

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 656.222.5:519.87

М. І. МУЗИКІН^{1*}

^{1*}Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (095) 251 53 14, ел. пошта mihailmuzykin@gmail.com, ORCID 0000-0003-2938-7061

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ПОЇЗДОПОТОКІВ В УМОВАХ РИЗИКІВ

Мета. Дослідження спрямовано на встановлення раціонального варіанта прямування спеціалізованих поїздопотоків на залізничних напрямках шляхом управління ризиками та визначення залежності інтервалу руху поїздів від парку локомотивів і локомотивних бригад. Досягнути поставленої мети можна шляхом встановлення послідовності стадій генетичного алгоритму для реалізації математичної моделі визначення інтенсивності руху спеціалізованих поїздопотоків на залізничних напрямках. **Методика.** У дослідженні розглянуто процес пропуску спеціалізованих поїздопотоків по залізничних коридорах як складову єдиного логістичного ланцюга. До цього процесу ми підійшли з позиції управління ризиками, коли потрібно визначити час прибуття поїздів із різних напрямків за наявних технологічних обмежень. Вибір раціонального інтервалу прямування між поїздами на залізничних коридорах є вкрай важливим, тому що дозволяє здійснювати пропуск спеціалізованих вантажопотоків більш ефективно з позиції витрат на виконання доставки в кінцевий (опорний) пункт та швидкості цієї доставки. Із метою реалізації оптимізаційної математичної моделі визначення інтенсивності руху спеціалізованих поїздопотоків на залізничних напрямках використано генетичний алгоритм із дійсним кодуванням (RGA). **Результати.** Проведений аналіз довів ефективність пошуку раціонального варіанта встановлення інтенсивності руху спеціалізованих поїздопотоків на залізничних напрямках з урахуванням витрат залізниці на тягу та витрат вантажоотримувачів. Представлено графік залежності кращих і середніх значень фітнес-функції від кількості ітерацій RGA у процесі знаходження рішення. **Наукова новизна.** У результаті дослідження розроблено програмну реалізацію математичної моделі визначення інтенсивності руху спеціалізованих поїздопотоків на залізничних напрямках з урахуванням балансу витрат залізниці на тягові ресурси та витрат одержувача вантажу. Ця програма дозволяє моделювати вибір часу прибуття поїздів на кінцеву станцію маршрутів із різних напрямків в умовах невизначеності. Експертний аналіз отриманих результатів моделювання довів адекватність рішення. **Практична значимість.** Виконане дослідження дозволяє встановити залежність інтервалу руху поїздів від парку локомотивів та локомотивних бригад. Пошук оптимального інтервалу прямування поїздопотоків за допомогою розробленої математичної моделі дозволяє управляти супутніми ризиками та мінімізувати експлуатаційні витрати на просування спеціалізованого поїздопотоку.

Ключові слова: поїздопотік; інтенсивність руху; тяговий рухомий склад; ризики; генетичний алгоритм

Вступ

Процес пропуску спеціалізованих поїздопотоків по залізничних коридорах є складовою єдиного логістичного ланцюга. Необхідно підійти до цього процесу з позиції управління ризиками, щоб визначити час прибуття поїздів

із різних напрямків за обмеженнях: 1) величини наявного експлуатаційного парку локомотивів, який може бути використано для обслуговування спеціалізованого поїздопотоку; 2) місткості опорної сортувальної станції та станцій примикання до неї (це можуть бути як припортові станції, так і станції, на яких здійснюється

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

перехід із колії шириною 1 520 мм на колію 1 435 мм); 3) режимів роботи вантажно-розвантажувальних фронтів.

У сучасних дослідженнях [6] наголошено, що для вирішення завдань підвищення ефективності функціонування залізничної мережі потребують теоретичного обґрунтування підходи щодо визначення раціональних параметрів залізничних напрямків у частині пропуску поїздопотоків. Особливу увагу при цьому належить приділити спеціалізованим поїздопотокам.

Автори статті [11] запропонували здійснювати управління доставкою вантажів на основі визначення значень тривалості їх обробки на кожному етапі виконання графіка. Таким чином можна оцінити відхилення від нормативного часу в процесі доставки вантажів, тобто якість перевезень.

У дослідженні [12] за пропонувано метод, який дозволяє спрогнозувати контрольні точки планових етапів доставки вантажів з урахуванням умов реальної експлуатаційної роботи. Аналіз відхилень у тривалості проходження різних етапів процесу транспортування можна надавати диспетчерському персоналу для прийняття керівних рішень, а також використовувати під час створення інтелектуальних транспортних систем.

У статті [2] розглянуто можливість у межах визначеного залізничного напрямку скоординувати технологічні та інфраструктурні можливості всіх підрозділів АТ «Українська залізниця» для формування раціональної системи просування спеціалізованих вагонопотоків. Ця робота підтверджує перспективність подальших досліджень у цьому напрямі.

Колектив авторів у роботі [3] розробив технологію, яка дозволяє зменшити величину експозиції, що є інтегральним показником ризику, тобто кількісним параметром, який описує можливість виникнення аварій і настання негативних наслідків, пов'язаних з обробкою вагонів із небезпечними вантажами на сортувальних станціях. Доцільність упровадження інтелектуальних технологій управління в перевізний процес обумовлюється зниженням експлуатаційних витрат і підвищенням рівня безпеки виконання технологічних процесів на станціях в умовах обробки спеціалізованих вагонопото-

ків. Учені в дослідженні [13] запропонували заходи щодо підвищення надійності роботи поїзних дільниць, що сприятимуть прискореному пропуску вагонопотоків.

У дослідженнях щодо організації інтермодальних транспортних коридорів особливе місце посідає розробка інтегрованих математичних моделей, що враховують особливості поїздопотоків за їх спеціалізацією, роботу залізничних терміналів та портів з урахуванням інтересів усіх учасників перевізного процесу [9, 15].

За таких умов актуальним є вирішення завдання пошуку балансу витрат на просування поїздопотоків із різних залізничних напрямків на кінцеву опорну станцію та витрат одержувача вантажу шляхом встановлення інтенсивності руху поїздопотоків з урахуванням обмежених ресурсів тягового рухомого складу.

Мета

Основною метою статті є встановлення раціонального варіанта прямування спеціалізованих поїздопотоків на залізничних напрямках шляхом управління ризиками та визначення залежності інтервалу руху поїздів від парку локомотивів і локомотивних бригад.

Досягнути поставленої мети можна шляхом встановлення послідовності стадій генетичного алгоритму для реалізації математичної моделі визначення інтенсивності руху спеціалізованих поїздопотоків на залізничних напрямках.

Методика

Уведемо поняття ризику – це оцінка можливих витрат, що пов'язані з невизначеністю в процесах руху поїздів на залізничних коридорах, у роботі опорної сортувальної станції та станцій, які примикають до неї, у режимах роботи вантажно-розвантажувальних фронтів. Це дасть нам можливість провести оцінку невизначеності досліджуваного процесу. Ураховуючи вищесказане, перед нами постає задача створення математичної моделі, яка дозволяє визначити оптимальний момент часу прибуття поїздів (тобто визначити раціональну інтенсивність руху поїздопотоків на залізничних коридорах) в умовах ризиків [8]. Для цієї моделі необхідно використовувати статистичні дані за

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

попередні періоди щодо відхилень часу прибуття поїздів на кінцеву (опорну) станцію та часу надходження вагонів на вантажні fronti.

Вибір раціонального інтервалу прямування між поїздами на залізничних коридорах є вкрай важливим, тому що дозволяє здійснювати пропуск спеціалізованих вантажопотоків більш ефективно з позиції витрат на виконання доставки в кінцевий (опорний) пункт та швидкості цієї доставки. Це набуває особливої актуальності в умовах жорсткої конкуренції з автомобільними перевезеннями. Установлення раціонального інтервалу між рухом поїздів на залізничному коридорі дає можливість скоротити кількість локомотивів та локомотивних бригад, які їх обслуговують, порівняно з наявним варіантом організації руху. Крім того, від цього інтервалу залежать і витрати вантажовласників. Знаходження раціонального інтервалу дозволить знайти баланс, так звану «золоту середину», витрат залізниці на тягові ресурси та витрат вантажовласників завдяки зменшенню непродуктивних простоїв усіх елементів логістичного ланцюга.

З урахуванням вищенаведеного формалізація цього процесу повинна носити оптимізаційний характер. Для обліку зазначеної невизначеності запропоновано застосувати апарат математичної статистики й теорії ймовірності.

У попередньому дослідженні було розроблено математичну модель, яка дозволяє знайти схеми обігу локомотивів з урахуванням дислокації парку за різними серіями на полігоні мережі та схеми роботи локомотивних бригад [7]. У межах постановки нової задачі для просування спеціалізованого вагонопотоку на залізничних коридорах будемо використовувати груповий графік обслуговування локомотивів на знайдених схемах їх обігу. Це означає, що спеціалізовані поїзди буде обслуговувати тільки визначена група локомотивів. Отже, у нових реаліях для кожного залізничного коридору визначальним фактором буде виступати інтервал між попутними спеціалізованими поїздами у так званому «вантажному напрямку» [10, 14]. Від цього інтервалу залежать витрати на експлуатацію необхідного локомотивного парку для обслуговування спеціалізованого вагонопотоку та кількість локомотивів. Це особливо важливо в умовах критичного зношення інвентарного

парку локомотивів, що перебувають на балансі АТ «Українська залізниця».

Тривалість періоду планування доцільно розглядати у тридобовому вимірі $T = [0; 72]$ год, оскільки, згідно з дослідженням [4], для нормальних законів розподілу стійка робота порту встановлюється протягом 2–3 діб.

Аналізуючи задачу знаходження оптимального часу прибуття кожного спеціалізованого поїзда на кінцеву (опорну) станцію, приходимо до висновку, що вона передбачає зведення двох випадкових процесів до одного. Ці два випадкові процеси є незалежними один від одного та містять власні параметри розподілу, що врешті-решт обертаються різними сполученнями подій: запізнення часу прибуття спеціалізованого поїзда та запізнення в процесі забирання вагонів з опорної станції на вантажно-розвантажувальні fronti мають різні наслідки [1]. Окрім того, необхідно враховувати, що ці випадкові процеси відбуваються під впливом різноманітних факторів та визначених обмежень.

Схематичне уявлення виникнення двох випадкових подій – прибуття поїзда на опорну станцію та забирання вагонів з опорної станції для подальшого перевантаження вантажу представлено на рис. 1.

Із метою створення цільової функції математичної моделі визначення раціональних інтервалів прямування спеціалізованих поїздів, а отже, й інтервалів прибуття цих поїздів із різних залізничних коридорів, необхідно провести оцінку ризиків, що враховують різні ситуації здійснення вказаних подій.

Ще одними можливими ризиками, які необхідно враховувати під час створення цільової функції, є ризики накопичення надлишку вагонів на вантажно-розвантажувальних фронтах вантажовласника або на припортових станціях. Також можливі ризики, коли виникає дефіцит, тобто вантажно-розвантажувальні fronti простоюють, тому що на припортових станціях відсутні вагони для розвантаження.

Змоделюємо випадок збігання відхилень цих процесів. У випадку пізнього надходження вагонів та пізнього прибуття морського судна до порту для їх навантаження розрахункова сума втрат зменшується. Але залежно від зміни запізнення кожного з цих двох процесів будуть

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

виникати витрати як на непродуктивний простій вагонів, так і витрати вантажовласника з причини ненадходження необхідних вагонів під вивантаження, тобто маємо простій морського судна без навантаження.

Схематичне представлення ситуації збігання в разі запізнення надходження груп вагонів на припортову станцію та забирання вагонів на причал наведено на рис. 2, де:

$(t_{m_{k,s}}^{i,заб} - \Delta t_{m_{k,s}}^i)$ – завчасне надходження групи вагонів на припортову станцію;

$(t_{m_{k,s}}^{i,0} + \Delta t_{m_{k,s}}^i)$ – запізнення в забиранні групи вагонів у порт через неготовність морського судна до навантаження;

$(t_{m_{k,s}}^{i,заб} + \Delta t_{m_{k,s}}^i)$ – запізнення прибуття вагонів на припортову станцію;

$(t_{m_{k,s}}^{i,0} - \Delta t_{m_{k,s}}^i)$ – готовність до раннього забирання групи вагонів у порт.

Аналогічні ризики будуть мати місце у випадку збігання завчасного надходження вагонів та моменту часу готовності морського судна під навантаження. Набагато більшими витрати будуть в разі незбігання характеру відхилень цих двох випадкових подій (рис. 3).

Обов'язково потрібно враховувати також можливі ризики, під час обрання оптимального інтервалу прямування спеціалізованих поїздів на залізничних коридорах, якими виступають витрати на експлуатацію необхідного локомотивного парку.

Розуміючи, що інтервал між спеціалізованими поїздами – це різниця між моментами прибуття другого та першого спеціалізованих поїздів, відхилення яких є за своєю природою випадковими величинами, саму величину інтервалу можна розглядати як складову детермінованого часу та випадкову складову його відхилення.

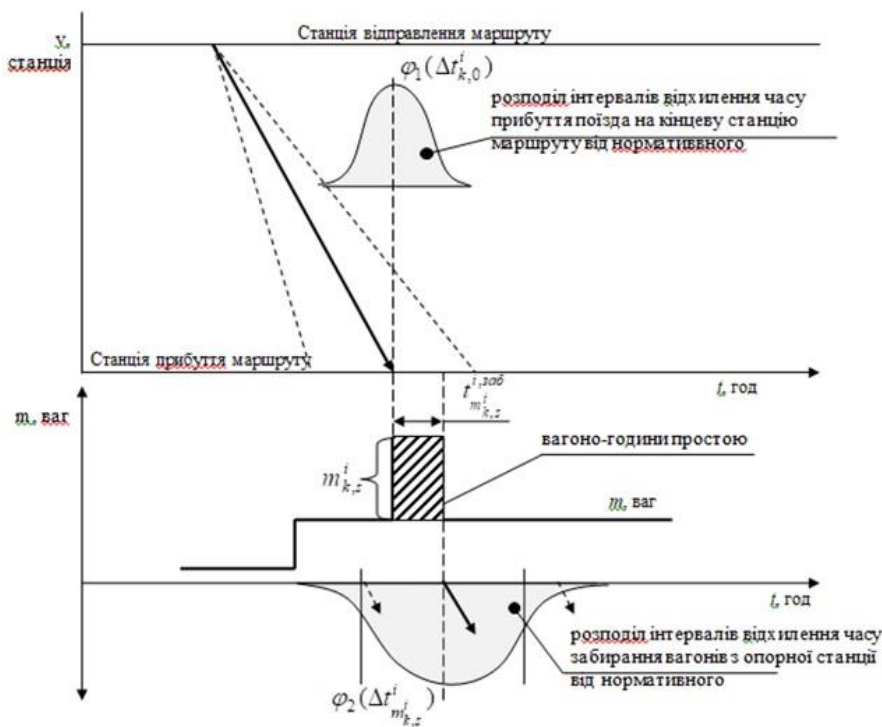


Рис. 1. Схема виникнення двох випадкових подій – прибуття поїзда на опорну станцію та забирання вагонів з опорної станції для перевантаження вантажу

Fig. 1. The scheme of occurrence of two random events – the train arrival at the base station and the removal of cars from the base station for cargo reloading

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

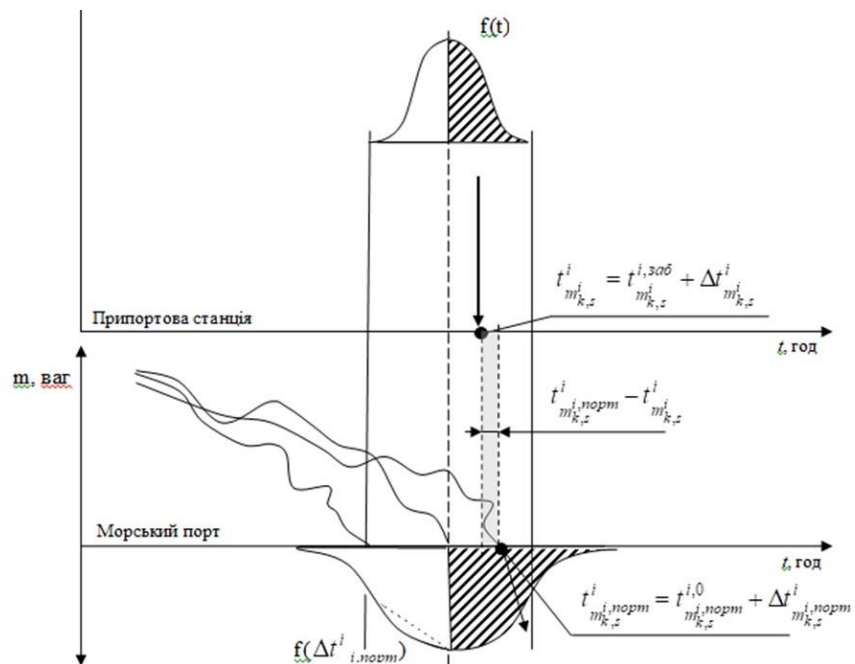


Рис. 2. Схема виникнення ситуації збігання подій у разі запізнення надходження груп вагонів на припортову станцію та забирання вагонів у порт під вивантаження
 Fig. 2. The scheme of coincidence situation occurrence in case of delay of car groups arrival to the port station and removal of cars to the port for unloading

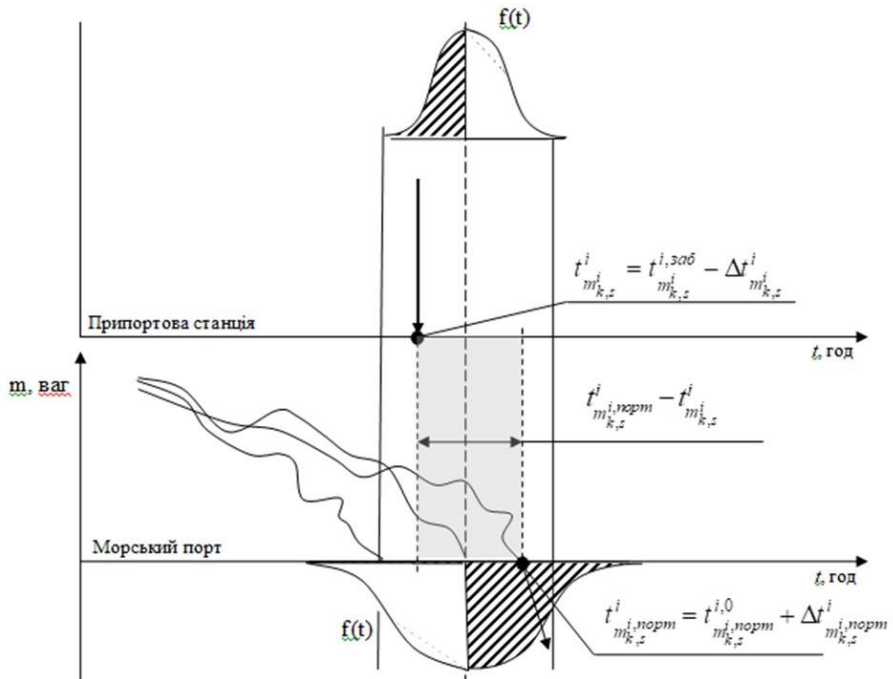


Рис. 3. Схема виникнення витрат на простій у випадку завчасного надходження групи вагонів на припортову станцію та запізнення їх забирання у порт у зв'язку з неготовністю судна до завантаження
 Fig. 3. Scheme of downtime costs occurrence in case of early arrival of a car group at the port station and delay in its removal to the port due to the vessel unreadiness for loading

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Схематичне представлення інтервалу між двома поїздами на залізничному напрямку k наведено на рисунку 4.

Із метою реалізації оптимізаційної математичної моделі визначення інтенсивності руху спеціалізованих поїздопотоків на залізничних напрямках будемо використовувати генетичний

алгоритм із дійсним кодуванням (англ. Real-coded Genetic Algorithm, RGA) [5].

Загальну послідовність стадій реалізації генетичного алгоритму типу RGA для реалізації вищезазначеної математичної моделі можна представити у вигляді схеми, на рис. 5.

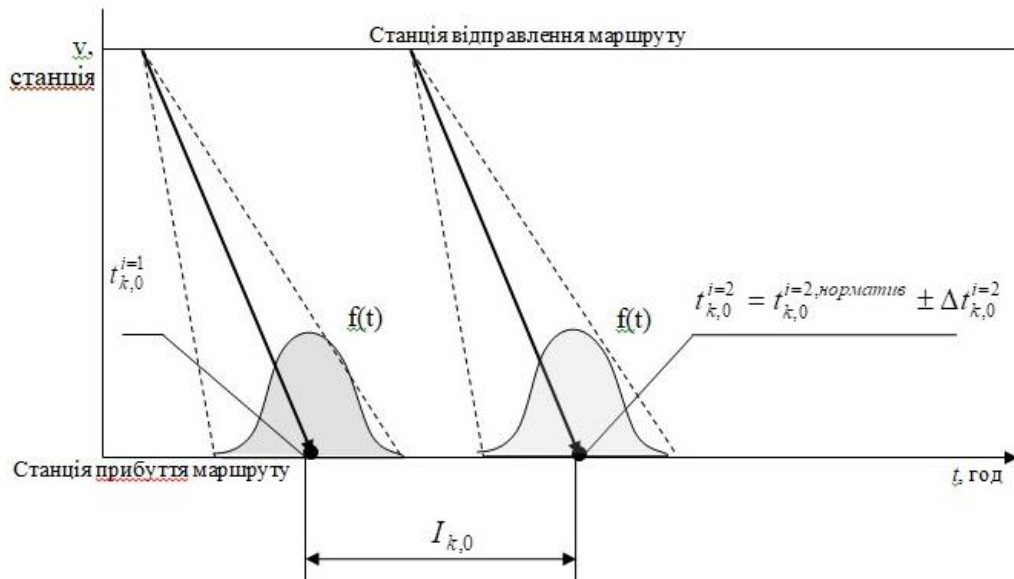


Рис. 4. Схема інтервалу між двома поїздами на залізничному напрямку k

Fig. 4. Diagram of the interval between two trains in the railway direction k

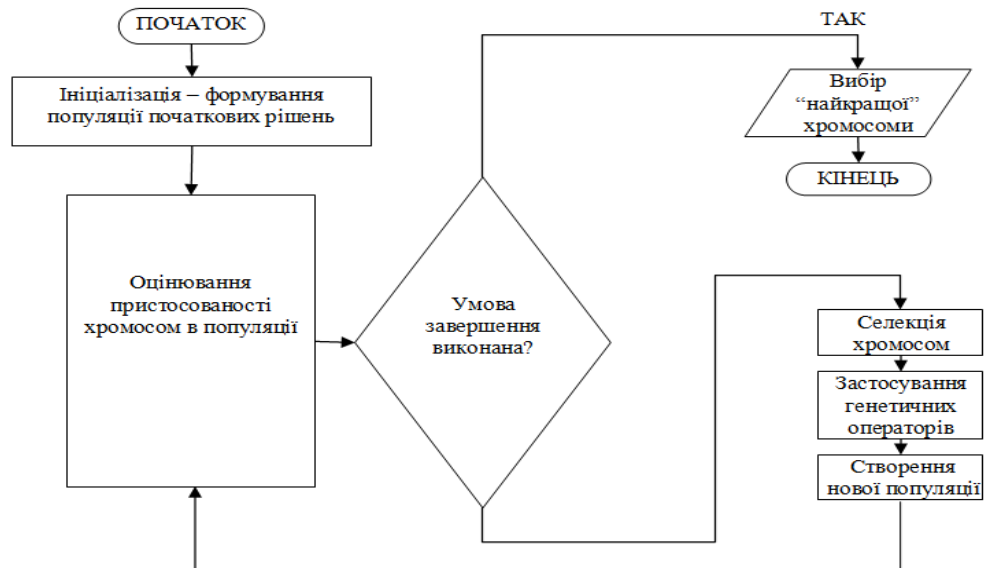


Рис. 5. Схема роботи генетичного алгоритму типу RGA

Fig. 5. Operation scheme of RGA genetic algorithm

Результати

Вибір раціонального інтервалу прямування між поїздами на залізничних коридорах є вкрай важливим, тому що дозволяє здійснювати пропуск спеціалізованих вантажопотоків більш ефективно з позиції витрат на здійснення доставки в кінцевий (опорний) пункт та швидкості цієї доставки. Отриманий результат довів ефективність пошуку раціонального варіанта встановлення інтенсивності руху спеціалізованих поїздопотоків на залізничних напрямках з урахуванням витрат залізниці на тягу та витрат вантажоотримувачів.

На рисунку 6 представлено графік залежності кращих і середніх значень фітнес-функції від кількості ітерацій RGA у процесі знаходження рішення.

Наукова новизна та практична значимість

У дослідженні вперше процес пропуску спеціалізованих поїздопотоків по залізничних коридорах розглянуто як складову єдиного логістичного ланцюга. До цього процесу ми підійшли саме з позиції управління ризиками, коли потрібно визначати час прибуття поїздів із різних напрямків за наявних технічних та технологічних обмежень. У результаті дослідження розроблено програмну реалізацію математичної моделі визначення інтенсивності руху спеціалізованих поїздопотоків на залізничних напрямках з урахуванням балансу витрат залізниці на тягові ресурси та витрат одержувача вантажу. Ця програма дозволяє моделювати вибір часу прибуття поїздів на кінцеву станцію маршрутів із різних напрямків в умовах невизначеності. Експертний аналіз отриманих результатів моделювання довів адекватність рішення.

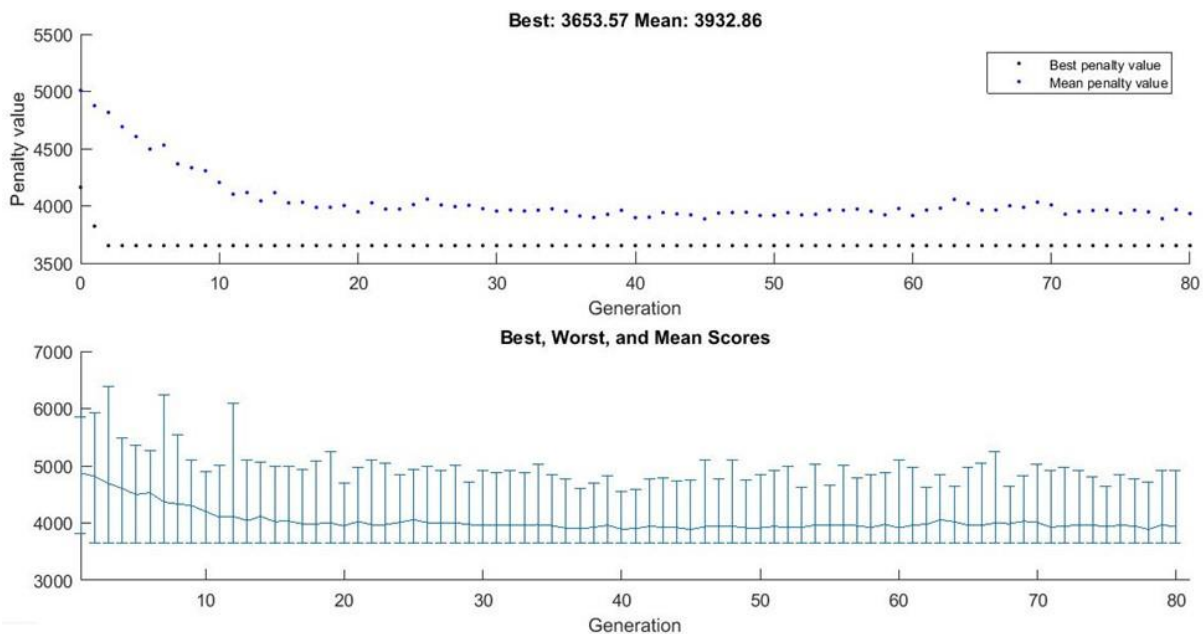


Рис. 6. Графік залежності кращих і середніх значень фітнес-функції від кількості ітерацій RGA у процесі знаходження рішення

Fig. 6. Dependence graph of the best and mean values of the fitness function on the number of RGA iterations in the process of finding a solution

Висновки

Проведене дослідження дало можливість установити залежність інтервалу руху поїздів від парку локомотивів та локомотивних бригад. Пошук оптимального інтервалу прямування поїздопотоків за допомогою розробленої математичної моделі дозволяє управляти супутніми ризи-

ками та мінімізувати експлуатаційні витрати на просування спеціалізованого поїздопотоків.

Подальші дослідження доцільно проводити в напрямі визначення моменту готовності спеціалізованих поїздів до відправлення, що дозволить розробити єдину логістичну технологію просування поїздопотоків безпосередньо від станції формування до кінцевої станції призначення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Александров А. Э., Якушев Н. В. Стохастическая постановка динамической транспортной задачи с задержками с учетом случайного разброса времени доставки и времени потребления. *УБС*. 2006. № 12–13. С. 5–14.
2. Бутько Т. В., Ломотько Д. В., Прохорченко А. В., Олійник К. О. Формування логістичної технології просування вантажопотоків за жорсткими нитками графіка руху поїздів. *Зб. наук. пр. Укр. держ. акад. заліз. трансп.* Харків, 2009. Вип. 111. С. 23–30.
3. Бутько Т. В., Прохоров В. М., Чехунов Д. М. Интеллектуальне управління сортувальними станціями при перевезеннях небезпечних вантажів на основі багатоцільової оптимізації. *Наука та прогрес транспорту*. 2018. № 5 (77). С. 59–70. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/145470>
4. Мишкурин П. Н., Рахмангулов А. Н. *Динамическая оптимизация вагонопотоков* : монография. Москва : РУСАЙНС, 2017. 110 с.
5. Панченко Т. В. *Генетические алгоритмы* : учебно-методическое пособие. Астрахань : Издательский дом «Астраханский университет», 2007. 87 с.
6. Прохорченко А. В., Тревогін О. І., Болкун О. Дослідження пропускнуої спроможності залізничної ділянки на основі побудови параметричних функцій залежності інтенсивності від щільності поїздопотоків. *Зб. наук. пр. Укр. держ. акад. заліз. трансп.* Харків, 2013. № 140. С. 44–48.
7. Butko T., Prokhorchenko A., Muzykin M. An improved method of determining the schemes of locomotive circulation with regard to the technological peculiarities of railcar traffic. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 5. Iss. 3 (83). P. 47–55. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.80471>
8. Butko T., Muzykin M., Prokhorchenko A., Nesterenko H., Prokhorchenko H. Determining the Rational Motion Intensity of Train Traffic Flows on the Railway Corridors with Account for Balance of Expenses on Traction Resources and Cargo Owners. *Transport and Telecommunication Journal*. 2019. Vol. 20. Iss. 3. P. 215–228. DOI: <https://doi.org/10.2478/tjt-2019-0018>
9. Crainic T. G., Kim K. H. Transportation. *Handbooks in Operations Research and Management Science*. 2007. Vol. 14. P. 467–537. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0927-0507\(06\)14008-6](https://doi.org/10.1016/S0927-0507(06)14008-6)
10. Kasalica S., Mandić D., Vukadinović V. Locomotive Assignment Optimization Including Train Delays. *PROMET – Traffic & Transportation*. 2013. Vol. 25. Iss. 5. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.7307/ptt.v25i5.1402>
11. Kyrychenko H., Statyvkа Yu., Strelko O., Berdnychenko Y., Nesterenko Kh. Assessment of cargo delivery quality using fuzzy set apparatus. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7. Iss. 4.3. P. 262–265. DOI: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19800>
12. Kyrychenko H., Nesterenko H., Avramenko S., Lytvynenko S., Yanovsky P., Lytvynenko L. Use of cargo delivery process model for the assessment of logistics service quality. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7. Iss. 4. P. 4514–4518.
13. Nesterenko H. I., Bech P. V., Muzykin M. I., Avramenko S. I. Improvement of Supervisory Control of Train Movement by Means of Introduction of Operational Zones. *Наука та прогрес транспорту*. 2018. № 6 (78). С. 59–70. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/154060>
14. Sivilevičius H. Modelling the interaction of transport system elements. *Transport*. 2011. Vol. 26, No. 1. P. 20–34. DOI: <https://doi.org/10.3846/16484142.2011.560366>
15. Zhu E., Crainic T. G., Gendreau M. Scheduled Service Network Design for Freight Rail Transportation. *Operations Research*. 2014. Vol. 62. Iss. 2. P. 383–400. DOI: <https://doi.org/10.1287/opre.2013.1254>

М. И. МУЗЫКИН^{1*}

^{1*}Каф. «Компьютерные информационные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (095) 251 53 14, эл. почта mihailmuzykin@gmail.com, ORCID 0000-0003-2938-7061

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПОЕЗДОПОТОКОВ В УСЛОВИЯХ РИСКОВ

Цель. Исследование направлено на установление рационального варианта следования специализированных поездопотоков на железнодорожных направлениях путем управления рисками и определения зависимости интервала движения поездов от парка локомотивов и локомотивных бригад. Достичь поставленной цели можно путем установления последовательности стадий генетического алгоритма для реализации математической модели определения интенсивности движения специализированных поездопотоков на железнодорожных направлениях. **Методика.** В исследовании рассмотрен процесс пропуска специализированных поездопотоков по железнодорожным коридорам как составляющую единой логистической цепи. К этому процессу мы подошли с позиции управления рисками, когда нужно определить время прибытия поездов с различных направлений при имеющихся технологических ограничениях. Выбор рационального интервала следования между поездами на железнодорожных коридорах крайне важен, так как позволяет осуществлять пропуск специализированных грузопотоков более эффективно с точки зрения расходов на выполнение доставки в конечный (опорный) пункт и скорости этой доставки. С целью реализации оптимизационной математической модели определения интенсивности движения специализированных поездопотоков на железнодорожных направлениях использовано генетический алгоритм с действительным кодированием (RGA). **Результаты.** Проведенный анализ доказал эффективность поиска рационального варианта установления интенсивности движения специализированных поездопотоков на железнодорожных направлениях с учетом расходов железной дороги на тягу и расходов грузополучателей. Представлен график зависимости лучших и средних значений фитнес-функции от количества итераций RGA в процессе нахождения решения. **Научная новизна.** В результате исследования разработана программная реализация математической модели определения интенсивности движения специализированных поездопотоков на железнодорожных направлениях с учетом баланса расходов железной дороги на тяговые ресурсы и расходов получателя груза. Эта программа позволяет моделировать выбор времени прибытия поездов на конечную станцию маршрутов с различных направлений в условиях неопределенности. Экспертный анализ полученных результатов моделирования доказал адекватность решения. **Практическая значимость.** Данное исследование позволяет установить зависимость интервала движения поездов от парка локомотивов и локомотивных бригад. Поиск оптимального интервала следования поездопотоков с помощью разработанной математической модели позволяет управлять сопутствующими рисками и минимизировать эксплуатационные расходы на продвижение специализированного поездопотока.

Ключевые слова: поездопоток; интенсивность движения; тяговый подвижной состав; риски; генетический алгоритм

М. I. MUZYKIN^{1*}

^{1*}Dep. «Computer Information Technology», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (095) 251 53 14, e-mail mihailmuzykin@gmail.com, ORCID 0000-0003-2938-7061

RESEARCH OF MOTION INTENSITY OF SPECIALIZED TRAIN TRAFFIC VOLUMES UNDER RISKS CONDITIONS

Purpose. The study aims to establish a rational variant for running of specialized train traffic volumes by managing risks and determining the dependence of the train motion interval on locomotive fleet and locomotive crews. It is possible to achieve this purpose by establishing the sequence of stages of the genetic algorithm for implementing

Creative Commons Attribution 4.0 International
doi: <https://doi.org/10.15802/stp2020/203424>

© М. І. Музыкін, 2020

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

a mathematical model for determining the movement intensity of specialized train traffic volumes. **Methodology.** The study examined the process of passing specialized train traffic volumes along railway corridors as part of a single logistics chain. We approached this process from the perspective of risk management when it is necessary to determine the train arrival time from different directions with the existing technological restrictions. The choice of rational interval between the trains running along the railway corridors is extremely important, since it allows the passage of specialized freight traffic volumes more efficiently in terms of delivery costs to the destination and the speed of this delivery. In order to implement an optimization mathematical model for determining the motion intensity of specialized train traffic volumes in railway directions, a real-coded genetic algorithm (RGA) was used. **Findings.** The analysis proved the search efficiency of the rational option for establishing the motion intensity of specialized train traffic volumes, taking into account the railway costs for traction and the costs of consignees. A graph of the best and mean values of fitness function on the number of RGA iterations in the process of finding a solution is presented. **Originality.** As a result of the study, a software implementation of the mathematical model for determining the intensity of specialized train traffic volumes in the railway directions was developed taking into account the balance of rail costs for traction resources and the costs of consignee. This program allows you to simulate the choice of time of trains' arrival to the final station of from different directions in the uncertainty conditions. An expert analysis of the obtained simulation results proved the adequacy of the solution. **Practical value.** This study allows us to establish the dependence of train motion interval on the locomotive fleet and locomotive crews. The search for the optimal interval of train traffic volumes using the developed mathematical model makes it possible to manage the associated risks and minimize operating costs on the specialized train traffic volumes.

Keywords: train traffic volume; motion intensity; traction rolling stock; risks; genetic algorithm

REFERENCES

1. Aleksandrov A. E., & Yakushev, N. V. (2006). Stokhasticheskaya postanovka dinamicheskoy transportnoy zadachi s zaderzhkami s uchetom sluchaynogo razbroza vremeni dostavki i vremeni potrebleniya. *Large-Scale Systems Control*, 12-13, 5-14. (in Russian)
2. Butko, T. V., Lomotko, D. V., Prokhorchenko, A. V., & Olijnyk, K. O. (2009). Formuvannya lohistychnoi tekhnologii prosvannia vantazhopotokiv za zhorstkymy nytkamy hrafika rukhu poizdiv. *Collected scientific works of Ukrainian State Academy of Railway Transport*, 111, 23-30. (in Ukrainian)
3. Butko, T. V., Prokhorov, V. M., & Chekhunov, D. M. (2018). Intelligent control of marshalling yards at transportation of dangerous goods based on multiobjective optimization. *Science and Transport Progress*, 5(77), 41-52. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/145470> (in Ukrainian)
4. Mishkurov, P. N., & Rakhmangulov, A. N. (2017). *Dinamicheskaya optimizatsiya vagonopotokov: monografiya*. Moscow: RUSAYNS. (in Russian)
5. Panchenko, T. V. (2007). *Geneticheskie algoritmy: uchebno-metodicheskoe posobie*. Astrakhan: Izdatelskiy dom «Astrakhanskiy universitet». (in Russian)
6. Prokhorchenko, A. V., Trevohin, O. I., & Bolkun, O. (2013). Doslidzhennia propusknoi spromozhnosti zaliznychnoi dilnytsi na osnovi pobudovy parametrychnykh funktsii zalezhnosti intensyvnosti vid shchilnosti poizdopotokiv. *Collection of scientific works of the Ukrainian State Academy of Railway Transport*, 140, 44-48. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.146.2014.73748> (in Ukrainian)
7. Butko, T., Prokhorchenko, A., & Muzykin, M. (2016). An improved method of determining the schemes of locomotive circulation with regard to the technological peculiarities of railcar traffic. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(3(83)), 47–55. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.80471> (in English)
8. Butko, T., Muzykin, M., Prokhorchenko, A., Nesterenko, H., & Prokhorchenko, H. (2019). Determining the Rational Motion Intensity of Train Traffic Flows on the Railway Corridors with Account for Balance of Expenses on Traction Resources and Cargo Owners. *Transport and Telecommunication Journal*, 20(3), 215-228. DOI: <https://doi.org/10.2478/tjt-2019-0018> (in English)
9. Crainic, T. G., & Kim, K. H. (2007). *Transportation*. Handbooks in Operations Research and Management Science, 14, 467-537. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0927-0507\(06\)14008-6](https://doi.org/10.1016/S0927-0507(06)14008-6) (in English)
10. Kasalica, S., Mandić, D., & Vukadinović, V. (2013). Locomotive Assignment Optimization Including Train Delays. *PROMET – Traffic & Transportation*, 25(5), 421-429. DOI: <https://doi.org/10.7307/ptt.v25i5.1402> (in English)

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

11. Kyrychenko, H., Statyvka, Y., Strelko, O., Berdnychenko, Y., & Nesterenko, Kh. (2018). Assessment of Cargo Delivery Quality Using Fuzzy Set Apparatus. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.3), 262. DOI: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19800> (in English)
12. Kyrychenko, H., Nesterenko, H., Avramenko, S., Lytvynenko, S., Yanovsky, P. & Lytvynenko, L. (2018). Use of cargo delivery process model for the assessment of logistics service quality. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4), 4514-4518. (in English)
13. Nesterenko, H. I., Bech, P. V., Muzykin, M. I., & Avramenko, S. I. (2018). Improvement of supervisory control of train movement by means of introduction of operational zones. *Science and Transport Progress*, 6(78), 59-70. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/154060> (in English)
14. Sivilevičius, H. (2011). Modelling the interaction of transport system elements. *Transport*, 26(1), 20-34. DOI: <https://doi.org/10.3846/16484142.2011.560366> (in English)
15. Zhu, E., Crainic, T. G. & Gendreau M. (2014) Scheduled Service Network Design for Freight Rail Transportation. *Operations Research*, 62(2), 383-400. DOI: <https://doi.org/10.1287/opre.2013.1254> (in English)

Надійшла до редколегії: 22.11.2019

Прийнята до друку: 25.03.2020