

УДК 656.2

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.84109

РОЗРОБКА МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ПЛАНУ ФОРМУВАННЯ ПОЇЗДІВ НА ОСНОВІ СТОХАСТИЧНОЇ КОМБІНАТОРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

© В. М. Прохоров

DEVELOPMENT OF CALCULATION METHOD FOR RAILWAY TRAIN FORMATION PLAN ON THE BASIS OF STOCHASTIC COMBINATORIAL OPTIMIZATION

© V. Prokhorov

Найбільші можливості для скорочення добових вагоно-годин простою полягають у раціоналізації організації вагонопотоків. Тому розробка якісного плану формування поїздів є найбільш ефективним заходом економії добових вагоно-годин накопичення. Представлений метод розрахунку плану формування поїздів розроблений на основі принципів стохастичної оптимізації і використовує у якості імовірного параметру параметр накопичення. Це дасть змогу знайти найбільш вигідний варіант плану формування

Ключові слова: план формування поїздів, параметр накопичення, стохастично-комбінаторна оптимізація, генетичний алгоритм

The greatest opportunities to reduce the dwell car-hours of freight railway cars are in rationalization of organization of car-traffics. Therefore, the development of high-quality train formation plan is the most effective measure for saving of car-hours of accumulation. The presented calculation method for railway train formation plan is developed on the basis of stochastic optimization and uses accumulation parameter as probabilistic parameter. This approach will allow finding the most profitable variant of train formation plan

Keywords: train formation plan, accumulation parameter, stochastic combinatorial optimization, genetic algorithm

1. Вступ

Як показав аналіз функціонування підсистеми вантажних залізничних перевезень, процес накопичення вагонів і формування составів відіграє ключову роль. Тривалість накопичення одного составу залежить від потужності вагонопотоку даного призначення. Основними показниками процесу накопичення составів є: сумарні вагоно-години накопичення для даного призначення за добу, середній час простою одного вагону під накопиченням, середній час накопичення составу.

Для прискорення процесу накопичення составів застосовуються наступні заходи: забезпечення пріоритету розпуску составів, які включають замикаючі групи вагонів для завершення накопичення інших составів, забезпечення підводу великих груп вагонів під кінець процесу накопичення составів, формування поїздів підвищеної маси, а також інші заходи, які передбачають при розробці оперативних планів на добу, зміну, 6-ти годинні періоди роботи і які націлені на пришвидшення ритму роботи станції [1]. Але навіть при раціонально організованому процесі роботи станцій простій вагонів з переробкою складає майже половину від загального часу знаходження вагонів на станції.

Але найбільші можливості для скорочення добових вагоно-годин простою все ж таки у раціоналізації організації вагонопотоків. Тому розробка якісного плану формування поїздів є найбільш ефективним заходом економії добових вагоно-годин накопичення.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

План формування передбачає організацію вагонопотоків на сортувальних, дільничних і вантажних станціях і повинен забезпечити:

– підвищення продуктивності вагону і пришвидшення доставки вантажу завдяки скороченню часу знаходження на технічних станціях під накопиченням і переробкою;

– зменшення витрат на перевезення від скорочення і здешевлення переробки вагонів і концентрації маневрової роботи переважно на добре технічно оснащених сортувальних станціях;

– раціональне розподілення сортувальної роботи між станціями у відповідності з їх технічним оснащенням [2].

У роботах [3] та [4] розглядається метод абсолютного розрахунку плану формування поїздів, у роботі [4] також розглядається метод суміщених аналітичних зіставлень. У роботі [5] розглядається метод поступового покращення плану.

На північноамериканському континенті задачею, яка є ключовою у галузі організації вагонопотоків є задача компонування вагонів у блоки і закріплення їх за поїздами, з одночасним вирішенням задачі планування роботи локомотивів і локомотивних бригад. В роботі [6] пропонується спеціально розроблений метаевристичний метод, але невелика розмірність задачі, що наведена у якості приклада його реалізації свідчить про його недосконалість. В роботі [7] запропоноване формулювання задачі маршрутизації

вагонопотоків, як задачі визначення структури графа, в якій залізничні станції представляють вершини а блоки вагонів – дуги, для вирішення задачі запропоновано алгоритм створений на основі алгоритму гілок та границь, який генерує маршрут для кожного блоку, вирішуючи задачу пошуку найкоротшого шляху. Як недолік даної розробки слід зазначити недотримання нормативної кількості вагонів у поїздах, а також складність застосування для реальних залізничних полігонів, тому що одночасному оперуванню вагонами і блоками на всьому полігоні задача маршрутизації вагонопотоків переходить до класу задач великої і надвеликої розмірності.

У статті шведських дослідників [8], що опублікована в журналі Європейського консорціуму з досліджень у галузі інформатики і математики, пропонується метод вирішення задачі розформування-формування поїздів на сортувальній станції за допомогою застосування багатостадійного формування «тимчасових» составів, кількість яких регулюється моделлю в залежності від наявності вільних колій. Задача формування составів сформульована як багатопродуктова потокова задача, вирішення якої пропонується за допомогою комп'ютерної програми-вирішувача, яка використовує алгоритм на основі комбінації декількох методів математичного програмування з обмеженнями. У статті [9] запропоновані математичні моделі на базі використання нейронечітких мереж для визначення доцільності формування і маршруту слідування групових поїздів. Також у статті запропонована оригінальна методика оперативного корегування плану формування поїздів на основі використання еволюційного відбору. У статті [10] запропонований оригінальний підхід до вирішення задачі раціонального розподілення сортувальної роботи між технічними станціями мережі залізниць, яка враховує побажання вантажовідправників і повинна забезпечити гарантії своєчасної доставки вантажів у погоджених з замовником термінах.

Хоча базовий принцип економії вагоно-годин накопичення залишається незмінним, але розглянуті методи вже майже втратили актуальність з точки зору практичного застосування. Вони розроблялися для ручних розрахунків, їх застосування можливе лише для полігонів які налічують не більше 10-12 технічних станцій, і 1–2 відгалуження.

3. Мета та задачі дослідження

Метою даного дослідження була розробка методу розрахунку мережевого плану формування одногрупних вантажних поїздів, який повинен стати основною складовою сучасної багаторівневої системи управління вагонопотоками.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні основні задачі:

1. створити математичну модель для використання у якості цільової функції для вирішення оптимізаційної задачі розрахунку плану формування поїздів;
2. створити на основі моделі програмне забезпечення для проведення комп'ютерного моделювання;
3. за допомогою комп'ютерного моделювання перевірити працездатність методу.

4. Матеріали і методи дослідження

Побудова плану формування поїздів є складною комбінаторною задачею, яка представляє значну обчислювальну складність. Але завдяки використанню сучасної обчислювальної техніки і сучасного математичного апарату подолання обчислювальної складності є можливим. Важливим параметром, який безпосередньо пов'язаний з величиною витрат часу на простій вагонів під час формування поїздів є параметр накопичення. Можливості впливу на цей величину параметру накопичення є невеликими, лише у межах 5–10 %, але його врахування під час розрахунку плану формування поїздів дасть змогу покращити параметри розрахованого плану. Для цього потрібно увести у цільову функцію моделі параметри накопичення составів по напрямках на сортувальних станціях у якості стохастичних змінних. Таким чином задача пошуку оптимального плану формування поїздів у такій постановці відноситься до задач стохастичної комбінаторної оптимізації. Для пошуку оптимального плану формування поїздів пропонується застосування математичного апарату генетичних алгоритмів, який є одним із основних напрямів еволюційних обчислень.

$$C(x, c) = e_{B,r} \sum_{i=1}^w \left[\left(c_i m_i + \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{c_i - \bar{c}_i}{\sigma_i \sqrt{2}} \right) \right) (c_i - \bar{c}_i) m_i \times \right. \\ \left. \times \operatorname{Sgn} \left(\operatorname{Sgn} (c_i - \bar{c}_i) + 1 \right) + \left(t_i^{\text{обп}} + t_i^{\text{поз}} \right) \sum_{u=1}^k n_u x_{iu} \right] \operatorname{Sgn} \left(\sum_{d=1}^k x_{dj} \right) + \\ + \sum_{j=1}^q \left(x_{ij} n_j \left(\sum_{h=2}^{q_i-1} t_{hi}^{\text{тран}} + \sum_{r=1}^{z_i} \frac{L_{jr}}{V_{ir}^{\text{діл}}} \right) \right) \rightarrow \min,$$

де w – кількість всіх можливих призначень, m_i – норма кількості вагонів у складі поїзда на i -тому призначенні; c_i – поточний параметр накопичення i -того призначення; \bar{c}_i – математичне очікування величини параметру накопичення i -того призначення; σ_i – середньоквадратичне відхилення параметра накопичення i -того призначення; $t_i^{\text{обп}}$ – час обробки поїзда i -того призначення на станції розформування; $t_i^{\text{поз}}$ – час розформування поїзда i -того призначення на станції розформування; n_u – кількість вагонів u -того струменя; k – кількість струменів вагонопотоків; q_i – кількість технічних станцій на i -тому призначенні; z_i – кількість між технічними станціями на i -тому призначенні; $t_{hi}^{\text{тран}}$ – час обробки транзитного поїзда без переробки на h -тій станції i -того призначення; $V_{ir}^{\text{діл}}$ – дільнична швидкість руху вантажних поїздів r -тої дільниці i -того призначення; x_{ij} – змінна, яка приймає значення 1 якщо i -те призначення включає вагонопотік j -того струменя, в іншому випадку приймає значення 0; $e_{B,r}$ – вартість вагоно-години; Sgn – знакова функція; erfc – комплементарна функція похибок Лапласа.

Перший доданок у квадратних скобках представляє собою витрати вагоно-годин на накопичення i -того призначення, другий доданок представляє собою надлишкові витрати вагоно-годин на накопичення i -того призначення, що пов'язані з ризиком перевищення поточного значення параметра накопичення, якщо поточне значення параметра накопичення приймає значення менші ніж математичне очікування цієї величини. Комплементарна функція похибок Лапласа – неелементарна функція, що представляє собою інтеграл імовірності Лапласа.

5. Результати дослідження

Розрахунки проводились для мережі з 14 станцій, яка представлена на рисунку (рис. 1).

Для здійснення розрахунків було створене програмне забезпечення у середовищі Matlab. Для тривимірної візуалізації результатів розрахунків було створене програмне забезпечення у системі комп'ютерної алгебри MuPad результат роботи якого наведено на рис. 2.

Струмені вагонопотоків, які були виділені у самостійні призначення, відповідають необхідним та достатнім умовам з точки зору методу суміщених аналітичних зіставлень.

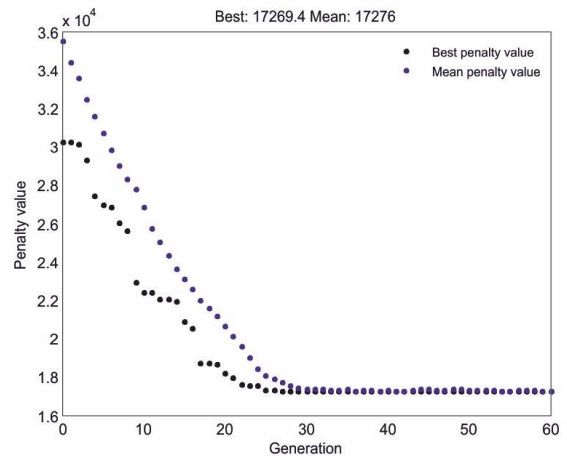
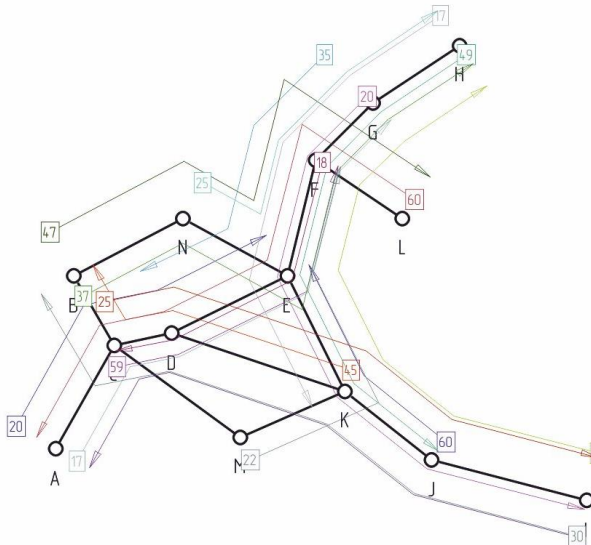


Рис. 1. Залізничний полігон, який представлений у вигляді графа, показана кореспонденція вагонопотоків між станціями і вказані добові обсяги кореспонденції (потужності струменів), динаміка збіжності цільової функції генетичного алгоритму при моделюванні.

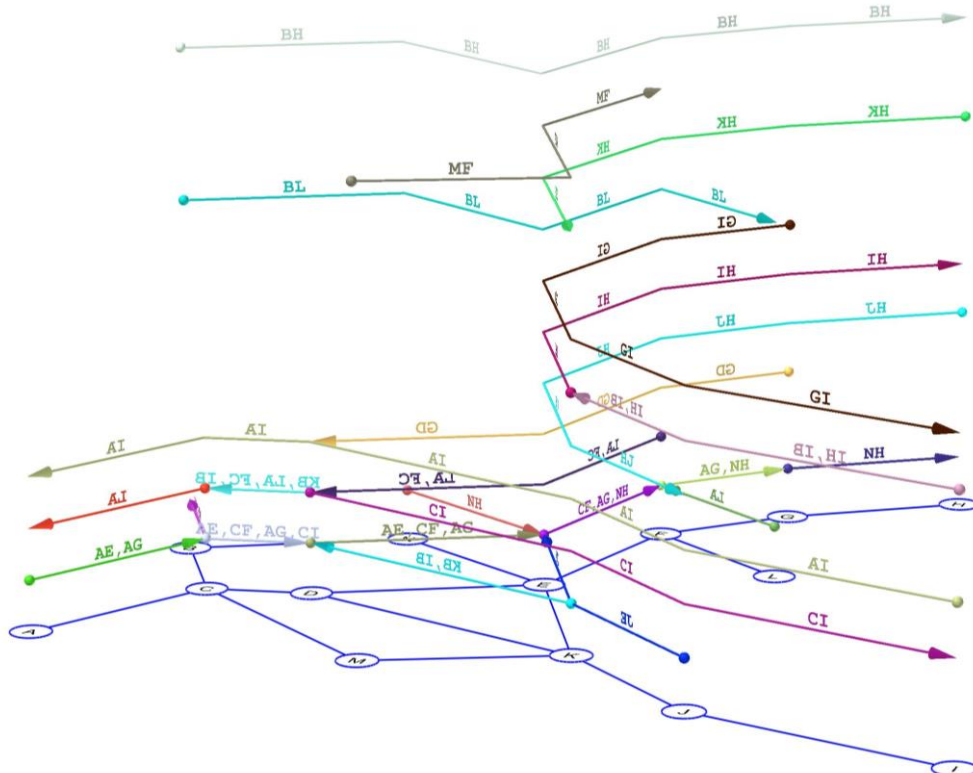


Рис. 2. Тривимірна графічна інтерпретація розрахованого варіанту плану формування

6. Висновки

Були розглянуті класичні методи вирішення задачі розрахунку плану формування поїздів.

Був запропонований новий метод вирішення цієї задачі, який передбачає її постановку як задачі комбінаторно-стохастичної оптимізації і вирішення за допомогою сучасного математичного апарату генетичних алгоритмів та обчислювальної техніки. Створена математична модель.

Проведене моделювання продемонструвало швидку збіжність алгоритму, що свідчить про перспективність його застосування при управлінні вагонотоками на мережі залізниць України.

Література

1. Інструктивні вказівки з організації вагонотоків на залізницях України [Текст]. – К.: ТОВ «Швидкий рух», 2005. – 100 с.
2. Акулиничев, В. М. Организация вагонотоків [Текст] / В. М. Акулиничев. – М.: Транспорт, 1979. – 224 с.
3. Бернгард, К. А. Групповые поезда (Вопросы организации вагонотоків) [Текст] / К. А. Бернгард. – М.: Трансжелдориздат, 1953. – 168 с.
4. Петров, А. П. План формирования поездов: Опыт, теория, методика расчётов [Текст] / А. П. Петров. – М.: Трансжелдориздат, 1950. – 483 с.
5. Дувалян, С. В. Расчет плана формирования одногруппных поездов при переменных нормативах и ограничениях размеров переработки вагонов на станциях [Текст] / С. В. Дувалян, А. Е. Гарслян // ВНИИЖТ. – 1988. – № 6. – С. 14.
6. Yaghini, M. A population-based algorithm for the railroad blocking problem [Text] / M. Yaghini, M. Seyedabadi, M. M. Khoshraftar // Journal of Industrial Engineering International. – 2012. – Vol. 8, Issue 1. – P. 8. doi: 10.1186/2251-712x-8-8
7. Newton, H. N. Constructing railroad blocking plans to minimize handling costs [Text] / H. N. Newton, C. Barnhart, P. H. Vance // Transportation Science. – 1998 – Vol. 32, Issue 4. – P. 330–345. doi: 10.1287/trsc.32.4.330
8. Kreuger, P. Railyard Shunting: A Challenge for Combinatorial Optimisation [Text] / P. Kreuger, M. Aronsson // ERCIM News. – 2007. – Issue 68. – P. 23–25.

9. Прохорченко, А. В. Удосконалення технології корегування плану формування поїздів на основі погодженої організації групових поїздів оперативного призначення [Текст] / А. В. Прохорченко, Л. В. Корженівський // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2008. – Т. 6, № 6 (36). – С. 37–40.

10. Бутько, Т. В. Формалізація технології організації групових поїздів оперативного призначення [Текст] / Т. В. Бутько, А. В. Прохорченко, А. М. Киман // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2015. – Т. 4, № 3 (76). – С. 38–43. doi: 10.15587/1729-4061.2015.47886

References

1. Instruktivni vkazivky z organizacii vagonopotokiv na zaliznycjah Ukrainy (2005). Kyuv: TOV «Shvydkyj ruh», 100.
2. Akulinichev, V. M. (1979). Organizacija vagonopotokov. Moscow: Transport, 224.
3. Bergard, K. A. (1953). Gruppovye poezda (Voprosy organizacii vagonopotokov). Moscow: Transzheldorizdat, 168.
4. Petrov, A. P. (1950). Plan formirovaniya poezdov: Opyt, teorija, metodika raschjotov. Moscow: Transzheldorizdat, 483.
5. Duvaljan, S. V., Garsljan, A. E. (1988). Raschet plana formirovaniya odnogruppnyh poezdov pri peremennyh normativah i ogranichenijah razmerov pererabotki vagonov na stancijah. VNIIZhT, 6, 14
6. Yaghini, M., Seyedabadi, M., Khoshraftar, M. M. (2012). A population-based algorithm for the railroad blocking problem. Journal of Industrial Engineering International, 8 (1), 8. doi: 10.1186/2251-712x-8-8
7. Newton, H. N., Barnhart, C., Vance, P. H. (1998). Constructing Railroad Blocking Plans to Minimize Handling Costs. Transportation Science, 32 (4), 330–345. doi: 10.1287/trsc.32.4.330
8. Kreuger, P., Aronsson, M. (2007). Railyard Shunting: A Challenge for Combinatorial Optimisation. ERCIM News, 68, 23–25.
9. Prohorchenko, A. V., Korzenivskiy, L. V. (2008). Udskonalennja tehnologii' koregumannja planu formuvannja poizdiv na osnovi pogodzhenoj' organizacii' grupovyh poizdiv operativnogo pryznachennja. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6/6 (36), 37–40.
10. Butko, T. V., Prokhorchenko, A. V., Kyman, A. (2015). Formalization of the technology of arranging tactical group trains. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4/3 (76), 38–43. doi: 10.15587/1729-4061.2015.47886

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Бутько Т. В.
Дата надходження рукопису 15.11.2016*

Прохоров Віктор Миколайович, інженер, кафедра управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050
E-mail: vicmmx@gmail.com

Prokhorov Viktor, Engineer, Department of management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050
E-mail: vicmmx@gmail.com