

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту

ПРОХОРОВ ВІКТОР МИКОЛАЙОВИЧ



УДК 656.222.3

**РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ
ВАГОНОПОТОКАМИ НА ОСНОВІ СИСТЕМНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНУ
ФОРМУВАННЯ ПОЇЗДІВ**

05.22.01 – транспортні системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2017

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Бутько Тетяна Василівна,
Український державний університет залізничного транспорту, кафедра управління експлуатаційною роботою, завідувач кафедри.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Жуковицький Ігор Володимирович,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка Всеволода Лазаряна, кафедра електронних обчислювальних машин, завідувач кафедри;

кандидат технічних наук, доцент
Кириченко Ганна Іванівна,
Державний університет інфраструктури і технологій, кафедра управління процесами перевезень, завідувач кафедри.

Захист відбудеться “26” жовтня 2017 р. об 11³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українському державному університеті залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий “21” вересня 2017 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



А. В. Прохорченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010–2019 роки одними із основних пріоритетів у сфері технічної модернізації галузі визначає утворення головного та регіональних центрів управління перевезеннями, розроблення і впровадження інноваційних транспортних та логістичних технологій, автоматизацію управлінських та виробничих процесів. Стан виробничо-технічної бази залізниць і технологічний рівень організації перевезень за багатьма параметрами не відповідають зростаючим потребам суспільства та європейським стандартам якості надання транспортних послуг, перешкоджають підвищенню ефективності функціонування галузі та потребують реформування. За таких умов і за відсутності можливості здійснення масштабних і термінових капіталовкладень в об'єкти інфраструктури та рухомий склад можливим шляхом технічної модернізації залізничної системи України і зокрема її найважливішої підсистеми – вантажних перевезень є удосконалення технологічного процесу при виконанні вантажних залізничних перевезень. Ключовою ланкою технологічного процесу є система організації вагонопотоків, основним завданням якої є встановлення найбільш раціонального порядку формування вагонопотоків та їх слідування по напрямках залізничної мережі. Існуюча система організації вагонопотоків створена за умов планової економіки, коли вагонопотоки постійно монотонно зростали. Вона використовує концепцію плану формування поїздів. Але у теперішній час з поступовим набуттям вітчизняною економікою ринкових ознак, а також під впливом багатьох внутрішніх і зовнішніх факторів ця система працює в умовах коливань вагонопотоків. Як довів аналіз часових рядів обсягів перевезень, вони є практично непрогнозованими, що спричиняє падіння ефективності функціонування системи організації вагонопотоків з причини відсутності ефективних механізмів адаптації до змін обсягів вагонопотоків. Одним із напрямків удосконалення технології організації вантажних перевезень є надання гнучкості системі організації вагонопотоків, зберігаючи при цьому стратегічний рівень планування. Це можливо шляхом впровадження автоматизованої системи управління вагонопотоками. Виходячи з цього постає наукове завдання об'єднання рівнів планування в єдину автоматизовану систему на основі багаторівневої системної оптимізації плану формування поїздів. Таким чином, представлена дисертаційна робота є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась відповідно до Транспортної стратегії України на період до 2020 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р. № 2174-р), Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010–2015 роки (постанова Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1390), а також науково-дослідних робіт за темами, у яких автор брав безпосередню участь як виконавець: “Розробка технології автоматизації корегування ПФП в умовах нерівномірного виникнення потужних струменів вагонопотоків” (ДО №0211U005391); “Дослідження вагонопотоків та розробка вимог до складання технологічного процесу роботи залізничного напрямку” (ДО № 0211U005392); “Розробка вимог щодо визначення нормативної чисельності

персоналу з організації перевезень та поточного утримання інфраструктури залізничного напрямку” (ДО № 0212U008191); “Розробка класифікації залізничних напрямків на категорії інфраструктури за техніко-експлуатаційними характеристиками” (ДО № 0212U008192); “Розробка методики визначення раціональних співвідношень між потужністю вагонопотоків та пропускнуою спроможністю на залізничних напрямках для встановлення технічних і технологічних можливостей перевізника” (ДО № 0213U004221); “Формування комплексу універсальних моделей, реалізація яких забезпечує раціональну організацію вантажопотоків на залізничній транспортній мережі” (ДО № 0214U003188); “Розробка вимог для планування маршрутів слідування вагонів з небезпечними вантажами при мінімізації ризиків в умовах Придніпровської залізниці” (ДО №0214U005239); “Проведення дослідного автоматизованого розрахунку нормативного графіка руху поїздів на залізничному напрямку” (ДО № 0214U005803); “Методи формування інтелектуальних залізничних транспортних систем” (ДО № 0215U000327).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності функціонування залізничної транспортної системи вантажних перевезень за рахунок зменшення непродуктивних вагоно-годин простою шляхом системної оптимізації плану формування поїздів (ПФП).

Реалізація цієї мети потребує постановки та вирішення таких задач дослідження:

- провести статистичний аналіз техніко-експлуатаційних показників роботи Укрзалізниці з метою виявлення причин зниження ефективності функціонування підсистеми вантажних залізничних перевезень;
- провести аналіз моделей управління вагонопотоками на залізницях країн світу;
- формалізувати технологію управління вагонопотоками на основі системної оптимізації, яка передбачає вирішення задачі стратегічного планування у вигляді плану формування поїздів, з урахуванням можливості впливу на процес накопичення вагонів на сортувальних станціях на тактичному і оперативному рівнях;
- розробити метод автоматизованого розрахунку плану формування поїздів, який дозволить вирішувати задачу оптимізації ПФП великої розмірності, що відповідає полігону мережі Укрзалізниці, який має розгалужену мережеву структуру і велику кількість станцій;
- перевірити запропоновану модель на адекватність;
- формалізувати технологію роботи сортувальної станції для одержання оперативного плану управління її роботою, який забезпечить стабільність виконання ПФП шляхом утримання параметрів накопичення у визначених межах;
- запропонувати архітектуру багаторівневої автоматизованої системи організації вагонопотоків, яка базується на концепції коригування ПФП як рівноважної системи;
- обґрунтувати економічну доцільність запропонованого підходу до удосконалення технології організації вагонопотоків.

Об’єкт дослідження – процес організації вагонопотоків.

Предмет дослідження – технологія управління вагонопотоками.

Методи дослідження. При проведенні досліджень статистичних даних кількісних і якісних показників вантажних перевезень, а також часових рядів обсягів перевезень були використані методи математичної статистики кореляційного аналізу та RS-аналізу. Для побудови оптимізаційних моделей та вирішення оптимізаційних задач використані методи теорії множин і комбінаторного аналізу, метод Дейкстри, методи теорії графів, методи теорії розкладу, методи стохастичної і комбінаторної оптимізації, методи математичного апарату генетичних алгоритмів.

Наукова новизна одержаних результатів. В дисертаційній роботі вирішене наукове завдання формування автоматизованої технології управління вагонопотоками, що базується на концепції системної оптимізації плану формування поїздів, в умовах коливань обсягів перевезень.

Вперше:

- формалізовано технологію управління вагонопотоками на залізничній транспортній мережі, яка у вигляді оптимізаційної моделі вирішує задачу побудови ПФП як задачу стохастичної комбінаторної оптимізації, що на відміну від існуючих враховує параметри накопичення у ролі стохастичних змінних та надає їм інтервальної оцінки;

- розроблено метод автоматизованого розрахунку плану формування одноступінних поїздів, що на відміну від існуючих методів забезпечує можливість направлення вагонопотоків з відхиленням від найкоротшого маршруту з урахуванням обмежень на пропускну спроможність дільниць та пропускну і переробну спроможності станцій, використовуючи як механізм оптимізації математичний апарат генетичних алгоритмів, який забезпечує більш високий ступінь наближення до оптимуму;

- формалізовано процедуру побудови оперативного плану роботи сортувальної станції як задачу теорії розкладу та розроблено метод його автоматизованої побудови, який дозволить на рівні оперативного планування забезпечувати виконання ПФП шляхом утримання параметрів накопичення у визначених межах, використовуючі як механізм оптимізації математичний апарат генетичних алгоритмів комбінаторного типу;

Удосконалено:

- структуру і комплекс задач АСК ВП УЗ-Є шляхом інтеграції у її склад автоматизованої системи розрахунку і підтримки виконання плану формування поїздів, що дозволить комплексно вирішувати задачі розрахунку ПФП, оперативного і поточного планування та управління роботою сортувальних станцій, аналізу виконання планів та прийняття рішення щодо їх корегування, реалізуючи трирівневу структуру управління.

Практичне значення одержаних результатів. Матеріали дисертаційної роботи використано при формуванні автоматизованої технології управління вагонопотоками. Впровадження такої технології надасть можливість автоматизувати процес розрахунку ПФП на стратегічному та тактичному рівнях планування роботи системи вантажних залізничних перевезень і забезпечити його виконання на рівні управління сортувальних станцій. Це надасть можливість

раціонально розподілити роботу між сортувальними станціями, використати пропускну спроможність залізничних ліній, зменшити непродуктивні вагоно-години простою на станціях на 0,5–4 % , зменшити час обігу вагона, що у свою чергу дозволить зменшити експлуатаційні витрати.

Розроблена технологія та наведений комплекс моделей використовуються при удосконаленні організації роботи Харківської дирекції залізничних перевезень регіональної філії “Південна залізниця” та у навчальному процесі Навчально-наукового інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ). Практичне впровадження результатів роботи підтверджується актами впровадження.

Особистий внесок здобувача. У наукових працях, опублікованих зі співавторами, особистий внесок полягає у такому: у [1] запропоновано архітектуру нейронечіткої системи для вирішення задачі, у [3] реалізовано модель управління маневровою роботою у середовищі Microsoft Visual Basic та здійснено моделювання, у [4] здійснено моделювання і кластеризацію підприємств ПЗТ у середовищі Matlab, у [5] сформовано модель для побудови системи підтримки прийняття рішень, у [6] сформовано математичну модель для вирішення задачі оперативного планування роботи станції, у [7] сформовано вимоги для побудови автоматизованої системи управління вагонопотоками, у [8] реалізовано запропоновану модель інтелектуальної системи управління процесом приймання і відправлення поїздів на станції у середовищі Matlab, у [9] сформовано математичну модель і запропоновано метод кодування рішення задачі побудови ПФП із застосуванням генетичного алгоритму, у [10] сформовано математичну модель для вирішення задачі побудови ПФП.

Дослідження, що висвітлені в усіх наукових працях, проводилися в УкрДУЗТ.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися та ухвалені на таких конференціях:

- IV Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України», (смт Коктебель, 2–7 червня 2008 р.);

- IV Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи взаємодії залізниць і промислових підприємств» (м. Дніпропетровськ, 1–2 жовтня 2015 р.);

- X Ювілейній щорічній міжнародній науковій інтернет конференції «Перспективні інновації в науці, освіті, виробництві і транспорті ‘2015», (15–27 грудня 2015 р.);

- LXXIV та LXXVIII Міжнародних науково-технічних конференціях (м. Харків, 24–25 квітня 2012 р. та 26–28 квітня 2016 р.);

- V Заочній науковій конференції “Наукові підсумки 2016 року”, (м. Харків, 25 грудня 2016 р.).

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на розширеному засіданні кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту.

Публікації. Відповідно до теми дисертації опубліковано 16 наукових праць, з яких 10 статей (одна без співавторів), що опубліковані у фахових наукових виданнях, затверджених МОН України (три статті включені до міжнародних наукометричних баз, одна з них включена до бази Scopus), шість праць апробаційного характеру.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотацій, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Повний обсяг дисертації складає 192 сторінки, з яких обсяг основного тексту – 132 сторінок, 43 рисунки і 4 таблиці за текстом, та 1 таблицю на окремій сторінці, список використаних джерел із 161 найменування, і 6 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та задачі дослідження, відображено наукову новизну та практичну цінність, подано загальну характеристику роботи.

У першому розділі проведено аналіз основних кількісних і якісних показників роботи підсистеми вантажних перевезень. На фоні високого транзитного та експортного потенціалу українських залізниць відзначено тенденцію до поступового погіршення якісних експлуатаційних показників. Виявлено, що практично відсутня кореляція між показниками «кількість навантажених вагонів» і «обіг вантажного вагона». У той же час визначено, що коефіцієнт кореляції таких величин, як час обігу вагона і простій вагона на одній технічній станції, становить 0.988, що свідчить про те, що основною причиною погіршення якісних показників є зниження ефективності існуючої технології організації вантажних перевезень. Проведено аналіз даних часового ряду середньомісячних обсягів залізних і марганцевих руд, як найбільш масового експортного вантажу, що був відправлений у період з 2013 по 2015 рр. Виявлені значні коливання, які між двома сусідніми місяцями можуть становити до 40 %. Також виявлено низьку персистентність даного часового ряду, про що свідчить величина показника Херста, яка склала $H=0,553$. Цей факт відносить дані часового ряду до категорії «сірого шуму» і свідчить про його складнопрогнозованість. Значні коливання обсягів вагонопотоків, які обумовлені поступовим набуттям економікою України ринкових ознак, а також швидкою зміною кон'юнктури на міжнародних ринках, є основною причиною зниження ефективності функціонування технології організації вагонопотоків, що базується на концепції плану формування поїздів і не має механізмів пристосування до цих коливань.

Проведено аналіз досвіду функціонування технологій організації вагонопотоків на залізницях країн світу. Зроблено висновки на користь збереження стратегічного рівня планування за умови подальшої автоматизації процесу управління вагонопотоками. Обґрунтовано ключову роль методу розрахунку ПФП у системі організації вагонопотоків.

У розвиток теорії та практики технології перевізного процесу, а саме організації вагонопотоків, розробки плану формування вантажних поїздів,

застосування інформаційних технологій в експлуатаційній роботі, зробили значний внесок такі вчені та практики: В. М. Акулінічев, К. А. Бернгард, В. І. Бобровський, Т. В. Бутько, І. І. Васильєв, П. С. Грунтов, В. К. Губенко, М. І. Данько, С. В. Дувалян, І. В. Жуковицький, М. Д. Іловайський, А. Д. Каретніков, Г. І. Кириченко, Д. М. Козаченко, А. М. Котенко, Ф. П. Кочнев, О. В. Лаврухін, Д. В. Ломотько, В. І. Мироненко, Є. В. Нагорний, В. Я. Негрей, В. І. Некрашевич, В. М. Образцов, С. В. Панченко, А. П. Петров, А. В. Прохорченко, В. В. Скалозуб, О. І. Стасюк, І. Б. Сотніков, Н. Б. Чернецька-Білецька, П. О. Яновський та ін.

Для подальшого розвитку вітчизняної системи організації вагонопотоків важливу роль повинне відігравати вивчення закордонного практичного досвіду та сучасних теоретичних розробок у цій галузі. У міжнародних наукових роботах велика увага приділяється формалізації складних управлінських задач, що пов'язані з формуванням поїздів та визначенням їх маршрутів, оптимізацією роботи локомотивів і локомотивних бригад, раціоналізацією роботи сортувальних станцій в процесі формування поїздів. В роботах широко застосовуються методи математичного програмування, економіко-математичні методи моделювання, методи імітаційного моделювання, сучасні методи оптимізації. Розвитком теоретичної науки в галузі організації вагонопотоків займалися такі вчені: A. Jamili, Y. Yue, L. Zhou, Q. Tue, Z. Fan, M. Verma, V. Verter, M. Gendreau, R. K. Ahuja, K. S. Jhu, J. Liu, G. Sahin, M. Yaghini, M. Seyedabadi, M. Khoshraftar.

На підставі вищенаведеного стає актуальним вирішення наукового завдання щодо розроблення нової автоматизованої технології управління вагонопотоками на залізницях України, яка надасть можливість для підвищення точності розрахунків при прийнятті управлінських рішень та забезпечення підтримки їх виконання на всіх рівнях перевізного процесу шляхом інтеграції систем стратегічного і оперативного планування на основі системної оптимізації ПФП.

У другому розділі відзначено важливість точності урахування величин параметра накопичення при побудові оптимального ПФП. Зазначено необхідність створення зворотного зв'язку у системі організації вагонопотоків між рівнем планування і рівнями, які здійснюють виконання ПФП. Запропоновано враховувати можливість впливу на величину параметра накопичення на рівні планування оперативної роботи технічних станцій при розрахунку ПФП. З цією метою доцільно застосовувати параметри накопичення у ролі стохастичних змінних при розрахунку ПФП. Сформульовано задачу розрахунку оптимального ПФП як задачу стохастичної комбінаторної оптимізації. Розроблено новий метод автоматизованого розрахунку ПФП, який використовує як метод оптимізації математичний апарат генетичних алгоритмів.

Як єдиний монопольний оператор ринку вантажних залізничних перевезень ПАТ “Укрзалізниця” змушена оперувати величезним парком вантажних вагонів, який налічує більше сотні тисяч одиниць, маючи разом з тим одну з найпротяжніших і найрозгалуженіших залізничних мереж світу. За таких умов для здійснення ефективного управління системою необхідна наявність чіткої ієрархічної системи управління і ефективного інструменту стратегічного планування. Таким інструментом повинна стати підсистема автоматизованого розрахунку ПФП. Основою такої підсистеми повинен стати метод

автоматизованого розрахунку ПФП, який відповідає всім сучасним вимогам якості планування. До таких вимог належать: можливість здійснення розрахунків для всього полігону залізниць України одночасно, який налічує десятки технічних станцій і має розгалужену мережеву структуру, можливість урахування обмежень щодо пропускної і переробної спроможності станцій, пропускної спроможності дільниць, можливість направлення вагонопотоків за альтернативними маршрутами, можливість урахування оптимізації на нижчих рівнях системи організації вагонопотоків при виконанні ПФП, досягнення високого ступеня деталізації і точності розрахунків.

Для забезпечення процедури відшукування найбільш вигідного варіанта ПФП з урахуванням можливості впливу на параметри накопичення на рівні сортувальних станцій запропоновано при побудові моделі використати параметри накопичення у ролі стохастичних змінних, що надасть можливість врахувати такі показники як математичне очікування і середньоквадратичне відхилення цього параметра. Прийнято, що величина параметра накопичення підпорядковується нормальному закону розподілу, про що свідчать результати аналізу.

Для забезпечення можливості для параметра накопичення набувати значень, величина яких менша, ніж математичне очікування, і в той же час для запобігання безпідставному відхиленню цієї величини у бік менших значень цільова функція містить у своєму складі штрафну функцію, яка використовує параметри розподілу.

Таким чином, менше значення величини цільової функції буде відповідати плану з меншими загальними витратами лише тоді, коли це зменшення витрат буде більш значущим, ніж величина штрафу за заниження величини параметра накопичення. Таким чином, величина штрафу тим більше, чим більше відхилення параметра накопичення від його математичного очікування у бік зменшення, і чим менше імовірність такого відхилення. Таким чином, цільову функцію моделі, яка враховує витрати на накопичення призначень, додаткову переробку вагонів, витрати на пересування поїздів у залежності від маршруту, можна записати так:

$$C(x, y, c) = \sum_{i=1}^w \left[e_{B.\Gamma} \operatorname{Sgn} \left(\sum_{v=1}^k x_{iv} \right) \left(c_i m_i + \frac{(\bar{c}_i - c_i) m_i}{\left(1 - \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{c_i - \bar{c}_i}{\sigma_i \sqrt{2}} \right) \right)} \cdot \operatorname{Sgn} \left(\operatorname{Sgn}(c_i - \bar{c}_i) + 1 \right) \right) + \right. \\ \left. + \left(t_i^{\text{обп}} + t_i^{\text{роз}} \right) \sum_{u=1}^k n_u x_{iu} \operatorname{Sgn} |s_i^k - s_u^k| \right) + \sum_{j=1}^k \left(x_{ij} n_j \left(e_{B.\Gamma}^p + \frac{e_{L.\Gamma}}{m_i} \right) \left(\sum_{h=2}^{q_{iy} - 1} t_{hi}^{\text{тран}} + \sum_{r \in z_{iy}} \frac{L_{ir}}{V_{ir}^{\text{дйл}}} \right) \right) \right] \rightarrow \min, \quad (2)$$

де w - кількість всіх можливих призначень, m_i - норма кількості вагонів у складі поїзда на i -му призначенні, c_i - поточний параметр накопичення, \bar{c}_i - математичне очікування величини параметра накопичення, σ_i - середньоквадратичне відхилення параметра накопичення, $t_i^{\text{обп}}$ - час обробки поїзда, $t_i^{\text{роз}}$ - час розформування поїзда на станції розформування, n_u - кількість вагонів

u -го струменя, k – кількість струменів вагонопотоків, y – змінний вектор, елементи якого набувають значень, що відповідають номерам варіантів маршрутів, за якими можуть бути реалізовані призначення, q – кількість технічних станцій на y_i -му варіанті маршруту i -го призначенні, z_{iy_i} – множина ділянок між технічними станціями на y – му варіанті маршруту i -того призначення, $t_{hi}^{тран}$ – час обробки транзитного поїзда без переробки на h -й станції, $V_{ir}^{діль}$ – дільнична швидкість руху вантажних поїздів r -ї ділянки, x_{ij} – змінна, яка набуває значення 1, якщо i -те призначення включає вагонопотік j -го струменя, в іншому випадку набуває значення 0, $e_{B.T}$ – вартість вагоно-години, $e_{B.T}^p$ – вартість вагоно-години у русі, $e_{Л.Г}$ – вартість локомотиво-години, s_i^k – номер кінцевої станції i -того призначення, s_u^k – номер кінцевої станції u -го струменя, Sgn – знакова функція, $erfc$ – комплементарна функція похибок Лапласа.

Модель також містить систему обмежень, що обумовлюють неперевищення максимальних величин пропускних і переробних спроможностей станцій та пропускних спроможностей ділянок при здійсненні процедури оптимізації.

Задача розрахунку ПФП являє собою складну комбінаторну задачу. Практична складність розв’язання цієї задачі полягає у надшвидкому збільшенні обсягів розрахунків при збільшенні розмірності задачі. Швидкість збільшення обсягів розрахунків для задачі ПФП є більше, ніж експоненційна. Як метод оптимізації при вирішенні задачі розрахунку ПФП запропоновано використання математичного апарату генетичних алгоритмів (ГА). Генетичні алгоритми при застосуванні як методу оптимізації для вирішення складних комбінаторних задач, що відносяться до класу NP, призводять у багатьох випадках до значного зменшення обсягів обчислень. Ефективність генетичних алгоритмів обумовлена тим, що вони відтворюють природні еволюційні механізми, такі як механізми відбору, схрещування, мутацій тощо. На рисунку 1 подано запроповану схему кодування рішення задачі розрахунку ПФП у вигляді хромосоми для використання при здійсненні оптимізації за допомогою генетичного алгоритму.

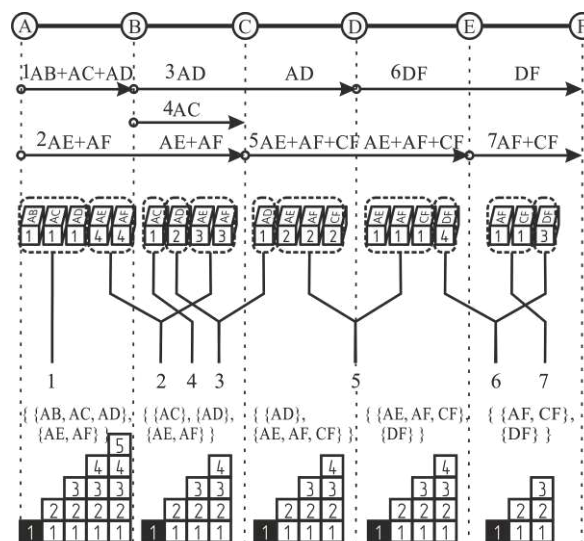


Рисунок 1 – Схема кодування рішення задачі розрахунку ПФП

Використання генетичних алгоритмів і запропонованого способу кодування рішення дає змогу враховувати будь-які необхідні обмеження, які постають при вирішенні задачі побудови ПФП, а також враховувати можливість направлення вагонопотоків з відхиленням від найкоротшого маршруту, що в першу чергу надасть можливість отримувати рішення, близьке до оптимального, також при дефіциті пропускної спроможності на окремих дільницях.

Рішення подано таким чином: кожній дільниці між технічними станціями відповідає ділянка хромосоми. Кількість генів, які містить кожна така ділянка хромосоми, дорівнює кількості струменів вагонопотоків, які проходять по відповідній до неї дільниці полігону, якщо рух по дільниці відбувається і в парному, і в непарному напрямках, тоді їй відповідають дві ділянки хромосоми, для кожного напрямку окремо. Кожен ген у межах своєї ділянки може набувати цілочисельних значень, які можуть знаходитися у межах від 1 до N_i , де N_i – це кількість струменів, які проходять по даній дільниці. Якщо гени у межах однієї ділянки набувають однакових значень, це інтерпретується як об'єднання струменів, які ці гени представляють, у межах відповідної дільниці. Таким чином, моделюється розбиття множини струменів, які проходять по даній дільниці, на непусті підмножини. Так, наприклад, якщо у межах першої ділянки гени, що відповідають струменям АЕ та АF, набули однакових значень, наприклад «4», це означає що струмені АЕ та АF будуть слідувати по дільниці АВ разом, у складі одного призначення. На дільниці ВС гени, що відповідають струменям АЕ і АF також прийняли однакові значення, наприклад «3», це означає, що і по дільниці ВС струмені АЕ і АF будуть слідувати разом. Таким чином, при здійсненні інтерпретації цільової функції або фітнес-функції необхідно виконувати процедуру логічного контролю, яка буде аналізувати підмножини струменів сусідніх ділянок і об'єднувати ті підмножини, які містять однаковий склад струменів, у одне призначення, тобто збирати призначення по “шматочках”. Далі кожному призначенню нараховуються бали, що відповідають витратам на накопичення призначення, які розраховуються як добуток норми кількості вагонів у складі вантажного поїзда на дільниці і параметра накопичення на початковій станції призначення (або параметр накопичення, який відповідає конкретному призначенню на цій станції). На кінцевій станції призначення нараховуються бали фітнес-функції за додаткову переробку транзитних вагонів тих струменів, для яких кінцева станція призначення не є їх кінцевим пунктом слідування.

За результатами моделювання запропонований метод розрахунку ПФП продемонстрував кращий результат, ніж метод суміщених аналітичних зіставлень та метод послідовного укрупнення струменів вагонопотоків за класичним критерієм сумарних вагоно-годин на просування вагонопотоків.

Крім того, перевагами запропонованого нового методу також є можливість його застосування на полігонах, які мають розгалужену мережеву структуру і налічують до декількох десятків технічних станцій, здійснення розрахунків для двох напрямків руху одночасно, можливість зміни маршруту прямування вагонопотоків при нестачі пропускної спроможності дільниць або пропускної чи

переробної спроможності станцій. На рисунку 2 наведений результат розрахунку ПФП для полігону, що має мережеву топологію і налічує 16 технічних станцій.

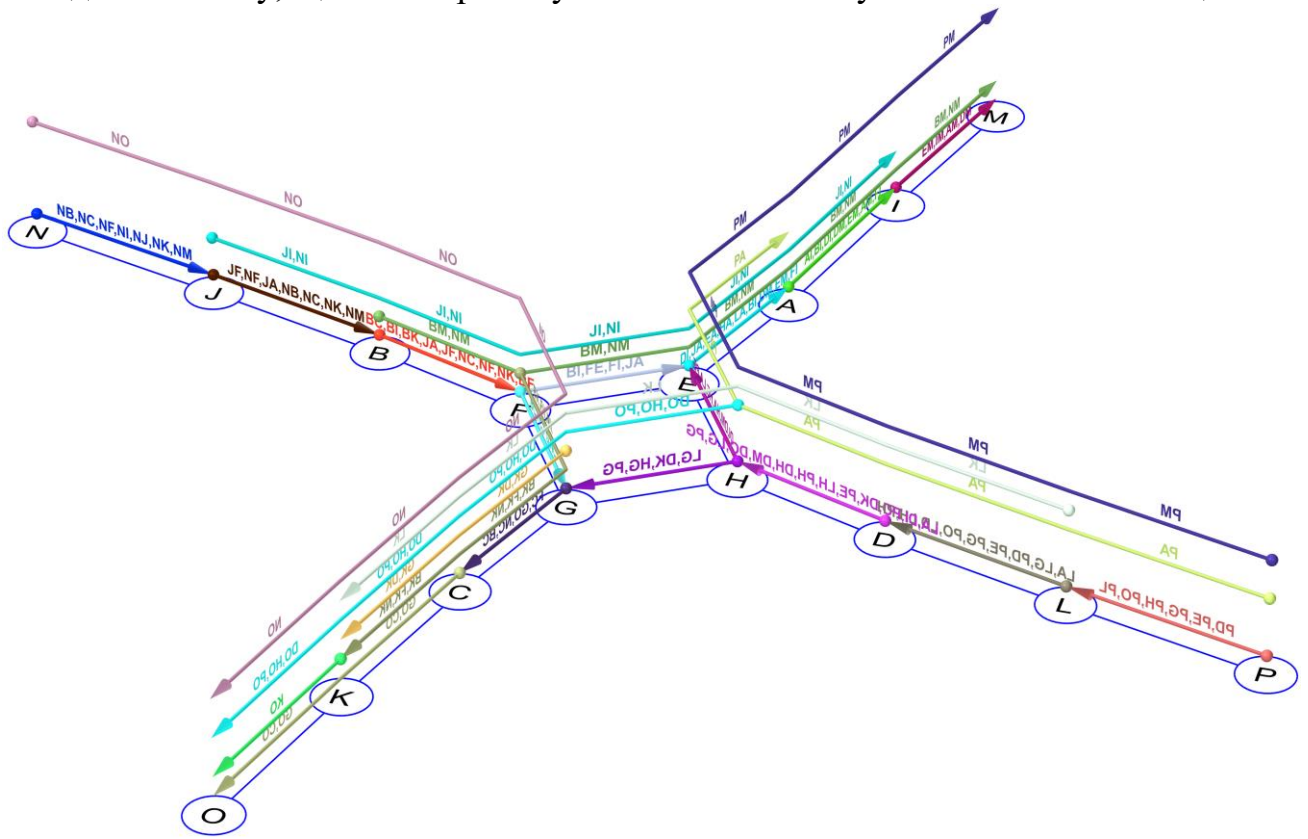


Рисунок 2 – Тривимірна візуалізація схеми направлення вагонопотоків

У третьому розділі розроблено модель формування плану роботи сортувальної станції на основі теорії розкладу.

Для забезпечення системного ефекту необхідне вирішення задачі оперативного планування роботи сортувальних станцій на новому якісному рівні. Це потребує створення моделі, яка дозволить не лише мінімізувати час знаходження вагонів на станції, але й здатна керувати параметрами функціонування сортувальних станцій для мінімізації витрат при виконанні плану формування поїздів в умовах коливань обсягів вагонопотоків, що забезпечує інваріантність системи. З цією метою доцільно використовувати параметри накопичення як керуючі змінні при побудові моделі.

Першочергове завдання, яке необхідно вирішувати при здійсненні оперативного планування роботи сортувальної станції – це визначення порядку виконання операцій в підсистемі розформування-формування. Від того, які групи вагонів містить поїзд, що надходить на станцію, залежить, наскільки критичною є першочерговість його розформування. Наприклад, поїзди, які мають замикаючі групи вагонів для составів, що формуються на станції, мають пріоритет у порядку розформування по відношенню до тих поїздів, які прибули раніше, але не мають таких груп вагонів. Навпаки, обробка поїздів, що надходять до станції у порядку їхнього прибуття, може призвести до того, що деякі поїзди відправляються зі станції пізніше, що у свою чергу призведе до збільшення величини непродуктивного

простою вагонів. Зміна черговості лише двох операцій може вплинути на весь план роботи сортувальної станції, це пов'язане з тим фактом, що часи виконання операцій можуть відрізнятись, індивідуальними є і часи можливого початку операцій, зміна часів закінчення операцій викликає зміну часів можливого початку інших операцій, які можуть розпочатися лише після закінчення попередніх.

Це означає, що для побудови раціонального плану роботи сортувальної станції необхідно визначити не лише черговість, а й терміни початку та закінчення операцій, тобто побудувати розклад. Таким чином, задача побудови плану роботи сортувальної станції є не лише комбінаторною задачею. Для її формалізації доцільно використати спеціальний розділ прикладної математики – теорію розкладів.

Задачі теорії розкладів зазвичай формулюються як задачі оптимізації обслуговування скінченної множини вимог в системі, яка містить скінченну множину обслуговуючих пристроїв (виконавців).

Задачу складання розкладу роботи сортувальної станції на концептуальному рівні формалізовано наступним чином. Передбачається, що на початку періоду планування відомий розклад прибуття і відправлення поїздів різних категорій, який визначає множину робіт J , що підлягають виконанню. Всі вимоги щодо виконання робіт $j \in J$ можна розділити на дві категорії: “по прибуттю” та “по відправленню”. До вимог “по прибуттю” відносяться поїзди різних категорій, що прибувають на станцію і формують вимогу на роботу щодо процесу обробки вагонів на станції згідно з їхньою категорією – транзитні з переробкою, транзитні без переробки та місцеві. До вимог “по відправленню” різних категорій вагонів зі станції відносяться поїзні локомотиви, що знаходяться на станції або прибудуть на станцію в межах планового періоду, і формують вимогу на роботу щодо формування поїзда та відправлення за визначеним розкладом руху. Цільову функцію моделі у вигляді експлуатаційних витрат при виконанні операцій з поїздами і вагонами подано таким чином:

$$\begin{aligned}
 C(x, y, c) = & \theta_1 \cdot e_y \sum_{i=1}^{N_{II}+N_B} \left((t_{ix}^3 - t_{ix}^{3d}) \operatorname{Sgn} \left(\left(\operatorname{Sgn}(t_{ix}^{3d} - t_{ix}^3) + 1 \right) - 1 \right) \right) + \theta_2 \left(\sum_{i=1}^{N_{II}+N_B} \sum_{j=2}^{k_i} \tau_{j-1,j,ly} e_i \right) + \\
 & + \theta_3 \cdot e_{n-2} \left(\sum_{i=1}^{N_{II}} (T - t_{ix}^{II}) m_i^{II} - \sum_{i=1}^{N_B} (T - t_{ix}^B) m_i^B \right) + \theta_4 \cdot e_y \sum_{i=1}^{n_n} \left(\left(\frac{c_i}{c_i^H} \right) \operatorname{Sgn} \left(\operatorname{Sgn}(c_i - c_i^H) + 1 \right) \right)^2 + \\
 & + \theta_5 \cdot e_{n-2} \sum_{i=1}^{N_{II}} (t_{ix}^{II} - t_i^n) \rightarrow \min,
 \end{aligned} \tag{3}$$

де t_{ix}^3 – фактичний строк виконання i -ї роботи, t_{ix}^{3d} – директивний строк виконання i -ї роботи, $\tau_{j-1,j,ly}$ – час на переналагодження i виконавця на наступну операцію, що залежить від обох операцій, k_i – кількість операцій i -тої роботи, e_i – витратна ставка на переналагодження (переміщення бригад, локомотивів тощо), яка залежить від типу виконавця (вартість локомотиво-години, бригадо-години),

e_y – умовна витратна ставка, e_{e-z} – вартість вагоно-години, e_{n-z} – вартість поїздо-години, N_{Π} – потужність множини поїздів, що прибувають, N_B – потужність множини поїздів, які необхідно сформувати і відправити зі станції, T – час закінчення горизонту планування, n_n – кількість призначень, на які формуються поїзди, m_i^n – кількість вагонів в i -тому поїзді, що прибуває до станції, m_i^B – кількість вагонів у i -му поїзді, що відправляється зі станції, t_{ix}^n – час приймання i -го поїзда до станції, t_{ix}^B – час відправлення i -того поїзда до станції, t_i^n – час прибуття i -того поїзда до вхідного сигналу станції, c_i – фактичний параметр накопичення i -го призначення, c_i^n – нормативний параметр накопичення i -того призначення, $\theta_1 \dots \theta_5$ – вагові коефіцієнти.

Як метод оптимізації запропоновано використати генетичний алгоритм комбінаторного типу. На основі запропонованої моделі було створене програмне забезпечення мовою Matlab. Результати моделювання свідчать про можливість побудови раціонального оперативного плану роботи станції, що забезпечує неперевикнення фактичними величинами параметрів накопичення розрахункових значень за допомогою даної моделі, реалізуючи раціональний варіант ПФП. Також модель дозволяє здійснювати прискорення обробки вагонів тих напрямків, на яких значно зросли обсяги вагонопотоків, що досягається шляхом прискорення накопичення на станціях переробки, а також за рахунок зменшення загального часу перебування цих вагонів на сортувальних станціях. За результатами моделювання економія вагоно-годин в підсистемі розформування-формування склала приблизно 20 %, а загальна економія вагоно-годин на станції склала приблизно 15 % в порівнянні з традиційною технологією.

На рисунку 4 наведено оперативний план роботи сортувальної станції на добовий період, який був побудований за допомогою запропонованого методу, на рисунку 3 наведені діаграми накопичення, які відповідають даному плану.

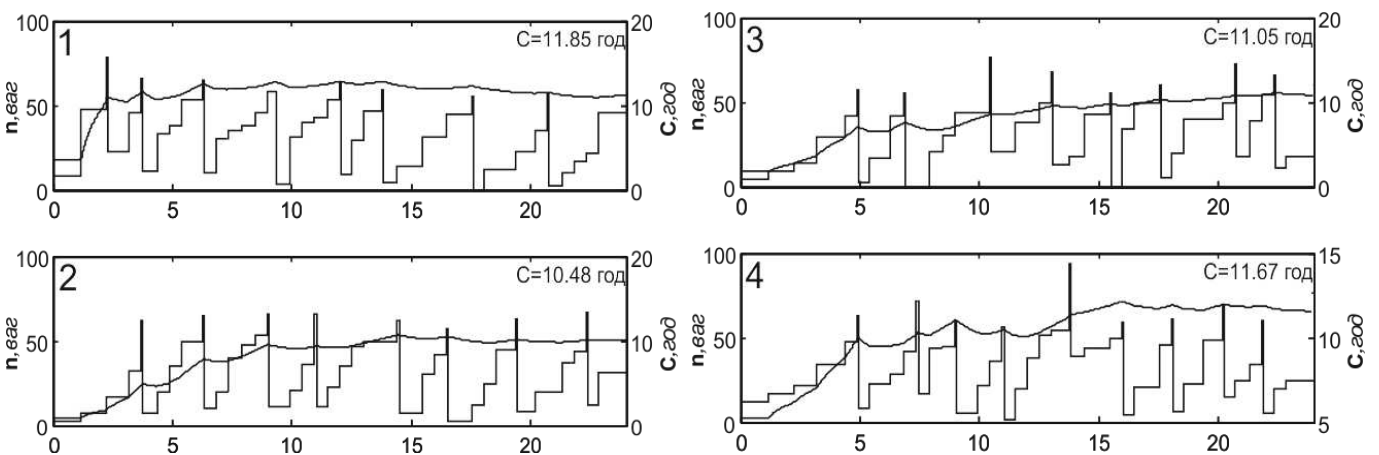


Рисунок 3 – Діаграми накопичення вагонів на коліях сортувальної станції, що отримані при здійсненні оптимізації за допомогою запропонованої моделі

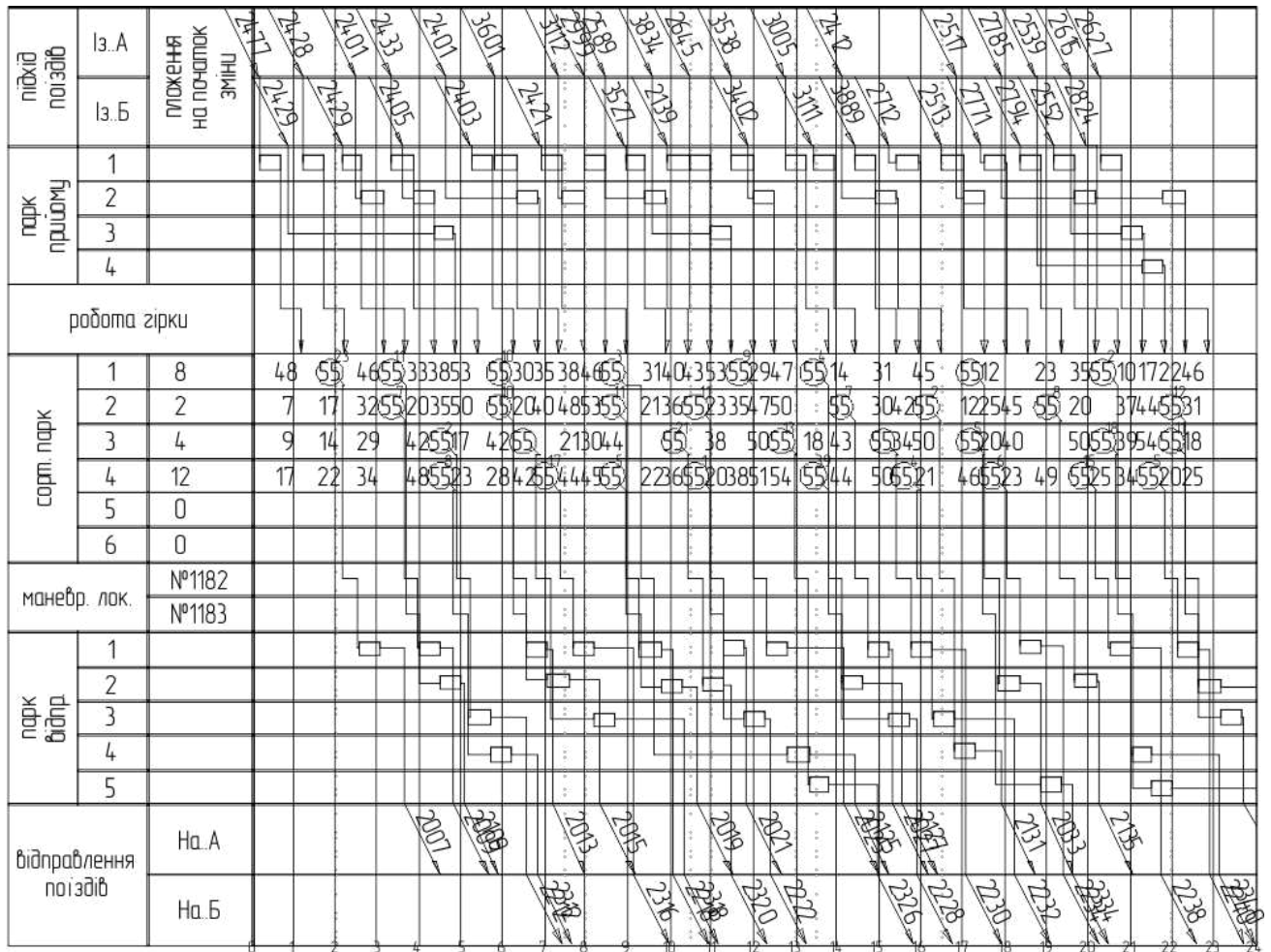


Рисунок 4 – Оперативний план роботи сортувальної станції, побудований за допомогою запропонованої моделі

Таким чином, запропонований метод побудови оперативного плану роботи сортувальної станції дозволить утримати параметри накопичення на рівні розрахункових величин, які були отримані при розрахунку ПФП, але ще більш важлива задача, для виконання якої призначений даний метод – оперувати параметрами накопичення для мінімізації втрат при коливаннях обсягів вагонопотоків, наприклад, пришвидшуючи накопичення тих призначень, до яких входять вагони тих струменів, потужність яких значно зросла відносно розрахункових показників, зменшуючи таким чином додаткові витрати вагоно-годин на їх переробку.

У четвертому розділі запропоновано архітектуру і комплекс задач автоматизованої системи управління вагонопотоками.

За допомогою запропонованої у розділі 2 моделі і створеного на її основі програмного забезпечення виконано моделювання функціонування залізничного полігону в умовах діючого та скорегованих ПФП при змінах обсягів вагонопотоків. Для порівняльного аналізу на рисунку 5 наведено залежність різниці непродуктивних вагоно-годин простою для варіантів ПФП, що свідчить про доцільність запропонованої технології щодо планування роботи сортувальних станцій з метою зменшення наслідків коливань обсягів вагонопотоків.

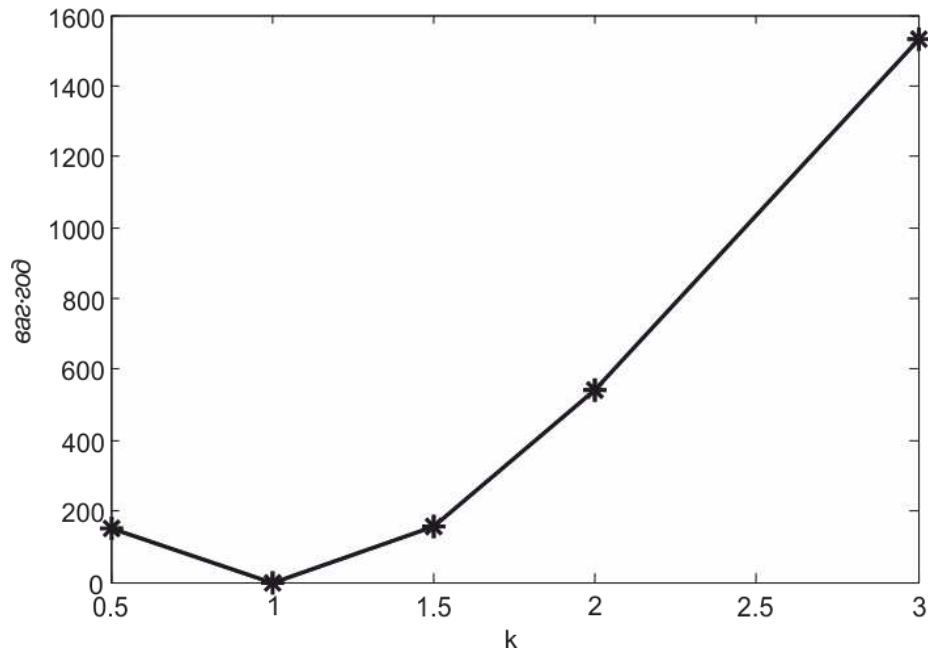


Рисунок 5 – Залежність різниці вагоно-годин накопичення і додаткових вагоно-годин переробки некорегованого і корегованих планів при змінах обсягів вагонопотоків, де k – коефіцієнт масштабування

З метою усунення наслідків коливань обсягів вагонопотоків запропоновано здійснити системну інтеграцію розроблених моделей до автоматизованої системи управління вагонопотоками, яку реалізовано на трирівневій архітектурі, функціональну схему якої наведено на рисунку 6.



Рисунок 6 – Функціональна схема автоматизованої системи управління вагонопотоками

Дана система зокрема дозволить здійснювати збір даних на лінійному рівні, аналіз даних і корегування регіональних ПФП на рівні регіональних центрів

управління. Дані про виконання ПФП надходять до мережевого рівня, де після їх аналізу приймається рішення щодо необхідності перебудови мережевого ПФП і здійснюється перерахунок, що є реалізацією концепції стратегічного контролю. На рівні регіональних центрів управління за допомогою системної оптимізації планування роботи станцій забезпечується зменшення негативних наслідків коливань обсягів вагонопотоків і за необхідності проводиться оперативне корегування ПФП, на лінійному рівні здійснюється підтримка рішень оперативних керівників для якісного і своєчасного виконання оперативних планів.

Об'єднання всіх рівнів планування і контролю у єдину автоматизовану систему забезпечить досягнення системного ефекту при управлінні вантажними вагонопотоками.

У роботі проведено економічне обґрунтування запропонованих заходів. Впровадження запропонованої автоматизованої технології призводить до економії часу простою вагонів на станціях на рівні 0,5–4,0%, що дозволить скоротити час обігу вагона щонайменше на 1,25 %, при цьому економічний ефект за 10 років становитиме близько 54 млн грн у масштабі ПАТ “Укрзалізниця”.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено наукове завдання удосконалення технології організації вагонопотоків при здійсненні вантажних залізничних перевезень в умовах коливань їх обсягів на основі формування автоматизованої технології управління вагонопотоками шляхом системної оптимізації ПФП.

1. Проведено статистичні дослідження основних техніко-експлуатаційних показників роботи підсистеми вантажних залізничних перевезень. Виявлена негативна тенденція до зростання часу обігу вагона, який з 2009 р. зростає більше ніж на 10 % на рік та у 2016 р. склав вже більше дев'яти діб. Встановлено, що коефіцієнт кореляції між величинами «обіг вантажного вагона» і «кількість навантажених вагонів» складає 0,062. У той же час доведено, що коефіцієнт кореляції між такими показниками, як «обіг вантажного вагона» і «простій вагона на одній технічній станції», навпаки, складає 0,988. Таким чином, існує практично пряма залежність часу обігу вагона від часу простою на технічних станціях, збільшення якого є прямим наслідком зниження ефективності організації процесу формування поїздів, зокрема і технології організації вагонопотоків узагалі.

Спираючись на те, що на експортні вантажі, які транспортуються залізницею, припадає більше 40 % від загального обсягу перевезень, а 36 % від загального обсягу експортних перевезень припадає на залізні і марганцеві руди, було досліджено часовий ряд щомісячних обсягів перевезень цих руд залізницею за період 2013–2015 рр. На фоні середньомісячного приросту на рівні 1% було виявлено наявність коливань на рівні ± 20 %. Статистичним аналізом було доведено наявність слабкої персистентності часового ряду, тобто майже відсутність дотримання тренду і довгострокової пам'яті, про що свідчать характер RS-траєкторії і величина показника Херста, яка дорівнює $H=0,553$. Результати аналізу

свідчать, що поведінка даного часового ряду близька до стохастичної, наслідком чого є складність його прогнозування.

2. Аналіз досвіду роботи залізниць країн світу з організації вагонопотоків виявив, що основну частку поїздів, які формуються на залізницях США та Європи, становлять багатогрупні поїзди, що практично відсутні на залізницях України. Також закордонні системи організації вагонопотоків не мають стратегічного рівня планування, а складні задачі формування поїздів вирішуються на оперативному та тактичному рівнях експертним шляхом. Ці особливості унеможливають застосування цього досвіду на залізницях України. За відсутності капіталовкладень в інфраструктуру і рухомий склад можливим шляхом вирішення проблеми підвищення ефективності вантажних перевезень є удосконалення існуючої технології організації вагонопотоків, яка базується на концепції плану формування поїздів, шляхом системної оптимізації завдань планування на всіх рівнях управління. Даний підхід забезпечує збір даних, точні розрахунки мережевого ПФП, контроль і забезпечення його виконання на всіх рівнях системи управління вантажних перевезень, а також прийняття рішень про його корегування.

3. Формалізовано технологію управління вагонопотоками на основі системної оптимізації, яка передбачає побудову раціонального ПФП і забезпечення його виконання. Для підвищення якості плану цільова функція моделі оперує параметрами накопичення як стохастичними змінними, що дозволяє відшукати більш вигідний варіант плану, але потребує здійснення оптимізації оперативних планів роботи технічних станцій. Модель враховує обмеження за пропускною спроможністю дільниць та пропускною і переробною спроможністю станцій, а також дозволяє задовольнити ці обмеження шляхом перенаправлення вагонопотоків за альтернативними маршрутами. Таким чином, задача розрахунку ПФП сформульована як задача стохастичної комбінаторної оптимізації.

4. Розроблено новий метод автоматизованого розрахунку ПФП, який як механізм оптимізації використовує математичний апарат генетичних алгоритмів, що забезпечує можливість його застосування до полігонів великої розмірності, які мають розгалужену мережеву структуру. Запропонований метод є придатним для здійснення розрахунків загальномережевого ПФП ПАТ “Укрзалізниця”.

5. За результатами комп’ютерного моделювання запропонований метод виявився точнішим більше ніж на 3 % у порівнянні із класичними методами за критерієм мінімізації сумарних вагоно-годин накопичення і додаткової переробки вагонів, що доводить його адекватність.

6. Для забезпечення виконання розрахованого ПФП на нижніх рівнях системи, а також для оптимізації роботи сортувальних станцій сформульовано задачу побудови оперативного плану роботи сортувальної станції як задачу теорії розкладу. Сформовано математичну модель, оптимізація якої дозволить відшукати раціональний варіант оперативного плану роботи станції за критерієм мінімізації сумарних вагоно-годин простою, у тому числі простоїв при знаходженні вагонів у парках прибуття і відправлення. Запропонована модель забезпечує утримання величини параметрів накопичення у межах, які не перевищують ті, що були отримані при розрахунку ПФП. На основі розробленої моделі сформовано метод побудови оперативного плану роботи сортувальної станції. Як механізм оптимізації

запропоновано математичний апарат генетичних алгоритмів комбінаторного типу. Проведене моделювання довело ефективність даного методу побудови оперативного плану роботи станції, а також його придатність до застосування при автоматизації процесів оперативного планування роботи сортувальних станцій і управління вагонопотоками.

7. Запропоновано трирівневу архітектуру автоматизованої системи управління вагонопотоками, яка включає: стратегічний (мережевий) рівень, рівень регіональних центрів управління, лінійний рівень. Всі рівні об'єднані єдиним інформаційним простором для збору та аналізу даних у реальному часі для здійснення стратегічного контролю і оперативного корегування планів.

8. Впровадження запропонованої автоматизованої технології призводить до економії часу простою вагонів на станціях на рівні 0,5–4,0 %, що дозволить скоротити час обігу вагона щонайменше на 1,25 %, при цьому економічний ефект за 10 років становитиме близько 54 млн грн у масштабі ПАТ “Укрзалізниця”.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні наукові праці:

1. Бутько Т. В., Прохоров В. М. Перспективи використання нейронечітких технологій при удосконаленні АРМ оперативного персоналу залізниць. *Збірник наукових праць ДонІЗТ*. 2006. № 8. С. 29–36.
2. Прохоров В. М. Удосконалення маневрової роботи на сортувальних станціях шляхом побудови динамічної моделі маневрової роботи. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2007. № 85. С. 171–177.
3. Лаврухін О. В., Прохоров В. М. Принципи удосконалення технології управління маневровою роботою на основі Байєсових мереж. *Збірник наукових праць ДонІЗТ*. 2007. № 11. С. 21–27.
4. Удосконалення технології використання засобів залізничного транспорту незагального користування на основі створення баз резерву. Ломотько Д. В., Лаврухін О. В., Прохоров В. М., Панкратов В. І. *Збірник наукових праць ДонІЗТ УкрДАЗТ*. 2007. № 10. С. 5–14.
5. Лаврухін О. В., Прохоров В. М., Кутоманов В. В. Розроблення системи підтримки прийняття рішень оперативного персоналу залізниць на основі сучасних інформаційних технологій. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2009. № 102. С. 39–49.
6. Прохорченко А. В., Прохоров В. М., Постоленко А. Ю. Розроблення моделі формування плану роботи сортувальної станції на основі теорії розкладу. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2011. № 120. С. 38–43.

Публікації у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

7. Прохоров В. М., Рябушка Ю. А. Передумови розробки автоматизованої системи управління вагонопотоками на залізницях України. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2016. № 165. С. 18–25.
8. Бутько Т. В., Лаврухін О. В., Прохоров В. М. Розробка моделі інтелектуальної системи підтримки прийняття рішення по управлінню процесом приймання-

відправлення поїздів на залізничній станції. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2008. № 3. С. 61–65.

9. Butko T., Prokhorov V., Chekhunov D. Devising a method for the automated calculation of train formation plan by employing genetic algorithms. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2017. Vol. 85. No. 3. Pt. 1. P. 55–61. (видання індексується у базі Scopus).

Додаткові праці, які відображають результати дисертації:

10. Прохоров В. М., Рябушка Ю. А. Розрахунок плану формування поїздів на основі стохастичної комбінаторної оптимізації. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2016. № 165. С. 214–225.

Праці апробаційного характеру:

11. Бутко Т. В., Прохоров В. М. Розробка інтелектуальної автоматизованої системи управління поїзною роботою станції на основі нейронних мереж. *Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України: матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції* (Коктебель, 2–7 квіт. 2008 р.). Харків : *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2008. Вип. № 22 спеціалізований. С. 51.

12. Прохоров В. М. Розроблення сучасних методів розрахунку плану формування поїздів. Матеріали 74 міжнародної науково-технічної конференції (Харків, 24–25 квіт. 2012 р.). *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2012. № 131. С. 175–176.

13. Прохоров В. М. Розробка моделі формування плану роботи сортувальної станції на основі теорії розкладу. *Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств: тези IV Міжнародної науково-практичної конференції* (Дніпропетровськ, 1–2 лют. 2015 р.). Дніпропетровськ : ДНУЗТ. 2015. С. 86–88.

14. Прохоров В. М. Розробка методу розрахунку плану формування поїздів на основі стохастичної оптимізації. *Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2015: материалы 10-й юбилейной ежегодной международной научной интернет конференции* (15–27 дек. 2015 г.). *Научные труды SWorld*. 2015. вып. 4(41). С. 51–55.

15. Бутко Т. В., Прохоров В. М. Побудова математичних моделей для розробки методу розрахунку оптимального плану формування поїздів та забезпечення його виконання. Матеріали 78-ї міжнародної науково-технічної конференції (Харків, 26–28 квіт. 2016 р.). *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2016. вип. 160 (додаток). С. 104.

16. Прохоров В. М. Розробка методу розрахунку плану формування поїздів на основі методу стохастичної комбінаторної оптимізації. *Наукові підсумки 2016 року: матеріали V Заочної конференції* (Харків, 25 груд. 2016 р.). *Науковий журнал "ScienceRise"*. 2016. № 12/2(29). С. 53–56.

АНОТАЦІЯ

Прохоров В. М. Розробка автоматизованої технології управління вагонопотоками на основі системної оптимізації плану формування поїздів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – транспортні системи. – Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2017.

Дисертацію присвячено питанню підвищення ефективності функціонування залізничної транспортної системи вантажних перевезень за рахунок зменшення непродуктивних вагоно-годин простою шляхом системної оптимізації плану формування поїздів (ПФП). Формалізовано технологію управління вагонопотоками на залізничній мережі, яка у вигляді оптимізаційної моделі вирішує задачу побудови ПФП як задачу стохастичної комбінаторної оптимізації, враховуючи параметри накопичення у ролі стохастичних змінних з метою покращення якості плану. На основі моделі розроблено метод автоматизованого розрахунку ПФП, що забезпечує можливість направлення вагонопотоків з відхиленням від найкоротшого маршруту з урахуванням обмежень на пропускну спроможність дільниць та пропускну і переробну спроможності станцій, використовуючи як механізм оптимізації математичний апарат генетичних алгоритмів. Формалізовано процедуру побудови оперативного плану роботи сортувальної станції як задачу теорії розкладу та розроблено метод його автоматизованої побудови, який дозволить на рівні оперативного планування забезпечувати виконання ПФП шляхом утримання параметрів накопичення у визначених межах, з метою забезпечення якісного виконання ПФП та мінімізації витрат від коливань обсягів вагонопотоків, використовуючі як механізм оптимізації математичний апарат генетичних алгоритмів комбінаторного типу. Запропоновану технологію управління вагонопотоками у вигляді комплексу взаємопов'язаних моделей інтегровано до автоматизованої системи, яка має трирівневу архітектуру і реалізує концепції системної оптимізації і стратегічного контролю.

Ключові слова: план формування поїздів, оперативний план роботи сортувальної станції, автоматизована технологія управління вагонопотоками, генетичні алгоритми, теорія розкладів.

АННОТАЦІЯ

Прохоров В. Н. Разработка автоматизированной технологии управления вагонопотоками на основе системной оптимизации плана формирования поездов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.01 – транспортные системы. – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2017.

Диссертация посвящена вопросу повышения эффективности функционирования железнодорожной системы грузовых перевозок за счет

уменьшения непроизводительных вагоно-часов простоя путем системной оптимизации плана формирования поездов (ПФП).

В работе проведен анализ технологий организации вагонопотоков на зарубежных железных дорогах и железных дорогах Украины и разработана автоматизированная технология управления вагонопотоками, которая использует существующую концепцию плана формирования поездов. Данная технология объединяет на основе системной оптимизации все уровни управления относительно задачи построения ПФП и контроля за его выполнением в условиях колебаний объемов вагонопотоков.

Формализованная технология управления вагонопотоками на железнодорожной сети в виде оптимизационной модели решает задачу построения ПФП как задачу стохастической комбинаторной оптимизации, учитывая параметры накопления в качестве стохастических переменных с целью улучшения качества плана. Модель позволяет учесть ограничения по пропускной способности участков и по перерабатывающей и пропускной способности станций. Кроме того, при дефиците пропускных и перерабатывающих способностей элементов инфраструктуры модель позволяет направлять вагонопоток по альтернативному маршруту. На основе модели разработан метод автоматизированного расчета ПФП, который в качестве механизма оптимизации использует математический аппарат генетических алгоритмов.

При оценке адекватности предложенного метода была использована тестовая задача, решение которой методами совмещенных аналитических сопоставлений и последовательного укрупнения струй представлено в научной литературе. Решение, найденное новым методом, оказалось более выгодным по критерию общих вагоно-часов на 3 %, чем решения, которые были найдены существующими методами.

Формализована процедура построения оперативного планирования работы станций в виде задачи теории расписаний. Модель позволяет оптимизировать работу сортировочных станций в процессе выполнения ПФП путем обеспечения удержания величин параметров накопления по назначениям в определенных интервалах с целью минимизации непроизводительных вагоно-часов простоя, связанных с колебаниями объемов вагонопотоков. В качестве механизма оптимизации предложено использовать генетический алгоритм комбинаторного типа. Результаты моделирования подтвердили, что предложенная модель позволяет построить рациональный план работы сортировочной станции, обеспечив при этом величины параметров накопления на уровнях, близких к тем, которые необходимы для эффективного выполнения ПФП. Предложенная технология управления вагонопотоками в виде комплекса взаимосвязанных моделей интегрирована в

автоматизированную систему, которая имеет трехуровневую архитектуру и реализует концепции системной оптимизации и стратегического контроля.

Ключевые слова: план формирования поездов, оперативный план работы сортировочной станции, автоматизированная технология управления вагонопотоками, генетические алгоритмы, теория расписаний.

ABSTRACT

V. Prokhorov Development of an automated technology of railcar flows control based on system optimization of the trains' formation plan. – Manuscript.

Dissertation for a for the degree of Candidate of Technical Science in speciality 05.22.01 – transport systems. – Ukrainian State University of Railway, MES of Ukraine, Kharkiv, Kharkiv 2017.

The dissertation is devoted to the issue of increasing the efficiency of the rail transport system of freight transportation by reducing the idle car-hours by providing the system optimization of the train formation plan (TFP). Formalized the technology of railcar flows control of on the railway network, which, in the form of an optimization model, solves the problem of constructing TFP as a stochastic combinatorial optimization problem, taking into account accumulation parameters as stochastic variables in order to improve the quality of the plan. On the basis of the model a method of automated calculation of the TFP is developed, which provides the possibility of directing cars with deviations from the shortest route, taking into account the constraints on the throughput of railway lines and the throughput and processing capacity of stations, using as a mechanism of optimization the mathematical apparatus of genetic algorithms. The procedure for constructing the operational plan of the work of the switchyards as a task of the scheduling theory was formalized and the method of its automated construction was developed, which will allow at the level of operational planning to ensure the implementation of the TFP by maintaining the accumulation parameters within the specified limits, in order to ensure the qualitative performance of TFP and minimize the costs of fluctuations in volumes of cars, Using as a mechanism of optimization the mathematical apparatus of genetic algorithms of combinatorial type. The proposed railcar flow control technology in the form of a complex of interconnected models is integrated into an automated system that has a three-tier architecture and implements the concepts of system optimization and strategic control.

Keywords: train formation plan, operational plan of marshalling yards, automated technology of railcar flows control, genetic algorithms, scheduling theory.

ПРОХОРОВ ВІКТОР МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 656.222.3

**РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ
ВАГОНОПОТОКАМИ НА ОСНОВІ СИСТЕМНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНУ
ФОРМУВАННЯ ПОЇЗДІВ**

05.22.01 – транспортні системи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск



доц. Малахова О. А.

Підписано до друку 05.05.2016р.
Формат 60 x 84 1/16. Папір офсетний.
Друк-цифровий. Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 150 прим. Зам. № 19
Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953)
м. Харків, вул. Мистецтв, 3 літер Б-1
Тел. 7-170-354
www.modelist.in.ua