УДК 656.222.4 DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.165.2016.87711

РОЗРОБКА ПРОЦЕДУРИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПОБУДОВИ ГРАФІКА РУХУ ПОЇЗДІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ НАПРЯМКУ

Асп. Г. О. Прохорченко, Р. І. Семененко

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕДУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ НАПРАВЛЕНИИ

Асп. Г. О. Прохорченко, Р. И. Семененко

PROCEDURES FOR AUTOMATED CONSTUCTION TRAIN SCHEDULE AT RAILWAY CORRIDOR

H. Prokhorchenko, R. Semenenko

Робота присвячена розробці процедури автоматизованого складання графіка руху поїздів на залізничному напрямку. Проаналізовано досвід автоматизованого складання графіка руху поїздів та обґрунтовано необхідність використання процедури для автоматизації розробки графіка руху поїздів, яка заснована на евристичних методах для підвищення точності та якості складання графіка, що є актуальним завданням в період реформування залізничного транспорту України.

Ключові слова: *графік руху поїздів, залізнична інфраструктура, залізничний напрямок.*

Работа посвящена разработке процедуры автоматизированного составления графика движения поездов на железнодорожном направлении. Проанализирован опыт автоматизированного составления графика движения поездов и обоснована необходимость использования процедуры для автоматизации разработки графика движения поездов, которая основана на эвристических методах для повышения точности и качества составления графика, что является актуальной задачей в период реформирования железнодорожного транспорта Украины.

Ключевые слова*: график движения поездов, железнодорожная инфраструктура, железнодорожное направление.*

The work is devoted to developing procedures for automated scheduling of trains on the railway area. In terms of railway reform Ukraine creation of technology based transportation planning of operational work on clearly defined timetable of trains is an urgent task. The current technology scheduling of trains based on the district method performed manually and does not provide a rational assembly of graphics on trains linking stations. The experience of foreign and domestic scientists developed countries on automated scheduling of trains. Detected shortcomings of existing approaches to automated scheduling of trains. Given this procedure was designed to automate the development timetable of trains on the railway area. Formed procedure for linking stations through-thread schedule of trains on the railway area based schemes designed docking stations with different modes laying strands schedule of trains. The procedure automates the complex process of charting the movement of trains on the railway direction that will improve the accuracy and efficiency of technology forming penetrating crossing transit traffic of trains on the railway network in Ukraine.

Keywords*: schedule of trains, railway infrastructure, railway line.*

Вступ. В умовах реформування залізничного транспорту України необхідним є вирішення завдань підвищення ефективності функціонування залізничної мережі України. На ринку перевезень для клієнта залізниці важливим стає фактор точності часу переміщення. Саме тому створення технології перевезень на основі планування експлуатаційної роботи за чітко визначеним розкладом руху всіх поїздів дозволить підвищити прибутковість від операційної діяльності компанії, що управляє інфраструктурою. Механізмом реалізації запропонованої технології є автоматизація розробки нормативного графіка руху поїздів (ГРП) в межах залізничного напрямку.

Діюча технологія розробки ГРП на залізницях України заснована на дільничному методі, що виконується в ручному режимі та супроводжується значними витратами часу[1]. Такий підхід не дозволяє знайти раціональний розклад руху поїздів з ув'язкою за дільницями залізничного напрямку. Для вибору раціонального варіанта наскрізного графіка руху поїздів на напрямку необхідно автоматизувати процедуру побудови ГРП на залізничному напрямку. Запропонована процедура автоматизації може гарантувати високу достовірність та якість ГРП при заданих максимальних розмірах руху для кожної дільниці в залежності від категорії поїздів, їх поїзних характеристик, технічних та технологічних обмежень інфраструктури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням у галузі проблем розробки графіка руху поїздів (англ., train scheduling) приділялося багато уваги вченими різних країн світу. У багатьох дослідженнях [3-7] задача визначення часу прибуття та відправлення поїздів різних категорій в кожній точці залізничної мережі вирішується на рівні тактичного планування для маршрутизації перевезень та розробки нормативного графіка руху поїздів. Крім того, дослідження щодо розрахунку графіка руху поїздів широко застосовуються і на рівні оперативного управління в межах розв'язання завдань диспетчеризації перевезень для контролю виконання, а в деяких випадках і корегування нормативного графіка руху поїздів.

Перші дослідження щодо оптимізації графіка руху поїздів були виконані ще у 1973 р. B. Szpigel [3], де задача розрахунку ГРП була сформульована як задача теорії розкладу. Дослідженнями в даній галузі із застосуванням різних методів займалися такі вчені: R. Sauder, D. Jovanovic, P. T. Harker, M. Pena-Alcaraz, A. Caprara, X. Zhou та ін. [2,4-7].

В межах пострадянської школи з 1960-х років наукові дослідження вчених у галузі удосконалення графіка руху поїздів були спрямовані на застосування електронно-обчислювальних машин для його побудови та оптимізації [8]. Так, перший алгоритм складання нормативного непаралельного графіка руху поїздів на одноколійній ділянці був розроблений під керівництвом Б. Дел Ріо в 1962 р., однак коригування раніше прийнятих рішень не допускалося, що було суттєвим недоліком. Д.Ю. Джаліловим був запропонований метод складання непаралельного графіка, який не відрізнявся принциповою новизною і не дозволяв усунути недоліки раніше виконаних розробок, однак створював математичне забезпечення для автоматичного накреслювання графіка на графопобудовнику «Атлас». Серед найбільш видатних робіт цього періоду можна відзначити праці А.П. Петрова, В.М. Акулінічева, В.В. Повороженко, Б. Дел Ріо, А.Г. Барткус, А.Д. Каретникова, Н.А. Самаріної, Є.М. Тішкіна та ін. [9-13]. До сучасних досліджень у галузі автоматизації побудови ГРП на дільниці можна віднести роботи [14]. В даній роботі розроблено евристичний алгоритм прокладання побудови графіка руху, який хоч і є простим, однак вимагає значних витрат часу та не дозволяє автоматизувати процес побудови ГРП в цілому на дільниці.

Завдання побудови ГРП на залізничному напрямку в даній роботі не ставилось.

Вищезазначені алгоритми та математичні моделі з причин відсутності фінансування не набули практичного застосування на залізницях України. На даний час на залізницях України використовується застарілий програмний комплекс АРМ інженера-графіста, який дозволяє лише частково автоматизувати процес побудови графіка руху поїздів на дільниці, що фактично обмежується функціями зберігання даних про заздалегідь розроблені вручну ГРП та друк нормативних ГРП згідно зі встановленими формами. Недоліком даної програми є відсутність функцій автоматичної побудови ГРП на дільниці, так само неможливим є автоматично прокласти наскрізні нитки графіка для залізничного напрямку. Враховуючи вищезазначені недоліки та все більше поширення на залізницях України практики організації руху наскрізних поїздопотоків за розкладом, актуальним стає формування автоматизованої процедури побудови графіка руху поїздів на залізничних напрямках.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою даного дослідження є розробка процедури автоматизованої побудови графіка руху поїздів на залізничному напрямку, що дозволить прискорити процес ув’язки наскрізних ниток графіка поїздів у межах полігонів значної протяжності та зменшить завантаження інженерів-графістів при побудові ГРП на рівні залізничної мережі.

Основна частина дослідження. Для підвищення оперативності та точності розробки графіка руху поїздів на рівні залізничної мережі була розроблена процедура для автоматизації розробки ГРП на залізничному напрямку. В основі процедури було покладено сформовану математичну модель [15] для автоматизованого розрахунку графіка руху поїздів, яка була використана для проведення розрахунків для залізничних дільниць разом з евристичним методом, що виявлений при аналізі процесу побудови ГРП інженерами-графістами [16].

Враховуючи відсутність в практичних умовах задачі побудови максимального графіка руху поїздів, алгоритм автоматизованої розробки графіка реалізує задачу побудови ГРП відповідно до заданих обсягів перевезень на розрахунковій дільниці. Це обумовлено тим, що існує дуже багато маршрутів поїздів, для яких розрахункова дільниця є транзитною, крім того, на сітьовому рівні система перевезень має високий ступінь взаємозалежності, прокладання ниток поїздів на декількох дільницях обмежується складністю здійснення схрещень або обгонів, що призводить до неможливості довільного прокладання ниток. За таких умов одна дільниця не може розглядатися як повністю незалежна частина від всієї залізничної мережі. Як наслідок, час відправлення або прибуття поїздів на розрахунковій дільниці не може бути визначений без урахування розкладу слідування транзитних поїздів на інтерферуючих дільницях [17]. Приймаючи до уваги вищенаведене, запропоновано здійснювати прокладання ниток графіка відповідно до заздалегідь встановлених точок відправлення або прибуття поїздів різних категорій на станціях дільниці (рис. 1).

Запропонована процедура автоматизованої побудови графіка руху поїздів враховує обмеження інфраструктури дільниці в частині кількості колій на кожному перегоні та роздільному пункті. Підтримується режим побудови графіка руху поїздів для одноколійних, двоколійних, одно-двоколійних дільниць.

Враховуючи складність автоматизованого розрахунку ГРП для всього залізничного напрямку, реалізовано процедуру декомпозиції розрахунків по дільницям з ув’язкою даних дільниць за напрямком прокладання ниток графіка. Схема стикування двох дільниць наведена на рис. 2.

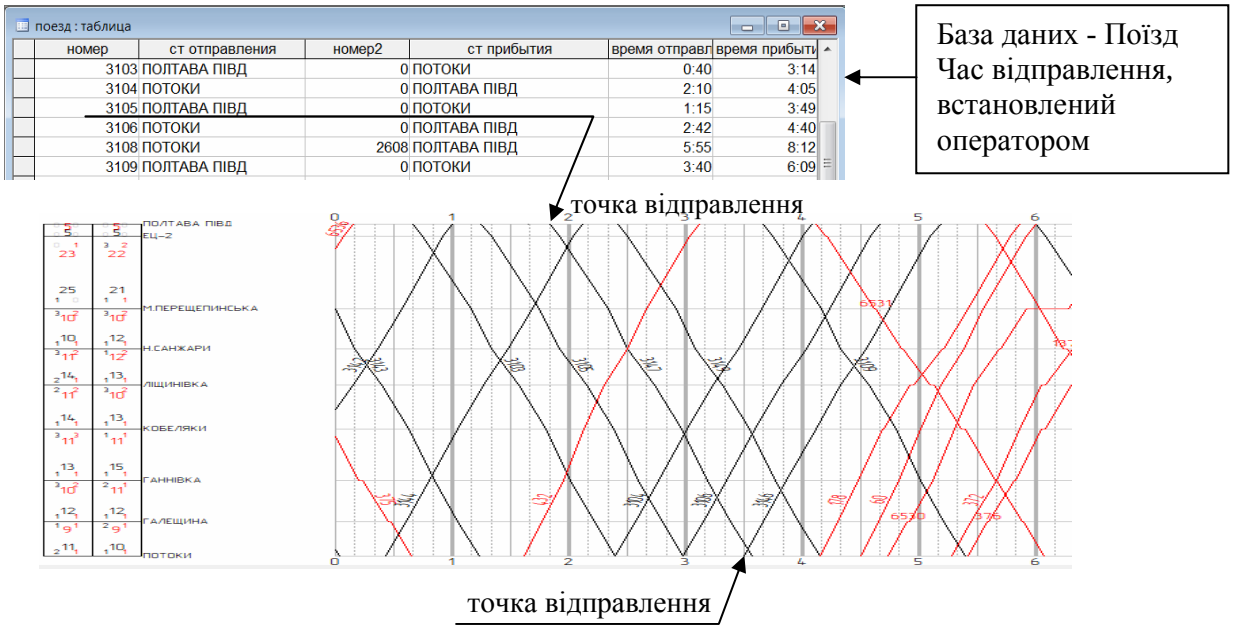

Рис. 1. Схема прокладання ниток графіка відповідно до встановленого оператором часу відправлення поїздів на розрахунковій дільниці

Для надання гнучкості в процесі побудови ГРП реалізовано різні режими прокладання ниток графіка:

- режим прокладання – “В непарному напрямку”. Поїзди непарного напрямку руху (напрямок слідування зверху вниз) прокладаються від точки відправлення. Поїзди парного напрямку прокладаються від точки прибуття у протилежному напрямку свого руху по дільниці;

- режим прокладання – “В парному напрямку”. Поїзди непарного напрямку руху (напрямок слідування зверху вниз) прокладаються від точки прибуття у протилежному напрямку свого руху по дільниці. Поїзди парного напрямку прокладаються від точки відправлення у напрямку свого звичайного руху;

- режим прокладання – “З обох напрямків”. Поїзди непарного та парного напрямку руху прокладаються від точки відправлення у напрямку свого звичайного руху.

Реалізація режимів прокладання дозволяє здійснити ув’язку розрахунків ГРП на суміжних дільницях відповідно до їх географічного розташування. Перша дільниця може бути розрахована відповідно до мети побудови ГРП за різними режимами прокладання. Для подальшої ув’язки наскрізних ниток графіка наступна дільниця автоматично стикується з першою в режимі “В непарному напрямку” (рис. 2).

За таким варіантом номери поїздів по станції стикування першої дільниці зіставляються з номерами поїздів бази наступної за напрямком стикування дільниці. Однакові номери поїздів вважають наскрізними, відповідно до чого точкою їх подальшого прокладання по наступній дільниці стає їх час прибуття або відправлення по станції стикування першої дільниці. Розрахунок ГРП на другій дільниці здійснюється в режимі прокладання “В непарному напрямку”. Стикування наступних дільниць проводиться в тому ж режимі. Аналогічною є реалізація схеми стикування двох дільниць в режимі – “В парному напрямку”. За таким же принципом стикування дільниць для формування ув’язаного за дільницями ГРП на напрямку можливим є використання відповідно до потреби різних варіантів режимів. Схематично принцип стикування дільниць на залізничному напрямку наведено на рис. 3.

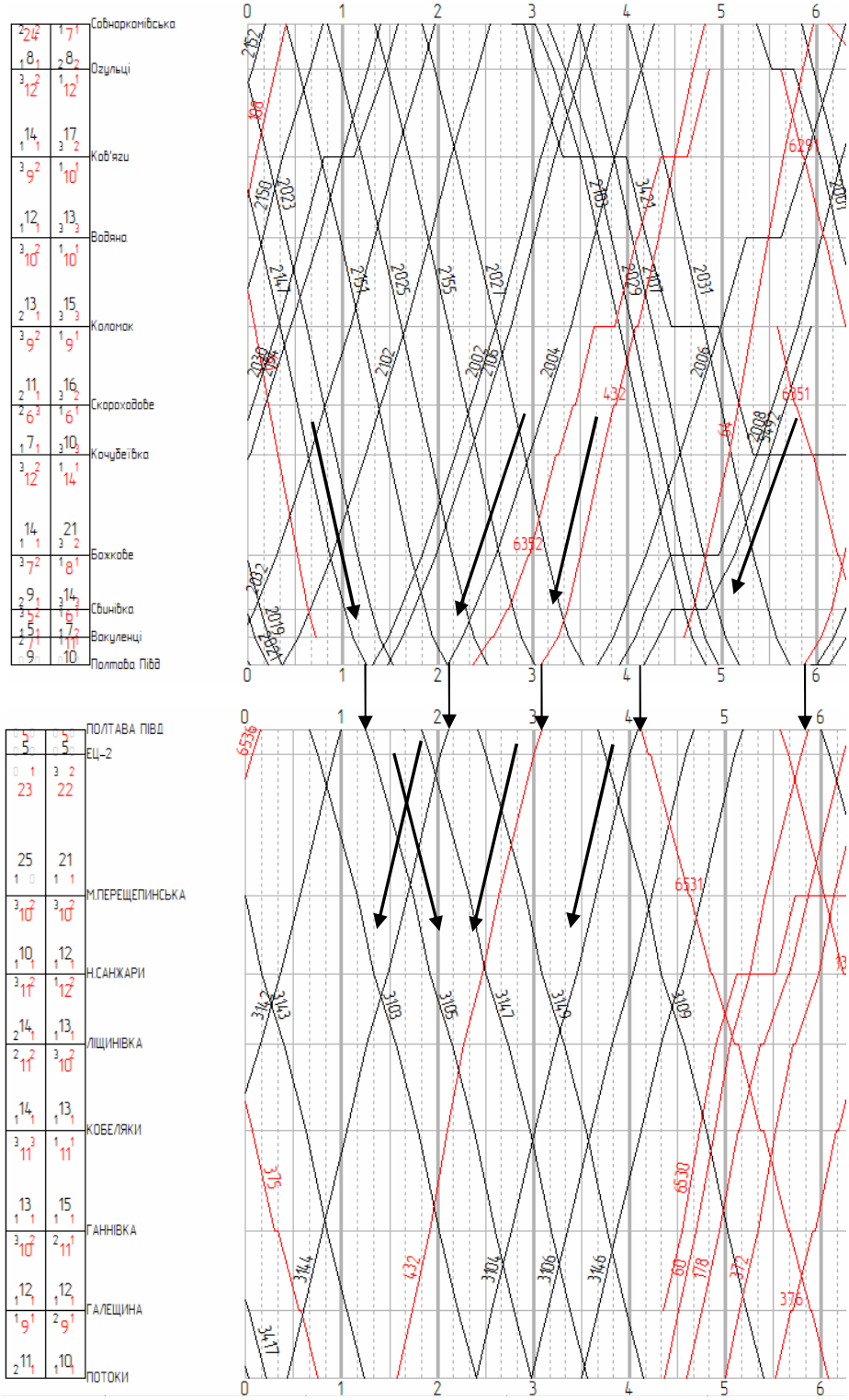

Рис. 2. Схема стикування двох дільниць в режимі – “ В непарному напрямку ”

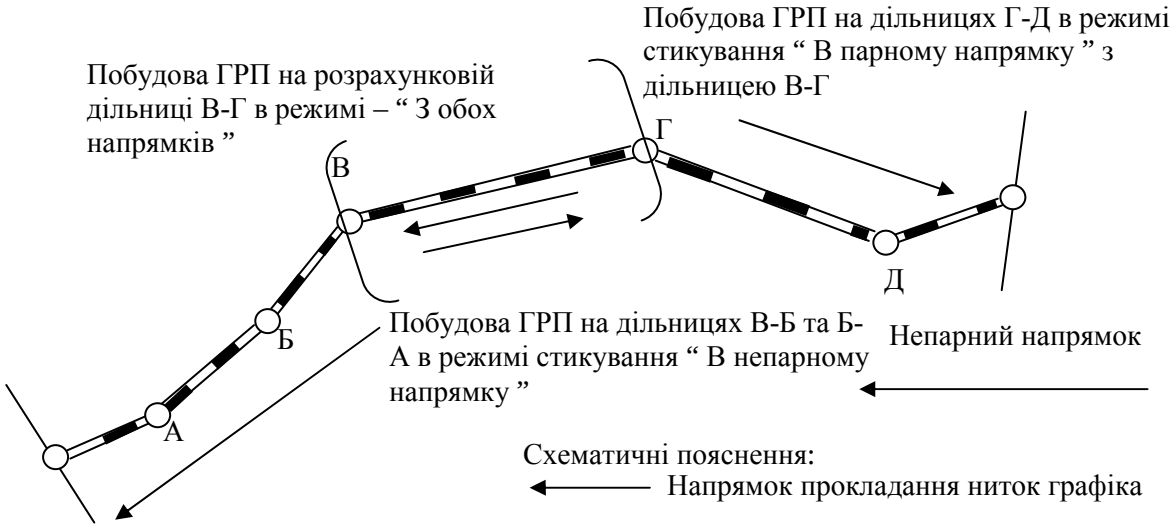

Рис. 3. Схема стикування дільниць на залізничному напрямку з використанням різних режимів прокладання ниток графіка

Застосування схеми стикування дільниць, що наведена на рис. 3, можливе у випадку, якщо дільниця В-Г є найбільш завантаженою та вимагає першочергової розробки ГРП, після чого можливим є формування графіка на прилеглих до неї дільницях.

У випадку аналізу роботи напрямку при виявленні переважного вантажного напрямку руху поїздів необхідною є розробка ГРП для пріоритетних поїздопотоків. Реалізація розрахунків у випадку існування переважного непарного напрямку вантажного руху поїздів наведена на рис. 4.

У випадку необхідності надання пріоритету парному напрямку руху схема прокладання пояснюється на рис. 5.

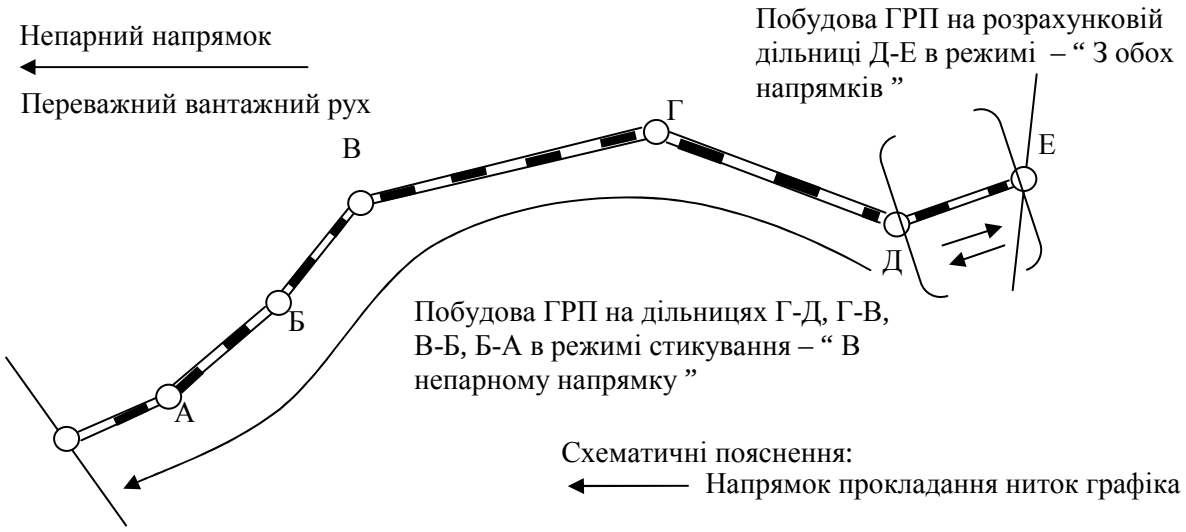

Рис.4. Схема стикування дільниць на залізничному напрямку у випадку існування переважного непарного напрямку вантажного руху поїздів

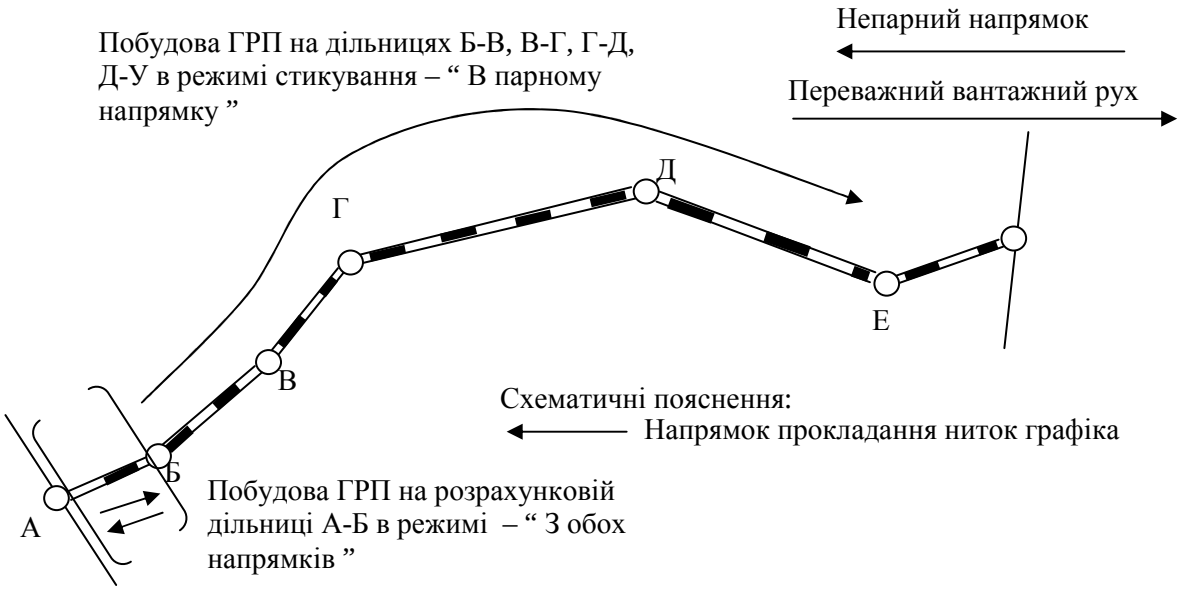

Рис. 5. Схема стикування дільниць на залізничному напрямку у випадку існування переважного парного напрямку вантажного руху поїздів

Вищезазначені схеми стикування дільниць на залізничному напрямку можуть бути застосовані за необхідності пошуку кращого варіанта пропуску поїздопотоків, рис. 6.

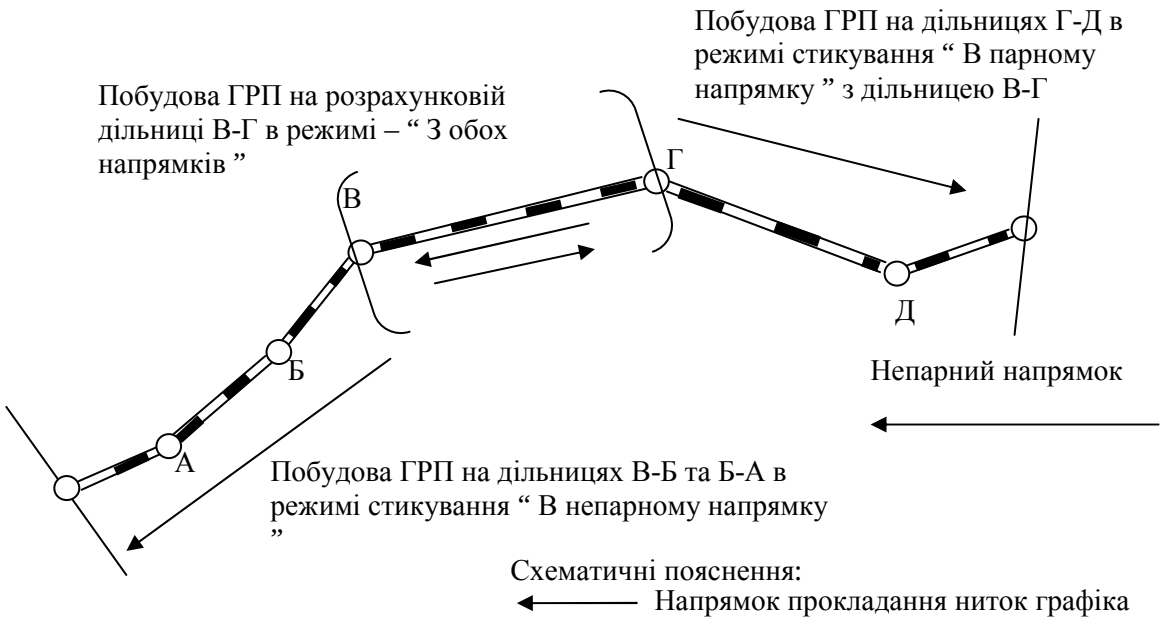

Рис. 6. Схема стикування дільниць на залізничному напрямку з використанням різних режимів прокладання ниток графіка

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Для підвищення оперативності та точності побудови графіка руху поїздів була розроблена процедура для автоматизації побудови ГРП, яка заснована на евристичних методах, що виявлені при аналізі процесу побудови ГРП інженером-графістом. В межах даної процедури запропоновано здійснювати прокладання ниток графіка відповідно до заздалегідь встановлених точок відправлення або прибуття поїздів різних категорій на станціях дільниці. Запропонована процедура є основою для вдосконалення функцій автоматизованого прокладання графіка руху поїздів на полігонах великої протяжності.

Список використаних джерел

1. Інструкція зі складання графіка руху поїздів на залізницях України [Текст]: ЦД-0040.– Затв. Укрзалізниця 05.04.2002. – Вид.офіц. – К.: Транспорт України, 2002. – 164 с. затверджена наказом Укрзалізниці від № 170-Ц.
2. Pena-Alcaraz, M. Train Timetabling Problem for Complex Railway Systems [Text] / M. Pena-Alcaraz, A. Ramos, P. Fernandez, A. Cucala // XXIII European Chapter on Combinatorial Optimization – Combinatorial Optimization Conference ECCO-CO. – 2010. – P. 25.
3. Szpigel, B. Optimal train scheduling on a single track railway [Text] / B. Szpigel // In Proceedings of IFORS Conference on Operational Research'72. – 1973. – 72(6). – P. 343-352.
4. Zhou, X. Single-track train timetabling with guaranteed optimality: Branch-and-bound algorithms with enhanced lower bounds[Text] / X. Zhou, M. Zhong //Transportation Research Part B 41. – 2007. – №41. – P. 320–341.
5. Zhou, X. Bi-criteria train scheduling for high-speed passenger railroad planning applications [Text] / X. Zhou, M. Zhong // European Journal of Operational Research. – 2005. – № 167 (3). – P. 752-771.
6. Caprara, A. Modelling and solving the train timetabling problem [Text] / A. Caprara, M. Fischetti, P. Toth, // Operations Research. – 2002. – № 50(5) . – P. 851-861.
7. Hansen, I. A. Railway Timetabling & Operations. Analysis - Modelling - Optimisation - Simulation - Performance Evaluation [Text] / I. A.Hansen; J. Pachl. – Hamburg.: Eurailpress, 2014. – 332 p.
8. Петров, А. П. Составление графика движения поездов на ЭЦВМ [Текст] / А.П. Петров. – М.: Трансжелдориздат, 1962. – 122 с.
9. Каретников, А. Д. Исследование проблем совершенствования графика движения поездов [Текст] : автореф. дис… д-ра техн. наук: 05.22.08 / А. Д. Каретников; [Москов. ин-т инж. ж.-д. трансп.]. – М., 1961. – 23 с.
10. Самарина, Н. А. Составление двухпутного графика движения поездов на ЭВМ [Текст] / Н.А. Самарина. – М.: Транспорт, 1971. – 124 с.
11. Тишкин, Е. М. Автоматизация разработки графика движения поездов [Текст]/ Е.М.Тишкин. – М.: Транспорт, 1974. – 136 с.
12. Каретников, А. Д. График движения поездов [Текст] / А.Д. Каретников, Н.А. Воробьев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1979. – 301 с.
13. Осьминин, А. Т. Об автоматизации графика движения поездов [Текст] / А.Т. Осьминин, В.А. Анисимов, Н.А. Клюев [и др.] // Железнодорожный транспорт. – 2012. – №.4. – С. 3-9.
14. Притула, М. М. Алгоритм побудови графіка руху поїздів [Текст] / М.М. Притула, М.М. Гончаров, Р.А. Шпакович // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". – 2008. – № 629. – С. 146-152.

15. Бутько, Т. В. Формування процедури автоматизації розробки графіка руху поїздів на основі алгоритму штучних бджолиних колоній [Текст] / Т.В. Бутько, Г.О. Прохорченко // Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. – 2015. – № 9. – С. 10-15.

16. Проведення дослідного автоматизованого розрахунку нормативного графіка руху поїздів на залізничному напрямку [Текст]: звіт з НДР [Українська державна академія залізничного транспорту]; керівник Т.В. Бутько; відповідальний виконав. А.В. Прохорченко [та ін.]. – Харків, 2014. – 108 с. – ДО № 0214U005803.

17. Landex, A. Network effects in railway systems [Text] / A. Landex // Association for European Transport and contributors. – 2007. – P. 16.

Прохорченко Галина Олегівна, асистент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-88. E-mail: galaproh@meta.ua.
Семененко Роксоляна Іванівна, магістр групи 23-VI-ОПУТм, кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.

Prokhorchenko Halyna, assistant, Department of Management of operational work,Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-88. E-mail: galaproh@meta.ua.
Semenenko Roksolyana master student Department of Management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.

Стаття прийнята 27.09.2016 р.