

УДК 656.222.5

О. О. БАРДАСЬ^{1*}

^{1*} Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 373-15-12, ел. пошта iskander0119@rambler.ru, ORCID 0000-0001-8772-9328

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ РУХУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ КЕРУВАННЯ ЧЕРГОВІСТЮ РОЗФОРМУВАННЯ ПОЇЗДІВ

Мета. В умовах жорсткої ринкової конкуренції між різними видами транспорту, особливо актуальним є завдання підвищення конкурентоспроможності залізничних перевезень, чого не можна досягти без зниження собівартості продукції, скорочення експлуатаційних витрат і підвищення ефективності оперативного керування. Основним завданням оперативного керування на сортувальних станціях є планування поїздоутворення. Керування черговістю розформування поїздів на сортувальних станціях є одним з важелів впливу на процеси поїздоутворення. Метою керування є скорочення загальних експлуатаційних витрат сортувальної станції. Двома необхідними умовами застосування на практиці завдань вибору черговості розформування поїздів є покладання цієї функції на автоматизовані системи керування та забезпечення цих систем надійним і точним прогнозом прибуття поїздів. Метою даної роботи є дослідження впливу точності прогнозу прибуття поїздів на ефективність керування черговістю їх розформування на сортувальних станціях. **Методика.** Дослідження були проведені з використанням імітаційної моделі роботи непарної системи сортувальної станції Нижньодніпровськ-Вузол при різних розмірах вагонопотоків з переробкою. Модель вибору черговості розформування поїздів формалізована у вигляді задачі стохастичного програмування. **Результати.** Отримано залежність, яка описує вплив середньоквадратичного відхилення помилки прогнозування руху на скорочення експлуатаційних витрат сортувальної станції в умовах керування черговістю розформування поїздів. **Наукова новизна.** Було вперше досліджено економічну ефективність моделі керування черговістю розформування поїздів, сформованої на основі задачі стохастичного програмування, в умовах надходження прогнозу прибуття поїздів визначеної точності. **Практична значимість.** Досліджено зв'язки двох важливих задач оперативного керування – прогнозування руху поїздів та керування черговістю їх розформування. Отримані результати дають уявлення про те, яким вимогам повинен відповідати прогноз прибуття поїздів для можливості його використання в задачах оперативного керування, зокрема – при керуванні черговістю розформування поїздів на сортувальних станціях.

Ключові слова: керування черговістю розформування поїздів, прогнозування руху поїздів, стохастичне програмування.

Цель. В условиях жесткой рыночной конкуренции между разными видами транспорта, особенно актуальным является задание повышения конкурентоспособности железнодорожных перевозок, чего нельзя достичь без снижения себестоимости продукции, сокращения эксплуатационных расходов и повышения эффективности оперативного управления. Основным заданием оперативного управления на сортировочных станциях является планирование поездообразования. Управление очередностью расформирования поездов на сортировочных станциях является одним из рычагов воздействия на процессы поездообразования. Целью управления является сокращение общих эксплуатационных расходов сортировочной станции. Двумя необходимыми условиями применения на практике заданий выбора очередности расформирования поездов является возложение этой функции на автоматизированные системы управления и обеспечение этих систем надежным и точным прогнозом прибытия поездов. Целью данной работы является исследование влияния точности прогноза прибытия поездов на эффективность управления очередностью их расформирования на сортировочных станциях. **Методика.** Исследования были проведены с использованием имитационной модели работы нечетной системы сортировочной станции Нижнеднепровск-Узел при разных размерах вагонопотоков с переработкой. Модель выбора очередности расформирования поездов формализована в виде задачи стохастического программирования. **Результаты.** Получена зависимость, которая описывает влияние среднеквадратического отклонения ошибки прогнозирования движения на сокращение эксплуатационных расходов сортировочной станции в условиях управления очередностью расформирования поездов. **Научная новизна.** Была впервые исследована экономическая эффективность модели управления очередностью расформирования поездов, сформированной на основе задачи стохастического программирования, в условиях поступления прогноза прибытия поездов определенной точности. **Практическая значимость.** Исследованы связи двух важных задач оперативного управления – прогнозирования движения поездов и управления оче-

редностью их расформирования. Полученные результаты дают представление о том, каким требованиям должен соответствовать прогноз прибытия поездов для возможности его использования в задачах оперативного управления, в частности – при управлении очередностью расформирования поездов на сортировочных станциях.

Ключевые слова: управление очередностью расформирования поездов, прогнозирование движения поездов, стохастическое программирование.

Purpose. In the face of fierce market competition between different modes of transport, especially important task is improving the competitiveness of rail transport, which can not be achieved without reducing production costs, reduce operational costs and increase the efficiency of operational management. The main task of operational management in marshalling yards is planning of trains forming. Sequence control disbandment of trains in marshalling yards is one of the levers of influence on the processes of trains forming. The goal of management is to reduce the overall operating costs yard. Two optionally-go conditions of use in practice the choice of priority tasks dissolution of trains are the laying of this function on automated control systems and ensuring these systems reliable and accurate prediction of arrival of trains. The aim of this work is to study the impact of forecast accuracy of arrival of trains at the effectiveness of the precedence of their disbandment in marshalling yards. **Methodology.** Studies were conducted using a simulation model of the railway station Nizhnedneprovsk site at various sizes with the processing of traffic volumes. Model choosing the next disbandment of trains is formalized in the form of stochastic programming problems. **Findings.** The dependence that describes the effect of the standard deviation of the prediction error motion to reduce operating costs in a yard precedence disbandment n of trains. **Originality.** It was the first time investigated the economic efficiency of the model of trains disbandment precedence formed on the basis of stochastic programming problems, under revenue forecast arrival times of trains certain accuracy. **Practical value.** Investigated the association of two important tasks of operational management – predicting the movement of trains and the precedence of their disbandment. The results give an indication of how the requirements should correspond to forecast the arrival of trains to be able to use it in the tasks of operational management, in particular - with precedence dissolution of trains in marshalling yards.

Keywords: sequence control disbandment of trains, train traffic forecasting, stochastic programming.

Вступ

Керування черговістю розформування поїздів (КЧРП) на сортувальних станціях являється одним із засобів впливу та підвищення ефективності процесів поїздоутворення. В дійсний час зазначений засіб практично не використовується оперативним персоналом, що пояснюється як складністю завдання, так і відсутністю автоматизації його вирішення. Крім цього, можливість ефективного керування черговістю розформування поїздів в значній мірі залежить від якості інформаційного забезпечення, серед якого особливо важливе значення відіграє прогноз прибуття поїздів. Таким чином, двома необхідними умовами ефективного керування черговістю розформування поїздів являються покладання цієї функції на автоматизовану систему, і забезпечення цієї системи надійним прогнозом прибуття поїздів.

Постановка завдання дослідження

Завданню створення автоматизованих систем підтримки прийняття рішень оперативним персоналом присвячено роботи багатьох вчених як в Україні так і закордоном. У роботі [1] розглядаються можливості створення таких систем на основі принципів теорії нечітких множин і нечіткої логіки. Логічним продовженням

наукових пошуків являються роботи [2-3], в яких пропонується при створенні систем підтримки прийняття рішень використовувати елементи штучних нейромереж [4].

У роботі [5] відзначається, що практичні роботи по впровадженню автоматизованих систем керування станційними процесами повинні враховувати відому недостовірність прогнозу очікуваного прибуття поїздів. У роботі [6] описано модель керування черговістю розформування поїздів, що враховує стохастичну природу прогнозу їх прибуття на станцію. Проте навіть стохастична модель може виявитися неефективною в умовах відсутності достовірної інформації про підхід поїздів.

В зв'язку із цим у даній роботі вирішено питання дослідження впливу точності прогнозування руху на ефективність керування черговістю розформування поїздів.

Дослідження економічної ефективності керування черговістю розформування поїздів

Вихідними даними для складання плану поїздоутворення та відправлення поїздів являються:

- телеграми-натурні листи на всі поїзди, що прибувають у повну або часткову переробку (крім збірних, вивізних та передаточних);
- план підведення поїздів до станції;

– дані про наявність на коліях станції поїздів та вагонів по призначенням плану формування на початок періоду планування;

– дані про наявність та очікуване надходження локомотивів та локомотивних бригад для забезпечення вивезення поїздів;

– дані про кількість, призначення та передбачуваний час прибирання вагонів на станційні колії після завершення вантажних операцій;

– технологічні норми часу на виконання операцій з поїздами та вагонами.

Розрахунок оперативних планів поїздоутворення по 4-6-годинних періодам здійснює оператор-планер при ДСЦ.

Дані про кількість, призначення та намічений час перестановки місцевих вагонів на станційні колії оператор отримує від маневрового диспетчера.

Розрахунок поїздоутворення, тобто визначення моментів готовності составів до відправлення, визначається на основі встановлених технологічним процесом технологічних норм часу знаходження составів у парку приймання та відправлення, часу на формування та розформування составів та перестановку їх у парк відправлення.

Після закінчення розробки плану поїздоутворення (на основі прийнятої черговості розформування) оператор повідомляє станційному (маневровому) диспетчеру час очікуваного закінчення формування составів по призначенням плану формування поїздів.

Після цього маневровий диспетчер визначає порядок підготовки сформованих составів до відправлення. При плануванні відправлення поїздів здійснюється пономерне призначення поїздів свого формування та транзитних по ниткам графіка руху поїздів. При цьому указується номер поїзда, час відправлення, станція призначення, номер локомотива. В окремих випадках, коли кількість ниток графіка за період планування менше кількості запланованих до відправлення поїздів, передбачається відправлення додаткових поїздів за диспетчерським розкладом. На практиці доля поїздів, що відправляються за диспетчерським розкладом, досягає 50 %.

Планування поїздоутворення до теперішнього часу фактично виконується «вручну». Зважаючи на великі обсяги інформації, яку треба обробити у короткі строки, приймання оперативним персоналом економічно обґрунтованих рішень представляється надскладною задачею. Полегшити процедури прийняття рішень та підвищити ефективність керування черговіс-

тю розформування поїздів можуть автоматизовані системи.

Автоматизована система керування черговістю розформування поїздів повинна покладатися на достовірний прогноз прибуття поїздів.

В дійсний час в АСК ВП УЗ-Є є інформація лише про виконаний рух поїздів. Так, оперативний персонал може отримати дані про фактичні моменти прибуття, проходження та відправлення поїздів зі станцій. При цьому прогнозування руху поїздів АСК ВП УЗ-Є не забезпечує. Тому при поточному плануванні роботи станцій оперативний персонал може лише власноруч визначати очікувані моменти прибуття поїздів, спираючись на нормативні тривалості ходу поїздів та власний досвід.

Відсутність автоматизованого прогнозування руху поїздів в АСК ВП УЗ-Є ускладнює застосування оперативним персоналом багатьох важелів впливу на процеси поїздоутворення, в тому числі і керування черговістю розформування поїздів.

Для забезпечення надійності прогнозу, система прогнозування руху повинна спиратися на сучасні математичні та технічні засоби. Потужним інструментом створення моделей прогнозування являється математичний апарат штучних нейромереж. Можливості його застосування при прогнозуванні поїзної роботи досліджені в роботі [7]. В роботі [8] пропонується прогнозування здійснювати на основі врахування широкого спектру факторів, що впливають на умови слідування поїздів по дільницям. До сучасних технічних засобів забезпечення прогнозування руху можна віднести супутникові системи позиціонування [9], можливості застосування яких розглянуто в роботі [10].

Оскільки навіть найнадійніший прогноз характеризується певною випадковою похибкою, важливо знати які вимоги ставить завдання вибору черговості розформування поїздів до точності прогнозу їх прибуття. Інакше кажучи, необхідно визначити як змінюється ефективність застосування зазначеної задачі при зміні стохастичних характеристик похибки прогнозування.

Випадкова величина похибки прогнозування при достатньо надійній та адекватній моделі прогнозування описується нормальним законом розподілу із математичним очікуванням рівним нулю та певним середньоквадратичним відхиленням, що залежить від умов руху по дільницям. Така думка підтверджується дослідженнями [11], виконаними в ДНУЗТ. Тому в роботі дослідження ефективності керування черговістю розформування поїздів виконані виходячи із

припущення, що випадкова величина похибки прогнозування описується саме нормальним законом розподілу із математичним очікуванням рівним нулю. Така випадкова величина визначається значенням середньоквадратичного відхилення.

Для досліджень використано модель КЧРП, представлену в [12]. Кожен варіант обробки составів характеризується обраною черговістю розформування

$$X^{(t)} = \{N_1, N_2, \dots, N_k\}, \quad (1)$$

де N_1, N_2, \dots, N_k – номер поїзда, що розформується, відповідно, першим, другим, k -м;

t – номер черговості розформування поїздів, $t = 1..k!$.

Під кроком задачі будемо розуміти розформування одного поїзда. На вираз (1) накладається обмеження по кількості поїздів, які можуть бути розглянуті за один крок вирішення задачі:

$$k \leq h, \quad (2)$$

де h – кількість колій в парку приймання сортувальної станції.

Всю множину можливих варіантів розформування поїздів позначимо як $X = \{X^{(t)}\}$. Серед усіх варіантів $X^{(t)}$ слід відібрати такий, який забезпечує мінімальні загальні експлуатаційні витрати сортувальної станції. В цьому випадку цільова функція задачі КЧРП формулюється наступним чином:

$$C(X^{(t)}) = C_{\text{вр}}(X^{(t)}) + C_{\text{пр}}(X^{(t)}) + C_{\text{лг}}(X^{(t)}) + C_{\text{ман}}(X^{(t)}) \longrightarrow \min_{\forall X^{(t)} \in X} \quad (3)$$

де $C_{\text{вр}}(X^{(t)})$ – витрати, що пов'язані із простоем вагонів на станції при реалізації черговості розформування $X^{(t)}$;

$C_{\text{пр}}(X^{(t)})$ – витрати, що пов'язані із простоем поїздів у випадку неможливості приймання на станцію при реалізації черговості розформування $X^{(t)}$;

$C_{\text{лг}}(X^{(t)})$ – витрати, що пов'язані із простоем локомотивів на станції при реалізації черговості розформування $X^{(t)}$;

$C_{\text{ман}}(X^{(t)})$ – витрати, що пов'язані із додатковою маневровою роботою на станції при реалізації черговості розформування $X^{(t)}$ (дана складова витрат виникає наприклад при переповненні сортувальних колій).

Нехай $\{\theta_i\} = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_f\}$ – множина можливих станів системи «Станція – Прилеглі перетони», яка визначається можливими моментами підходу поїздів до станції – $\theta_i = \{T_1, T_2, \dots, T_k\}$. Множина $\{\theta_i\}$ формується на основі статистичних даних щодо похибки прогнозування руху поїздів. Ймовірність $P(\theta_i)$ кожного стану відома.

Враховуючи можливість відхилення фактичного прибуття поїздів від прогнозу, отримуємо задачу стохастичного програмування [13]. В цих умовах вирішення задачі вибору черговості розформування поїздів передбачає вибір такої послідовності розформування, щоб математичне очікування загальних експлуатаційних витрат, пов'язаних із процесами поїздоутворення, було мінімальним. При цьому математичне очікування експлуатаційних витрат визначається з урахуванням усіх можливих станів, в яких може опинитися станція у випадку відхилення фактичних моментів прибуття поїздів від прогнозованих:

$$C'(X^{(t)}) = \sum_{i=1}^f (C(X^{(t)}; \theta_i) \cdot P(\theta_i)) \longrightarrow \min_{\forall X^{(t)} \in X} \quad (4)$$

де $C(X^{(t)}; \theta_i)$ – загальні експлуатаційні витрати на реалізацію черговості розформування $X^{(t)}$ в умовах θ_i .

Представлена модель КЧРП була досліджена на предмет економічної ефективності. Дослідження були виконані шляхом імітаційного моделювання за допомогою моделі, розробленої на кафедрі станцій та вузлів ДНУЗТ. З цією метою універсальна імітаційна модель була адаптована під схему колійного розвитку та технологію роботи непарної системи сортувальної станції Нижньодніпровськ-Вузол.

В роботі виконано дослідження впливу точності прогнозу прибуття поїздів на ефективність керування черговістю розформування поїздів. Точність прогнозу визначалась середньоквадратичним відхиленням похибки прогнозування та варіювалась в межах від 5 до 25 хв із кроком 5 хв.

Основний економічний ефект від зміни черговості розформування поїздів досягається за рахунок зменшення непродуктивних простоїв составів і замикаючими групами в парку приймання. Такі простої значною мірою залежать від розміру вагонопотоку із переробкою та рівня завантаження підсистеми розформування (бригад ПТО парку приймання та гіркових локомотивів). Тому дослідження впливу точності

прогнозування на ефективність КЧРП були виконані при різних значеннях розміру вагонопотоку із переробкою.

Крім того дослідження виконувались при різній глибині планування, тобто при різній кількості составів, що включаються в граф варіантів черговості розформування. Імітаційне моделювання показало, що достатньо виконувати планування роботи на 4-5 составів. Подальше збільшення глибини планування не призводить до покращення показників роботи станції. Результати досліджень для глибини планування на 4 состави наведені на рис. 1.

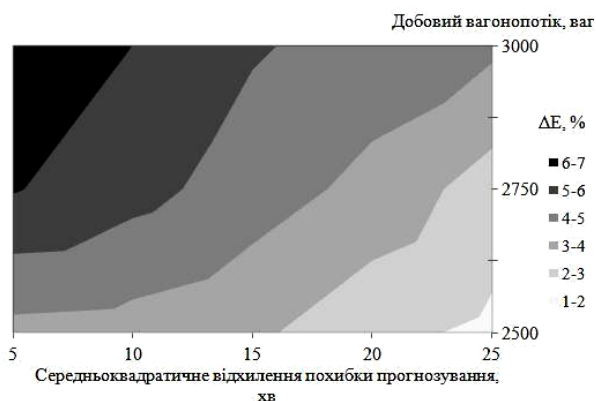


Рис. 1. Залежність ефективності керування черговістю розформування від похибки прогнозування.

За результатами імітаційного моделювання можна сформулювати наступні висновки:

збільшення середньоквадратичного відхилення похибки прогнозування та зменшення розмірів вагонопотоку із переробкою значно зменшують ефективність керування черговістю розформування поїздів;

при розмірі добового вагонопотоку із переробкою 3 000 ваг/добу та середньоквадратичному відхиленню похибки прогнозування до 5 хв, експлуатаційні витрати, що залежать від черговості розформування поїздів скорочуються на величину до 6-7 %;

при розмірі добового вагонопотоку із переробкою 2 500 ваг/добу та середньоквадратичному відхиленню похибки прогнозування біля 25 хв, доцільність керування черговістю розформування поїздів зникає.

Збільшення економічної ефективності КЧРП при збільшенні розмірів вагонопотоку із переробкою пояснюється збільшенням непродуктивних простоїв составів в парку приймання.

Висновки

Доцільність впровадження технологій керування черговістю розформування поїздів на сортувальних станціях в значній мірі визнача-

ється точністю прогнозування руху на прилеглих дільницях. Крім цього надійним підґрунтям для впровадження цих технологій являються великі розміри вагонопотоку із переробкою та високий рівень завантаження підсистеми розформування сортувальної станції.

Для практичного застосування на сортувальних станціях керування черговістю розформування поїздів, необхідно забезпечити виконання двох умов:

- покладання цієї функції на автоматизовані системи керування;
- забезпечення автоматизованої системи достатньо надійним та точним прогнозом прибуття поїздів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Лаврухін, О. В. Розробка моделі підтримки прийняття рішень на залізничному транспорті [Текст] / О. В. Лаврухін // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту зал. тр-ту ім. акад. В. Лазаряна. – 2006. – Вип. 11. – С. 84-86.
2. Лаврухін, А. В. Формирование интеллектуальной модели функционирования железнодорожной станции при выполнении поездной работы [Текст] / А. В. Лаврухін // Наука та прогрес транспорту : Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту зал. тр-ту ім. акад. В. Лазаряна. – 2015. – № 1 (55). – С. 43-53.
3. Лаврухін, О. В. Формування підходів щодо реалізації системи підтримки прийняття рішень оперативного управління поїздопотоками з розподіленим штучним інтелектом [Текст] / О. В. Лаврухін // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту зал. тр-ту ім. акад. В. Лазаряна. – 2014. – Вип. 8. – С. 88-99.
4. Bavarian, V. Introduction to neural networks for intelligent control [Електрон. ресурс] / V. Bavarian // Control Systems Magazine, IEEE. – 1988. – № 6(2). – Р. 3-7. – Режим доступу – <http://ieeecs.org/CSM/library/1988/april1988/w03-07.pdf>.
5. Буянов, В. А. Автоматизированные информационные системы на железнодорожном транспорте [Текст] / В. А. Буянов, Г. С. Ратин. – Москва: Транспорт, 1984. – 240 с.
6. Бардась, А. А. Усовершенствование планирования процессов расформирования составов с учетом оперативных данных автоматизированных систем управления грузовыми перевозками [Текст] / А. А. Бардась // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту зал. тр-ту ім. ак. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 24. – С. 150-152.
7. Скалозуб, В. В. Удосконалення методів вибору черговості розпуску составів на сортувальній станції [Текст] / В. В. Скалозуб, О. О. Бардась // Збір. наук. праць Донецького ін-ту зал. тр-ту Укр. держ. акад. зал. тр-ту. – 2010. – Вип. 24. – С. 46-52.
8. Вернигора, Р. В. Дослідження можливості використання штучних нейронних мереж при прогнозуванні поїзної роботи залізничних напрямків

[Текст] / Р. В. Вернигора, Л. О. Єльнікова // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту зал. тр-ту ім. акад. В. Лазаряна. – 2014. – Вип. 7. – С. 15-19.

9. Єльнікова, Л. О. Дослідження тривалості руху вантажних поїздів між технічними станціями залізничного напрямку [Текст] / Л. О. Єльнікова // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту зал. тр-ту ім. акад. В. Лазаряна. – 2014. – Вип. 8. – С. 40-44.

10. Титов, Н. Н. Опыт внедрения автоматизированной системы «Навигация и управление» на базе спутниковой навигации и ее взаимодействие с АС ВП УЗ в условиях испытательного полигона ЮЖД [Текст] / Н. Н. Титов, Ю. М. Борушко, С. Б. Семенов и др. // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту зал. тр-ту ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 25. – С. 172-177.

11. О कोरोков, А. М. Використання супутникових систем позиціонування об'єктів для удосконалення управління вантажними комплексами [Текст]

/ А. М. О कोरोков // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту зал. тр-ту ім. акад. В. Лазаряна. – 2013. – Вип. 5. – С. 54-57.

12. Мозолевич, Г. Я. Моделирование руху поїздів на залізничних напрямках [Текст] / Г. Я. Мозолевич, О. І. Петросенко // 71 Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2011. – С.4-5.

13. Ермольев, Ю. М. Математические методы исследования операций [Текст] / под ред. Ю. М. Ермольева. – Вища школа, 1979. – 281 с.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Білозьоровим В. Є. (Україна)

Надійшла до редколегії 29.05.2015.

Прийнята до друку 30.05.2015.