – 2008. – № 2(25). – С. 15.

Рецензент д-р техн. наук, профессор О.М. Огар

---

Запара Віктор Мефодійович, канд. техн. наук, професор, кафедра управління вантажною та комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-85.  
E-mail: v.zapara@gmail.com.

Запара Ярослав Вікторович, канд. техн. наук, доцент, кафедра управління вантажною та комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-85.  
E-mail: y.zapara@gmail.com.

Гергель Ілля Геннадійович, магістрант кафедри управління вантажною та комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: gergelillya@gmail.com.

Zapara Viktor, Ph.D., professor of management of freight and commercial work, Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (057) 730-10-85. E-mail: v.zapara@gmail.com.

Zapara Yaroslav, Ph.D., lecturer of management of freight and commercial work, Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (057) 730-10-85. E-mail: y.zapara@gmail.com.

Gergel Ilyia, master student of the management of trucks and commercial work Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: gergelillya@gmail.com.

Стаття прийнята 02.09.2015р.