

О. О. БАРДАСЬ (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

## УДОСКОНАЛЕННЯ КРИТЕРІЮ ВИБОРУ ЧЕРГОВОСТІ РОЗПУСКУ СОСТАВІВ З УРАХУВАННЯМ ЗАВДАНЬ ПОПЕРЕДНЬОГО СОРТУВАННЯ ВАГОНОПОТОКІВ

У роботі завдання вибору черговості розпуску составів розглядається як один із засобів попереднього сортування вагонопотоків. У роботі представлено удосконалений критерій вибору черговості розпуску составів на сортувальних гірках. Новий критерій заснований на показнику якості структури поїздів свого формування та враховує багатоступову процедуру переробки вагонопотоків на сортувальних станціях, за рахунок чого з'являється можливість виконувати поступове укрупнення відцепів на станціях їх переформування.

*Ключові слова:* вибір черговості розпуску, попереднє сортування вагонопотоків, довжина відцепу

В работе задача выбора очередности роспуска составов рассматривается как один из средств предварительной сортировки вагонопотоков. В работе представлено усовершенствованный критерий выбора очередности роспуска составов на сортировочных горках. Новый критерий основан на показателе качества структуры поездов своего формирования и учитывает многоэтапную процедуру переработки вагонопотоков на сортировочных станциях, за счет чего появляется возможность выполнять постепенное укрупнение отцепов на станциях их переформирования.

*Ключевые слова:* выбор очередности роспуска, предварительная сортировка вагонопотоков, длина отцепов

In the paper the problem of choosing the next dissolution of the compounds is regarded as one of the means of pre-sorting of traffic volumes. The work presents improved selection criteria for the order dissolution of the compounds. A new criterion based on the indicator of the quality of the structure of the forming trains and takes into account the formation of a multi-stage procedure for processing of traffic volumes in marshalling yards, due to what appears to perform a gradual enlargement of the unhookings on the stations of their reformation.

*Keywords:* selection order of dissolution, pre-sorting of traffic volumes, lengths of the car unhook

### Вступ

Витрати на розформування і формування поїздів складають значну частину експлуатаційних витрат залізниць. Ці витрати багато в чому залежать від умов роботи сортувальних станцій, які визначаються безліччю зовнішніх факторів, серед яких слід звернути особливу увагу на структуру поїздопотоків з переробкою. У цьому аспекті, одним із перспективних напрямків скорочення витрат на розформування-формування поїздів є використання технологій попереднього сортування вагонопотоків. Попереднє сортування вагонопотоків передбачає проведення комплексу організаційних заходів, спрямованих на поступове укрупнення відцепів і груп вагонів на шляху їх просування до кінцевих станцій призначення.

На сучасному етапі розвитку залізниць України технології попереднього сортування вагонопотоків практично не використовуються. У той же час за кордоном такі технології набули широкого розповсюдження.

На залізницях США попереднє сортування вагонопотоків [1, 2] передбачає попередню ретельну добірку груп вагонів на початкових станціях формування поїздів. Залізниці укладають між собою довгострокові угоди на підбір вагонів у групи, що включаються до поїздів. У результаті поїзди, як правило складаються з двох-трьох груп і слідують на всьому маршруті без сортування вагонів.

На залізницях Німеччини [3] використовується технологія накопичення составів відразу на кількох сортувальних коліях. Це дозволяє поступово збільшувати довжину відцепів і зменшувати обсяги маневрової роботи на наступних станціях. У роботі [4] також пропонується виділення в сортувальному парку для потужних призначень двох колій накопичення. Оскільки виділення для одного призначення кількох сортувальних колій пов'язане з додатковими витратами, раціональність використання такої технології повинна підтверджуватися техніко-економічними розрахунками.

У сучасних умовах постійного підвищення вартості капітального будівництва та вартості

утримання постійних пристроїв доцільно використовувати організаційні засоби попереднього сортування вагонопотоків, які не вимагають ніяких додаткових витрат. До таких засобів можна віднести вибір черговості розпуску составів на сортувальних станціях.

### Постановка задачі дослідження

Завдання вибору черговості розпуску составів, з точки зору цілей попереднього сортування вагонопотоків, передбачає вибір такої черговості розпуску, яка створює структуру поїздопотоків, найбільш сприятливу для подальших операцій з формування та розформування поїздів.

Метою даної наукової розробки є удосконалення критерію оцінки структури поїздів свого формування при виборі варіанта черговості розпуску составів із сортувальної гірки.

### Формулювання нового критерію вибору черговості розпуску составів

Такі параметри як кількість і довжина відцепів, а також кількість груп вагонів у поїзді є важливими технологічними показниками, від яких значною мірою залежать умови функціонування сортувальних станцій, як на етапі розформування поїздів, так і на етапі їх формування. Зменшення довжини відцепів негативно впливає на швидкість розпуску составів, витрати, пов'язані з осаджуванням вагонів у сортувальному парку, призводить до погіршення умов розділення відцепів і до збільшення кількості помилок при сортуванні.

Допустимою швидкістю зіткнення відцепів, яка не створює небезпеки пошкодження вагонів і вантажів, є швидкість 5 км/год. Згідно з дослідженнями [5], кореляційне відношення між кількістю вагонів у відцепі і частотою зіткнень відцепів на коліях сортувального парку зі швидкістю більше 5 км/год складає 0,46. Кореляційне відношення між кількістю вагонів у відцепі і середньою кількістю операцій осаджування, що припадає на один перероблений вагон, становить 0,45.

На основі статистичних даних, зібраних на станції Нижньодніпровськ-Вузол, було отримано розподіл кількості вагонів у відчепі і групах поїздів, розформованих на станції Нижньодніпровськ-Вузол. З гістограми на рис. 1 видно, що майже половина відцепів складається з одного вагона. При цьому середня кількість вагонів у відцепі становить  $\bar{n} = 3,77$  вагонів, а середня кількість вагонів у групі поїзда становить

$\bar{k} = 6,58$  вагонів, що майже в два рази більше. В даному випадку під групою поїзда розуміється множина вагонів з однаковим призначенням плану формування поїздів при розформування на станції Нижньодніпровськ-Вузол.

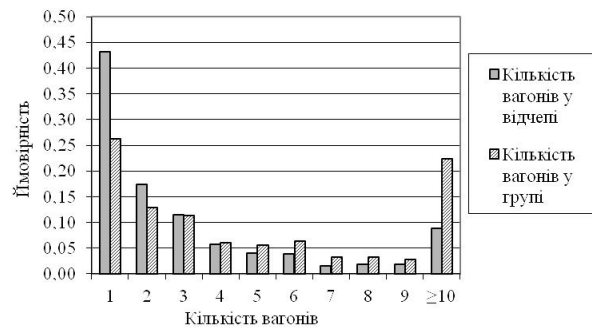


Рис. 1. Розподіл кількості вагонів у відцепі на станції Нижньодніпровськ-Вузол.

Оптимальною з точки зору переробки вагонопотоків є ситуація, коли всі вагони одного призначення знаходяться в одному відцепі, тобто коли виконується умова  $\bar{n} = \bar{k}$ . Аналізуючи дані, наведені на рис. 1 можна зробити висновок, що вагони у составах поїздів розташовані вкрай нераціонально і вимагають додаткового сортування.

Вагони по шляху проходження від станції навантаження до станції вивантаження дуже часто проходять кілька переробок на сортувальних або дільничних станціях. На рис. 2 наведено розподіл кількості переробок транзитних вагонів, що відправляються зі станції Нижньодніпровськ-Вузол. Більше половини вагонів після відправлення зі станції Нижньодніпровськ-Вузол проходять кілька етапів переробки. Завдяки цьому можна, по-перше, збільшувати довжину відцепів поступово при кожному новому сортуванні вагонів, а по-друге, з'являється сенс підбирати вагони не тільки за кінцевими станціями призначення, а й з урахуванням проміжних етапів переробки.

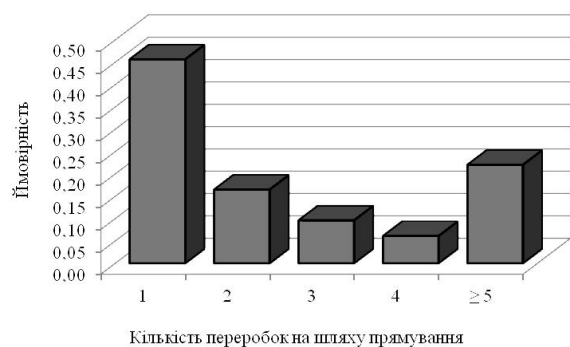


Рис. 2. Розподіл кількості переробок на шляху прямування транзитних вагонів, що відправляються зі станції Нижньодніпровськ-Вузол.

Крім довжини відцепу в деяких випадках важливим є також взаємне розташування відцепів у складі поїзда. Так, при формуванні збірних поїздів виконується підбір вагонів по проміжним станціям дільниці, що вимагає виконання значних обсягів маневрової роботи. Однак цього можна уникнути, якщо групи вагонів збірного поїзда будуть розміщені належним чином ще на етапі розпуску вагонів із сортувальної гірки. Дослідження показують, що, що 16 % вагонів і 22 % відцепів, що сортуються на станції Нижньодніпровськ-Вузол, на кінцевому етапі транспортування надходять на станції призначення в складах збірних поїздів. За рахунок попереднього сортування цих вагонів можна скоротити обсяги маневрової роботи при формуванні складів збірних поїздів.

Таким чином, критерій оцінки структури поїздів свого формування при виборі варіанта черговості розпуску складів повинен враховувати багатоетапність процесу переробки вагонопотоків на мережі залізничних станцій. У цьому випадку критерієм вибору черговості розформування складів є мінімальна кількість відцепів у складі поїзда свого формування

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^S g_{ij} \longrightarrow \min_{X^{(t)} \in X}, \quad (1)$$

де  $g_{ij}$  – кількість відцепів, що входять в  $i$ -й сформований склад при переробці на  $j$ -му рівні (етапі переробки);

$N$  – кількість сформованих складів за період порівняння;

$S$  – кількість етапів переробки, які проходять вагони складів накопичуваних поїздів до прибуття на кінцеві станції призначення.

$X^{(t)}$  – черговість розпуску складів.

Завдання вибору черговості розпуску вирішується шляхом повного перебору варіантів з множини варіантів черговості розпуску

$$X = \{X^{(t)}\},$$

де  $t = 1..n!$  – порядковий номер черговості розпуску;

$n$  – кількість складів, що включено до графу варіантів черговості розпуску.

Розглянемо довільне призначення плану формування поїздів (ПФП), яке формується певною початковою станцією і має певну станцію призначення. У складах поїздів цього призначення можуть перебувати як вагони призначення на станцію розформування поїзда, так і вагони призначення на інші станції. В остан-

ньому випадку, після переробки на станції призначення поїзда, з вагонів буде сформований новий склад із новою станцією призначення згідно ПФП станції переробки.

Перелік станцій призначення вагонів, які включаються в розглядуване призначення ПФП та перелік станцій, на яких відбувається переформування вагонів у нові поїзди визначаються планом формування поїздів. Маршрути просування вагонів від початкових станцій до станцій призначення вагонів визначаються Тарифним керівництвом залізниць України по найкоротшій відстані. Якщо за точку відліку взяти початкову станцію розглянутого призначення, то схему просування вагонів до всіх можливих кінцевих станцій призначення можна представити у вигляді зв'язного ациклічного графа – дерева (див. приклад на рис. 3):

$$G := (V, E),$$

де  $V = \{v_i\}, i = 1..n$  – множина вершин графу  $G$ ; вершинами графу являються технічні станції, на яких вагони поїзда підлягають переробці;

$E = \{e_{ij}\}$  – множина ребер графу  $G$ , де  $e_{ij}$  – ребро, що поєднує вершини  $v_i$  і  $v_j$ ; ребрами (дугами) графу являються призначення ПФП; основа ребра – станція формування певного призначення ПФП, кінцева вершина ребра – станція призначення (розформування) певного ПФП; кожне ребро строго орієнтоване по напрямку руху – від станції формування до станції розформування.

На рис. 3 показано приклад графу просування вагонопотоків призначення 1 – 2 для 8 станцій.

Коренем дерева є станція формування розглянутого призначення ПФП (вершина 1). Із кореня виходить одне єдине ребро – яке сполучає початкову станцію формування та кінцеву станцію розглянутого призначення (вершина 2). Ребро 1 – 2 – розглядуване призначення ПФП. Далі на кінцевій станції відбувається переробка вагонопотоку із сортуванням по черговим призначенням плану формування поїздів (призначення 2 – 3 та 2 – 4).

Ступінь вершини  $v_i$  (кількість вихідних дуг) визначається кількістю призначень ПФП, які формуються станцією, що представляє вершину  $v_i$ . Рівень (висота) вершини  $v_i$  визначається кількістю переробок, які проходить вагон на шляху до вершини  $v_i$ . Всі вершини одного рівня утворюють підмножину  $V_y = \{v_i\} \subseteq V$ .

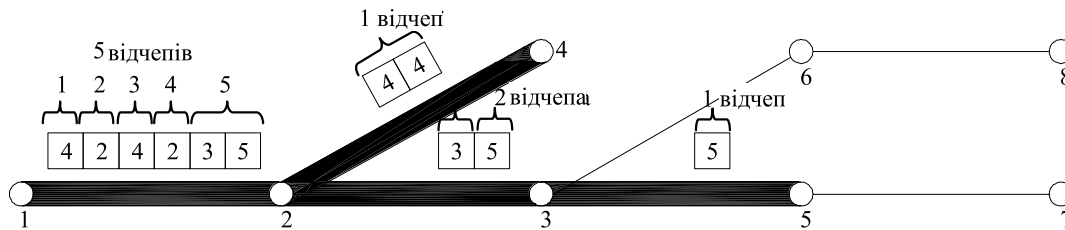


Рис. 3. Граф просування вагонопотоків призначення 1 – 2.

Граф  $G$  представимо у формалізованому вигляді за допомогою матриці суміжності

$$A = (a_{ij})_{n \times n},$$

$$\text{де } \begin{cases} a_{ij} = 1 \Leftrightarrow e_{ij} \in E \\ a_{ij} = -1 \Leftrightarrow e_{ji} \in E \end{cases}$$

Іншими словами  $a_{ij}$  приймає значення 1, якщо вершини  $v_i$  і  $v_j$  пов'язані ребром і напрям руху від вершини  $v_i$  до  $v_j$  співпадає з напрямком ребра  $e_{ij}$ ,  $a_{ij}$  приймає значення -1, якщо вершини  $v_i$  і  $v_j$  пов'язані ребром і напрям руху від вершини  $v_i$  до  $v_j$  не співпадає із напрямком ребра  $e_{ij}$  і  $a_{ij}$  приймає значення 0, якщо вершини  $v_i$  і  $v_j$  не пов'язані ребром.

Для прикладу на рис. 3 матриця суміжності має вигляд:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

В матриці  $A$  рядкам відповідають станції формування призначень, а стовпцями – кінцеві станції призначень.

Розглянемо окремий поїзд призначення 1–2 (див. рис. 3). Структура поїзда описується розташуванням груп вагонів  $M = \{m_i\}, i = 1..k$ , де  $m_i$  – номер станції призначення  $i$ -ї групи вагонів. Під однією групою розуміється множина послідовно розміщених вагонів призначенням на одну і ту ж кінцеву станцію. У составі розглянутого поїзда є 6 груп вагонів. Схема просування вагонів розглянутого поїзда на загальній схемі просування вагонів призначення 1–2 виділена жирними лініями.

Користуючись матрицею суміжності (2) для

кожної групи визначаємо станції, на яких ці групи будуть переформовуватись в нові поїзди, і отримуємо матрицю просування вагонів поїзда до кінцевих станцій  $B = (b_{ij})_{k \times s}$ , де  $s$  – максимальна кількість рівнів переробки вагонів у составі поїзда. При цьому рух по графу здійснюється від кінцевої станції до початкової станції. Таким чином, отримуємо матрицю:

$$B = \begin{pmatrix} 2 & 4 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \\ 2 & 4 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \\ 2 & 3 & 0 \\ 2 & 3 & 5 \end{pmatrix}.$$

У матриці  $B$  рядками відповідають групи вагонів розглянутого поїзда, а стовпцями – рівні переробки составів (рівні вершин графа  $G$ ). Якщо група вагонів завершує свій маршрут на черговому рівні переробки, то наступні значення рядка заповнюються нулями.

У виразі (1) необхідно визначити загальну кількість відцепів у составі формованого поїзда з урахуванням почергового сортування на всіх рівнях переробки. Для цього виконуємо послідовний аналіз маршрутів прямування вагонів, починаючи з першого рівня переробки. Якщо рівень переробки представлений декількома станціями, розглядаємо їх по черзі. При цьому новий відцеп утворюється, якщо дві суміжні групи мають різні станції переробки на наступному рівні. У розглянутому прикладі на першому рівні переробки маємо 5 відцепів (див. рис. 4, а). Кількість відцепів на другому та третьому рівнях розраховується так як показано на рис. 4, б та в.

Після розгляду чергового рівня переробки викреслюємо відповідний стовпець матриці, а також всі рядки, які відповідають групам вагонів призначенням на станції розглянутого рівня переробки. Після цього переходимо на черговий рівень. У розглянутому прикладі другий рівень представлений станціями 3 і 4, при цьому нульові значення матриці ігноруються. Розглядаємо станції по порядку і далі переходимо на наступний рівень переробки. Усього ми ма-

емо три відчепи на другому рівні переробки і один відчеп на третьому рівні. Таким чином, при переробці вагонів розглянутого поїзда буде утворено 9 відчепів.

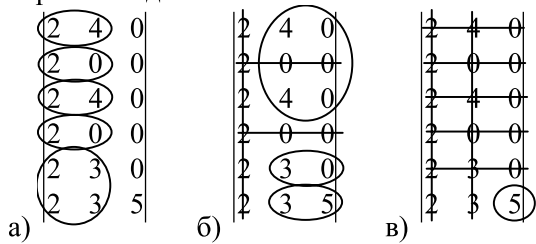


Рис. 4. Розрахунок кількості відчепів при багатоетапній переробці вагонів.

У роботі було виконано дослідження ефективності керування черговістю розпуску составів із використанням в якості критерію виразу (1). Дослідження виконувалось за допомогою спрощеної імітаційної моделі роботи непарної системи станції Нижньодніпровськ-Вузол. В якості вихідних даних були використані фактичні дані розмічених телеграм-натурних листів поїздів, що були розформовані на цій станції. Всього було виконано 15 серій експериментів, в кожній серії використовувався один і той же набір вихідних даних. Під час імітаційного моделювання, кількість составів, що включались у варіант черговості розпуску (глибина планування), коливалась в межах від 1 до 7. Глибина планування в 1 состав відповідає дисципліні обслуговування составів FI-FO (First In – First Out). Ефективність керування черговістю розпуску оцінювалась для глибин планування від 2 до 7 составів і визначалась як відсоткове зменшення кількості відчепів у сформованих складах у порівнянні із дисципліною обслуговування FI-FO. Результати моделювання наведено на рис. 5.

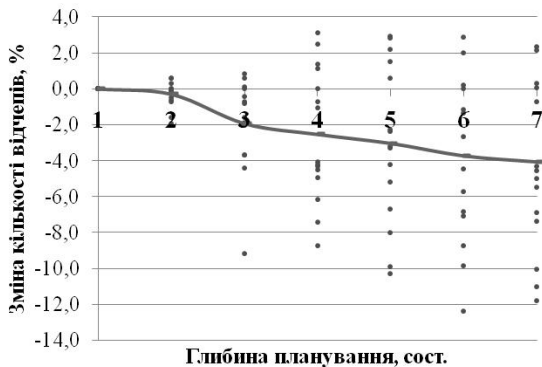


Рис. 5. Ефективність керування черговістю розпуску при різній глибині планування.

Як видно із рис. 5, при глибині планування на 7 составів можна скоротити кількість відчепів у середньому на 4 %. В той же час, бачимо, що в деяких випадках, навіть при глибині планування на 6-7 составів, має місце негативний ефект від керування черговістю розпуску (збільшення кількості відчепів). Необхідно знайти

шляхи зменшення ймовірності виникнення таких ситуацій.

## Висновки

У сучасних умовах на залізницях України доцільно розробляти і впроваджувати організаційні заходи, спрямовані на зменшення експлуатаційних витрат на розформування і формування поїздів. Одним із шляхів вирішення цього завдання є використання технологій попереднього сортування вагонопотоків на сортувальних станціях. За рахунок цього досягається мета створення сприятливих умов розпуску составів із сортувальної гірки та формування составів збірних поїздів.

В умовах залізниць України збільшення довжини відчепів можливо за рахунок управління черговістю розпуску составів. Використання в якості критерію ефективності черговості розпуску составів, показника кількості відчепів у сформованих поїздах дозволяє поступово укрупнювати відчепи по шляху їх слідування до кінцевих станцій призначення. При цьому слід враховувати багатоетапність процесу переробки вагонопотоків на технічних станціях.

Питання ефективності багатоетапного укрупнення відчепів слід додатково досліджувати з використанням імітаційного моделювання роботи полігону залізничних станцій.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Сотников, Е. А. Эксплуатационная работа на железных дорогах мира [Текст] / Е. А. Сотников, И. Н. Шапкин // Железнодорожный транспорт. – 2009. – №1. – С. 72-77.
2. Сотников, Е. А. Эксплуатационная работа на железных дорогах мира [Текст] / Е. А. Сотников, И. Н. Шапкин // Железнодорожный транспорт. – 2009. – №2. – С. 72-77.
3. Сортировочные станции и эффективность перевозок [Текст] // Железные дороги мира. – 1999. – № 2. – С. 8-12.
4. Аветикян, М. А. Эффективность интенсификации формирования сквозных поездов с использованием двух путей накопления на сортировочных станциях [Текст] / М. А. Аветикян // Совершенствование технологии перевозок и увеличение пропускной способности железных дорог: межвуз. сб. науч. труд. Моск. ин-т. инж. тр-та. – 1983. – Вып. 736. – С. 19-21.
5. Журавель, В. В. Точність гальмування, кількість вагонів у відчепі та показники роботи сортувальної гірки [Текст] / В. В. Журавель // Вісник Дніпетр. нац. ун-ту зал. тр-ту ім. ак. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 28. – С.133-136.

Стаття рекомендована до публікації д.физ.-мат.н., проф. Білозьоровим В. С. (Україна)

Надійшла до редколегії 04.12.2013.

Прийнята до друку 05.12.2013.