

УДК 656.072

**ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ  
ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ РОЗКЛАДУ РУХУ СПЕЦІАЛЬНИХ  
ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ**

Аспір. Г.О. Сіваконева

**ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ РАСПИСАНИЯ  
ДВИЖЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ**

Аспир. А.А. Сиваконева

**FORMALIZATION OF THE PROCESS OF THE AUTOMATED TECHNOLOGY OF  
FORMATION TIMETABLES SPECIAL PASSENGER CARS**

Asp. A. Sivakoneva

*Досліджено процес функціонування автоматизованої системи формування розкладу руху спеціальних пасажирських вагонів (СПВ). З метою виявлення та обґрунтування методів удосконалення технології залізничних перевезень та формування розкладу руху пасажирських вагонів, що слідує у безпересадковому сполученні, сформовано математичну модель мінімізації часу використання спеціальних вагонів із застосуванням математичного апарату теорії розкладу.*

**Ключові слова:** спеціальні пасажирські вагони, безпересадкове сполучення, теорія розкладу, генетичний алгоритм.

*Исследован процесс функционирования автоматизированной системы формирования расписания движения специальных пассажирских вагонов (СПВ). С целью выявления и обоснования методов совершенствования технологии железнодорожных перевозок и формирования расписания движения пассажирских вагонов, которые следуют в беспересадочном сообщении, сформирована математическая модель минимизации времени использования специальных вагонов на основе математического аппарата теории расписания.*

**Ключевые слова:** специальные пассажирские вагоны, беспересадочное сообщение, теория расписания, генетический алгоритм.

*The process has been investigate of the automated system of formation the timetables of special carriages (SC). In order to identify and study how to improve the technology of rail*

*transportation and creating schedules of passenger cars that follow in a direct message, formed a mathematical model to minimize the time the use of special cars on the basis of the mathematical apparatus of the theory of the schedule. Under the terms of the solution to the problem posed is drawn schedule of departure. Dimension algorithm for solving the problem –  $2^k$ , that problem is solved polynomial as belonging to the class of P-problems – simple or straightforward. But when a large number of threads schedules for a given direction problem becomes NP-difficult. To solve the problem proposed in order to speed the formation of schedule special cars genetic algorithms to actual coding (Real-coded Genetic Algorithm).*

**Keywords:** special carriages, through-purpose, scheduling theory, the genetic algorithm.

**Вступ.** Метою діяльності залізничного транспорту України є задоволення потреб населення у перевезеннях із забезпеченням відповідного рівня якості обслуговування. Враховуючи дефіцит пасажирського рухомого складу в Україні для організації перевезень пасажирів залізничним транспортом, альтернативним варіантом на даному етапі розвитку галузі може стати не організація повноскладних пасажирських поїздів, а перевезення пасажирів у спеціалізованих комфортабельних вагонах, які будуть чіплятися до графікових поїздів.

Досягнути поставленої мети можливо за рахунок удосконалення процесу формування розкладу руху СПВ.

Враховуючи необхідність удосконалення організації транспортної діяльності залізниць у сфері безпересадкових пасажирських перевезень тему дослідження можна кваліфікувати як актуальну та спрямовану на вирішення важливої науково-технічної задачі.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Задача організації руху СПВ передбачає реалізацію технології узгодженого підводу завчасно підготовлених вагонів на колії залізничної станції для послідуочого причеплення до пасажирського поїзду. Вирішення поставленої задачі є актуальним при перевезеннях організованих груп пасажирів на напрямках із незначним пасажиропотоком, за умови відсутності прямих маршрутів. Це в свою чергу дозволить за рахунок зменшення тривалості часу очікування прибуття пасажирського поїзду для здійснення причеплення до нього пасажирських вагонів займати залізничні колії мінімальний час, та підвищить якість надання послуг пасажиром СПВ. Як наслідок, гарантійне забезпечення варіанту

перечеплення в межах визначених часових інтервалів дозволить реалізувати інтермодальні перевезення пасажирів, наприклад, при продовженні поїздки автомобільним, водним чи повітряним транспортом, та концепції «єдиного квитка».

Дане дослідження проведено у відповідності з «Державною цільовою програмою реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки», затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. №1390 [1]; «Стратегією розвитку залізничного транспорту України до 2020 року», затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. №1555-р [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значний внесок для удосконалення процесу організації пасажирських перевезень, роботи пасажирських вокзальних комплексів, застосування інформаційних технологій в експлуатаційній роботі внесли такі вчені та практики: В.М. Акулінічев, І.М. Аксьонов, Т.В. Бутько, В.І. Бобровський, П.С. Грунтов, О.М. Гудков, М.І. Данько, І.В. Жуковицький, Г.М. Кірка, О.А. Малахова, Ю.О. Пазойський, А.В. Прохорченко, А.О. Сміхов, Є.А. Сотніков, В.М. Самсонкін, П.О. Яновський та інші.

Питанням теорії та практики організації перевезень на напрямках з незначним пасажиропотоком присвячено праці таких вчених, як Г.М. Алейнікова, О.О. Бейдик, О.Б. Чернега та ін. Сутність діяльності транспортних підприємств при обслуговуванні пасажиропотоків різної потужності висвітлено в роботах вітчизняних (В.Ф. Данильчук, Л.П. Дядечко, Т.І. Ткаченко та ін.) і закордонних (Р. Батлер, Х. Кім, Н. Лейпер, С. Медлік та ін.) вчених.

Проведені наукові вітчизняні та закордонні дослідження підтверджують

складність процесу організації перевезень пасажирів залізничним транспортом у безпересадковому сполученні. Сучасні методи управління показали, що на сьогодні не існує досконалого підходу до формування розкладу руху СПВ.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Мета дослідження полягає у виявленні та обґрунтуванні методів удосконалення технології залізничних перевезень та формування розкладу руху пасажирських вагонів, що слідує у безпересадковому сполученні за рахунок узгодження інтересів усіх учасників транспортного ринку. Для реалізації поставленої мети необхідна постановка та вирішення наступних задач дослідження: формалізувати процес функціонування автоматизованої технології формування розкладу руху СПВ та розробити математичну модель планування пасажирських перевезень у СПВ.

**Основна частина дослідження.** Враховуючи сезонну та просторову нерівномірність пасажиропотоків на залізничному транспорті, поїздка у безпересадковому сполученні буде організовуватися за індивідуальними замовленнями і за індивідуальним маршрутом.

Спеціальний вагон буде підготовлений та екіпірований на пасажирській технічній станції (ПТС), яка примикає до пасажирської станції (ПС), що розташована у пункті початку подорожі. У зручний час відправлення найближчого графікового поїзду готовий до руху вагон маневровим порядком буде подаватися на станційні колії для причеплення до пасажирського поїзду, бажано здійснювати причеплення вагону до голови поїзда з метою зменшення дискомфорту у салоні вагону із-за коливань при русі, які збільшуються у напрямку від голови до хвоста поїзду, і слідувати за його маршрутом до станції призначення. На станції призначення вагон переставляють на колії відстою пасажирських вагонів на період стоянки, а потім цикл операцій по причепленню до графікового поїзду і слідування за його маршрутом повторюється.

Місця розміщення колій для відстою вагонів визначаються типом станції, її

розташуванням у місті, наявністю технічної станції у вузлі, наявністю міста для відпочинку та санітарно-гігієнічних потреб та ін. Основна вимога до вибору місця розташування пристроїв для обслуговування вагонів – зручний зв'язок з містом, який забезпечує короткий маршрут пасажиром та раціональне екіпірування составів [3].

На ПС порядок виконання технологічних операцій залежить від пропускної спроможності станції, числа працівників та ін. СПВ повинні бути підготовлені до відправлення і виставлені на вільну станційну колію, суміжну з колією приймання графікового поїзду [4].

Для рішення поставленої задачі запропоновано використати моделі теорії розкладу (англ. Schedule theory) [5, 6] на основі методу еволюційного моделювання (генетичних алгоритмів) [7, 8]. В межах реалізації перевезень пасажирів основною концепцією залізничного транспорту є чіткість графіку руху пасажирських поїздів, тоді як для СПВ головним є гнучкість руху. Згідно із поставленими умовами рішенням задачі є складений розклад руху відправлення та прибуття спеціальних вагонів на залізничні станції за визначеним маршрутом руху в межах певного періоду часу.

Для формалізації поставленої задачі слід розглянути систему, що складається з  $g$  СПВ, які необхідні для перевезення організованої групи пасажирів ( $g = \overline{1, G}$ ). Послідовно занумеруємо кожен  $k$ -ту нитку графіку прибуття та відправлення пасажирського поїзду на залізничну станцію, як вимоги з числами від 1 до  $n$ . До кожної  $k$ -ої нитки прибуття та відправлення поїзду відноситься  $a_k^g$  кількість пасажирів, які обрали для поїздки  $g$ -й вагон.

Якщо прийняти за  $\varphi^g$  – місткість  $g$ -го вагону, то можна наближено визначити планову кількість операцій по причепленню та відчепленню СПВ для здійснення перевезень прогнозованої  $a_k^g$  групи пасажиропотоку:

$$w_k^g = a_k^g / \varphi^g, \quad (1)$$

де  $w_k^g$  – кількість операцій по причепленню або відчепленню  $g$  СПВ для обслуговування пасажиропотоку  $a_k^g$ .

У якості операції розуміється поїздка СПВ для доставки організованої групи пасажирів до пункту призначення. Кожна операція повинна виконуватися у межах директивного часового терміну.

Для оптимізації процесу організації руху спеціальних вагонів у складі пасажирських поїздів та комфорту пасажирів введемо величину  $m_k$ , яка визначає момент готовності СПВ до причеплення чи відчеплення від пасажирського поїзду, відносно його часу прибуття чи відправлення. Виходячи з цього  $m_k$  визначається за наступною формулою:

$$m_k = \begin{cases} t_k^{npu\delta} + t_{k,g}^{\max} \cdot w_k^g + t_{n-g}^{nac} \cdot a_k^g; \\ t_k^{ei\delta np} - t_{k,g}^{\max} \cdot w_k^g - t_{n-g}^{nac} \cdot a_k^g; \end{cases} \quad (2)$$

де  $t_k^{npu\delta}, t_k^{ei\delta np}$  – час прибуття та відправлення, відповідно, пасажирського поїзду за розкладом;

$t_{k,g}^{\max}$  – максимальний час на причеплення чи відчеплення СПВ від пасажирського поїзду;

$t_{n-g}^{nac}$  – тривалість посадки чи висадки одного пасажирів з вагону.

Величина  $m_k$  являє собою момент надходження певної кількості СПВ на колії залізничної станції та є мінімально можливим часом початку технологічних операцій з вагонами на коліях залізничної станції на вимогу  $k = 1, \dots, n$ .

Отже, кожна  $k$ -та вимога складається з  $q_k$  операцій по відправленню або прибуттю пасажирських поїздів. Для кожної такої операції задаються три індекси:

$k$  – номер нитки прибуття або відправлення поїзда, що містить операцію прибуття або відправлення;

$h$  – номер операції, що задана вимогою прибуття або відправлення поїзда ( $h = 1, \dots, q_k$ );

$g$  – кількість СПВ, із якими операції по прибуттю або відправленню поїзда повинні виконуватися ( $1 \leq g_{kh} \leq g$ ).

Тоді кожен операцію з виконання перевезення організованої групи пасажирів у СПВ можна охарактеризувати як кортеж  $\langle g_{kh}, t_{kh}^g \rangle$ , де  $t_{kh}^g$  – тривалість виконання операції, тобто довжина інтервалу часу, необхідного для виконання повного обігу на маршруті СПВ  $g_{kh}$  та наступного відправлення або прибуття  $k$ .

У результаті, загальний час здійснення всіх операцій (відправлення чи прибуття) зі спеціальними вагонами  $t_{kh}^{za2}$  згідно до  $k$ -ої вимоги визначається за формулою (тривалість роботи):

$$t_{kh}^{za2} = \sum_{h=1}^{q_k} t_{kh}. \quad (3)$$

Основною умовою для забезпечення можливості формування розкладу руху СПВ відповідно до розкладу прибуття та відправлення пасажирських поїздів є дотримання умови:

$$\theta_g \geq t_{khg}, \quad (4)$$

де  $\theta_g$  – встановлений час знаходження СПВ на ПТС чи коліях відстою.

Дана умова дозволяє обмежити інтервал між прибуттям та наступним відправленням СПВ у бік збільшення щодо вимог розкладу руху пасажирських поїздів.

Для дотримання вимоги виконання останньої операції по прибуттю СПВ на колії ПС з ПТС чи колій відстою у кількості  $g$  до відправлення пасажирського поїзду, до якого планується їх причеплення, необхідно встановити директивний строк  $T_k$ , до якого бажано завершити обслуговування вимоги  $k$ . Кожній вимозі  $k = 1, n$  відповідає часове вікно (інтервал)  $[m_k, m_k + T_k]$ .

Для забезпечення умови одночасного виконання не більше ніж однієї операції необхідним виступає наступне обмеження:

$$t_{khg} - t_{k(h+1)g} \geq \theta_g. \quad (5)$$

Для виконання встановленого порядку операцій слід ввести тривалість бюджету часу на виконання операцій  $h$  для вимоги  $k - \sum_m v_{khg} \cdot t_{khg}$ , де  $\sum_m v_{khg} \cdot t_{khg} = 1$ , якщо операція  $h$  вимоги  $k$  виконується,

тобто  $k$ -та нитка підходить для причеплення СПВ та  $\sum_m v_{khg} \cdot t_{khg} = 0$ , в іншому випадку.

Тоді для всіх операцій кожної вимоги повинно виконуватися наступне обмеження:

$$\sum_m v_{khg} \cdot t_{khg} \leq \sum_m v_{k(h+1)g} \cdot t_{khg} \quad (6)$$

$$G = \sum_k \sum_h \sum_g v_{khg} \cdot t_{khg} = \sum_k \sum_h \sum_g v_{khg} \cdot (t_k^{sidnp} - t_k^{npua} - \theta_g) \rightarrow \min. \quad (7)$$

Таким чином, зменшення середньої тривалості здійснення перевезень пасажирів у СПВ призведе до ефективного використання рухомого складу залізничного транспорту, а саме пасажирських вагонів.

Для вирішення запропонованої задачі з метою підвищення швидкості формування розкладу руху СПВ використано генетичний алгоритм з дійсним кодуванням (Real-coded Genetic Algorithm) [7, 9, 10]. Згідно із процедурою реалізації такої категорії алгоритмів будь-який варіант розкладу формується у вигляді хромосоми.

Дана задача теорії розкладу виступає задачею узгодження, бо основна увага приділяється тривалості виконання робіт, часу прибуття пасажирських поїздів. По типу цільової функції – це задача з сумарним критерієм оптимізації, а саме мінімізації сумарного часу закінчення робіт. Дана задача є не детермінованою (on-line), бо деякі вхідні дані визначені до початку вирішення задачі (затверджений розклад руху пасажирських поїздів), а обсяги пасажиропотоків постійно змінюються.

Необхідно встановити розмірність задачі. Під розмірністю задачі розуміють кількість змінних, рівнянь та нерівностей, що визначають задачу [5]. Тобто для даної задачі кількість можливих рішень може бути  $2^k$ , при рішення такої задачі на комп'ютері шляхом перебору усіх можливих варіантів, вирішення задачі буде займати дуже багато часу. Тому для задач оптимізації потрібен алгоритм, час роботи якого буде

Критерієм оцінки ув'язки розкладу руху СПВ із затвердженим розкладом руху пасажирських поїздів виступає мінімізація сумарного часу завершення робіт:

мінімальним. Такий алгоритм повинен знаходити оптимальне чи наближене до оптимального рішення за «розумний» час. Тому необхідно скоротити кількість операцій, що повинні виконуватися, зробити це можна аналізуючи не всі можливі рішення (весь розклад руху поїздів між пунктом відправлення та призначення на протязі доби), а їх частину, підмножину, яка гарантовано містить оптимальне рішення.

Розмірність алгоритму вирішення задачі –  $2^k$ , тобто задача вирішується поліноміально, тому відноситься до класу Р-задач – нескладні або прості. Але при значній кількості ниток графіку руху на заданому напрямку задача стає NP-складною [9, 10].

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Зменшення середньої тривалості поїздки пасажирів призвело до ефективного використання рухомого складу залізничного транспорту. Для вирішення запропонованої задачі доцільним виступає формування найбільш оптимального розкладу руху СПВ, для чого було формалізовано процес функціонування автоматизованої технології формування розкладу руху, направленої на мінімізацію тривалості поїздки. У результаті розроблено математичну модель планування пасажирських перевезень у СПВ. Для зменшення розмірності задачі та її рішення запропоновано використання генетичного алгоритму з дійсним кодуванням.

### Список використаних джерел

1. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки. Затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. №1390 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kmu.gov.ua>. – Назва з екрану.
2. Стратегія розвитку залізничного транспорту України до 2020 року. Затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. №1555-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uaopravo.net/akty/administraciya-osnovni>. – Назва з екрану.

3. Аксьонов, І.М. Довідник залізничника. У восьми книгах. Книга друга: Перевезення пасажирів [Текст] / І.М. Аксьонов, С.С. Довганюк, Д.В. Зеркалов / За ред. Д.В. Зеркалова. – К.: Основа, 2004. – 436 с.
4. Покацкая, Е.В. Пассажирский железнодорожный комплекс. Пассажирские станции: учеб. пособие для студентов вузов ж/д транспорта [Текст] / Е.В. Покацкая, А.С. Левченко. – Самара: СамГАПС, 2007. – 72 с.
5. Лазарев, А.А. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы [Текст] / А.А. Лазарев, Е.Р. Гафаров. – М.: МГУ, 2011. – 222 с.
6. Гэри, М. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи [Текст] / М. Гэри, Д. Джонсон / Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 416 с.
7. Севастьянов, С.В. Геометрические методы и эффективные алгоритмы в теории расписаний [Текст] / С.В. Севастьянов / дис. док. физ. – мат. наук. – Новосибирск, 2000. – 280 с.
8. Журба, О.О. Організація пасажирських перевезень в умовах залізничних пересадочних комплексів [Текст] / О.О. Журба: дис. на здобут. наук. ступ. к.т.н.: 05.22.01 – транспортні системи. – Х.: УкрДАЗТ, 2011. – 189 с.
9. Brucker, P. Scheduling Algorithms. Springer [Text] / P. Brucker. – Verlag, 2001. – 365 p.
10. Du, J. Minimizing total tardiness on one processor is NP-hard [Text] / J. Du, J. Y.-T. Leung. – Math: Operation Research, 1990. – V. 15. – P. 483-495.

---

Рецензент докт. техн. наук. професор О.М.Огар

Сіваконева Ганна Олександрівна, аспірант кафедри транспортні системи та логістика Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057)730-19-55. E-mail: AnnSivakoneva@yandex.ua.

Sivakoneva Anna, Postgraduate student, department «Transport Systems and Logistics» Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-19-55. E-mail: AnnSivakoneva@yandex.ua.