

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (275)

УДК 656.2

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАГОННИХ І ГРУПОВИХ ВІДПРАВОК НА ОСНОВІ БРОНЮВАННЯ МІСЦЬ У ВАНТАЖНИХ ПОЇЗДАХ

Магістрант Н. С. Бантюкова, д-р техн. наук А. В. Прохорченко,
аспірант В. В. Білокудря, канд. техн. наук О. О. Журба, студентка В. В. Дідусенко

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY FOR CARRIAGE OF SINGLE WAGON LOAD AND GROUP SHIPMENTS ON THE BASIS OF RESERVATION OF POSITIONS IN FREIGHT TRAINS

Master N. Bantyukova, Dr. Sc. (Tech.) A. Prohorchenko, postgraduate student V. Belokudria,
PhD (Tech.) O. Zurba, student V. V. Didusenko

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.189.2020.213656>

***Анотація.** У даній статті розглянуто завдання підвищення ефективності перевезень вантажів вагонними та груповими відправками на залізничному транспорті України. Вивчено кількісні та якісні показники експлуатаційної роботи залізничних систем України (АТ «Укрзалізниця») і Швейцарії (SBB-CFF-FFS) для можливості формулювання ефективних пропозицій щодо підвищення ефективності операційної роботи з вагонними і груповими відправками холдингу АТ «Укрзалізниця». Проведено експериментальні дослідження та знайдено раціональний варіант плану формування вагонних і групових відправок з прив'язкою до ниток графіка руху та маршрутів прямування вагонних відправок на довільному графі. Застосування запропонованого підходу дозволить забезпечити прозорість і доступність сервісів з перевезення вагонних відправок і, як наслідок, забезпечить адаптацію технологій до зростаючих вимог логістики.*

***Ключові слова:** залізниця, поїзд, вагонна відправка, планування, бронювання.*

***Abstract.** This article explores the problem of increasing the efficiency of freight transportation by single wagon load and group shipments on Ukrainian railways. It is proposed to improve the process of scheduling transportation based on booking seats in freight trains. Quantitative and qualitative indicators of the operational performance of the railway systems of Ukraine (Ukrainian railway) and Switzerland (SBB-CFF-FFS) have been studied, with the aim of formulating effective proposals for improving the efficiency of operating work with rail and group shipments of Ukrainian railway holding. The model of the phase movement of freight trains for carriage of freight carriages in the SBB-CFF-FFS network is investigated. The functions of the "CIS-Online" system for booking of seats in a freight train for the planning of transportation by wagon and group shipments are analyzed. In order to increase the efficiency of the technology of carriage of single wagon load and group shipments on the railway network of Ukraine, it is proposed to formalize the technology of carriage of wagon shipments between stations with the possibility of booking seats in trains. An advanced mathematical model that minimizes the cost of train traffic and shunting work on the railway network, taking into account restrictions on the*

capacity of stations, the processing capacity of stations and the maximum number of wagons in the train. Experimental researches have been carried out and a rational variant of the plan of formation of single wagon load and group shipments has been found, and the timetable and routes of the train carriage on an arbitrary graph are attached to the threads. The application of the proposed approach will allow for the transparency and accessibility of freight carriage services and, as a consequence, will adapt the technology to the growing demands of logistics.

Keywords: railway, train, single wagon load, planning, booking.

Вступ. В умовах кризових явищ з економікою України відбуваються структурні зміни в попиті на вантажні перевезення на залізничному транспорті України. На фоні збільшення державних інвестицій у розвиток автошляхів і зростання точності та швидкості автомобільних вантажних перевезень обсяги вантажів, що можуть перевозитись у вагонних і групових відправках, зменшуються, а залізниця в умовах невизначеності перевізного процесу стає неконкурентоспроможною. Причиною відсутності прогнозованості тривалості перевезень вантажів вагонними відправками є низький рівень надійності перевізного процесу. На невизначеність значно впливає дефіцит магістральної локомотивної тяги в мережі та критичний рівень його зношення, однак аналіз експлуатаційної роботи доводить відсутність ефективних заходів з підвищення якості планування перевезень. Одним із напрямів підвищення ефективності перевезень вантажів у вагонних і групових відправках є зміна концепції операційної моделі їх перевезень на основі цифровізації процесів планування перевезень з можливістю бронювання місць у складах поїздів у межах заздалегідь розрахованого плану формування поїздів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Планування та експлуатація систем залізничного транспорту є надзвичайно важким завданням через комбінаторну складність основних дискретних проблем оптимізації і технічні тонкощі. Однак, використовуючи математичні моделі та методи оптимізації, можна отримати значні вигоди як клієнтам залізниць, так і самій залізниці, наприклад

у плані зниження витрат або покращення якості послуг. Математичні та оптимізаційні моделі можуть призвести до підвищення ефективності роботи залізниць і служать потужним та інноваційним інструментом для вирішення останніх проблем залізничної галузі [1]. Досвід на залізницях світу застосування математичного моделювання в процесах планування перевезень вагонних і групових відправок є досить значним і доводить ефективність прийнятого підходу [2]. Наприклад, у роботі [3] запропоновано евристичний алгоритм на базі еволюційних обчислень для розв'язання задачі ув'язки вагонних відправок у поїзди з визначеними розкладами відправлення в мережі. Одним із передових досвідів підвищення якості планування вагонної відправки є досвід компанії-перевізника SBB Cargo у Швейцарії [4]. Сервісний продукт за назвою Cargo Express компанії-перевізника SBB Cargo Швейцарської федеральної залізниці (SBB) налаштований за моделлю «hub-and-spoke», де вантажні поїзди перевозять вантажі протягом ночі зі станцій навантаження до станцій призначення. Для цього вагони формують у поїзди, які прямують між опорними сортувальними станціями без переробки. Для побудови ефективних планів формування застосовуються різні математичні моделі. У роботі [5] проблеми маршрутизації та оптимізації вирішуються за допомогою трьох різних оптимізаційних моделей планування роботи служби в цілому. Усі моделі вирішують завдання з високим рівнем деталізації: маршрутизація руху, складання розкладу для поїздів, поїздоутворення та прив'язка локомотивів

на мережі. У той же час дотримуються жорсткі обмеження, такі як обмеження на терміни експлуатації локомотивів і поїздів, на перевантаження сортувальних станцій тощо [6].

Цікавим є метод приєднання термінових відправок до регулярних поїздів. Це може відбуватися за допомогою скоординованої оптимізації призначень термінових вантажів на мережі залізничних послуг.

Цікавим є підхід у роботі [7], що виходить з можливості повного використання максимальної місткості составів вантажних поїздів. Запропоновано математичну модель приєднання вагонів до поїздів за розкладом. Мета цього методу полягає в тому, щоб отримати максимальний прибуток від перевезення залізницею термінових вантажів. На залізницях США перевезення вантажів вагонними відправками перевищує половину загальних обсягів перевезень залізницею. Для зменшення переробок вантажних вагонів на сортувальних станціях мережі запропоновано поєднувати в групи (блоки) вагонів для утворення більш далеких наскрізних призначень у межах плану формування поїздів. Був розроблений алгоритм, що використовує нову техніку, відому як великомасштабний пошук (VLSN), здатний вирішити проблему максимальної оптимальності, використовуючи одну-дві години роботи на звичайному комп'ютері вантажної станції [8]. Застосування розробленого алгоритму на основі оптимізації колоній мурах у роботі [9] дозволило ефективно розраховувати місце вагонних відправок у зв'язаних між собою нитках графіка руху вантажних поїздів на всій залізничній мережі.

Визначення мети та завдання дослідження. Дана робота має на меті вивчити світовий досвід удосконалення технології перевезень вагонних і групових відправок на основі формалізації технології розрахунку плану формування поїздів з можливістю бронювання місць у складах

поїздів. Для досягнення даної мети у статті поставлено завдання проаналізувати роботу залізничних систем України та Швейцарії, зокрема в частині перевезень вантажів вагонними відправками, і розробити технології планування на основі удосконалення математичної моделі, що дозволяє мінімізувати витрати на рух поїздів і маневрову роботу на залізничній мережі з урахуванням обмежень на пропускну спроможність дільниць, переробну спроможність станцій і максимальну кількість вагонів у составі поїзда.

Основна частина дослідження. Для дослідження проблем залізничної системи важливим є проведення аналізу її експлуатаційних і економічних показників. Наразі АТ «Укрзалізниця» забезпечує 80,1 % транспортної роботи в загальній структурі перевезень вантажів всіма видами транс-порту (без урахування трубопровідного транспорту) і 32,1 % пасажирських перевезень. Швейцарські федеральні залізниці SBB-CFF-FFS мають частку ринку вантажних перевезень 37,3 % загальної транспортної роботи в країні і 17 % пасажирських перевезень. Зовсім інші фінансові результати залізничних холдингів. Дохід АТ «Укрзалізниця» за 2018 рік склав 76 млрд грн, тоді як чистий прибуток становив 203,9 млн грн. SBB-CFF-FFS за 2018 рік мали дохід CHF 8,451 млрд швейц. фр., а чистий прибуток склав CHF 568 млн швейц. фр. Враховуючи, що для АТ «Укрзалізниця» основні доходи приносять вантажні перевезення, важливим є пошук ефективних технологій перевезень вантажів для зменшення витрат компанії та досягнення більших прибутків.

Для можливості формування ефективних пропозицій щодо підвищення ефективності операційної роботи з вагонними і груповими відправками холдингу АТ «Укрзалізниця» в роботі запропоновано детально дослідити кількісні та якісні показники експлуатаційної роботи залізничних систем

України і Швейцарії. Порівняльний аналіз показників операцій-ної діяльності SBB-CFF-FFS дозволить виявити причини неефективності техноло-гій перевезень вагонних відправок на мережі АТ «Укрзалізниця». Загальна протяжність залізничної мережі Швейцарії досягає 4035,5 км, тоді як експлуатаційна протяжність головних колій в Україні – 21640,4 км. Цікавим є порівняльний аналіз

обсягів перевезених вантажів на залізницях України та Швейцарії. Аналіз показників доводить, що обсяги вантажних перевезень у залізничних системах є співставними. На залізниці Швейцарії спостерігається тренд падіння вантажних перевезень на 9,5 % порівняно з 2017 роком, аналогічна ситуація спостерігається в Україні, за останні 5 років обсяги перевезень скоротились на 10 % (рис. 1).

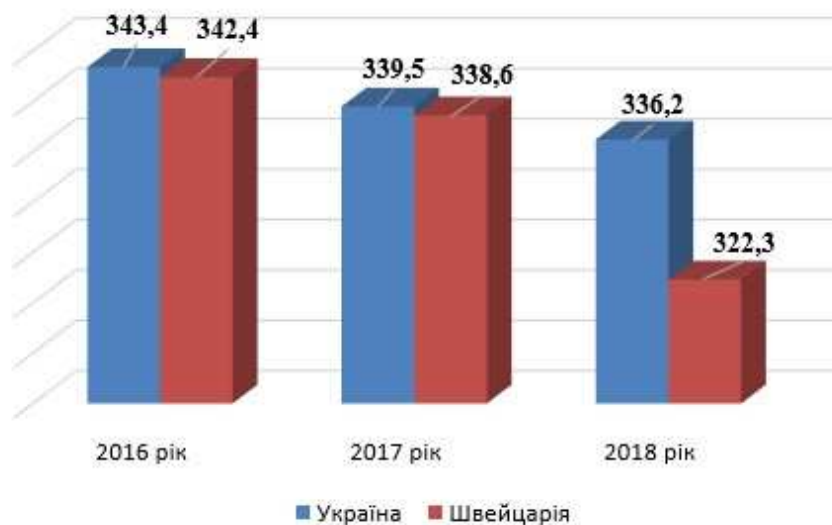


Рис. 1. Кількість перевезених вантажів, млн т, на залізниці України (АТ УЗ) і залізниці Швейцарії (AG SBB)

На зниження показників обсягів перевезень на мережі АТ «Укрзалізниця» вплинули такі фактори:

- відсутність локомотивного парку;
- відсутність компенсацій від держави за пасажирські перевезення;
- зношеність основних виробничих фондів компанії;
- зниження частки транзитних перевезень вантажів;
- ступінь використання технічних засобів;
- надлишкова кількість сортувальних систем;
- великі витрати при перевезеннях вагонних і групових відправок.

Аналізуючи розвиток вагонної відправки в Україні, можна виявити, що

станом на 2018 рік дана частка складає 65 % усіх вантажних перевезень, а маршрутна 35 %, тоді як на залізниці Швейцарії вагонна відправка досягає 16 %, а маршрутна – 84 %, що вказує на покращену роботу залізничної системи (рис. 2) [10].

У 2017 році менеджмент компанії SBB Cargo [11], що є дочірньою компанією холдингу SBB-CFF-FFS, підтвердив, що модель організації перевезень вантажів вагонними відправками є стратегічним бізнесом компанії. Новий підхід базується на формуванні вагонних і групових відправок у поїзди і здійсненні їх руху по мережі на основі зменшення впливу на пікові фази руху пасажирських поїздів. Для вантажних перевезень шукається новий

графік руху зі щоденними трьома фазами (рання фаза, час пік, вантажний рух). Фази руху вантажних поїздів розташовані так, що вони не впливають на рух пасажирських поїздів у ранкові та вечірні години пік [12]. Це дозволяє зменшити вплив пасажирських

поїздопотоків на вантажні і, як наслідок, підвищити точність доставки вантажів вагонними відправками та зменшити невизначеність перевізного процесу (рис. 3).

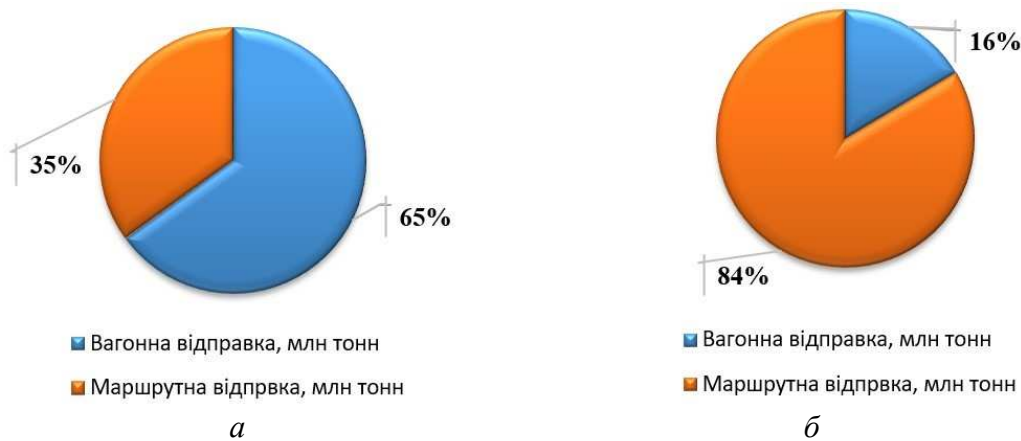


Рис. 2. Частка вагонної відправки в загальних обсягах перевезень за 2018 рік: а – на залізниці України (АТ УЗ); б – на залізниці Швейцарії (AG SBB)

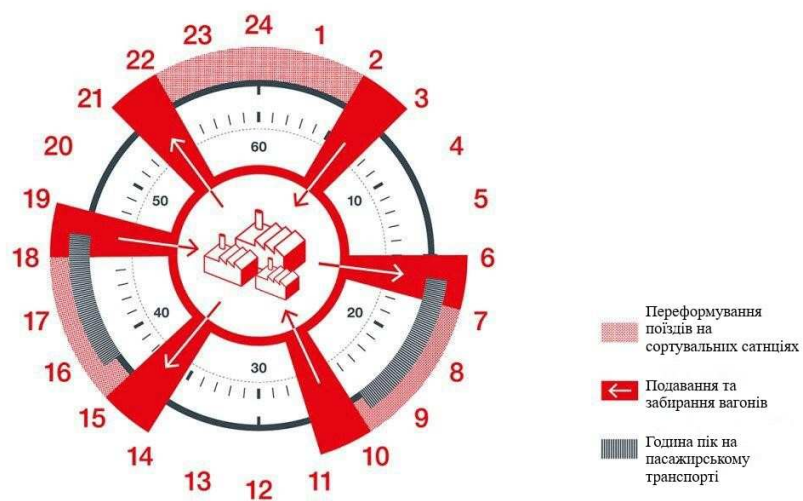


Рис. 3. Графік роботи залізничної мережі SBB-CFF-FFS з фазами руху поїздопотоків

З точки зору транспортного часу, залізничний транспорт порівняно з автомобільним стає більш конкурентоспроможним. Застосування описаної вище технології перевезень вантажів вагонними і груповими відправками компанією-перевізником SBB Cargo на залізниці

Швейцарії дозволяє зменшити витрати на операційну діяльність і, як наслідок, підвищити прибуток. Новий розклад встановлено таким чином, щоб уникати перевантаження залізничної мережі. У межах фазового розкладу руху між основними сортувальними станціями та

станціями навантаження/вивантаження запропонована можливість за допомогою системи CIS-Online бронювати місце у вантажному поїзді для вантажів, що плануються до перевезення вагонними і груповими відправками.

Відповідно до проаналізованої практики удосконалення технології перевезень вагонних і групових відправок на залізничній мережі SBB-CFF-FFS у даному дослідженні запропоновано формалізувати технологію розрахунку плану формування поїздів з можливістю бронювання місць у складах поїздів для залізничної системи України. Для досягнення даної мети в роботі запропоновано формалізувати технологію планування поїздутворення та руху вагонних відправок між станціями мережі.

Відповідно до поставленого завдання в роботі удосконалено математичну модель, що дозволяє мінімізувати витрати на рух поїздів і маневрову роботу на залізничній мережі з урахуванням обмежень на пропускну спроможність дільниць, переробну спроможність станцій і максимальну кількість вагонів у складі поїзда [3]. Для просторового представлення плану руху вагонних і групових відправок запропоновано розглядати граф мережі плану формування вагонних відправок відповідно до заданого графіка руху поїздів $J(P, B)$, де P – множина технічних станцій, на яких відбувається причеплення/відчеплення вагонних відправок, або станція навантаження вагонної відправки згідно з наданими заявками вантажовідправників. Індекс k використовується для позначення конкретної станції; B – множина можливих ниток графіка у мережі $P \times P$, тобто дуга графа $(k, m) \in B$, якщо нитка може бути побудована з пункту k до пункту m .

Для формалізації технології розрахунку плану формування поїздів з можливістю бронювання місць у складах поїздів введемо такі параметри математичної моделі:

$t^{arrive}(k)$ – кількість ниток графіка, що прибувають до k ;

$t^{depart}(k)$ – кількість ниток графіка, що відправляються з k ;

N – множина заявок вантажовідправників, індекс n використовується для позначення вантажу;

$h(n)$ – пункт відправлення вагонної відправки $n \in N$;

$r(n)$ – пункт прибуття вагонної відправки $n \in N$;

W_h – кількість вагонів у відправці або групі $n \in N$;

v_{km} – вартість перевезення в мережі $(k, m) \in B$. У загальному випадку вартість пропорційна довжині дільниці;

C_k – вартість сортування вагонів у пункті $k \in P$;

z_{km} – максимальна кількість вагонів, що може бути перевезено в мережі (провізна спроможність дільниці) $(k, m) \in B$, ваг;

f_k – максимальна кількість вагонів, яка може бути оброблена в пункті, $k \in P$ – переробна спроможність технічної станції, ваг. Застосування моделі можливе для кожного типу продукту (вагона), але тільки для одного з них. Тому задля спрощення пропонується не застосовувати індекс типу вагонної відправки;

a_k – максимальна кількість вагонів у складі поїзда, у якому можливе бронювання місця вагонної відправки на станції $k \in P$, ваг.

Завдання побудови плану поєднання вагонної відправки у склад поїзда має два набори змінних y_{km} та x_{km}^n . Варіант y_{km} набуває значення 1, якщо прийнято рішення використати нитку графіка (забронювати місце в складі поїзда) з

пункту k до m на дільниці $(k, m) \in B$ у визначений час згідно з заданим розкладом, і дорівнює 0 в іншому випадку. Змінна x_{km}^n дорівнює w_n , якщо вагонна відправка n прямує напрямком $(k, m) \in B$, в іншому

випадку дорівнює 0. Завдання побудови плану поєднання вагонної відправки у состав поїзда для можливості розрахунку прийнятного плану формування для бронювання замовником місць у составах поїздів наведено нижче:

$$F = \sum_{n \in N} \sum_{(k, m) \in B} v_{km} x_{km}^n + \sum_{k \in P} \sum_{n \in N} \sum_{(km) \in f^{arrive(k)}} c_k x_{km}^n \rightarrow \min \quad (1)$$

за умови

$$\sum_{(km) \in f^{arrive}} x_{km}^n - \sum_{(km) \in f^{depart}} x_{km}^n = \begin{cases} w_n, & \text{якщо } ok = 0(n) \\ 0, & \text{якщо } ok = 0(n) \text{ або } of(n) \\ -w_n, & \text{якщо } ok = f(n) \end{cases} \quad (2)$$

для всіх $n \in N$,

$$\sum_{n \in N} x_{km}^n \leq z_{km} y_{km} \quad \text{для всіх } (km) \in B, \quad (3)$$

$$\sum_{(km) \in f^{arrive(k)}} y_{km} \leq a_k \quad \text{для всіх } k \in P, \quad (4)$$

$$\sum_{n \in N} \sum_{(km) \in f^{depart(k)}} x_{km}^n \leq f_k \quad \text{для всіх } k \in P, \quad (5)$$

$$y_{km} = 0 \text{ або } 1 \text{ для кожного } (k, m) \in B \text{ та } x_{km}^n = 0 \text{ або } w_n,$$

$$\text{для всіх } (k, m) \in B \text{ та всіх } n \in N. \quad (6)$$

У наведеному описі математичної моделі обмеження (2) і (6) гарантують, що вагонна відправка прямує за нитками між сортувальними станціями від місця навантаження до місця призначення. Обмеження (3) гарантує, що відправка може прямувати довшим шляхом, якщо на ньому є обслуговування, або є доречним приєднання іншої вагонної відправки до состава поїзда, або пропускна спроможність менша чи дорівнює потрібній. Обмеження (4) встановлює кількість ниток графіка, створених для станції, а обмеження (5) встановлює

кількість вагонів, яку станція спроможна прийняти/відправити.

Розв'язання вищенаведеної оптимізаційної математичної моделі дає оптимальний план поєднання вагонної відправки та мінімізування витрати на рух поїздів на залізничній мережі, що дозволить користувачам у межах інтерфейсу інформаційної системи швидко бронювати місця на визначений час відправлення поїзда з деталізацією плану перепричеплень на всьому шляху перевезень. Для перевірки адекватності і точності формалізованої технології в роботі запропоновано програмно реалізувати дану

математичну модель з можливістю її розв'язання методом генетичного алгоритму в середовищі Scilab [13]. Динаміку зміни фітнес-функції генетичного алгоритму (penalty value) від кількості

ітерацій генетичного алгоритму наведено на рис. 4.

Результат моделювання на графі мережі наведено на рис. 5, а, б.

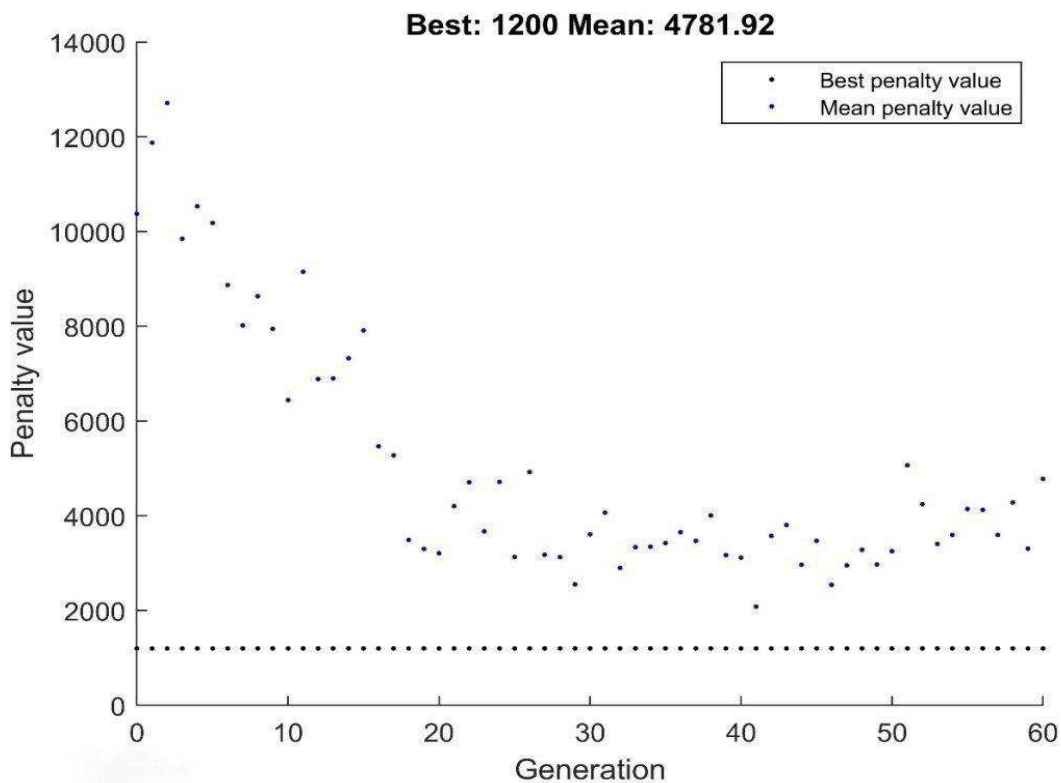
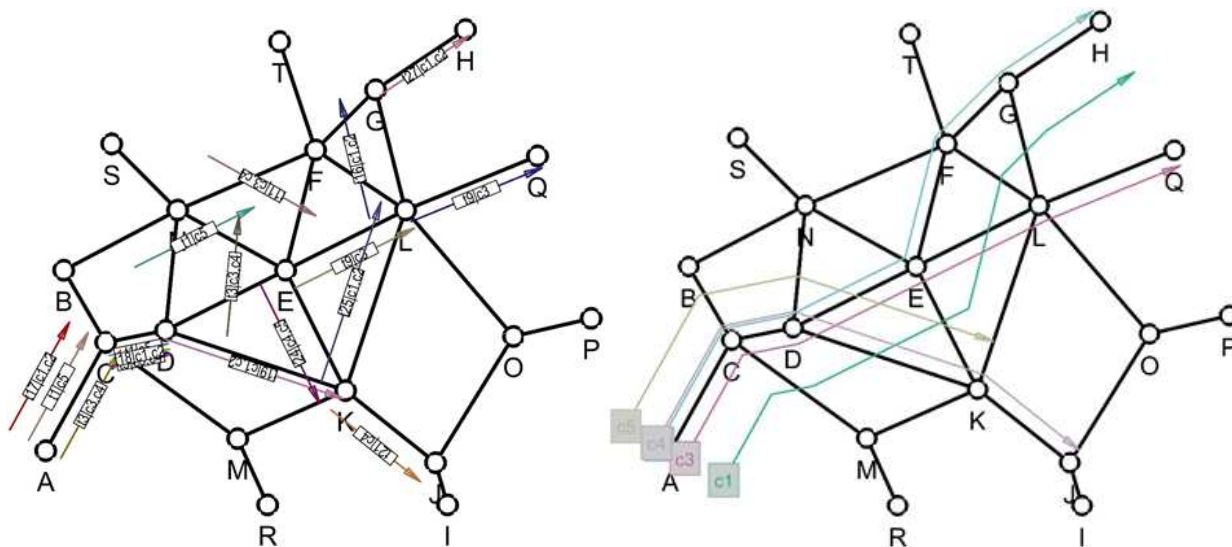


Рис. 4. Графік залежності значень фітнес-функції генетичного алгоритму (penalty value) від кількості ітерацій процедури оптимізації плану формування вагонних відправок генетичного алгоритму



а

б

Рис. 5. Візуалізація результатів розрахунку на довільному графі мережі G :
 а – знайдений раціональний варіант плану формування вагонних і групових відправок з прив'язкою до ниток графіка руху; б – знайдені маршрути прямування вагонних відправок, що були задані до початку розрахунку

Аналіз знайденого оптимального варіанта поїздоутворення з вагонних і групових відправок для можливості бронювання місць у складах поїздів доводить адекватність розробленої моделі шляхом співставлення з логікою побудови ПФП експертним шляхом.

Висновки. Таким чином, впровадження підходу щодо удосконалення технології перевезень вагонних і групових відправок на основі формалізації технології розрахунку плану формуванням поїздів з

можливістю бронювання місць у складах поїздів дозволить АТ «Укрзалізниця» підвищити конкурентоспроможність технології перевезень вагонної та групової відправки в довгостроковій перспективі та зменшити ризики в перевізному процесі для вантажовідправника. Перевезення вагонних і групових відправок стають більш прозорими і ґрунтуються на вимогах клієнта, що дозволяє адаптувати технології перевезень залізниці до зростаючих вимог логістики.

Список використаних джерел

1. Borndorfer R., Lamorgese L., Reuther M., Mannino C. Recent success stories on integrated optimization of railway systems. *Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin*. 2017. P. 196–211.
2. Prokhorchenko A., Parkhomenko L., Kyman A., Matsiuk V., Stepanova J. Improvement of the technology of accelerated passage of low-capacity car traffic on the basis of scheduling of grouped trains of operational purpose. *Procedia Computer Science*. 2019. P. 86-94.
3. A population-based algorithm for the railroad blocking problem. URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/2251-712X-8-8> (last access: 24.12.2019).
4. Optimizing the Cargo Express Service of Swiss Federal Railways. URL: http://www.redaktion.tuberlin.de/fileadmin/i26/download/AG_DiskAlg/FG_KombOptGraphAlg/preprints/2006/Report-028-2006.pdf.(last access: 24.12.2019).
5. Optimization of a Railway Hub-and-Spoke System Routing and Shunting. URL: <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/69341> (last access: 26.12.2019).
6. Ceselli A., Lubbecke M., Gatto M., Nunkesser M. Optimizing the Cargo Express Service of Swiss Federal Railways. 2008. P. 450–465.
7. A Study of the Car-To-Train Assignment Problem for Rail Express Cargos in the Scheduled and Unscheduled Train Services Network. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30303993/> (last access: 28.12.2019).
8. Ravindra K., Krishna C., Jian L. Solving Real-Life Railroad Blocking Problems. *Informa journal on applied analytics*. 2007. P. 401–499.
9. Yaghini M., Foroughi A., Nadjari B. Solving railroad blocking problem using ant colony optimization algorithm. *Applied Mathematical Modelling*. 2011. P. 5579–5591.
10. Прохорченко А. В., Бантюкова Н. С., Пашко Ю. М. Порівняльний аналіз операційних показників залізничних систем України та Швейцарії. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. Наук.-техн. журнал. Харків: УкрДУЗТ, 2019. Вип. 32. С. 18.

11. Прохорченко А. В., Бантюкова Н. С. Нова концепція операційної моделі залізничних перевезень для вагонних і групових для залізничного транспорту України. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. Наук.-техн. журнал. Харків. УкрДУЗТ, 2018. Вип. 31. С. 45-46.

12. Heydenreich T., Lahrman M. How to save wagonload freight. *Railway Gazette International*. 2010. P. 126-129. Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / пер. с польск. И. Д. Рудинского. Москва: Горячая линия–Телеком, 2004. 452 с.

Бантюкова Наталя Сергіївна, магістрант, група 11-Пм-ТТ Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 0938490798. E-mail: bantyukovanata@gmail.com. ORCID ID: 0000-0002-4578-3446.

Прохорченко Андрій Володимирович, доктор технічних наук, професор кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 0666357601.

E-mail: andrii.prokhorchenko@gmail.com. ORCID ID: 0000-0003-3123-5024.

Білокудря Володимир Валерійович, аспірант кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-88. E-mail: v.belokudrya@bigmir.net.

ORCID ID: 0000-0001-5632-618X.

Журба Олег Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Державний університет “Житомирська політехніка”. Тел. (057)730-10-88. E-mail: zhurbaoo@gmail.com.

Дідусенко Вікторія Володимирівна, студентка групи 17-III-ОМП Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 0509386009. E-mail: vvictoria.di@gmail.com.

Bantyukova Natalia, master, Group 11-Pm-TT, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 0938490798.

E-mail: bantyukovanata@gmail.com. ORCID ID: 0000-0002-4578-3446.

Prokhorchenko Andrii, D. Sc. (Tech.), professor, Department of Railway Operation and Management, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 0666357601. E-mail: andrii.prokhorchenko@gmail.com. ORCID ID: 0000-0003-3123-5024.

Belokudria Volodymyr, postgraduate student, Department of Railway Operation and Management, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057)730-10-88. E-mail: v.belokudrya@bigmir.net. ORCID ID: 0000-0001-5632-618X.

Zhurba Oleg, PhD (Tech.), associate professor, Departments of Automobiles and Transport Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University. 0634624149. E-mail: zhurbaoo@gmail.com.

Didusenko Victoria Vladimirovna, student group 17-III-OMP Ukrainian State University of Railway. Tel: 0509386009. E-mail: vvictoria.di@gmail.com.

Статтю прийнято 10.02.2020 р.