

УДК 656.212.5

А. І. КОЛЕСНИК^{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 antkoli@rambler.ru, ORCID 0000-0003-2490-5843

ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ КОЛІЙНОГО РОЗВИТКУ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

В процесі обробки вагонопотоків важливу роль відіграють сортувальні гірки малої потужності, більшість з яких немеханізована. Впровадження механізації вимагає значної реконструкції плану горловини. У даній статті розроблена методика визначення оптимальної конструкції плану колійного розвитку сортувальної гірки малої потужності за критерієм мінімуму її будівельної довжини. Під будівельною довжиною розуміється розгорнута довжина горловини від вершини гірки до початку паркової гальмової позиції без врахування довжин елементів стрілочних переводів. Зроблено аналіз існуючих методів оптимізації конструкції плану сортувальних гірок, встановлено, що вони не в повній мірі враховують характер роботи гірок. Доведено, що кути повороту додаткових кривих спускної частини гірки суттєво впливають на параметри сполучних кривих сортувальних колій; при цьому, за рахунок зміни параметрів сполучних кривих досягається мінімізація будівельної довжини горловини. Як показали дослідження, між величиною кута повороту кривої спускної частини та будівельною довжиною колійного розвитку існує обернена функціональна залежність, як при розміщенні паркової гальмової позиції на прямій ділянці колії за основною сполучною кривою, так і в межах сполучних кривих. При цьому оптимізація параметрів сполучних кривих виконувалася за критерієм мінімальної відстані від вершини гірки до паркової гальмової позиції. Встановлено, що максимізація кутів повороту кривих спускної частини дозволяє скоротити будівельну довжину колійного розвитку гірки малої потужності на 10-15 %. Розрахунок максимальних кутів спускної частини виконується за допомогою ітераційного методу. Застосування запропонованої методики під час будівництва чи реконструкції горловин гірок малої потужності дозволяє суттєво скоротити потреби у рейко-шпальній решітці, а також зменшити експлуатаційні витрати.

Ключові слова: сортувальна гірка, будівельна довжина, гіркова горловина, план колійного розвитку, сполучні криві, проектування гірок, ітераційний метод.

В процессе обслуживания вагонопотоков важную роль играют сортировочные горки малой мощности, большинство из которых немеханизированные. Внедрение механизации требует значительной реконструкции плана горловины. В настоящей статье разработана методика определения оптимальной конструкции плана путевого развития сортировочной горки малой мощности по критерию минимума ее строительной длины. Под строительной длиной понимается развернутая длина горловины от вершины горки до начала парковой тормозной позиции без учета длин элементов стрелочных переводов. Выполнен анализ существующих методов оптимизации конструкции плана сортировочных горок, установлено, что они не в полной мере учитывают характер эксплуатации горок. Доказано, что углы поворота дополнительных кривых спускной части горки существенно влияют на параметры сопрягающих кривых сортировочных путей; при этом, за счет изменения параметров сопрягающих кривых достигается минимизация строительной длины горловины. Как показали исследования, между величиной угла поворота кривой спускной части и строительной длиной путевого развития существует обратная функциональная зависимость, как при размещении парковой тормозной позиции на прямом участке пути за основной сопрягающей кривой, так и в пределах сопрягающих кривых. При этом параметры сопрягающих кривых оптимизируются по критерию минимального расстояния от вершины горки до парковой тормозной позиции. Установлено, что максимизация углов поворота кривых спускной части позволяет сократить строительную длину путевого развития горки малой мощности на 10-15 %. Расчет максимальных углов спускной части выполняется с помощью итерационного метода. Применение предложенной методики при строительстве или реконструкции горловин горок малой мощности позволяет существенно сократить потребность в рельсо-шпальной решетке, а также сократить эксплуатационные расходы.

Ключевые слова: сортировочная горка, строительная длина, горочная горловина, план путевого развития, сопрягающие кривые, проектирование горок, итерационный метод.

The lower-power sorting humps are all-important during the car traffic volume serving. The most of humps are manual. The application of humps mechanization needs the sizeable reconstruction of humps neck. The method of the determining the optimal construction of a lower-power sorting hump neck is given in this article. The minimum

of the construction length of the tracks was chosen as a criterion of optimality. By the construction length is understood the unfolded neck length from the top hump to park retarder position without taking the switches length into account. The analysis of existing methods of optimization the hump neck shows that they do not fully characterize the object, because they do not include many of the features of sorting humps operation. It is found that the values of the angles of rotations of the slope of the hump have an essential influence on the parameters of rounding-off curves on sorting tracks. Due to change of parameters of rounding-off curves comes the minimum of the hump construction length.

Studies have shown the inverse functional binding between the value of the angle of rotations of the slope of the hump and the neck construction length. This binding is under placing a park retarder position both on a straight path for the main mating curve and within the limits of mating curves. At the same time parameters of mating curves on each path are optimized so that the park retarding position in the track bunch has to be located at a minimum distance from the top of the hump. Studies have shown that maximization values of the angles of rotations of the slope of the hump allow to reduce the construction length of the lower-power sorting humps neck by 10-15 %. The maximum angles of the slope calculating by the iteration method.

Using of the proposed method during new construction and the reconstruction of the existing lower-power sorting humps allow to reduce the need for rail-sleeper grid and also to reduce the operating costs.

Keywords: sorting hump, construction length, hump neck, track construction, mating curves, hump designing, iteration method.

Сортувальні гірки малої потужності являються основними сортувальними пристроями на дільничних та вантажних станціях, що обслуговують суттєві обсяги вагонопотоку. На сьогоднішній день на мережі залізниць України налічується 97 гірок малої потужності, з яких лише п'ять обладнані немеханізованою гальмовою позицією з башмачним регулюванням швидкості скочування відчепів на спускній частині, а решта – не мають гальмових позицій на спускній частині, а обладнані немеханізованими парковими гальмовими позиціями [1]. Наявність башмачного регулювання швидкості руху відчепів суттєво погіршує стан безпеки праці на станціях. Крім того, башмачне регулювання швидкості не забезпечує надійного розмежування відчепів на розділових стрілках і допустимої швидкості їх співударяння на сортувальних коліях, що спричиняє зменшення нормативної швидкості розпуску составів та зниження переробної здатності гірки. Таким чином, процес подальшої механізації сортувальних гірок малої потужності являється важливою задачею залізничного транспорту, вирішення якої дозволить підвищити якість перевізного процесу.

В той же час, механізація сортувальної гірки вимагає суттєвої реконструкції плану колійного розвитку її горловини. При цьому, для забезпечення нормативних вимог щодо проектування плану горловин [2, 3], виникає необхідність укладання додаткових з'єднувальних кривих на спускній частині гірки. Величина кута повороту даних кривих суттєво впливає на параметри сполучних кривих на сортувальних коліях, що в деяких випадках може призводити до неможливості сполучення спускної частини гірки та сортувальних колій кривими допустимого раді-

усу. У зв'язку з цим необхідне взаємне узгодження параметрів додаткових кривих спускної частини гірки та сполучних кривих сортувальних колій.

Враховуючи значний взаємозв'язок між параметрами кривих спускної частини та сортувальних колій існує безліч можливих варіантів конструкції сортувальних гірок з однаковими технічними характеристиками (кількість сортувальних колій, пучків, гальмових позицій тощо). Недоліками типових рішень плану колійного розвитку гіркових горловин малої потужності [4, 5] є те, що величина куту повороту з'єднувальних кривих спускної частини визначається підбором. Відсутність єдиного критерію оптимізації горловин не дозволяє порівнювати варіанти конструкцій та обрати найкращий із них.

В якості критерію оптимізації гіркової горловини в [6] запропонована довжина маршруту від вершини гірки (ВГ) до граничного стовпчика (ГС) останнього розділового стрілочного перевалу, яку необхідно мінімізувати. З цією метою маршрут скочування відчепа розбивається на дві ділянки: від ВГ до початку передстрілочної ділянки першого розділового стрілочного перевалу (l) і від кінця ділянки l до розрахункової точки (L). Мінімальна відстань l повинна забезпечити допустимий інтервал між найбільш несприятливим сполученням відчепів на першому розділовому стрілочному перевалі при прийнятих значеннях швидкості розпуску та ухилу швидкісної ділянки. Мінімізація відстані L досягається за рахунок зменшення довжини кривих спускної частини гірки. При цьому з використанням методу множників Лагранжа вирішується умовна варіаційна задача визначення величин всіх невідомих кутів β розрахункової колії. Однак такий підхід не враховує

обмеження, що накладаються на значення величин кутів додаткових кривих спускної частини гірки, а також їх вплив на умови вписування сполучних кривих внутрішніх колій горловини.

В [7] якість проекту колійного розвитку гіркових горловин запропоновано оцінювати коефіцієнтом γ , що визначається за формулою:

$$\gamma = A_{\min} / A_{\max} \quad (1)$$

де A_{\min} , A_{\max} – відповідно, найменша та найбільша питома робота, що витрачається на подолання всіх сил опору дуже поганим бігуном при проходженні ним відстані від ВГ до РТ при несприятливих умовах скочування.

Вважається, що збільшення коефіцієнту γ (при $\gamma_{\max} = 1$) покращує якість проекту. Однак даний підхід до вирішення задачі не в повній

мірі характеризує конструкцію колійного розвитку горловини, оскільки розглядає маршрути скочування лише на дві сортувальні колії та не враховує роботу сил опору на інших коліях горловини.

В даній роботі оптимізація конструкції плану сортувальних гірок виконується за критерієм мінімальної будівельної довжини їх колійного розвитку (ΣL); при цьому під будівельною довжиною розуміється сума довжин прямих та кривих ділянок плану (без врахування довжини стрілочних переводів та гальмових позицій) від ВГ до початку ПГП.

Оптимізація конструкції плану колійного розвитку виконується для гіркової горловини наведеної на рис. 1, що складається з 13 колій, об'єднаних в два пучки.

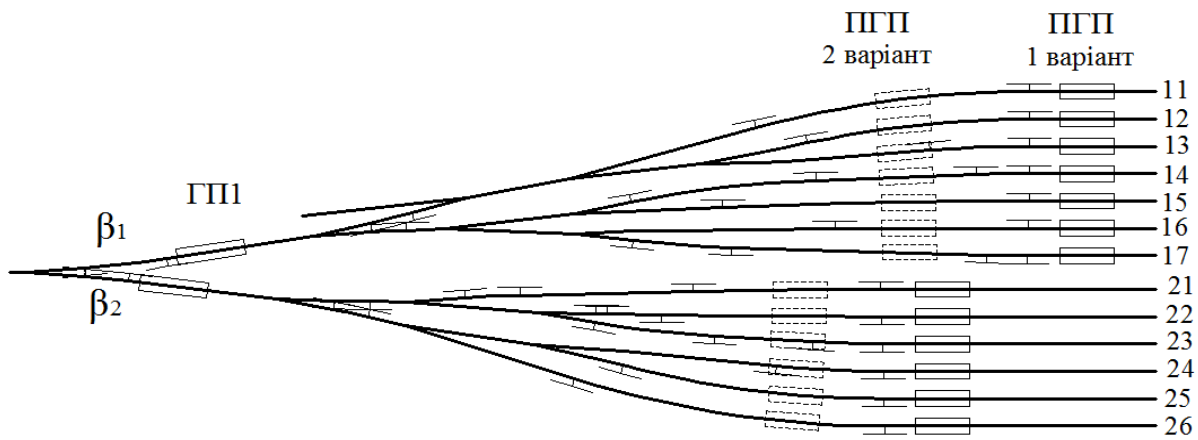


Рис. 1. Схема колійного розвитку сортувальної гірки малої потужності

На трасі кожної сортувальної колії проектується одна з'єднувальна крива: для колій першого пучка крива з кутом повороту β_1 , другого – з кутом повороту β_2 . Таким чином, необхідно знайти такі величини кутів β_1 та β_2 , що забезпечать мінімальну будівельну довжину гіркової горловини.

$$\sum L(\beta_1, \beta_2) = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{j=1}^m k_j \rightarrow \min \quad (2)$$

де l_i , k_j – відповідно довжина прямих та кривих ділянок колії.

В той же час на параметри сполучних кривих сортувальних колій значно впливає тип вагонних уповільнювачів та місце встановлення паркової гальмової позиції (ПГП). В залежності від типу уповільнювачів ПГП може розташовуватися на прямій ділянці колій за основною сполучною кривою (див. рис. 1, варіант 1) або в кривій, в межах ділянки сполучення (варіант 2). В роботах [8, 9] наведено методики визначення таких параметрів сполучних кривих, при яких ПГП розташовується на мінімальній відстані

від вершини гірки ($L_{\text{ПГП}} \rightarrow \min$), при певних значеннях кутів повороту кривих спускної частини гірки та при розташуванні ПГП відповідно на прямій і у кривій ділянці колії.

Як показали дослідження допустимі значення кутів β_1 та β_2 належать певному діапазону, в якому кути повороту додаткових кривих спускної частини дозволяють виконувати сполучення сортувальних колій в пучку кривими допустимого радіусу ($R_{\text{ск}} \geq R_{\min}$). Таким чином, обмеженням цільової функції (2) являються:

$$\begin{cases} L_{\text{ПГП}} \rightarrow \min; \\ \beta_1 \in [\beta_{1\min}, \beta_{1\max}]; \\ \beta_2 \in [\beta_{2\min}, \beta_{2\max}]; \\ R_{\text{ск}} \geq R_{\min}. \end{cases} \quad (3)$$

Як показали дослідження, між величиною кута β та будівельною довжиною гіркової горловини ΣL існує зворотній функціональний зв'язок. Так, зі збільшенням величини β значно скорочується будівельна довжина ΣL . На рис. 2 наведено графіки залежності $\Sigma L = f(\beta)$ відпові-

дно для першого і другого пучків горловини при розташуванні ПГП на прямій ділянці за основною сполучною кривою. Як видно з рисунку зі збільшенням величини кута β_1 будівельна довжина першого пучка скорочується на 85 м, в той же час збільшення кута β_2 дозволяє скоро-

тити величину ΣL_2 другого пучка на 52 м. Таким чином, максимізація значень кутів β_1 та β_2 при розташуванні ПГП за основною сполучною кривою дозволяє скоротити будівельну довжину і, відповідно, потребу у рейко-шпальній решітці для даної гіркової горловини на 14 %.

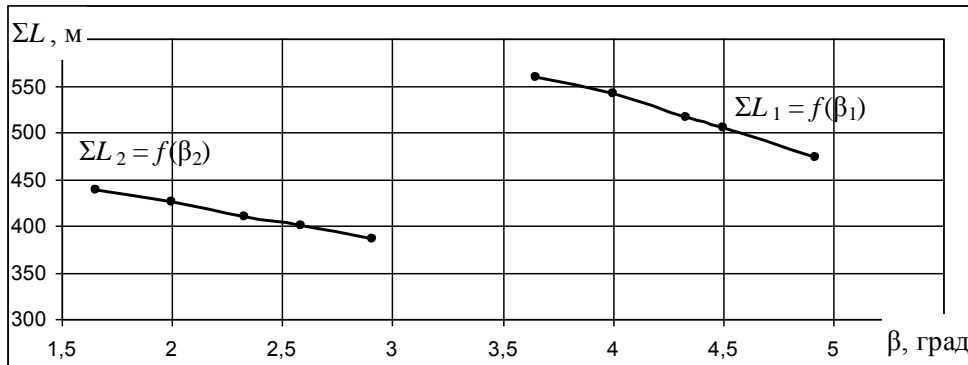


Рис. 2. Залежність будівельної довжини колійного розвитку від величини кута повороту додаткової кривої при розташуванні ПГП за основною сполучною кривою

Необхідно зазначити, що зі збільшенням кутів β_1 та β_2 відстань прямування відчепів від ВГ до ПГП ($S_{\text{кк}}$) також зменшується. На рис. 3 наведено графіки залежності $S_{\text{кк}} = f(\beta)$ для кожного з пучків горловини.

Як видно з рисунку, для першого та другого пучків величина $S_{\text{кк}}$ скорочується відповідно на 10 та 5 м, що збільшує корисну довжину сортувальних колій.

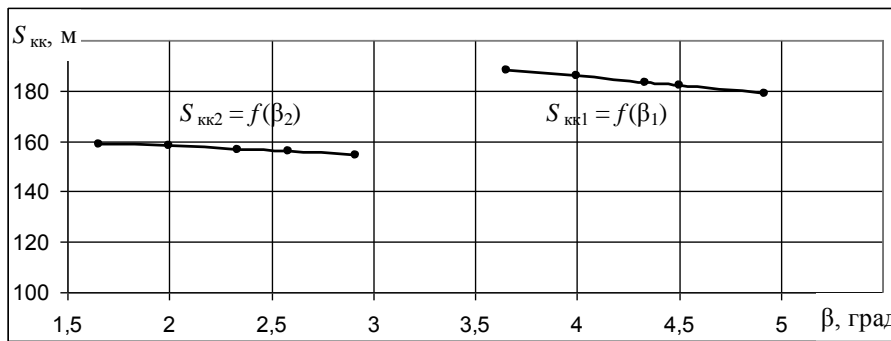


Рис. 3. Залежність відстані від вершини гірки до ПГП від величини кута повороту додаткової кривої

Аналогічні результати спостерігаються для другого варіанту розміщення ПГП (в кривій в межах ділянок сполучення). На рис. 4 предст-

авлено графіки залежностей $\Sigma L = f(\beta)$ при розташуванні ПГП в кривій.

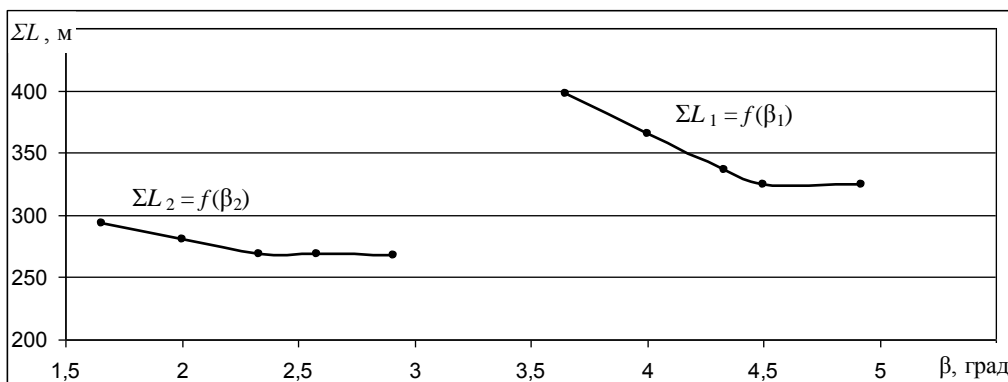


Рис. 4. Залежність будівельної довжини колійного розвитку від величини кута повороту додаткової кривої при розташуванні ПГП в межах ділянки сполучення

Як показали дослідження, зі збільшенням кутів β_1 та β_2 будівельна довжина першого та другого пучків скорочується відповідно на 72 та 25 м. Таким чином будівельна довжина всієї горловини скорочується також на 14 %. Крім того, встановлено, що відстань від вершини гірки до початку ППП при зміні величини кутів β_1 та β_2 практично не змінюється.

Отже, максимізація кутів повороту додаткових кривих дозволяє суттєво скоротити будівельну довжину колійного розвитку гіркових горловин. В той же час, визначення найбільшого значення кута додаткових кривих $\beta_{1\max}$ та $\beta_{2\max}$ представляє собою досить складну задачу.

Для кожної колії пучка може бути розраховане максимальне значення кута β додаткової кривої при якому сполучення спускної частини і сортувальної колії здійснюється кривою мініма-

льно допустимого радіусу R_{\min} при відсутності прямої вставки між торцем осердя хрестовини останнього стрілочного переходу та початком сполучної кривої. Якщо представити трасу сортувальної колії у вигляді ламаної лінії (рис. 5), замінивши кругові криві їх тангенсами, то невідомий кут β може бути визначений з виразу

$$Y_{\text{ск}} = y_1 + \sum_{i=1}^n l_i \sin \theta_i, \quad (4)$$

де y_1 – ордината головного стрілочного переходу;

$Y_{\text{ск}}$ – ордината сортувальної колії (відстань від вісі горловини до вісі даної сортувальної колії);

l_i, θ_i – відповідно довжина та кут нахилу i -го елемента траси до вісі горловини ($\theta_i = f(\beta)$);

n – кількість елементів траси на маршруті.

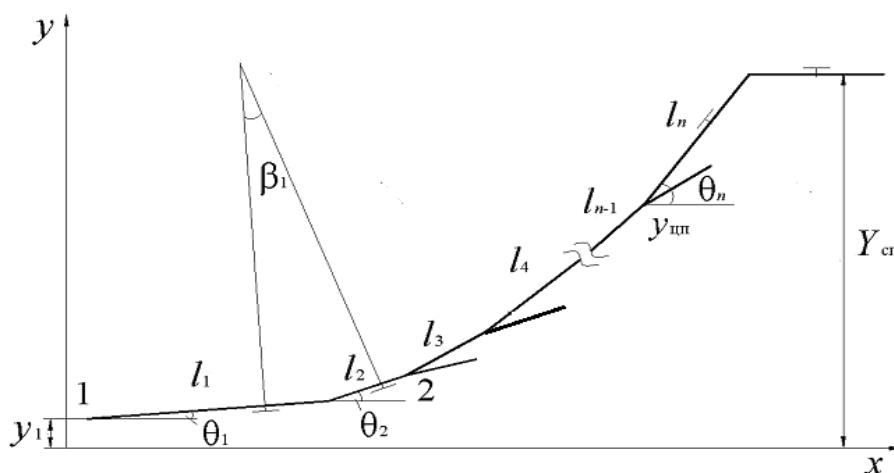


Рис. 5. Схема траси сортувальної колії

Безпосередньо вирішити рівняння (4) досить складно, у зв'язку з цим для визначення кута β застосовується ітераційний метод [10]. При цьому спочатку задається довільне значення кута β^0 та підраховується сума проєкцій елементів розрахункової колії на вісь ординат, яка є функцією даного кута $f(\beta^0)$. Отримане значення порівнюється з ординатою розрахункової колії $Y_{\text{ск}}$ та в залежності від результату порівняння, кут β^0 збільшується або зменшується на величину $\Delta\beta$. Отримана величина кута β^1 використовується для визначення наступного значення $f(\beta^1)$. Зазначена процедура повторюється до тих пір, поки не буде знайдено інтервал (β^k, β^{k+1}) , в якому величина $f(\beta) - Y_{\text{ск}}$ змінює знак, після чого всередині знайденого інтервалу методом дихотомії визначається невідомий кут β . Звідси, для кожного пучка отримано відповідну множину кутів $\{\beta_{11}, \beta_{12}, \dots, \beta_{17}\}$ та $\{\beta_{21}, \beta_{22}, \dots, \beta_{26}\}$. Максимальні значення кутів з відповідної множи-

ни, при яких конструкція плану пучків відповідає нормативним вимогам, і являються кутами $\beta_{1\max}$ та $\beta_{2\max}$.

Таким чином, застосування запропонованого підходу до оптимізації величин кутів повороту кривих спускної частини гірки дозволяє на 10-15 % скоротити потребу у рейко-шпальній решітці під час будівництва та реконструкції плану колійного розвитку сортувальних гірок малої потужності.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Журавель, В. В. Аналіз досвіду використання технічних засобів сортувальних гірок [Текст] / В. В. Журавель, І. Л. Журавель // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2013. – Вип. 6. – С. 47-50.
2. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР. ВСН 207 – 89 [Текст]. – Москва : Транспорт, 1992. –

104 с.

3. Методические рекомендации по проектированию горок малой мощности, оборудуемых средствами механизации и автоматизации сортировки вагонов [Текст]. – Ленинград : Транспорт, 1980. – 72 с.

4. Орловский, П. Н. Расчет, проектирование и технико-экономическое сравнение малых сортировочных устройств [Текст] : уч.-метод. пособие / П. Н. Орловский. – Днепропетровск : ДИИТ, 1972. – 93 с.

5. Иванков, А. Н. Альбом горочных горловин (горки малой мощности): метод. пособие [Текст] / А. Н. Иванков, Л. Н. Иванкова, И. С. Бондаренко. – Иркутск: ИрГУПС, 2006. – 33 с.

6. Павлов, В. Е. Элементы оптимального проектирования плана горловины автоматизированной сортировочной горки [Текст] / В. Е. Павлов // Железнодорожные системы автоматики и телемеханики с применением бесконтактных элементов : сб. научн. тр. ЛИИЖТа. – Ленинград : Транспорт, 1971. – Вып. 314. – С. 148 – 155.

7. Луговцов, М. Н. Проектирование сортировочных горок [Текст] / М. Н. Луговцов, В. Я. Негрей. – Гомель : УО «БелГУТ», 2005. – 170 с.

8. Бобровский, В. И. Устройство сопрягающих кривых при размещении парковых замедлителей на прямых участках сортировочных путей [Текст] /

В. И. Бобровский, А. И. Колесник // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ : ДІТ, 2013. – Вип. 5. – С.17-23.

9. Бобровский, В. И. Оптимизация параметров элементов плана сортировочных путей [Текст] / В. И. Бобровский, А. И. Колесник, А. С. Дорош // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровск : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2011. – Вип. 38. – С. 35-40.

10. Муха, Ю. А. Использование ЭВМ при расчете плана горочной горловины сортировочного парка [Текст] / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский // Применение вычислительной техники в учебном процессе: тр. вузов МПС. – Москва : МИИТ, 1977. – Вып. 591. – С. 140–147.

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

Надійшла до редколегії 17.12.2014.

Прийнята до друку 19.12.2014.