

УДК 656.212.5

В. І. БОБРОВСЬКИЙ^{1*}, Є. Б. ДЕМЧЕНКО^{2*}, А. С. ДОРОШ^{3*}

^{1*} Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 33-19-13, ел. пошта bvii1973@yandex.ua, ORCID 0000-0001-8622-2920

^{2*} Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 373-15-12, ел. пошта eugene_demchenko@mail.ru, ORCID 0000-0003-1411-6744

^{3*} Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 373-15-12, ел. пошта dorosh_as@mail.ru ORCID 0000-0002-5393-0004

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ СТАНЦІЙ В УМОВАХ НЕРІВНОМІРНОСТІ ВХІДНОГО ПОТОКУ ПОЇЗДІВ

В сучасних умовах актуальними є питання підвищення ефективності сортувальних комплексів станцій, що забезпечують процес переробки вагонопотоків. Експлуатація сортувальних комплексів станцій характеризується значною нерівномірністю вхідного потоку поїздів. В цих умовах доцільною є адаптація інтенсивності сортувального процесу до коливань вхідного потоку, що дозволить скоротити експлуатаційні витрати станції. З метою вирішення вказаної проблеми сортувальний комплекс розглядається як керована система масового обслуговування; при цьому в якості керованого параметру системи було обрано швидкість розпуску составів. Крім того, для забезпечення вибору раціонального режиму розформування составів, що дозволяє скоротити витрати енергетичних ресурсів, запропоновано використання спеціалізованої конструкції сортувальної гірки з двома горбами різної висоти. В статті виконана постановка задачі та сформульовані основні принципи керування роботою сортувального комплексу в умовах нерівномірності вхідного потоку поїздів. При цьому раціональний вибір сортувального пристрою та швидкості розпуску необхідно виконувати в залежності від довжини черги составів в парку прийому. Для вирішення цієї задачі запропоновано використовувати методику оптимізації Бокса-Уілсона, що базується на плануванні багатofакторних експериментів. З цією метою було розроблено комплексну імітаційну модель сортувального комплексу, що дозволяє визначати показники сортувального процесу та відповідні експлуатаційні витрати.

Ключові слова: сортувальний комплекс, сортувальна гірка, керована система масового обслуговування, режим розформування составів, економія енергоресурсів.

В сучасних умовах ринкової економіки одним з основних напрямків забезпечення високої ефективності експлуатаційної роботи сортувальних станцій є мінімізація витрат, пов'язаних з переробкою вагонів. У цьому зв'язку набувають актуальності питання подальшого розвитку сортувальних комплексів, які є одним з головних елементів станцій, що забезпечують процес переробки вагонопотоку. Удосконалення конструкції і технології роботи сортувальних комплексів дозволить підвищити їх ефективність, зменшити простій вагонів на станціях і, за рахунок цього, прискорити доставку вантажів, скоротити обіг вагонів та їх необхідний парк. Крім того, це буде сприяти подальшому покращенню економічних показників роботи станцій, в першу чергу, за рахунок зниження собівартості переробки вагонів.

В теперішній час функціонування сортувальних комплексів станцій України характеризується значною нерівномірністю надходження

поїздів в розформування; при цьому, як показали дослідження [1, 2], середньорічна нерівномірність перевезень залізничним транспортом в порівнянні з показниками 1991 р. збільшилась на 7-10 %, а добова – на 50 %. Вказані коливання розмірів вантажного руху суттєво впливають на якість залізничних перевезень та ефективність роботи її структурних підрозділів. Тому наявність нерівномірності перевезень має бути врахована не тільки при визначенні потрібної переробної спроможності технічних пристроїв залізниць, розробці графіка руху та нормуванні показників експлуатаційної роботи, а і при оперативному керуванні перевізним процесом, зокрема роботою сортувальних комплексів станцій.

Підвищення ефективності функціонування сортувального комплексу в умовах змінної інтенсивності прибуття поїздів в розформування може бути досягнуто шляхом оперативної зміни режиму його роботи у відповідності до по-

точної експлуатаційної обстановки. При цьому одним з основних керованих параметрів при виборі режиму роботи підсистеми розформування є швидкість розпуску v_0 .

В роботі [3] запропоновано змінювати швидкість розпуску в залежності від наявної кількості составів, готових до розформування. Для оцінки ефективності диференційованої швидкості розпуску авторами було розроблено імітаційну модель функціонування сортувального комплексу, за допомогою якої виконано детальний аналіз впливу величини швидкості розпуску v_0 на показники роботи сортувального комплексу при різних значеннях інтенсивності та нерівномірності вхідного потоку поїздів. В результаті досліджень встановлено, що збільшення швидкості розпуску одночасно призводить до покращення одних та погіршення інших показників функціонування сортувального комплексу. Так, підвищення швидкості розпуску, з одного боку, дозволяє скоротити середню тривалість простою составів в підсистемі розформування (особливо в періоди інтенсивного прибуття поїздів), а з іншого – призводить до погіршення умов інтервального регулювання швидкості відчепів, що може збільшити обсяг додаткової маневрової роботи з ліквідації порушень процесу розпуску. Тому без використання спеціальних методів з отриманої множини показників неможливо однозначно визначити ефективний варіант керування швидкістю розпуску.

Для реалізації ситуаційного керування швидкістю розпуску авторами [4] була запропонована конструкція сортувальної гірки з горбами різної висоти. Вказаний сортувальний пристрій складається з основної (ОГ) та пониженої (ПГ) гірок. Висота ОГ розрахована згідно діючих вимог [5] та забезпечує скочування відчепів до розрахункової точки в несприятливих метеорологічних умовах. Зменшення висоти ПГ відносно ОГ здійснюється за рахунок використання мінімально допустимого ухилу, передбаченого [5] для швидкісної ділянки спускної частини гірок великої потужності. Поздовжній профіль ОГ відрізняється від профілю ПГ тільки в межах між початком насувної частини гірок та першою розділовою стрілкою. Таким чином, кожна з вказаних гірок може використовуватись як самостійний сортувальний пристрій, що забезпечує розформування составів на всі колії сортувального парку.

Вибір гірки (основної чи пониженої) залежить від поточного стану сортувального комплексу. При цьому передбачається, що в період

інтенсивного прибуття поїздів розформування составів необхідно виконувати на ОГ з підвищеною швидкістю, що дозволяє прискорити процес розпуску і зменшити простій вагонів. В період зменшення вхідного потоку поїздів розформування составів доцільно виконувати на ПГ зі зменшеною швидкістю, що дає можливість скоротити витрати енергоресурсів на процес сортування. При цьому ефективність експлуатації розробленого сортувального пристрою в значній мірі залежить від прийнятого порядку вибору для розпуску основної чи пониженої гірки.

Таким чином, для вирішення задачі підвищення ефективності функціонування сортувальних комплексів необхідно розробити методику вибору виду сортувального пристрою і раціональної швидкості розпуску для кожного составу з урахуванням поточного стану в парку прийому. З цією метою сортувальний комплекс доцільно розглядати як керовану систему масового обслуговування (УСМО).

Керованою системою масового обслуговування прийнято називати систему, в якій параметри її складових елементів допускають керуючий вплив [6]. У відповідності до цього розрізняють наступні види УСМО [6, 7]:

- з керованим вхідним потоком вимог;
- з керованою дисципліною обслуговування;
- з керованою структурою;
- з керованою швидкістю обслуговування.

В системах з *керованим вхідним потоком* виконується відбір вимог для обслуговування; при цьому найменш цінним для системи вимогам (відносно заданого критерію) може бути відмовлено в обслуговуванні. Іншим різновидом таких систем є УСМО з втратами, коли вимога може бути втрачена внаслідок перевищення допустимого часу очікування нею обслуговування. Дослідження УСМО вказаного типу виконувались, головним чином, з метою оптимізації інформаційних систем, в яких цінність вимоги визначається наявністю або відсутністю в неї окремих ознак [8, 9]. При цьому задача керування системою в умовах її обмеженої пропускної спроможності зводиться до попередньої фільтрації вимог з метою мінімізації імовірності втрати вимоги, що має необхідну ознаку. В задачах підвищення ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій УСМО з керованим вхідним потоком можуть бути застосовані, наприклад, для керування обслуговуванням гірковим локомотивом конфліктних вимог: чергового составу, готового до розформування, та виконання осаджування на сортувальних коліях; при цьому в умовах

згущеного прибуття поїздів останньому типу вимог може бути відмовлено в обслуговуванні шляхом віднесення вказаної операції на маневровий локомотив, який працює в хвості сортувального парку, або за рахунок тимчасової зміни спеціалізації сортувальних колій.

Керування дисципліною обслуговування в УСМО може виконуватись на декількох рівнях [10, 11]:

– керування дисципліною постановки в чергу – полягає в виборі бункера, в який буде направлено вимогу в залежності від поточного стану системи;

– керування дисципліною перебування в черзі – визначення порядку переходу вимог з одного бункера в інший, або з одного місця на інше в межах окремого бункера;

– керування дисципліною взяття на обслуговування – визначення порядку обслуговування вимог.

Метою керування дисципліною обслуговування є зменшення загальної тривалості знаходження вимог в системі та пов'язаних з цим витрат. Прикладом задач, що можуть бути вирішені за допомогою УСМО такого типу є задача вибору черговості розформування составів [12].

У випадках, коли окрім витрат, пов'язаних з простоем вимог в системі, враховуються витрати на експлуатацію обслуговуючих пристроїв в різних режимах, виникають задачі керування структурою системи та швидкістю обслуговування вимог.

Системами з *керованою структурою* прийнято називати УСМО, в яких використовуються резервні обслуговуючі пристрої, що за певних умов вмикаються або вимикаються; при цьому вимкнені пристрої можуть бути задіяні для обслуговування заявок в інших системах. Як показав аналіз, існує 3 стратегії керування резервними пристроями:

– N -стратегія [13, 14] – стан резервного пристрою залежить від кількості вимог в системі, граничні значення якої ν , N співвідносяться як $0 \leq \nu < N \leq +\infty$. В загальному вигляді дана стратегія може бути сформульована наступним чином: резервний пристрій необхідно задіяти, якщо черга в системі досягне N вимог, та вимкнути, коли її довжина скоротиться до ν вимог.

– D -стратегія [15, 16] – стан резервного пристрою залежить від загального обсягу роботи, який має виконати система (завантаження системи).

– T -стратегія [17, 18] – резервний пристрій

виконує обслуговування до тих пір, поки в черзі є вимоги, після чого вимикається та не може бути задіяний впродовж встановленого періоду часу.

В задачах підвищення ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій УСМО з керованою структурою може бути використана, наприклад, для встановлення оптимальної стратегії залучення до розформування составів маневрового локомотива, що зайнятий на роботах в інших районах станції.

В системах з *керованою швидкістю обслуговування* передбачається, що обслуговування окремої вимоги може здійснюватися з певною інтенсивністю μ_j , $j \in K$, де K – фіксований набір можливих режимів обслуговування. Керування швидкістю обслуговування є узагальненою задачею керування резервним пристроєм [7]; при цьому більшість досліджень з даної тематики присвячено пошуку методу призначення швидкості обслуговування в рамках N -стратегії керування резервним пристроєм, тобто в залежності від кількості вимог в системі. Метою керування є пошук такої стратегії призначення швидкості обслуговування, яка б мінімізувала загальні витрати, пов'язані з функціонуванням системи.

Таким чином, задача вибору оптимальної швидкості обслуговування відноситься до числа економічних задач [19], вирішення якої для умов оперативного керування швидкістю розпуску дозволить знизити собівартість переробки вагонів на сортувальних комплексах станцій.

На основі проведеного аналізу можливих стратегій керування УСМО виконано постановку задачі керування швидкістю розпуску составів. Сортувальна гірка може бути представлена як одноканальна УСМО з очікуванням, на вхід якої з інтенсивністю λ надходить потік вимог у вигляді готових до розформування составів. Розформування може виконуватись в одному з n режимів, $n \geq 2$. Режим розформування чергового составу обирається в момент закінчення розформування попереднього составу та залишається незмінним до закінчення розформування даного составу. Розформування в i -му режимі виконується з інтенсивністю μ_i , $i = \overline{1, n}$, $0 < \mu_1 < \dots < \mu_n$, $\mu_n > \lambda$. Необхідно знайти стратегію вибору швидкості розпуску составів, яка б мінімізувала вартісний критерій якості функціонування системи:

$$I = \alpha L + \sum_{i=1}^n c_i P_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

де α – вартість знаходження одного составу в

системі в одиницю часу;

L – середня довжина черги;

c_i – вартість використання i -го режиму в одиницю часу, $0 \leq c_1 < \dots < c_n$;

P_i – імовірність роботи гірки в i -му режимі в одиницю часу.

Таким чином, задача визначення оптимальної стратегії вибору швидкості розпуску составів є нетривіальною: використання повільних режимів розформування дозволяє зменшити витрати на насув та розпуск, але при цьому збільшується тривалість знаходження составів в системі та пов'язані з цим витрати. І навпаки, використання високої швидкості розпуску дозволяє скоротити простій составів, але викликає збільшення витрат на розформування. За таких умов можливим рішенням є динамічна зміна режиму функціонування системи: при збільшенні черги підвищувати швидкість обслуговування вимог, при зменшенні – обирати більш повільний (і дешевий) режим [20].

Справедливість вказаного підходу доведена в [21]; при цьому встановлено, що для систем з відсутністю плати за переключення режимів оптимальна стратегія керування швидкістю є монотонною багатопороговою, що формулюється наступним чином. Фіксуються натуральні числа j_1, \dots, j_{n-1} , які задовольняють нерівностям $-1 = j_0 < j_1 \leq j_2 \dots \leq j_{n-1} < j_n = \infty$ та називаються *порогами*. Якщо кількість вимог в системі в даний момент закінчення обслуговування знаходиться в інтервалі $(j_{v-1}, j_v]$, то чергова вимога буде обслуговуватись в v -м режимі.

Алгоритм знаходження оптимального за критерієм мінімізації функціонала (1) набору порогів $(j_1^*, \dots, j_{n-1}^*)$ при заданих параметрах системи та значеннях вартісних коефіцієнтів розроблено в [20]. Так, згідно вказаного алгоритму на першому етапі знаходиться стаціонарний розподіл кількості вимог в системі в моменти завершення обслуговування вимог при фіксованому наборі порогів. Далі у явному вигляді визначається залежність цільової функції (1) від порогів. Тим самим задачу буде зведено до знаходження мінімуму функції з $n-1$ цілочисельних змінних.

Як видно з (1), для вирішення поставленої задачі необхідно визначити вартості одиниці часу знаходження вимог в системі α та використання окремих режимів їх обслуговування c_i . Для знаходження оптимальної стратегії керування швидкістю розпуску вартість α визначається на основі витратної ставки на 1 вагону-

годину простою рухомого складу $e_{\text{ваг-год}}$. Так, при величині $e_{\text{ваг-год}} = 0,79 \text{ грн}$ вартість 1 хв знаходження в парку прийому составу з $m = 50 \text{ ваг}$ складе $\alpha = 0,79 \times 50 \div 60 = 0,67 \text{ грн}$.

Вартість використання конкретного режиму розформування c_i визначається на основі величини експлуатаційних витрат, пов'язаних з реалізацією відповідної швидкості розпуску; при цьому складовими вказаних витрат є:

- енергетичні витрати на насув та розпуск;
- витрати на додаткову маневрову роботу з ліквідації порушень процесу розпуску та виконання осаджування вагонів для ліквідації вікон між ними на сортувальних коліях;
- витрати, пов'язані з пошкодженнями рухомого складу, які виникають внаслідок перевищення допустимої швидкості співударяння вагонів на сортувальних коліях.

Для встановлення залежності величин вказаних складових експлуатаційних витрат від швидкості розпуску v_0 було розроблено комплексну імітаційну модель процесу розформування составів на сортувальній гірці, інформаційна модель якої представлена на рис. 1.

Вказана модель розформування составів складається з двох взаємопов'язаних програмних модулів, між якими встановлено інформаційний інтерфейс, і дозволяє сумісно імітувати процес їх насуву на гірку та розпуску вагонів на сортувальні колії. В модулі насуву на основі адаптованих до умов маневрової роботи тягових розрахунків виконується детальне моделювання режиму роботи гіркового тепловоза та процесу руху состава. Це дає можливість визначати початкову швидкість кожного відчепу в момент його відриву від составу на вершині гірки. Також в даному модулі на основі величини виконаної механічної роботи сили тяги локомотива з використанням методики [22] визначаються витрати палива G гірковим локомотивом.

Отримані в результаті моделювання насуву початкові швидкості відчепів використовуються в модулі розпуску для подальшого моделювання процесу їх скочування, в результаті чого визначаються витрати електроенергії E на гальмування відчепів, величини інтервалів між відчепами на розділових стрілках δt , довжини вікон $L_{\text{вік}}$ та швидкості співударяння вагонів V_c на сортувальних коліях. На основі отриманих в результаті імітаційного моделювання показників сортувального процесу за допомогою методики [23] можливо встановити величину експлуатаційних витрат на виконання розформу-

вання на гірці з висотою h_r з певною швидкістю v_0 , що дозволить знайти відповідну вартість

c_i використання даного режиму обслуговування вимог в УСМО.

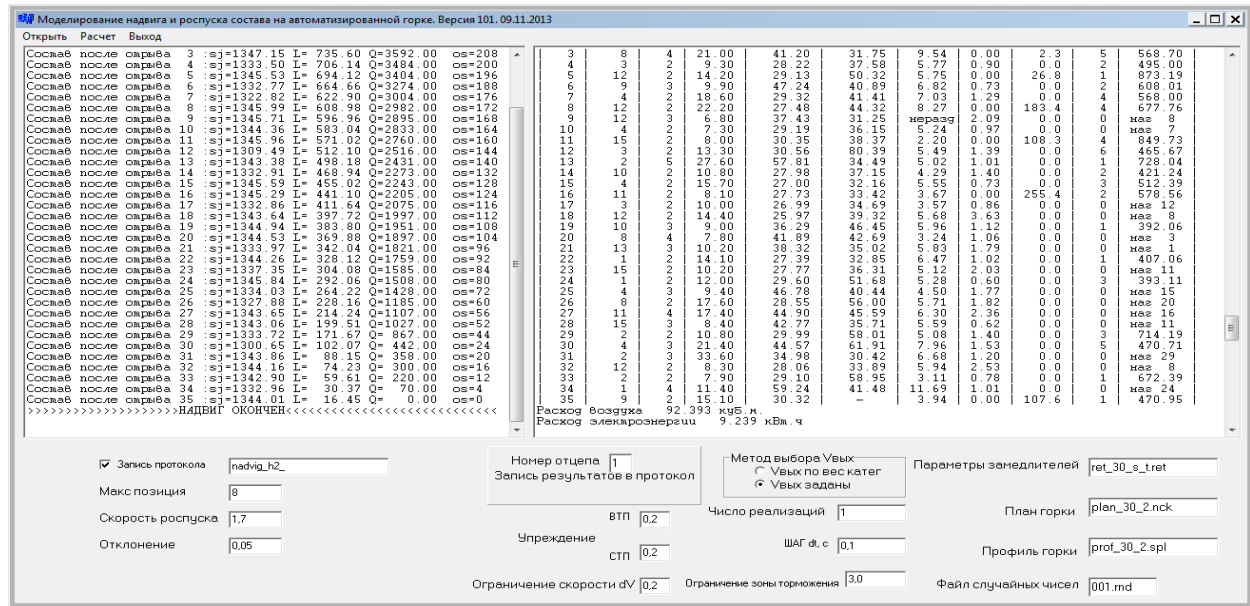


Рис. 1. Комплексна імітаційна модель розформування составів на сортувальній гірці

На основі величини вартості α простою составів в системі та знайденої залежності вартості режиму $c = f(v_0, h_r)$ для кожного можливого стану системи, що характеризується довжиною N черги готових до розформування составів, необхідно визначити раціональні за критерієм мінімізації експлуатаційних витрат величину швидкості розпуску та вид сортувальної гірки.

Вказана оптимізаційна задача може бути вирішена за допомогою методу Бокса-Уїлсона [24] шляхом проведення повного факторного експерименту (ПФЕ). В якості функції відгуку прийняті експлуатаційні витрати I , величина яких залежить від набору факторів $v_{01}, v_{02}, \dots, v_{0n}$, що являють собою швидкості розпуску при окремих значеннях черги N в парку. Враховуючи те, що кожний фактор варіюється на двох рівнях, а ПФЕ є системою дослідів, яка містить всі можливі неповторювані комбінації рівнів варіювання n факторів, то необхідно провести ПФЕ з $m = 2^n$ дослідів.

Для визначення величини функції відгуку I було розроблено імітаційну модель функціонування сортувального комплексу. Вказана модель побудована як двофазна УСМО з керованою швидкістю розпуску составів та дозволяє спільно імітувати процеси обслуговування потоку составів в парку прийому і їх розформування на гірці, а також процес заповнення колій сортувального парку.

При моделюванні швидкість розпуску кожного составу обирається в момент початку його

розформування згідно з прийнятим планом експерименту в залежності від поточної довжини черги N . Вибір сортувального пристрою для розформування конкретного составу виконується згідно з рекомендаціями [4] в залежності від прийнятої швидкості його розпуску та поточних погодних умов.

В процесі моделювання виконується імітація заповнення сортувальних колій, що дозволяє фіксувати моменти появи вимог на осаджування та перестановку сформованих составів в парк відправлення. Прийнято, що вказані вимоги підлягають пріоритетному обслуговуванню; при цьому тривалість обслуговування розглядається як випадкова величина, параметри якої залежать від кількості вагонів на даній сортувальній колії.

Моделювання функціонування сортувального комплексу виконується згідно з планом ПФЕ, в результаті чого буде отримано m значень функції відгуку I . На основі отриманого набору виконується круте сходження за методом Бокса-Уїлсона [24] та визначаються оптимальні значення швидкості розпуску.

Таким чином, як показали дослідження, адаптація режиму роботи сортувального комплексу до поточних експлуатаційних умов є дієвим способом підвищення ефективності його функціонування в умовах змінної інтенсивності вхідного потоку поїздів; при цьому основним керованим параметром є швидкість розпуску.

В цьому зв'язку сортувальний комплекс бу-

ло представлено як УСМО з керованою швидкістю обслуговування. Для реалізації вказаного керування було розроблено методику вибору в оперативних умовах об'єкта обслуговування, виду сортувального пристрою і раціональної швидкості розпуску для кожного складу з урахуванням поточної величини черги в парку прийому, яка дозволяє знайти оптимальну стратегію керування сортувальним комплексом, що мінімізує загальні витрати станції, пов'язані з переробкою вагонів.

На основі розробленої методики може бути побудована автоматизована система підтримки прийняття рішень оперативно-диспетчерським персоналом сортувальних комплексів станцій, реалізація якої дозволить суттєво скоротити експлуатаційні витрати, пов'язані з переробкою вагонопотоків.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Вернигора, Р. В. Анализ неравномерности грузовых перевозок на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте / Р. В. Вернигора, Н. И. Березовый // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 2/3(56). – С. 62-67.
2. Сотников, Е. А. Неравномерность грузовых перевозок в современных условиях и ее влияние на потребность пропускную способность участков / Е. А. Сотников, К. П. Шенфельд // Вестник ВНИИЖТ. – 2011. – № 5. – С. 3-9.
3. Бобровский, В. И. Совершенствование конструкции и технологии работы сортировочных комплексов железнодорожных станций : монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, А. И. Колесник, Е. Б. Демченко, А. С. Дорош. – Днепропетровск : Изд-во Маковецкий, 2012. – 232 с.
4. Бобровський, В. І. Дослідження ефективності конструкції сортувальної гірки з горбами різної висоти / В. І. Бобровський, Є. Б. Демченко // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 8. – С. 20-26.
5. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР. ВСН 207-89. – Москва : Транспорт, 1992. – 104 с.
6. Рыков, В. В. Управляемые системы массового обслуживания / В. В. Рыков // Итоги науки и техн. Сер. Теор. вероятн. Мат. стат. Теор. кибернет. – Москва : ВИНТИ, 1975. – Т. 12. – С. 45-152.
7. Runtong Zhang. Fuzzy Control of Queuing Systems / Runtong Zhang, Yannis A. Phillis, Vassilis S. Kouikoglou. Springer Science & Business Media, 2005. – 175 p.
8. Amy, R. Asymptotically Optimal Admission Control of a Queue with Impatient Customers / R. Amy, W. Kumar, S. Kumar // Mathematics of Operations Research. – 2008. – Vol. 33. – № 1. – P. 167-202.
9. Lewis, Mark E. Average optimal policies in a controlled queueing system with dual admission control / Mark E. Lewis // J. Appl. Probab. – 2001. – Iss. 38. – № 2. – P. 369-385. doi:10.1239/jap/996986750
10. Горцев А. М. Управление и адаптация в системах массового обслуживания / А. М. Горцев, А. А. Назаров, А. Ф. Терпугов. – Томск : изд-во ТГУ, 1978. – 208 с.
11. Kamra, A. Fair adaptive bandwidth allocation: a rate control based active queue management discipline / Abhinav Kamra, Huzur Saran, Sandeep Sen, Rajeev Shorey // Computer Networks. – 2004. – Vol. 44. – Iss. 2. – P. 135-152.
12. Бардась, А. А. Усовершенствование планирования процессов расформирования составов с учетом оперативных данных автоматизированных систем управления грузовыми перевозками / А. А. Бардась // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 24. – С. 150-152.
13. Kuo-Hsiung, Wang. Optimal control of the N policy M/G/1 queueing system with server breakdowns and general startup times / Kuo-Hsiung Wang, Tsung-Yin Wang, Wen Lea Pearn // Applied Mathematical Modelling. – 2007 – Vol. 31. – Iss. 10. – P. 2199-2212.
14. Kuo-Hsiung, Wang. Maximum entropy analysis to the N policy M/G/1 queueing system with a removable server / Kuo-Hsiung Wang, Shu-Lung Chuang, Wen-Lea Pearn // Applied Mathematical Modelling. – 2002. – Vol. 26 – Iss. 12. – P. 1151-1162.
15. Agarwal, R. P. New fluctuation analysis of D-policy bulk queues with multiple vacations / R. P. Agarwal, J. H. Dshalalow // Mathematical and Computer Modelling. – 2005. – Vol. 41. – Iss. 2-3. – P. 253-269
16. Artalejo, J. R. On the M/G/1 queue with D-policy / J. R. Artalejo // Applied Mathematical Modelling. – 2001. – Vol. 25. – Iss. 12. – P. 1055-1069.
17. Tsung-Yin, Wang. Optimization of the T policy M/G/1 queue with server breakdowns and general startup times / Tsung-Yin Wang, Kuo-Hsiung Wang, Wen Lea Pearn // Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2009. – Vol. 228. – Iss. 1. – P. 270-278.
18. Zhang. Cost evaluation in M/G/1 queue with T-policy revisited : technical note / Zhang, Zhe George, Tadj, Lotfi and Bounkhel, Messaoud // European Journal of Operational Research. – 2011. – Vol. 214. – Iss. 3. – P. 814-817.
19. Дудин, А. Н. Оптимальное управление многоскоростной системой массового обслуживания / А. Н. Дудин // Известия АН СССР. Сер. Техническая кибернетика. – 1981. – № 2. – С. 109-115.
20. Дудин, А. Н. Практикум на ЭВМ по теории массового обслуживания : Уч. пособ. / А. Н. Дудин, Г. А. Медведев, Ю. В. Меленец. – Минск : Электронная книга БГУ, 2003. – 109 с.
21. Дудин, А. Н. Системы массового обслуживания с изменяемым режимом функционирования и их оптимизация : автореферат дис. ... д-ра физ.-мат. наук : 05.13.16 / Дудин Александр Николаевич. – Томск, 1992. – 34 с.

22. Демченко, Е. Б. Оценка расхода топлива маневровыми тепловозами при расформировании составов на сортировочных горках / Е. Б. Демченко // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 6. – С. 39-46.

23. Пособие по применению правил и норм проектирования сортировочных устройств / Ю. А. Муха, Л. Б. Тишков, В. П. Шейкин и др. – Москва : Транспорт, 1994. – 220 с.

24. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке : Методы планирования эксперимента / Н. Джонсон. – Москва : Мир, 1981. – 520 с.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Огарем О. М. (Україна)

Надійшла до редколегії 28.11.2015.

Прийнята до друку 29.11.2015.

V. I. BOBROVSKIY, E. B. DEMCHENKO, A. S. DOROSH

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОРТИРОВОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ СТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВХОДЯЩЕГО ПОТОКА ПОЕЗДОВ

В современных условиях актуальными являются вопросы повышения эффективности сортировочных комплексов станций, обеспечивающих процесс переработки вагонопотоков. Эксплуатация сортировочных комплексов станций характеризуется значительной неравномерностью входящего потока поездов. В этих условиях целесообразной является адаптация интенсивности сортировочного процесса к колебаниям входящего потока, что позволит сократить эксплуатационные расходы станции. С целью решения указанной проблемы сортировочный комплекс рассматривается как управляемая система массового обслуживания; при этом в качестве управляемого параметра системы была выбрана скорость роспуска составов. Кроме того, для обеспечения выбора рационального режима расформирования составов, который позволит сократить расходы энергетических ресурсов, предложено использование специализированной конструкции сортировочной горки с двумя горбами разной высоты. В статье выполнена постановка задачи и сформулированы основные принципы управления работой сортировочного комплекса в условиях неравномерности входящего потока поездов. При этом рациональный выбор сортировочного устройства и скорости роспуска необходимо выполнять в зависимости от длины очереди составов в парке приема. Для решения указанной задачи предложено использовать методику оптимизации Бокса-Уилсона, основанную на планировании многофакторных экспериментов. С этой целью была разработана комплексная имитационная модель сортировочного комплекса, которая позволяет определять показатели сортировочного процесса и соответствующие эксплуатационные расходы.

Ключевые слова: сортировочный комплекс, сортировочная горка, управляемая система массового обслуживания, режим расформирования составов, экономия энергоресурсов.

V. I. BOBROVSKIY, E. B. DEMCHENKO, A. S. DOROSH

THE STATION SORTING COMPLEXES EFFICIENCY INCREASING UNDER THE CONDITIONS OF INCOMING TRAIN FLOW IRREGULARITY

The efficiency increasing problems of station sorting complexes, which provide the car flows processing are relevant in modern conditions. The station sorting complexes operation is characterized by the considerable incoming train flow irregularity. In these circumstances, it is appropriate to adapt the sorting process intensity to the incoming flow irregularity, which will reduce the station operating costs. In order to solve this problem the sorting complex is regarded as controlled queuing system; and as a controlled parameter of the system has been selected the breaking-up speed. In addition, the usage of the specialized hump design with two crests placed at different levels was proposed for selecting the efficient breaking-up mode, which will reduce the energy consumptions. The problem definition and the basic principles of the sorting complex controlling under the conditions of incoming trains flow irregularity were given in the article. Herewith the rational choice of hump and breaking-up speed must be performed depending on the queue length at the arrival bowl. To solve this problem is proposed to use the Box-Wilson optimization methodology, based on the planning of multifactor experiments. To this end the sorting complex comprehensive simulation model was developed, which allows to determine the sorting process parameters and operating costs.

Keywords: sorting complex, hump, controlled queue system, humping mode, energy consumption.