

## ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ РОЗПОДІЛЕНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ВАГОНІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ КОЛІЯХ

Використання систем квазібезперервного регулювання швидкості вагонів на сортувальних коліях сприяє покращенню показників якості заповнення сортувальних колій вагонами. Показники якості заповнення сортувальних колій вагонами характеризують різні боки процесу заповнення і є незрівняними між собою. Тому запропоновано методику визначення найкращих параметрів системи за допомогою техніко-економічного порівняння варіантів.

Использование систем квазинепрерывного регулирования скорости вагонов на сортировочных путях способствует улучшению показателей качества заполнения сортировочных путей вагонами. Показатели качества заполнения сортировочных путей вагонами характеризуют разные стороны процесса заполнения и являются несравнимыми между собой. Поэтому предложена методика определения наилучших параметров системы посредством технико-экономического сравнения вариантов.

The use of systems of the quasi-continuous adjusting the wagon speed on the marshalling tracks contributes to the improvement of indices of occupation quality of marshalling tracks with wagons. These indices characterize different sides of the occupation process and are incomparable among themselves. Therefore the technique for determination of the best parameters of the system by means of technical-economic comparison of variants is offered.

Закордонний досвід свідчить про те, що існують технології і технічні засоби за допомогою яких на гіркових сортувальних станціях можна досягти гарантованого розділення відчепів на розділових стрілочних переводах спускної частини гірки та безпечного і повного заповнення вагонами колій накопичення сортувальних парків.

На сортувальних станціях залізниць світу поширюється використання точкових домкратовидних пристроїв регулювання швидкості вагонів. Послідовно встановлені по маршруту скочування відчепів ці пристрої утворюють систему розподіленого регулювання швидкості відчепів. Система здатна автоматично підтримувати швидкість руху відчепів на заданому рівні. Застосування таких систем дозволяє мінімізувати вплив на процес скочування випадкових (недетермінованих і детермінованих) чинників. Система працює автономно.

Перш ніж впроваджувати систему розподіленого регулювання швидкості на станції, необхідно розрахувати її параметри. Основними параметрами системи є схема розташування точкових засобів на спускній частині сортувальної гірки і на сортувальних коліях, а також швидкість, на підтримання якої вони налаштовані. Ці параметри тісно зв'язані з параметрами конструкції сортувальної гірки і сортувальних колій, тобто залежать від їх профілю і плану колійного розвитку.

Необхідно врахувати, що пристрої можна встановлювати тільки між шпалами або перевідними брусами поза межами гостряків і хрестовин стрілочних переводів, а також поза межами стаціонарних гальмових позицій, обладнаних балочними вагонними уповільнювачами.

План і профіль існуючих сортувальних гірок запроєктовані з урахуванням реалізації принципу інтервального та прицільного гальмування відчепів на стаціонарних гальмівних позиціях, обладнаних балочними вагонними уповільнювачами. Для того, щоб забезпечити розділення відчепів на розділових стрілочних переводах під час розпуску за допомогою системи розподіленого регулювання швидкості, необхідною є реконструкція профілю і плану колійного розвитку гіркової горловини сортувальної гірки. Для забезпечення розділення відчепів з використанням гальмових пристроїв точкового типу є можливість скоротити довжину гіркової горловини. Розташовані по маршруту скочування відчепів точкові засоби регулювання швидкості покликані підтримувати однакову швидкість скочування всіх відчепів, за рахунок чого вирівнюються інтервали між суміжними відчепами, що послідовно скочуються з гірки. Задля чого профіль спускної частини гірки потрібно проектувати за іншою методикою [1].

Таким чином, обладнання спускної частини сортувальної гірки системою розподіленого регулювання швидкості відчепів потребує до-

корінної реконструкції плану і профілю сортувальної гірки, що потребує значних витрат.

Інша справа обладнати пристроями регулювання швидкості вагонів точкового типу сортувальні колії. На сортувальних коліях менше обмежень на розташування точкових пристроїв регулювання швидкості відцепів. Розташовувати точкові засоби для підтримування швидкості скочування відцепів в безпечних межах можна по всій довжині сортувальної колії. Щільність встановлення таких засобів залежить від ходових властивостей відцепів, що накопичуються на колії, та від уклону колії.

Система розподіленого регулювання швидкості відцепів, насамперед, характеризується щільністю розташування сповільнювачів, контрольною швидкістю, на яку вони налаштовані, та укладом сортувальної колії.

Для аналізу можливості поліпшення якості заповнення сортувальних колій вагонами за рахунок обладнання сортувальних колій системою розподіленого регулювання швидкості вагонів та дослідження залежності показників якості заповнення сортувальних колій від параметрів системи за умов відсутності таких засобів в Україні використовувалась математична імітаційна модель заповнення вагонами сортувальних колій.

На рис. 1 наведено розрахункову схему рішення рівняння руху відчепа по сортувальній колії, яка обладнана системою розподіленого регулювання швидкості вагонів. Всі відчепи, що скочуються з сортувальної гірки на колію накопичення, гальмують на парковій гальмовій позиції.

Використання регульованої паркової гальмової позиції необхідно для того, щоб загальмувати всі відчепи до контрольної швидкості, на яку налаштовані точкові засоби регулювання швидкості вагонів. Цю функцію не можна залишити точковим засобам, установленим з великою щільністю, оскільки різко зростає ймовірність нерозділення відцепів на останніх розділових стрілочних переходах спускної частини гірки у зв'язку з тим, що швидкість довгих легких відцепів швидко знижується за рахунок гальмування передніх осей відчепа, в той час як останні осі ще не звільнили останній розділовий елемент. Оператор паркової гальмової позиції може загальмувати будь-які осі відчепа залежно від оперативної обстановки, що складається в процесі розпуску состава, і не починати гальмувати відцеп, поки той не звільнить останній розділовий стрілочний перевід.

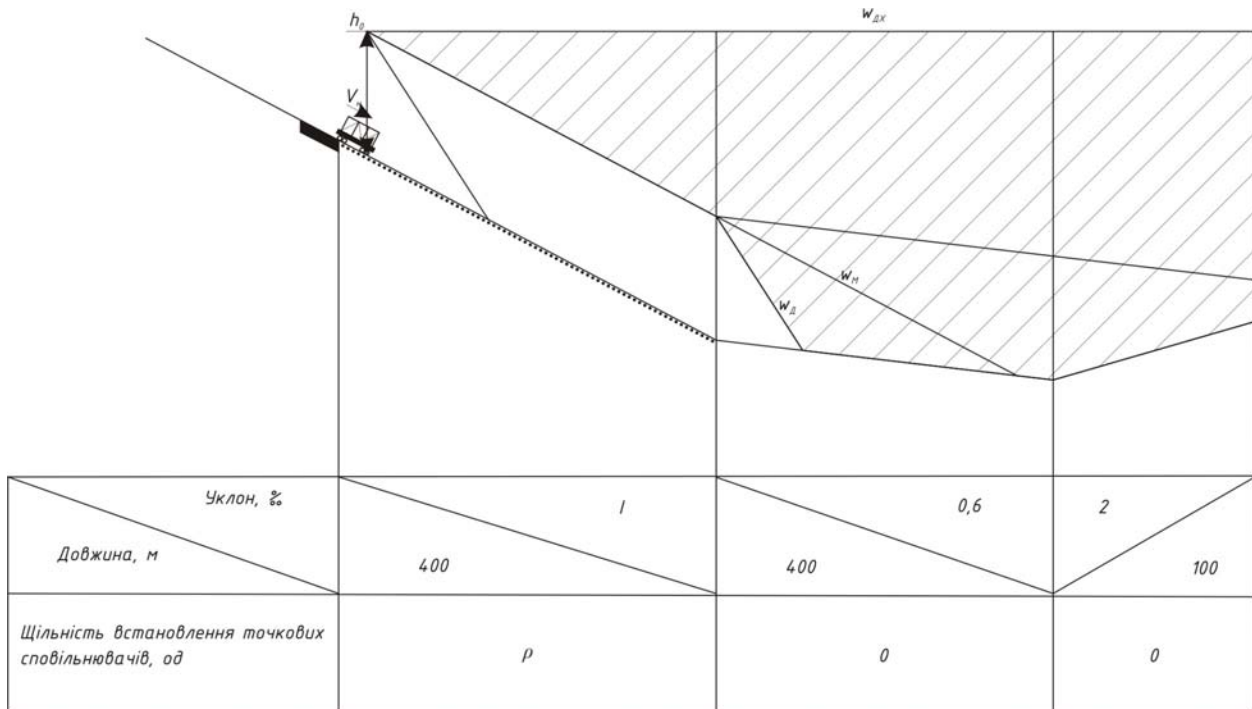


Рис. 1. Рішення рівняння скочування відцепів на сортувальній колії в енергетичному вигляді

Модель дозволяє задавати профіль сортувальної колії, обладнаної системою розподіленого регулювання швидкості вагонів, і фіксувати показники якості процесу накопичення.

В процесі накопичення вагонів на сортувальній колії вирішується дві задачі: задача максимального заповнення колії вагонами з одного боку і задача забезпечення безпечної швидкості

зіткнення відчепів з вагонами, що стоять на колії, з іншого.

На процес чинить вплив безліч факторів, велика частка з яких некеровані. А якість заповнення сортувальної колії вагонами прийнято оцінювати за ступенем заповнення сортувальної колії вагонами і ймовірністю зіткнення вагонів з допустимою швидкістю, причому обидва показники необхідно максимізувати. Крім того, що ці показники не повною мірою відображають якість заповнення сортувальної колії вагонами, вони є суперечливими в тому сенсі, що при збільшенні уклону сортувальної колії та збільшенні швидкості входу відчепа на сортувальну колію поліпшується перший показник (збільшується ступінь заповнення сортувальної колії) і погіршується другий (зростає ймовірність зіткнення вагонів з допустимою швидкістю) і навпаки.

Задача оптимізації параметрів системи розподіленого регулювання швидкості відчепів на сортувальній колії зводиться до того, щоб мінімальною кількістю точкових засобів регулювання швидкості вагонів на можливо меншому уклоні досягти максимального заповнення сортувальної колії вагонами із забезпеченням безпечної швидкості зіткнення відчепів.

Для того, щоб отримати показники якості накопичення вагонів на сортувальній колії потрібно виконати спостереження з фіксацією швидкостей зіткнення відчепів, а також довжини вікон між вагонами після розпуску чергового составу і після кожного осадження або підтягування вагонів.

Провести такі спостереження технічно і організаційно дуже складно. Тому для вирішення поставленої задачі використовувалася імітаційна модель заповнення вагонами сортувальної колії.

Обладнання сортувальних колій системою розподіленого регулювання швидкості вагонів потребує капітальних вкладень на придбання та встановлення точкових засобів регулювання швидкості, їх технічне обслуговування, а також на проведення робіт з реконструкції поздовжнього профілю сортувальних колій в межах розташування точкових сповільнювачів на існуючих станціях. Економію експлуатаційних витрат можна очікувати насамперед від скорочення витрат на маневрові пересування з підготовки колій до розпуску чергового составу і витрат на ремонт пошкоджених вагонів із-за зіткнення вагонів на сортувальній колії з небезпечною швидкістю, а також від спрощення алгоритму керування парковою гальмовою позицією.

цією, від вивільнення регулювальника швидкості вагонів на додатковій гальмовій позиції в глибині сортувального парку.

Критерієм для техніко-економічної оцінки варіантів обладнання сортувальних колій точковими засобами регулювання швидкості, що розглядаються, є мінімальні розміри приведених річних витрат при потрібному рівні її переробної здатності.

За початковий варіант конструкції і технічного оснащення приймаються визначені відповідно до Правил і норм проектування сортувальних засобів мінімально встановлений за нормативами профіль сортувальних колій зі стаціонарною гальмівною позицією на початку сортувальних колій і пересувною гальмівною позицією в глибині сортувального парку. На пересувній гальмовій позиції гальмування здійснюється ручним гальмівним башмаком, який підкладає регулювальник швидкості вагонів під окремі відчепа, з метою запобігання зіткнення вагонів з небезпечною швидкістю. Як альтернативні розглянуто варіанти із застосуванням точкових засобів регулювання швидкості вагонів на частині підгіркових колій після стаціонарної гальмової позиції, замість пересувної гальмової позиції.

Оскільки точкові засоби регулювання швидкості вагонів чинять додатковий опір руху вагонів, розглянуто також варіанти з більшими за нормативний уклонами в межах тієї частини сортувальних колій, де розташовано точкові засоби. При цьому передбачається відмовитися від принципу прицільного регулювання швидкості руху на підгіркових коліях, оскільки дуже важко спрогнозувати ходові властивості відчепів, а також спрогнозувати вплив безлічі інших факторів, які чинять вплив на відчеп під час його вільного кочення по сортувальній колії. Тобто реалізовано принцип керованого просування вагонів по сортувальній колії.

Засоби регулювання швидкості запропоновано розташовувати тільки на початку сортувальних колій з метою економії капітальних витрат на обладнання колій точковими засобами. Як показало дослідження, більш доцільним є розташування точкових сповільнювачів протягом не більше за 400 м за парковою гальмовою позицією.

Капітальні вкладення і експлуатаційні витрати при порівнянні варіантів конструкції і технічного оснащення сортувальної гірки повинні визначатися по елементах витрат, що розрізняються, за наступними статтями витрат:

- капітальні витрати – на засоби регулювання швидкості руху відчепів, засоби автоматизованого управління розформовуванням составів, земляні роботи при зміні висоти і профілю гірки, гіркові локомотиви;
- експлуатаційні витрати – на амортизацію, матеріали і запасні частини, технічне обслуговування і ремонт технічних засобів, простій составів в очікуванні розформовування, витрати електроенергії на регулювання швидкості руху відчепів, відшкодування втрат від пошкодження вагонів і вантажів.

Збільшення капітальних витрат у варіанті, що розглядається, в порівнянні з початковим

$$\Delta K = n_{ск(1)}e_{ск(1)} - n_{ск(2)}e_{ск(2)} + C_{авт} + \Delta V_3 e_3,$$

де  $n_{ск(1)}$  – кількість засобів регулювання швидкості руху відчепів в початковому варіанті на сортувальних коліях;

$n_{ск(2)}$  – те ж в порівнюваному варіанті;

$$\pm \Delta E = E_{а(1)} - E_{а(2)} + E_{ел(1)} - E_{ел(2)} + E_{пошк(1)} - E_{пошк(2)} \pm \Delta E_{пп},$$

де  $E_{а(1)}$  – витрати на амортизацію, запасні частини і технічне обслуговування засобів регулювання швидкості руху відчепів в початковому варіанті, тис. грн;

$E_{а(2)}$  – те ж в порівнюваному варіанті, тис. грн;

$E_{пошк(1)}$  – витрати на відшкодування втрат від пошкодження вагонів в початковому варіанті, тис. грн;

$E_{пошк(2)}$  – те ж в порівнюваному варіанті, тис. грн;

$\Delta E_{пп}$  – економія від скорочення часу простою составів у парку приймання в порівнюваному варіанті, тис. грн.

Експлуатаційні витрати на утримання домкратовидних сповільнювачів – 10 %, домкратовидних сповільнювачів-прискорювачів – 18 % їх вартості.

За наслідками моделювання процесу накопичення вагонів встановлюється  $n_{пошк}$  – кількість пошкоджених вагонів на 1000 перероблених на гірці, а кількість пошкоджених вагонів за рік при добовій переробці  $N$  вагонів

$$N_{пошк} = 0,365 N n_{пошк}.$$

$e_{ск(1)}$  – вартість одного засобу, встановленого на сортувальних коліях в початковому варіанті, тис. грн;

$e_{ск(2)}$  – те ж в порівнюваному варіанті, тис. грн;

$C_{авт}$  – капітальні витрати на обладнання гірки системою автоматизації розформовування составів, тис. грн.;

$\Delta V_3, e_3$  – відповідно збільшення обсягу, м<sup>3</sup>, і вартість виконання земляних робіт, тис. грн.

Оскільки засоби, що використовуються в системах квазібезперервного (із застосуванням точкових домкратовидних сповільнювачів і прискорювачів) регулювання швидкості руху відчепів, у нас не виробляють, вартість їх можна оцінити за даними зарубіжного досвіду.

Збільшення або зменшення обсягу земляних робіт в порівнянні з початковим варіантом конструкції гірки визначається з використанням проектних відміток по елементах профілю варіантів, що розглядаються.

Зменшення (або збільшення) експлуатаційних витрат у варіанті, що розглядається, в порівнянні з початковим складає

Витрати від пошкодження вагонів на сортувальних коліях:

$$E_{пошк} = \left( C_p + \frac{(C_b + \Gamma \cdot C_t) t_{пт}}{0,95 \cdot 8760} \right) N_{пошк},$$

де  $C_p$  – середня вартість ремонту одного відчепленого вагона, тис. грн.;

$t_{пт}$  – загальний простій вагона в поточному ремонті, год.;

0,95·8760 – річний фонд робочого часу вагона;

$C_b$  – середньозважена ціна вагона, тис. грн;

$\Gamma$  – розмір вантажної маси, що перевозиться у вагоні, т;

$C_t$  – ціна тонни вантажної маси, тис. грн.

Зміна часу простою составів у парку приймання у варіанті, що розглядається, відбудеться при зменшенні або збільшенні гіркового технологічного інтервалу  $t_r$  порівняно з початковим варіантом.

При відомих розрахункових розмірах переробки составів за добу  $n_p$  і зміні гіркового інтервалу від  $t_{r(1)}$  в початковому варіанті до  $t_{r(2)}$  в тому, що розглядається, простій составів в очікуванні розформовування зміниться на величину, год.:

$$\Delta t_{пп} = 0,000125 n_p^2 (t_{r(1)}^2 - t_{r(2)}^2) - 0,1568 \cdot n_p (t_{r(1)} - t_{r(2)}).$$

Конструкція і технічне оснащення гірки можуть зробити істотний вплив на величину  $t_r$ , оскільки від них залежить тривалість основних технологічних операцій гіркового циклу (розпуск составів, осаджування вагонів і маневри на сортувальних коліях), а також можливий рівень паралельності виконання операцій. Найбільш точно тривалість виконання цих технологічних операцій можна встановити моделюванням процесу розпуску составів.

Середній час  $t_p$  розпуску составів, хв.:

$$t_p = \frac{l_c}{v_p 60},$$

де  $l_c$  – середня довжина составу, м;

$v_p$  – середня швидкість розпуску, м/с.

За встановленими моделюванням значеннями числа операцій осадження  $P_{oc}$ , що доводяться на один перероблений вагон, і величини «вікна»  $\lambda$ , м, середній час осаджування вагонів на сортувальних коліях, год. [2]:

$$t_{oc} = m_c \left[ 2P_{oc} t_1 + 0,06\lambda \left( \frac{1}{v_{oc}} + \frac{1}{v_{ол}} \right) \right],$$

$$t_r = \beta_0 + \beta_1 t_p + \beta_2 (t_{н(с)} + t_{н(г)}) + \beta_3 (t_{з(пг)} + t_{з(пп)}) + \beta_4 (t_{oc} + t_{лн}) - \beta_5 \kappa_{оп} + \Delta t_{згс},$$

де  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$  – коефіцієнти регресії, значення яких приймаються по табл. 50 [3];

$t_{н(с)}, t_{н(г)}$  – середній час насуву составу відповідно до гіркового світлофора і від нього до горба гірки, хв.;

$t_{з(пг)}, t_{з(пп)}$  – середній час заїзду локомотива в парк прийому відповідно від горба гірки до передгіркової горловини і від неї до підходу локомотива до составу, хв.;

$\kappa_{оп}$  – коефіцієнт паралелі виконання маневрових операцій;

$\Delta t_{згс}$  – збільшення гіркового технологічного інтервалу, пов'язане з наявністю в составах для

$$\Delta E_{пп} = 0,365 N \Delta t_{пп} e_{в-год} = 0,365 n_p m_c \Delta t_{пп} e_{в-год},$$

де  $e_{в-год}$  – вартість 1 вагоно-години, грн.

Варіант конструкції і технічного оснащення сортувальних колій, що розглядається, буде більш ефективним порівняно з початковим варіантом, якщо його застосування приведе до скорочення приведених річних витрат.

В дослідженні розглянуто змінні фактори в діапазоні:

- уклон від 0,6 ‰ до 3,0 ‰;
- щільність розташування точкових засобів від 0 до 0,5 од./м.

Фактори по різному впливають на показники якості процесу накопичення вагонів, показ-

де  $m_c$  – середнє число вагонів у составі;

$t_1$  – час напіврейсу заїзду на сортувальну колію одиночного локомотива, хв.;

$v_{oc}$  – швидкість осадження, км/год;

$v_{ол}$  – швидкість руху одиночного локомотива по сортувальній колії, км/год.

Час на виконання маневрів з ліквідації наслідків нагону відчепів (що доводиться на один перероблений состав) [2]:

$$t_{лн} = 2m_c P_n t_1,$$

де  $P_n$  – число нагону відчепів, що приймається за наслідками моделювання.

Необхідні для розрахунку значення часу насуву на гірку, заїзду гіркового локомотива в парк приймання, які не залежать від технічного оснащення гірки, а тільки в основному від колійного розвитку гіркової і передгіркової горловини, можуть бути визначені з використанням [3, 4]. При відомих значеннях тривалості операцій гіркового циклу  $t_r$ , хв., визначається з виразу:

розформування вагонів, заборонених до спуску з гірки без локомотива, хв.

Коефіцієнт  $\kappa_{оп}$  і величину  $\Delta t_{згс}$  визначають за методикою, описаною в [3]. Більш точні результати визначення гіркового технологічного інтервалу гірок із різними конструкцією і технічним оснащенням можуть бути отримані імітаційним моделюванням роботи гірки.

Економія від скорочення часу знаходження составів у парку приймання в разі зменшення гіркового інтервалу порівняно з початковим варіантом, тис. грн:

ники якості між собою непорівняні, тому вирішальним у визначенні параметрів системи розподіленого регулювання швидкості постає економічний чинник.

На початку дослідження здавалося, що якщо сортувальну колію обладнати точковими вагоносповідільювачами, то найкращі показники якості заповнення вагонами сортувальної колії спостерігатимуться за умов найбільшого уклону колії при більшій щільності розташування точкових вагоносповідільювачів. Однак з'ясувалося, що це не зовсім так.

За малої щільності розташування вагонсповільнювачів від 0 до 0,2 од./м ефекту зовсім не спостерігається. За більшої щільності зі збільшенням уклону сортувальної колії з'являється невеличкий ефект, що зникає при подальшому збільшенні уклону колії. Такий ефект викликаний суперечливістю двох основних показників якості процесу накопичення вагонів на сортувальних коліях.

Спочатку ефект досягається завдяки покращенню першого показника, тобто за рахунок підвищення ступеня заповнення колії вагонами та скорочення часу на осаджування вагонів. Потім починає переважати інший показник, ймовірність зіткнення відчепів з безпечною швидкістю зменшується, а кількість пошкоджених вагонів збільшується. За умов збільшення щільності розташування точкових вагонсповільнювачів найбільший ефект спостерігається раз у раз при більшому уклоні. Так, за щільності розташування точкових вагонсповільнювачів 0,3 од./м максимальний ефект отримаємо на уклоні порядку 1,5 ‰, за щільності 0,4 од./м – 2,0 ‰, за щільності 0,5 од./м – 2,5 ‰.

Таким чином, обладнання сортувальних колій системою розподіленого регулювання швидкості потребує дещо більшого уклону сортувальних колій відносно нормативного 0,6‰, але це дозволяє взагалі відмовитися від прицільного гальмування відчепів та водночас забез-

печити зіткнення відчепів із безпечною швидкістю й високий ступінь заповнення сортувальної колії вагонами. Таким чином, застосування системи розподіленого регулювання швидкості вагонів може забезпечити істотну економію витрат на ремонт вагонів, що пошкоджуються під час зіткнення відчепів на коліях накопичення в сортувальному парку, а також скоротити обсяг маневрової роботи і час виконання операцій з підготовки колій до розпуску з гірки чергового состава.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Назаров, А. А. Анализ возможности применения систем квазинепрерывного регулирования скорости отцепов типа DOWTY на сортировочных горках [Текст] / А. А. Назаров // Зб. наук. пр. Київського ун-ту економіки і технологій транспорту. – 2003.
2. Пособие по применению Правил и норм проектирования сортировочных устройств [Текст] / Ю. А. Муха [и др.]. – М.: Транспорт, 1994.
3. Типовые нормы времени на маневровые работы, выполняемые на железнодорожном транспорте [Текст] / МПС. – М.: Транспорт, 1987.
4. Методичні вказівки з розрахунку норм часу на маневрові роботи, які виконуються на залізничному транспорті [Текст] / Мінтранс України. – К., 2003.

Надійшла до редколегії 19.05.2010.

Прийнята до друку 21.05.2010.