

3. «Інструктивні вказівки з організації вагонопотоків на залізницях України» [Текст] / Затв. Наказом Укрзалізниці від 29.12.2004 № 1028 – ЦЗ. – К.: ТОВ «Швидкий рух», 2005. – 100 с.
4. Козаченко, Д. Н. Проблемы стимулирования отправительской маршрутизации на железнодорожном транспорте [Текст] / Д. Н. Козаченко // Вісник Східноукраїнського Національного Університету імені Володимира Даля. – 2013. – № 3(192). – С. 207–211.
5. Шиш, В. О. Автоматизація та механізація технологічних процесів на сортувальних станціях [Текст] / В. О. Шиш // Заліз. трансп. України. – 2011. – № 3. – С. 44–47.
6. Козаченко, Д. Н. Проблемы использования частных локомотивов для выполнения перевозок на магистральном железнодорожном транспорте [Текст] : зб. наук. пр. / Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, Н. И. Березовый // ДНУЗТ «Транспортні системи і технології перевезень». – 2012. – № 3. – С. 40–46.
7. Верлан, А. І. Підвищення ефективності управління приватним вагонним парком за рахунок відправницької маршрутизації порожніх вагонопотоків [Текст] / А. І. Верлан, Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора // Заліз. трансп. України. – 2012. – № 6. – С. 35–37.
8. Козаченко, Д. Н. Перспективы использования частной локомотивной тяги на магистральном железнодорожном транспорте Украины [Текст] / Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, Н. И. Березовый // Українські залізниці – 2013. – № 1. – С. 50–54.
9. Березовый, Н. И. Организация взаимодействия промышленных предприятий при перевозке металлургической продукции [Текст] / Н. И. Березовый, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкин // Труды РГУПС – 2013. – № 2. – С. 12–17.
10. Березовый, Н. И. Особенности работы подъездного пути «МЗ «Интерпайп Сталь» при отгрузке готовой продукции на внешнюю сеть [Текст]: Зб. наук. пр. / Н. И. Березовый, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкин // ДНУЗТ «Транспортні системи і технології перевезень». – 2013. – № 5. – С. 12–16.
11. Вернигора, Р. В. Анализ технологии работы подъездного пути ООО «Интерпайп Нико Тьюб» при выгрузке маршрутов с трубной заготовкой [Текст] : зб. наук. пр. / Р. В. Вернигора, Н. И. Березовый, А. М. Шепета // ДНУЗТ «Транспортні системи і технології перевезень». – 2013. – № 5. – С. 25–31.

Сформовано математичну модель, яка формалізує технологічний процес управління парком вантажних вагонів операторських компаній у вигляді оптимізаційної задачі з цільовою функцією, яку надано у вигляді сумарних експлуатаційних витрат за період планування і системою обмежень на технічних і технологічних умовах. Для рішення задачі запропоновано використовувати математичний апарат генетичних алгоритмів

Ключові слова: перевізний процес, операторські компанії, парк вантажних вагонів, автоматизована система управління

Сформировано математическую модель, которая формализует технологический процесс управления парком грузовых вагонов операторских компаний в виде оптимизационной задачи с целевой функцией, предоставленной в виде суммарных эксплуатационных расходов за период планирования и системой ограничений на технических и технологических условиях. Для решения задачи предложено использовать математический аппарат генетических алгоритмов

Ключевые слова: перевозочный процесс, операторские компании, парк грузовых вагонов, автоматизированная система управления

УДК 629.46

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ПАРКОМ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ОПЕРАТОРСЬКИХ КОМПАНІЙ

Т. В. Бутько

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: uermp@ukr.net

О. Е. Шандер

Аспірант*

E-mail: shander04@yandex.ru

*Кафедра управління

експлуатаційною роботою

Українська державна академія

залізничного транспорту

м. Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050

1. Вступ

В даний час в умовах реформування залізничного транспорту України та формування конкурентного середовища одним із основних напрямків є вирішення

завдання створення автоматизованої системи управління парком вантажних вагонів різних форм власності.

Досвід реформування залізниць в провідних країнах Європи довів, що одним із заходів удосконалення

організації перевезень є збереження мережі залізниць у власності держави та створення конкурентного середовища на залізничному транспорті шляхом залучення незалежних операторів перевезень. Європейська модель передбачає створення незалежних операторів перевезень – підприємств (власників вагонів), що виступають як організатори та виконавці перевезень вантажів на комерційній основі, та залізничного підприємства, що монопольно володіє мережею залізниць і дає доступ до своєї мережі шляхом виділення оператору перевезень за певну плату ниток графіку або частини пропускної спроможності залізничної мережі, яка необхідна для проходження поїзда між двома пунктами протягом певного часу [1].

2. Постановка задачі

Якщо розглядати європейський варіант організації вантажних перевезень, то зміни в організації перевізного процесу в основному будуть стосуватися питань щодо доступу операторів до залізничної мережі та самостійного управління власним парком вагонів [2, 3].

Виходячи з цього, потребує вирішення задача розподілу та прикріплення відповідних вагонів операторів за маршрутом слідування вантажного поїзда. Формування маршрутів та виділення нитки графіку може бути реалізовано за двома варіантами:

1 варіант – коли склад формується на відповідній станції відправлення одним оператором і він безпосередньо займає нитку графіку.

2 варіант – коли склад формується на різних станціях різними операторами, але їм відповідно теж виділяється нитка графіку [4, 5].

3. Аналіз останніх досліджень

Проблемі управління парком вантажних вагонів в останній час приділяють пильну увагу вчені і практики залізничного транспорту. Але більшість робіт, опублікованих в останній час присвячені розвитку та вдосконаленню вже існуючих технологій і методів управління вантажними вагонами, що зосереджені на централізації в розподіленні вагонів відповідних операторів, при цьому вони мало враховують окреме управління парком вагонів операторськими компаніями. Існуючі методи планування не повною мірою вирішують питання раціонального регулювання вагонним парком як на мережі в цілому так і для дирекцій перевезень. Це положення ґрунтується на існуванні ряду факторів: переходу до ринку транспортних послуг, наявності сезонності перевезень, людського, економічного та інших. Тому, для широкого впровадження нових методик у виробництво, необхідним етапом є цілий ряд складних наукових досліджень та використання сучасних інноваційних технологій. Виходячи з цього, в роботах [6 – 8] задачі регулювання вагонопотоків на залізниці запропоновано на основі впровадження ефективних методів розподілу рухомого складу на базі сучасних інформаційних технологій з розробкою автоматизованих систем підтримки прийняття рішень на основі принципів ресурсозбереження. Перехід до нових методів організації перевізного процесу не-

можливий без оцінки міжнародного досвіду. У міжнародних наукових роботах велика увага приділяється визначенню ефективності роботи транспорту в умовах нерівномірних виробничих процесів і побудові раціональної маршрутної мережі. Для цього широко використовуються різні економіко-математичні методи моделювання, зокрема, комп'ютерне моделювання.

4. Вирішення задачі розподілення вагонів за маршрутами

Вибір оптимального плану розподілу вагонів за маршрутами в основному залежить від кількості подачі вагонів операторських компаній на станціях залізничної мережі та їх розташування у просторі та часі. Такі умови потребують з одного боку дослідження і прогнозування динаміки надходження вагонів для маршрутів, враховуючі інерційність системи, а з іншого – дослідження особливостей топології залізничної мережі, або інших підсистем транспортної мережі [9].

З урахуванням цього представимо залізничну мережу як зважений граф $G(I, J)$, вершинами якого є залізничні станції, а ребрами – колії, що їх з'єднують. Таким чином, множина $I(i=1, n)$ - це множина вершин, тобто залізничних станцій, а множина $J(j=1, m)$ – це множина ребер, тобто колій, що їх з'єднують. Надамо вагу вершинам і ребрам графу $G(I, J)$. У якості функцій на вершинах оберемо інтенсивність вагонопотоку $\lambda_i = \lambda(i, t)$, де t – час в межах інтервалу планування. При цьому, якщо величина $\lambda(i, t) > 0$, то станція i в момент t виконує операції пов'язані з відправленням вагонів і потік надходить в систему, якщо $\lambda(i, t) < 0$, то станція i в момент t виконує операції пов'язані з очікуванням відповідних вагонів, якщо $\lambda(i, t) = 0$, то станція i або закрыта для операцій, або їх не виконує на момент часу t .

Доцільно у якості ваги ребер обрати довжину колій $S(j)$ та їх пропускну спроможність $r(j)$. Ці величини будемо вважати постійними.

На рис. 1 подано в загальному вигляді залізничну мережу.

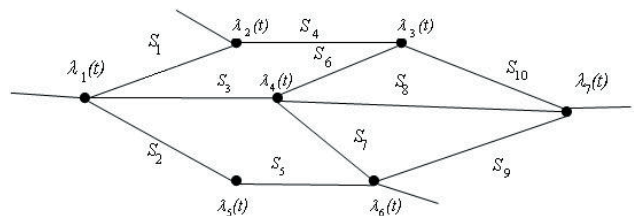


Рис. 1. Загальний вигляд залізничної мережі

Спираючись на вищенаведені передумови, цільову функцію моделі можна надати у неявному вигляді наступним чином:

$$C = f(G(I, J), \lambda(i, t)R) \Rightarrow \min, \tag{1}$$

де R – кількість поїздів, які можуть бути задіяні на відповідних маршрутах на залізничній мережі.

У якості обмежень необхідно врахувати наступні чинники:

$$- \text{обмеження по довжині складу вантажного поїзду}$$

$$\sum_{i=1}^P \lambda_i(i) \leq L_i, \quad (2)$$

де L_i – довжина приймально-відправних колій на i -тій станції;

P – кількість станцій у циклі заїзду по маршруту поїзда.

– обмеження по вантажопідйомності вантажного поїзда

$$\sum_{i=1}^P \int_{t_{0i}}^{t_{ki}} \lambda_i(i) dt \leq Q_a, \quad (3)$$

де Q_a – максимальна вантажопідйомність вантажного поїзду;

t_{0i} – момент початку операцій на i -тій станції;

t_{ki} – момент закінчення операцій на i -тій станції.

– обмеження, які пов'язані із пропускною спроможністю дільниць

$$\sum_j N_{\text{вант.}j}^{\text{наявн}} - \sum_j N_{\text{вант.}j}^{\text{вик.}} \geq \sum_j R_j, \quad (4)$$

де $\sum_j N_{\text{вант.}j}^{\text{наявн}} = r_j$ – наявна пропускна спроможність j -ї дільниці у поїздах,

$\sum_j N_{\text{вант.}j}^{\text{вик.}}$ – потрібна пропускна спроможність для виконання плану перевезень.

– обмеження по швидкості пересування

$$V_{aj} \leq V_{xj}, \quad (5)$$

де V_{aj} – швидкість пересування вантажного поїзда по j -му ребру,

V_{xj} – норма ходової швидкості.

Для формалізації процедури планування формування маршрутів поїздів визначимо вихідні дані.

Нехай W – матриця кортежей, яка містить повну інформацію про заявки щодо надходження вагонів на плановий період, де $a [n, s, t]$ – елементарний кортеж, у який входять: порядковий номер заявки, порядковий номер станції відправлення вагона на полігоні, порядковий номер станції призначення, час подачі вагона на відповідній станції. Кількість кортежів (строк) матриці дорівнює N . N – кількість заявок на плановий період.

D – квадратна матриця відстаней у залізничному сполученні між станціями полігону (матриця суміжності зваженого графу $G(I, J)$, де вагою ребер є відповідні відстані $S(j)$). Кожен елемент матриці можна знайти за формулою:

$$D_{ab} = \sum_{j \in L_{ab}} S(j) \quad (6)$$

за умови $L_{ab} \leq r(j)$,

де L_{ab} – множина ребер графу, які представляє найкоротший шлях між станціями a і b , який доцільно знайти за алгоритмом Дейкстри.

$S(j)$ – довжина перегону, що відповідає j -му ребру графа G .

T – квадратна матриця відстаней у часі у залізничному сполученні між станціями полігону, яку можна

знайти аналогічно матриці D , використовуючи замість довжин перегонів перегонні часи ходу.

R – матриця кортежем, яка містить інформацію про вантажні поїзди, до яких можуть бути причеплені або відчеплені вагони за відповідним маршрутом, також до матриці входять поїзди, що спеціально формуються у відповідності з заявками за маршрутами, де $[tk, p]$: tk – час прибуття поїзда на станцію, p – номер поїзда.

X – матриця кортежей, яка представляє набір змінних моделі, елементарний кортеж $x [n, k, z, q]$ містить наступні атрибути: n – номер замовлення про подачу вагонів на станції, k – номер вантажного поїзда, що обслуговує це замовлення, z – тип операції, цей атрибут містить значення 0 якщо виконуються операції на станції по відчепленню вагонів і 1 якщо виконується операції по причепленню вагонів. Це означає, що кожному замовленню відповідають 2 кортежі матриці X , q – порядковий номер операції, що виконується поїздом k .

Тоді процес планування можна представити у вигляді оптимізаційної моделі. Враховуючи вихідні дані, цільова функція прийме наступний вигляд:

$$C(X) = c_{\text{ПК}} \sum_{i=1}^N D_{W_{X_i, 2+X_i, 3}, W_{X_{i+1}, 2+X_{i+1}, 3}} | (R_{X_{i,1}} - W_{X_{i,4}}) | \times$$

$$\times \left(\left| \text{Sgn} \left(j - X_{i,2} \right) \right| + 1 \right) +$$

$$+ (c_{\text{ПГ}} + c_{\text{ВГ}}) \sum_{i=1}^N T_{W_{X_i, 2+X_i, 3}, W_{X_{i+1}, 2+X_{i+1}, 3}} | (R_{X_{i,1}} - W_{X_{i,4}}) | \times \quad (7)$$

$$\times \left(\left| \text{Sgn} \left(j - X_{i,2} \right) \right| + 1 \right) +$$

$$+ c_{\text{МАНГ}} \sum_{i=1}^N \left(W_{X_i} \cdot \left(\left| \text{Sgn} (R - X_i) \right| + 1 \right) \right) \rightarrow \min,$$

де $c_{\text{ПК}}$ – витратна ставка за поїздо-кілометр, грн/км.

$c_{\text{ПГ}}$ – вартість поїздо-години, грн/год.

$c_{\text{ВГ}}$ – вартість вагоно-години, грн/год.

$c_{\text{МАНГ}}$ – вартість маневрово-години, грн/год.

Перший доданок функції представляє частину собівартості перевезень, що пов'язана з кожним формуванням поїздів за маршрутом слідування і включає витрати на заробітну плату, споживання енергоносіїв та витрати на технічне обслуговування всіх пристроїв. Другий доданок представляє частину собівартості перевезень, яка включає витрати пов'язані з простоем вагонів на станціях в очікуванні поїздів. Третій доданок включає статті витрат, які пов'язані з маневровою роботою на станціях за маршрутом слідування поїзда, що враховує витрати на заробітну плату робітників, які приймають участь у маневрах та витрати на енергоносії для маневрових тепловозів.

Враховуючи складність задачі, так як розмір матриць суміжності коливається в межах (396x412), то для її вирішення запропоновано оригінальний евристичний метод, що використовує математичний апарат генетичних алгоритмів Існує значна кількість операторів відбору, схрещення і мутації, комбінація яких обумовлює існування різних типів генетичних алгоритмів, які мають принципові відмінності. Ці відмінності є настільки суттєвими, що задачі оптимізації певного типу можна вирішити лише за допомогою певного типу генетичного алгоритму. Для вирішення нестандартної задачі може знадобитися створення спеціальних опе-

раторів відбору, схрещення і мутації, які будуть пристосовані до особливостей задачі і типів даних, які відображають рішення. Слід зазначити, що генетичні алгоритми різних типів можуть відрізнятися не лише типами генетичних операторів, але і принципами організації і послідовністю виконання обчислень [10].

Таким чином, для успішного застосування математичного апарату генетичних алгоритмів для вирішення оптимізаційної задачі потрібно обрати тип генетичного алгоритму, обрати або створити генетичні оператори, створити фітнес-функцію. Але найбільш важливим є спосіб представлення рішення у вигляді хромосоми. Цей спосіб пов'язаний з типом генетичного алгоритму, разом з яким він буде застосовуватись, тому створити спосіб представлення рішення у вигляді хромосоми і обрати тип генетичного алгоритму потрібно одночасно. Запропонована структура хромосоми зображена на рис. 2.

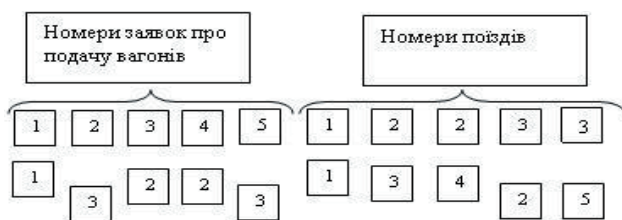


Рис. 2. Структура хромосоми для пошуку оптимального плану розподілу вагонів за маршрутами поїздів

Хромосома складається з двох частин, гени першої частини зіставляють номери заявок з номерами поїздів, які їх виконують, друга частина генів містить

інформацію про маршрут слідування відповідних поїздів.

5. Висновок

Сучасні підходи з удосконалення технології організації управління парком вантажних вагонів повинні бути спрямовані на підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту за рахунок надання залізничній підсистемі властивостей інваріантності, яку доцільно розглядати як компроміс між її стійкістю та гнучкістю. З метою надання залізничній системі цих властивостей, було сформовано оптимізаційну модель, яка формалізує технологічний процес управління парком вантажних вагонів операторських компаній, з цільовою функцією у вигляді сумарних експлуатаційних витрат і відповідною системою обмежень, яка враховує технічні і технологічні умови процесу формування відповідних маршрутів.

Сформована оптимізаційна модель адекватно відтворює умови процесу перевезення, яка забезпечує скорочення транспортних витрат за умови задоволення вимог клієнтів (операторів).

Враховуючи складність задачі для її вирішення запропоновано використовувати евристичний метод, заснований на математичному апараті генетичних алгоритмів, який дозволяє отримувати достатньо оптимальний план розподілу вагонів за маршрутами і передбачає формування автоматизованої технології управління парком вантажних вагонів різних форм власності, що забезпечить оптимальне управління вагонним парком.

Література

1. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Електронний ресурс] / Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. №1555-р. – Режим доступу: <http://www.mintrans.gov.ua/uk/discussion/15621.html/10.12.2009>. – Загол. з екрану.
2. Jamili, A. A Mathematical Model for Train Routing and Scheduling Problem with Fuzzy Approach [Text] : proc. of the 2012 inter. conf. / A. Jamili // Industrial Engineering and Operations Management Istanbul. – Turkey, 2012. – P. 90–99.
3. Yue, Y. Multi-route railroad blocking problem by improved model and ant colony algorithm in real world [Text] / Y. Yue, L. Zhou, Q. Tue, Z. Fan // Computers & Industrial Engineering. – 2011. – Vol. 60, № 1. – P. 34–42.
4. Verma, M. A Tactical Planning Model for Railroad Transportation of Dangerous Goods [Text] / M. Verma, V. Verter, M. Gendreau // Transportation Science. – 2011. – Vol. 45, № 2. – P. 163–174.
5. Ahuja, R. K. Solving Real-Life Railroad Blocking Problems [Text] / R. K. Ahuja, K. C. Jhu, J. Liu // Interfaces. – 2007. – Vol. 37, № 5. – P. 404–419.
6. Кулешов, В. В. Удосконалення технології перевезень парком вагонів операторських компаній на станціях вузла [Текст] : зб. наук. праць / В. В. Кулешов, О. Ю. Толбатов, Т. Р. Чурилик // Харків: УкрДАЗТ. – 2013. – Вип. 135. – С. 107–112.
7. Кулешов, В. В. Удосконалення інформаційної технології роботи з вагонами різних форм власності з метою оптимізації пропускної спроможності залізничних транспортних систем [Текст] : зб. наук. праць / В. В. Кулешов // Харків: УкрДАЗТ. – 2011. – Вип. 124. – С. 83–90.
8. Данько, М. І. Формування вимог до технології взаємодії залізничних адміністрацій і власників рухомого складу [Текст] : зб. наук. праць / М. І. Данько, Д. В. Ломотько, В. М. Запара, В. В. Кулешов // Харків: УкрДАЗТ. – 2011. – Вип. 124. – С. 5–11.
9. Бутько, Т. В. Формування автоматизованої технології місцевої роботи на основі використання автономного збірного поїзда [Текст] / Т. В. Бутько, Д. В. Каньовська // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2013. – Вип. 4. – С. 39–45.
10. Гладков, Л. А. Генетические алгоритмы [Текст] / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик. – М : Физматлит, 2006. – 402 с.