

УДК 656.22

Г.О. Прохорченко, к.т.н.

(доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту),

В.В. Білокудря

(аспірант Українського державного університету залізничного транспорту),

Н.С. Севрук, Т.В. Нікітіна, Є.Г. Ступакова, Д.Р. Алафін

(магістранти Українського державного університету залізничного транспорту)

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ШВИДКІСНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ ЗА СИСТЕМОЮ БАГАТЬОХ ОДИНИЦЬ НА ЗАЛІЗНИЦІ УКРАЇНИ

В роботі досліджено напрямок впровадження технології експлуатації з'єднаних швидкісних поїздів, що дозволить скоротити витрати на освоєння змінного попиту на ділянках маршрутів поїздів, підвищити якість обслуговування пасажирів. Проведено аналіз досвіду експлуатації високошвидкісних пасажирських поїздів за системою багатьох одиниць. Запропоновано удосконалену модель діючого варіанту обігу швидкісних поїздів категорії Інтерсіті+ на напрямку Київ-Пшемисль при з'єднанні двох швидкісних поїздів.

Ключові слова: залізниця, швидкісні поїзда, Інтерсіті+, система багатьох одиниць, моделювання

Вступ. В умовах розвитку економіки України одним із інноваційних проєктів може стати впровадження та організація залізничного швидкісного пасажирського руху. Перший етап впровадження швидкісного руху поїздів підтвердив свою ефективність, а результати стали аналогічними з практик таких країн як Франція, Японія, Польща – збільшилась рухливість населення, покращились фінансові результати пасажирського комплексу. Однак, негативний вплив швидкісних, прискорених поїздів на пропускну спроможність ділянок в умовах змішаного руху з вантажними поїздами, нерівномірність попиту в часі та просторі вимагає удосконалення технологій експлуатації швидкісних поїздів на залізничному транспорті України. Саме надання гнучкості у пристосуванні попиту з пропозицією є важливим заходом для зменшення витрат при здійсненні пасажирських перевезень. За таких умов важливо вивчити досвід залізниць світу в пристосуванні схем обігу та композиції составів на мережі зі зміною попиту у просторі та часі. Важливо проаналізувати технічні та технологічні можливості експлуатації з'єднаних швидкісних поїздів за системою багатьох одиниць та сформулювати рішення для залізниць України.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-2-10

Це допоможе підвищити прибутковість залізничного пасажирського комплексу, зберегти конкурентні переваги перед іншими видами транспорту та зменшити негативний вплив транспорту країни на екологію навколишнього середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Введення в обіг з'єднаних швидкісних поїздів дозволяє скоротити витрати на освоєння змінного попиту на дільницях маршрутів поїздів, підвищує якість обслуговування пасажирів, так як пасажирам не треба змінювати поїзди, і зменшити вплив швидкісних поїздів на пропускну спроможність дільниць [1,2]. Як доводить практика, незважаючи на переваги, вищезазначена технологія має деякі недоліки, головним з яких є складність синхронізації по прибуттю на станціях з'єднання або роз'єднання поїздів вже спланованих варіантів стикування пасажирських поїздів. На даний час задача розробки розкладів руху швидкісних пасажирських поїздів вирішується за допомогою експертних методів в ручному режимі [3].

Закордонними вченими приділяється увага розробкам різних типів систем підтримки прийняття рішень щодо ефективної експлуатації поїздів за системою багатьох одиниць, так, в роботі Nima Ghaviha [4] наведено обґрунтування впровадження системи консультування машиніста поїзда щодо ефективного керування поїздом та проведено реалізацію цієї системи в прототипі на базі системи Android на двоколійній ділянці лінії Mälaren, що показала свою ефективність.

Оскільки використання поїздів за системою багатьох одиниць дозволяє збільшити пасажиропотік за маршрутом слідування та може мати неабиякий вплив на регіональний економічний розвиток, то вченими приділялося багато уваги побудові маршрутів та станцій стикування поїздів [5]. Так, Steffen Huck [6], Tammy Drezner [7] в своїх роботах проводили дослідження розташування станцій стикування на основі змішаної стратегії рівноваги Неша. Цікавим є робота P. Dorta-Gonzalez [8], де цю проблему запропонували вирішити за допомогою моделі конкуренції Курно, яка використовується для опису структури галузі, в якій компанії конкурують за обсяг виробництва, який вони вироблять, незалежно один від одного і одночасно, і застосування такої моделі дозволяє отримати прибуток від перевезення більше, ніж при монопольному регулюванні, але нижче, ніж при відкритій конкуренції та існує ризик перетворення на монополію при змові незалежних компаній.

Для побудови раціонального графіка руху поїздів за системою багатьох одиниць з урахуванням пробігів кожної одиниці та необхідного часу технічного обслуговування авторами Ran Chen, Leishan Zhou [9] запропоновано математичну модель нелінійного цілочисельного програмування, що вирішується з використанням адаптованого алгоритму мурашиних колоній та дозволяє отримати графік руху поїздів за системою багатьох одиниць для організації швидкісного руху на великих мережах за досить короткий час.

Автором Lin D.Y. [10] для формування графіка руху поїздів з оптимальними схемами зупинки поїздів запропоновано математичну модель цілочисельного програмування, орієнтовану на зменшення загальних експлуатаційних витрат, яка вирішується з використанням бінарного кодованого генетичного алгоритму. Математична модель нелінійного цілочисельного програмування для побудови графіка руху поїздів, запропонована Niu H.M., Zhou X.S. [11], орієнтована на мінімізацію очікування пасажирів на станціях пересадки та призначена для розрахунку на залізничному напрямку.

Для побудови графіка руху поїздів на одноколійній дільниці високошвидкісних ліній за системою багатьох одиниць з плануванням оптимального часу зупинки

поїздів Yang LX, Qi JG [12] запропоновано багаточільову змішану модель лінійного програмування, орієнтовану на мінімізацію загального часу руху поїздів на дільниці та загальної різниці між очікуваним та реальним часом відправлення поїздів. Для вирішення даної моделі було застосовано загальну систему алгебраїчного моделювання (англ., General Algebraic Modeling System, GAMS).

Незважаючи на успішний досвід застосування даних моделей на реальних полігонах залізничної мережі, жодна з них не може бути застосована в умовах функціонування залізничної мережі України, оскільки дані моделі застосовуються на залізничних лініях з розділеним рухом пасажирських та вантажних поїздів в умовах функціонування декількох пасажирських компаній та наявності конкуренції між ними.

Мета і завдання дослідження. Метою статті є дослідження сучасних особливостей експлуатації з'єднаних швидкісних поїздів та дослідження можливості запровадження даної технології на залізниці України.

Матеріали та методи дослідження. Технічна можливість експлуатації двох високошвидкісних електропоїздів за системою багатьох одиниць (англ., Modular train sets, MU) дозволила на залізницях світу створити нову стратегію експлуатації парку високошвидкісних та регіональних поїздів. Це надало можливість використовувати короткосоставні поїзди, які можна комбінувати з поїздами більшої составності для освоєння змінного попиту на дільницях залізничної мережі.

Технологія експлуатації високошвидкісних поїздів з малою кількістю вагонів у своєму составі надає дві основні переваги: запропонована кількість місць у поїзді може бути адаптована до попиту, що змінюється у часі та просторі (наприклад, пікові години, тощо); поїзди можна розчіпляти або з'єднувати на певній точці маршруту, та обслуговувати напрямки з різним попитом. Пасажирам не треба змінювати поїзди, а оператор економить витрати. В умовах з'єднання двох поїздів збільшується пропускна спроможність залізничних дільниць.

Модульна експлуатація високошвидкісних поїздів передбачає можливість об'єднання поїздів у два або навіть у три состави за умови високого попиту у часі або просторі. Ця концепція особливо підходить для регіонального, приміського сполучення та широко застосовується на мережах високошвидкісних магістралей (ВШМ) в усьому світі. За такою технологією високошвидкісні поїзди можуть бути різної довжини. Наприклад, DB AG замовив потяги ICE-T (поїзд з нахилом кузова) з можливістю експлуатації його з'єднаним у двох варіантах составності: 5-вагонні та 7-вагонні состави поїзда. Состав з семи вагонів ICE T може працювати у подвійній тязі, состав з п'яти вагонів у трьох-тяговому (з 1999 року). Максимальна експлуатаційна швидкість поїздів досягає 200 км/год на звичайних залізничних лініях та до 230 км/год на швидкісних залізничних лініях. Цікавим є конструкція поїзда типу ICE 2: типова конфігурація німецького ICE 2 складається з двох напівпоїздів, кожен з яких має локомотив на одному кінці, і невеликий привід (без встановленої потужності) на іншому кінці. Це дозволяє розділити ICE 2 на два напівпотяги, щоб обслуговувати два маршрути, що мають спільну першу частину поїздки (наприклад, лінія Берлін-Кельн). Максимальна швидкість експлуатації даних поїздів на швидкісних залізничних лініях до 300 км/год, а на території Франції до 320 км/год.

Витрати на поїзд, що припадають на одне місце, вищі для коротших поїзних одиниць, оскільки необхідна майже та сама потужність тяги, як і для більш довгого составу високошвидкісного поїзда. Те саме стосується кабін машиністів локомотивів. Додатковий ефект вартості може виникнути, якщо спеціально розробляти конструкції поїздів потужність яких буде збалансованою у випадку їх

експлуатації з'єднаними. Таким прикладом є конструкція поїздів-модулів 5-вагонних та 7-вагонних составів MU поїзда ICE-T. Проте збільшення інвестиційних витрат на конкретне місце в більшості випадків буде компенсовано меншою потребою в розміщенні на місце завдяки кращій адаптації пропозиції кількості місць на дільниці до попиту пасажирів.

Експлуатація з'єднаних поїздів є ефективним способом досягнення кращої населеності в ситуаціях із сильними відхиленнями попиту у часі або просторі. Це значно зменшує витрати та покращує ефективність використання енергії (на пасажир-км). Вищі індивідуальні витрати на місце розташування компенсуються зниженими можливостями недозаселення поїздів. У місцевому та регіональному сполученні вже широко використовується використання коротких MU для адаптації довжини поїзду до попиту. Проте деякі оператори побоюються більшої складності процесів формування поїздів та додаткових планових зусиль, спрямованих на синхронізацію графіку їх руху на мережі. До недоліків слід віднести відсутність проходу між двома зчепленими поїздами.

Технологія експлуатації з'єднаних поїздів широко застосовується на швейцарських залізницях (SBB). З'єднання поїздів планується тривалістю від 2 до 6 хвилин. Найбільшою проблемою організацією обігу швидкісних поїздів за системою багатьох одиниць є взаємозалежність їх графіків руху, що у випадку запізньєнь призводить до вторинних затримок. Однак висока надійність перевезень дозволяє звести дані випадки до мінімуму. [10].

Технічні можливості організації з'єданого руху швидкісних поїздів забезпечуються спеціальними багатофункціональними автозчепними пристроями (англ., Multi-function couplers, MFCs), які забезпечують автоматичне зчеплення составів (модулів) між собою з під'єднанням гальмівних систем та електричного обладнання для можливості управління з'єднаним поїздом з однієї кабіни (рис. 1).

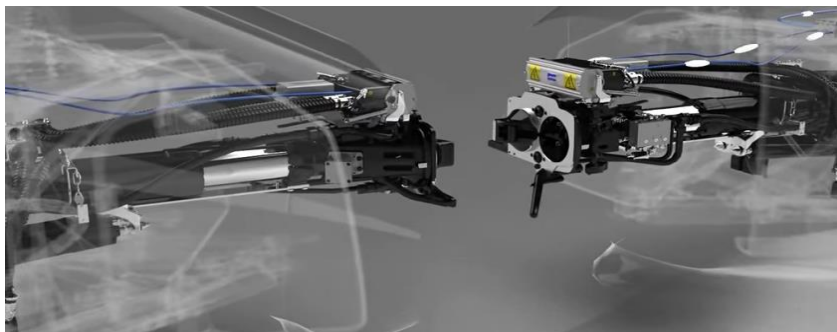


Рис. 1. Фото-схема спеціального багатофункціонального автозчепного пристрою

Найбільшого поширення має автозчепна система Шарфенберга -Scharfenberg coupler (нім., Scharfenbergkupplung або Schaku), що була розроблена у 1903 році Карлом Шарфенбергом в Кенігсберзі, Німеччина. Дана система встановлена на німецьких високошвидкісних поїздах IC (рис. 2). Основним недоліком шарфенберзького з'єднувача є його низький максимальний тоннаж, що робить його непридатним для вантажних перевезень. Приєднання модулів пасажирського поїзда

виконується на дуже низькій швидкості (менше 2 милі на годину або 3,2 км/год в кінцевому підході), так що пасажери не відчувають стикування.



Рис. 2. Приклад готовності до з'єднання двох модулів поїздів ICE T за допомогою шарфенберзького з'єднувача

Введені в експлуатацію у 2009 році на ВШМ Південної Кореї високошвидкісні поїзди KTX-Sancheon, також мають автоматичні зчеплення системи Шарфенберга [13], що дозволяють об'єднати і розчеплювати дві серії поїздів на проміжних станціях, надаючи Національному залізничному оператору "Корайл" (англ., Korail) більшу гнучкість в експлуатації даних поїздів на лініях з різним рівнем попиту. Автозчепні пристрої та автоматику постачала німецька промислова компанія Voith. Поїзди KTX-Sancheon побудовані компанією побудований Hyundai Rotem і використовуються як на швидкісних ліній Сеул-Бусан, так і на звичайній мережі. З'єднання двох поїздів KTX-Sancheon за допомогою системи Шарфенберга компанії Voith показано на рис. 3.



Рис. 3. З'єднання двох поїздів KTX-Sancheon за допомогою системи Шарфенберга компанії Voith

Точка зору про те, що короткосоставні поїзди повинні бути додані до рухомого складу KTX (англ., Korean Train Express) для операційної гнучкості, було підсилено реальними тенденціями населеності поїздів Нопам KTX після запуску послуг KTX з 1 квітня 2004 року з 20-ти вагонними поїздами KTX-I [14]. Поточна конфігурація поїздів складається з 20 фіксованих вагонів з 935 місцями. Така композиція не становить великої проблеми для коридору Сеул-Бусан, де щільність попиту досить висока. Однак попит на коридорі Сеул-Мопко засвідчив бажаність курсування

составів з меншою кількістю вагонів (рисунк 4). Двадцятивагонні секції поїзда були підготовлені для коридору Сеул-Бусан без розгляду попиту в коридорі Сеул-Мокпо. Ця невідповідність попиту змусила компанію, що експлуатує поїзди на цих лініях змінити составність поїздів та застосувати модульну систему експлуатації поїздів на мережі. [18].

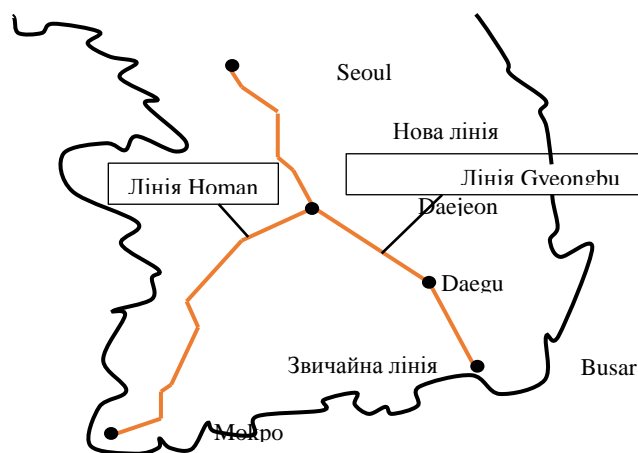


Рис. 4. Схема залізничних високошвидкісних магістралей Сеул-Бусан та Сеул-Мокпо

Закуплені у 2012 році урядом України 10 швидкісних поїздів HRCS2 виробництва компанії «Hyundai Rotem» також передбачають їх експлуатацію за системою багатьох одиниць. Український EMU (електропоїзд) HRCS2 має два типи зчепки: автозчеплення і жорстка міжвагонна зчепка (рис. 5).

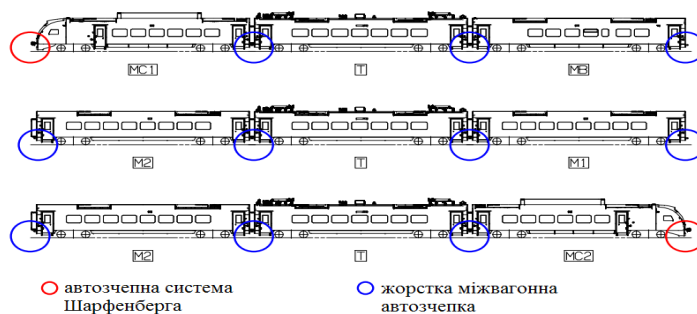


Рис. 5. Базова схема формування 9-ти вагонного состава поїзда HRCS2 виробництва компанії «Hyundai Rotem»

Автозчепка встановлюється у передній частині МС-вагона для зчеплення декількох составів і для рятувальних операцій з аварійним адаптером зчепки (при необхідності). Жорстка міжвагонна зчепка встановлюється на задній частині МС-вагона і з обох кінців М, МВ, Т-вагонів для міжвагонного зчеплення (рисунк 6).



Рис. 6. Автоматична автозчепна система типу Шарфенберга поїзда HRCS2 виробництва компанії «Hyundai Rotem»

Принцип роботи автозчепної система типу Шарфенберга поїзда HRCS2 виробництва компанії «Hyundai Rotem», що експлуатується на залізницях України передбачає розчеплення та зчеплення составів в автоматичному режимі. Автоматичне розчеплення може здійснюватися з обох складів, оскільки машиніст керує кнопкою в кабіні. Для можливості експлуатації поїзда в умовах низьких температур автозчепний пристрій обладнано спеціальними обігрівачами.

Технологія зчеплення двох составів HRCS2 передбачає наступну послідовність дій: 1) состави поїзда для зчеплення зупиняються на відстані приблизно одного метра один від одного; 2) повільно наближається один состав до іншого (не більше 0,6 км/год); 3) зчіпки з'єднуються без ручної допомоги (автоматично). Поїзда також зчіпляються електрично та пневматично; 4) включаються електричні головки автозчепної системи.

Після всіх операцій проводиться перевірка зчеплення і після цього поїзд може відправлятися у визначеному напрямку руху. За вище наведеним аналізом можна констатувати технологічну та технічну можливість експлуатації швидкісних поїздів за системою багатьох одиниць на залізниці України.

Приймаючи до уваги складність рішення поставленої задачі, в роботі запропоновано застосувати оптимізаційну математичну модель для синхронізації розкладу руху з'єднаних швидкісних пасажирських або приміських поїздів на залізничній мережі [16-19].

$$F = \sum_m \sum_n \sum_l \sum_p (dept_{p,l}^m - arrt_{p,n}^m) \rightarrow \min, \quad (1)$$

З такими обмеженнями оптимізаційної математичної моделі:

$$X_{p,n} \geq 0, X_{1,n} \leq I \max_n; 1 \leq p \leq f_n, \quad (2)$$

$$X_{f,n} \leq T, 1 \leq n, l \leq N, \quad (3)$$

$$I \min_n^m \leq X_{(p+1)n} - X_{pn} \leq I \max_n^m, 1 \leq m \leq M, \quad (4)$$

$$H \min_i^s \leq H_i^s \leq H \max_i^s, \quad (5)$$

$$dept_{p,l}^m > arrt_{p,n}^m, 1 \leq n, l \leq N, \quad (6)$$

де m – станція з'єднання швидкісних пасажирських або швидкісних приміських поїздів; l – маршрут руху першого з поїздів за системою багатьох одиниць на

маршруті l ; n – маршрут руху другого з поїздів за системою багатьох одиниць на маршруті l ; p – час відправлення кожного поїзда за системою багатьох одиниць на маршруті слідування, хв.; $dept_{p,l}^m$ – час прибуття кожного поїзда p на маршруті l , хв.; $arr_{p,n}^m$ – час відправлення кожного поїзда p на маршруті l , хв.; $X_{p,n}$ – час відправлення кожного поїзда p на маршруті слідування i , хв.; $I \min_n$, $I \max_n$ – мінімальний та максимальний міжпоїзний інтервал, хв; f_n – кількість відправлень (частота) поїздів за системою багатьох одиниць або кількість поїздів, що заплановані на маршруті n в інтервалі $[0, T]$, поїздів; T – період планування – відповідає максимальному часу обороту состава, доба.

Обмеження (2) визначає необхідність відправлення першого поїзда за системою багатьох одиниць на кожному маршруті n в межах інтервалу $[0, I \max_n]$. Обмеження (3) встановлює умову, при якій відправлення останнього поїзда за системою багатьох одиниць повинне бути в межах планового періоду T . Обмеження (4-5) визначають необхідність дотримання меж міжпоїздного інтервалу та часу стоянки поїзда на станції з'єднання груп. Обмеження (6) виключає недопустимі варіанти схем проходження поїздів за системою багатьох одиниць на станції з'єднання, тобто виключається раннє приймання та відправлення поїздів на станціях з'єднання. Слід зазначити рішення запропонованої математичної моделі можливе лише за умови допустимості задачі, тобто при існуванні пропускну здатності на залізничних дільницях в умовах існування пасажирського руху.

Рішення поставленої задачі оптимізації не представляється складним і можливо здійснити за допомогою методу оптимізації на основі використання генетичного алгоритму [15].

По суті вихідними даними для запуску програми синхронізації розкладу руху швидкісних пасажирських поїздів є можливі часові вікна стикування пасажирських поїздів. На рис. 7 наведено результати розрахунку у вигляді діаграми Ганта для попередньо отриманого рішення задачі побудови плану формування з'єднаних швидкісних поїздів на графі мережі.

По абсцисі діаграми відображається відносний час від 0 до 1440 хв. Темні прямокутники (рис. 7) відображають тривалість руху состава поїздах на відповідну нитку. На початку і у кінці кожного прямокутника вказаний час відправлення та прибуття. Назва нитки відображена посередині. Тонкими лініями показана операція з'єднання або розчеплення поїздів при відправленні на нитки різних напрямків.

Згідно до знайденого рішення на рисунках 8-9 наведено скорочену схему ув'язки обігу швидкісних поїздів категорії Інтерсіті+ на напрямку Київ-Пшемисль за діючим та варіантом та при з'єднанні двох швидкісних поїздів на дільниці Львів – Пшемисль.

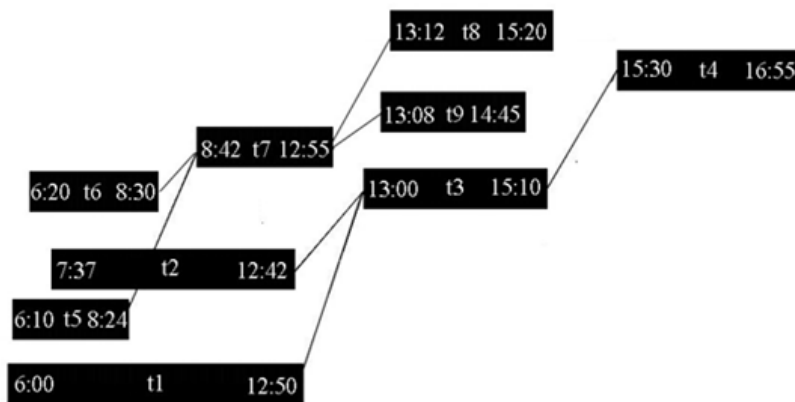


Рис. 7. Результат рішення оптимізаційної задачі синхронізації графіка руху швидкісних пасажирських поїздів у вигляді діаграми Ганта

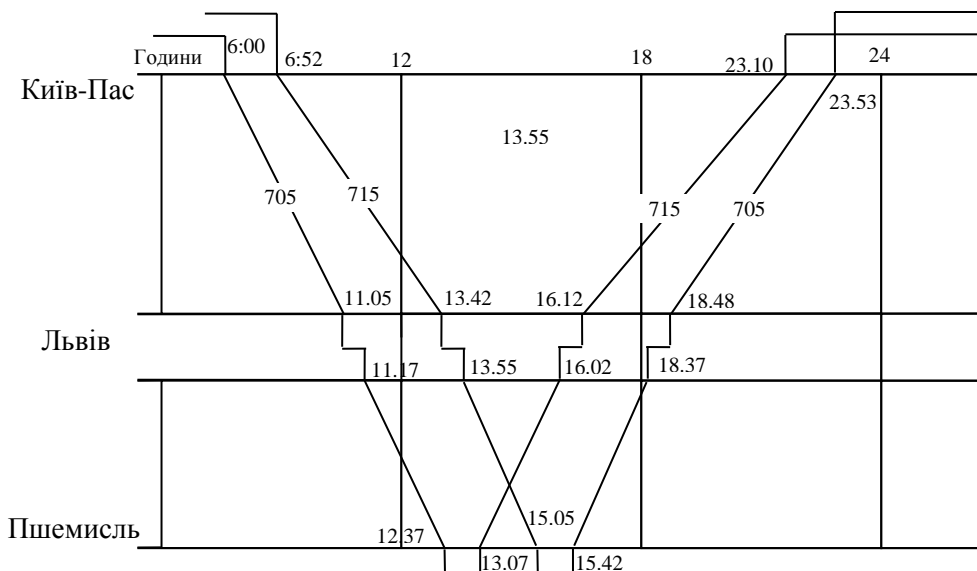


Рис. 8. Схема діючого варіанта обігу швидкісних поїздів категорії Інтерсіті+ на напрямку Київ – Пшемисьль

В реаліях експлуатаційної роботи залізничної мережі України економічна ефективність курсування пасажирських поїздів за системою багатьох одиниць досягається за рахунок вивільнення на розрахунковому залізничному напрямку частки пропускної спроможності, що призначена для руху швидкісного поїзда для пропуску вантажних поїздопотоків. Таким чином, проведені в роботі розрахунки економічного обґрунтування запропонованих заходів доводять, що після впровадження технології експлуатації здвоєних швидкісних пасажирських поїздів на залізничній дільниці Львів-Пшемисьль витрати, що припадають на одну пару вантажних поїздів, зменшаться на 29%, економічний ефект з наростаючим

підсумком від впровадження запропонованої системи організації руху за період 2019-2022 рр., становить 9 653,81 грн у розрахунку на пару вантажних поїздів.

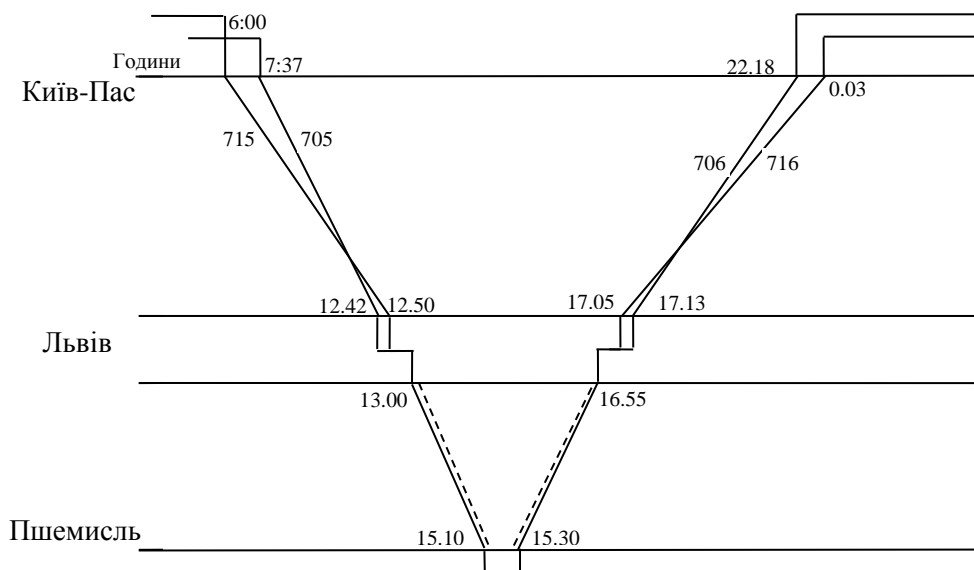


Рис. 9. Схема варіанта обігу швидкісних поїздів категорії Інтерсіті+ на напрямку Київ – Пшемисль при з'єднанні двох швидкісних поїздів на дільниці Львів – Пшемисль

Висновки. Проведені дослідження доводять, що експлуатація з'єднаних пасажирських поїздів є ефективним способом досягнення кращої населеності в ситуаціях із сильними відхиленнями попиту у часі або просторі. Це значно зменшує витрати та покращує ефективність використання енергетичних ресурсів на пасажиро-км.

За вище наведеним аналізом можна констатувати технологічну та технічну можливість експлуатації швидкісних поїздів за системою багатьох одиниць на залізниці України. Принцип роботи автозчепної система типу Шарфенберга поїзда HRCS2 виробництва компанії «Hyundai Rotem», що експлуатується на залізницях України передбачає розчеплення та зчеплення составів в автоматичному режимі. Автоматичне розчеплення може здійснюватися з обох складів, оскільки машиніст керує кнопкою в кабіні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ran Chen, Leishan Zhou, Yixiang Yue, Jinjin Tang, Chao Lu. The integrated optimization of robust train timetabling and electric multiple unit circulation and maintenance scheduling problem. *Advances in Mechanical Engineering* 2018, Vol. 10(3). 1–16.
2. Zhou X.S. and Zhong M. Bicriteria train scheduling for high-speed passenger railroad planning applications. *Eur J Oper Res* 2005; 167: 752–771.
3. Бутько Т.В., Ломотько Д.В., Прохорченко А.В., Олійник К.О. Формування логістичної технології просування вантажопотоків за жорсткими нитками графіку руху поїздів. *Збірник наукових праць. Харків, УкрДАЗТ, 2009. №78. С. 71-75.*

4. Nima Ghaviha, Markus Bohlin, Christer Holmberg, Erik Dahlquist, Robert Skoglund, Daniel Jonasson .A driver advisory system with dynamic losses for passenger electric multiple units.// *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* Volume 85, December 2017, Pages 111-130.
5. Heyuan Huang, Weikun Zhang, Meng Chen, Yiming He. Effect of intercity electric multiple unit projects on regional economic development: evidence from a natural experiment in Zhongshan city, China // *Heliyon* 5, 2019 P. 1-6.
6. Steffen Huck, Wieland Müller, Nicolaas J. Vriend “the east end, the west end, and king’s cross: on clustering in the four-player hotelling game// *Econ. Inq.*, 40 (2) (2002), P. 231-240
7. Tammy Drezner, Zvi Drezner, Shogo Shiode A threshold-satisfying competitive location model// *J. Reg. Sci.*, 42 (2) (2002), pp. 287-299.
8. Pablo Dorta-González, Dolores R. Santos-Peñate, Rafael Suárez-Vega Cournot oligopolistic competition in spatially separated markets: the stackelberg equilibrium // *Ann. Reg. Sci.*, 38 (3) (2004), P. 499-511
9. Ran Chen, Leishan Zhou, Yixiang Yue, Jinjin Tang and Chao Lu The integrated optimization of robust train timetabling and electric multiple unit circulation and maintenance scheduling problem// *Advances in Mechanical Engineering* 2018, Vol. 10(3) P.1-16.
10. Lin D.Y. and Ku Y.H. Using genetic algorithms to optimize stopping patterns for passenger rail transportation. *Comput: Aided Civ Inf* 2014; 29. P. 264-278
11. Niu H.M., Zhou XS and Gao RH. Train scheduling for minimizing passenger waiting time with time-dependent demand and skip-stop patterns: nonlinear integer programming models with linear constraints. *Transport ResB: Meth* 2015. P. 117-135
12. Yang L.X., Qi J.G., Li S.K. Collaborative optimization for train scheduling and train stop planning on high-speed railways. *Omega* 2016; 64. P. 57-76.
13. High-Speed Rail in Korea: Lessons for the Midwes. Midwest High Speed Rail Association, December 7, 2013. - 9 p. Режим доступу: https://www.midwesthsr.org/sites/default/files/studies/Korea_overview_2013_12_07.pdf.
14. D. Suh, Sunduck; Yang, Keun-Yul; Lee, Jae-Hoon; Ahn, Byung-Min; Kim, Jeong Hyun (2005). "Effects of Korean Train Express (KTX) Operation on the National Transport System" (PDF). *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. 5. P. 175-189.
15. Ceder A., Golany B., Tal O. Creating bus timetables with maximal synchronization // *Transportation Research*. 2000. Part A 35. P. 913 -928.
16. Liebchen C., Schachtebeck M., Schöbel A., Stiller S, Prigge A. Computing delay resistant railway timetables. *Computers & Operations Research* .Volume 37, Issue 5, May 2010, Pages 857-868
17. Castelli L., Pesenti R., Ukovich Castelli W. Scheduling multimodal transportation systems // *European Journal of Operational Research*. 2004. Vol. 155(3). P. 603-615.
18. Kim K-H and S. Suh (2003), Allocation of Rail Line Capacity between KTX and Conventional Trains under Different Policy Goals with Mathematical Programming, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.5, October, P.236-251.
19. Yun Wang, Yu Zhou, Xuedong Yan. Optimizing Train-Set Circulation Plan in High-Speed Railway Networks Using Genetic Algorithm *Journal of Advanced Transportation*. Volume 2019, Article ID 8526953, P.1-12.

REFERENCES

1. Ran Chen, Leishan Zhou, Yixiang Yue, Jinjin Tang, Chao Lu. The integrated optimization of robust train timetabling and electric multiple unit circulation and maintenance scheduling problem. *Advances in Mechanical Engineering* 2018, Vol. 10(3). 1-16.
2. Zhou XS and Zhong M. Bicriteria train scheduling for high-speed passenger railroad planning applications. *Eur J Oper Res* 2005; 167: 752-771.
3. Butko, T.V. (2009) Formuvannya logistichnoyi tehnologiyi prosuvannya vantazhopotokiv za zhorstkimi nitkami grafiku ruhu poyizdiv/ T.V. Butko, D.V. Lomotko, A.V. Prohorchenko, K.O. Oliyuk // *Zbirnik naukovih prats UkrDAZT*, 78. 71-75.
4. Ghaviha, Nima (2017). A driver advisory system with dynamic losses for passenger electric multiple units/ Nima Ghaviha, Markus Bohlin, Christer Holmberg, Erik Dahlquist, Robert Skoglund, Daniel Jonasson// *Transportation Research Part C: Emerging Technology*, 85, 111-130.
5. Heyuan, Huang (2019). Effect of intercity electric multiple unit projects on regional economic development: evidence from a natural experiment in Zhongshan city, China/ *Heyuan Huang*, Weikun Zhang, Meng Chen, Yiming He // *Heliyon* 5, 1-6.
6. Steffen Huck (2002). “The east end, the west end, and king’s cross: on clustering in the four-player hotelling game/ Steffen Huck, Wieland Müller, Nicolaas J. Vriend// *Econ. Inq.*, 40 (2) (2002), P. 231-240

7. Drezner, Tammy (2002). A threshold-satisfying competitive location model / Tammy Drezner, Zvi Drezner, Shogo Shiode J.// Reg. Sci., 42 (2),287-299.
8. Dorta-González, Pablo (2004) Cournot oligopolistic competition in spatially separated markets: the stackelberg equilibrium / Pablo Dorta-González, Dolores R. Santos-Peñate, Rafael Suárez-Vega// Ann. Reg. Sci., 38 (3), 499-511.
9. Chen, Ran (2018). The integrated optimization of robust train timetabling and electric multiple unit circulation and maintenance scheduling problem/ Ran Chen, Leishan Zhou, Yixiang Yue, Jinjin Tang, Chao Lu// Advances in Mechanical Engineering 2018, 10(3), 1–16.
10. Lin, D.Y.(2014) Using genetic algorithms to optimize stopping patterns for passenger rail transportation/ D.Y.Lin, Y.H. Ku // Comput: Aided Civ, 29, 264–278.
11. Niu, H.M. (2015). Train scheduling for minimizing passenger waiting time with time-dependent demand and skip-stop patterns: nonlinear integer programming models with linear constraints/ H.M.Niu, X.S., R.H. Zhou Gao// Transport ResB: Meth, 2015 117–135.
12. Yang, L.X.(2016). Collaborative optimization for train scheduling and train stop planning on high-speed railways/ L.X.Yang, J.G.Qi, S.K. Li// Omega, 64, 57–76.
13. High-Speed Rail in Korea: Lessons for the Midwes. Midwest High Speed Rail Association, December 7, 2013. – 9 p. URL: https://www.midwesthsr.org/sites/default/files/studies/Korea_overview_2013_12_07.pdf.
14. Suh, D (2005) "Effects of Korean Train Express (KTX) Operation on the National Transport System" / D. Suh, Sunduck; Yang, Keun-Yul; Lee, Jae-Hoon; Ahn, Byung-Min; Kim, Jeong Hyun// Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. 5, 175–189.
15. Ceder, A. (2000). Creating bus timetables with maximal synchronization // A.Ceder, B.Golany, O. Tal// Transportation Research. 2000. Part A 35, 913 -928.
16. Liebchen C., Schachtebeck M., Schöbel A., Stiller S, Prigge A. Computing delay resistant railway timetables. Computers & Operations Research .Volume 37, Issue 5, May 2010, Pages 857-868
17. Castelli, L. (2004). Scheduling multimodal transportation systems/ L.Castelli, R.Pesenti, W.Ukovich Castelli // European Journal of Operational Research, 155(3), 603-615.
18. Kim, K-H (2003). Allocation of Rail Line Capacity between KTX and Conventional Trains under Different Policy Goals with Mathematical Programming / K-H Kim, S. Suh// Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 5, 236-251.
19. Yun Wang, Yu Zhou, Xuedong Yan. Optimizing Train-Set Circulation Plan in High-Speed Railway Networks Using Genetic Algorithm Journal of Advanced Transportation. Volume 2019, Article ID 8526953, P.1-12.

Г.О. Прохорченко, к.т.н. (доцент кафедри управління експлуатаційної роботою Українського державного університету залізничного транспорту),

В.В. Белокудря (аспірант кафедри управління експлуатаційної роботою Українського державного університету залізничного транспорту),

Н.С. Севрук, Т.В. Никитина, Є.Г. Ступакова, Д.Р. Алафін (магістранты кафедри управління експлуатаційної роботою Українського державного університету залізничного транспорту)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СКОРОСТНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ ПО СИСТЕМЕ МНОГИХ ЕДИНИЦ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ УКРАИНЫ

В работе исследовано направление внедрения технологии эксплуатации соединенных скоростных поездов, что позволит сократить расходы на освоение переменного спроса на участках маршрутов поездов, повысить качество обслуживания пассажиров. Проведен анализ опыта эксплуатации высокоскоростных пассажирских поездов по системе многих единиц. Предложена усовершенствованная модель действующего варианта обращения скоростных поездов категории

Интерсити+ на напрямленні Київ-Пшемьсь при соединенні двох скоростных поездов.

Ключевые слова: *железная дорога, скоростные поезда, Интерсити+, система многих единиц, моделирование*

*Halyna Prokhorchenko, Ph.D. in Technical Sciences,
(docent of Department of management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport)*

*Volodymyr Belokudria, graduate student,
(department of management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport)*

Natalia Sevruck, Tetiana Nikitina, Yevhenia Stupakova, Denys Alafin, master students, (department of management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport)

RESEARCH ON OPPORTUNITIES OF OPERATION OF SPEED PASSENGER TRAINS BY THE COUPLE UNIT SYSTEM ON THE RAILWAY OF UKRAINE

In the work investigated the direction of introduction of technology for the organization of multiply-units speed trains, which will reduce the cost of developing variable demand of train routes, and improve the quality of passenger service. In order to increase the efficiency of transportation in high-speed trains, it is necessary to use organizational technologies, which are based on concepts, that meet the requirements of the variable basis of the organization of passenger transportation and allow to provide a flexibility for companies-carriers. Was analyzed experience of operating high-speed electric trains on multiply-units control system. The modular operation of high-speed trains offers the ability to combine trains into two or even three trains with the possibility of adapting to changing time and space requirements. This makes it possible to use short-haul trains, which can be combined with trains of higher complexity to meet variable demand on railway network. In the work we find a solution for the problem of constructing a plan for the formation of connected high-speed trains on the network graph, and proposed an improved model of the current variant of the Intercity+ high-speed train on the Kiev-Przemysl route using connecting two high-speed trains.

Keywords: *rail, high-speed trains, Intercity+, multiply-units control system, modeling.*