

УДК 656.2

Д. М. КОЗАЧЕНКО^{1*}, М. П. БОЖКО^{2*}, М. І. БЕРЕЗОВИЙ^{3*}, В. В. МАЛАШКІН^{4*}

^{1*}Кафедра «Управління експлуатаційною роботою», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, г. Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта kozachenko@upp.diit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

^{2*}Кафедра «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (050) 480-41-71, ел. пошта prbojko@gmail.com

^{3*}Кафедра «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 03, ел. пошта mykola_berezovyi@diit.edu.ua, ORCID 0000-0001-6774-6737

^{4*}Кафедра «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (068) 409-61-85, ел. пошта viacheslav.malashkin@gmail.com, ORCID 0000-0002-5650-1571

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ПОЛОЖЕННЯ ГРАНИЧНИХ СТОВПЧИКІВ

Метою дослідження є удосконалення методів розрахунку положення граничних стовпчиків на залізницях України. Для досягнення сформуваної мети виконано всебічний аналіз існуючих методів визначення положення граничних стовпчиків з урахуванням багатоваріантності конструктивних особливостей з'єднання залізничних колій та дотриманням вимог безпеки руху. **Методика.** В процесі дослідження використані методи аналізу і синтезу для вивчення змісту та основних положень існуючих методик щодо визначення положення граничних стовпчиків на залізницях; методи аналітичної геометрії для опису положення граничного стовпчика відносно суміжних колій з урахуванням геометричних параметрів рухомого складу. **Результати.** В результаті виконаних досліджень отримані наступні висновки. В основі діючих методів визначення положення граничних стовпчиків лежать вимоги до параметрів розрахункового вагону, який не експлуатується на залізницях України, однак перерахунок положення ГС на існуючих коліях магістрального та промислового залізничного транспорту з використанням характеристик вагону, що замінить існуючий розрахунковий вагон у даний час є недоцільним та неактуальним. Враховуючи багатоваріантність конструкцій з'єднання залізничних колій, універсального аналітичного рішення для визначення положення граничного стовпчика не існує. Нові підходи до визначення поширення габаритної відстані при розрахунку положення граничних стовпчиків в умовах автоматизованого проектування мають неточності, а також не враховують різноманітність конструктивних особливостей з'єднання залізничних колій. Результати виконаного аналізу є основою для продовження досліджень щодо удосконалення методів розрахунку положення граничних стовпчиків на залізницях України. **Наукова новизна.** Одержані результати дозволяють підвести наукове підґрунтя щодо недосконалості існуючих методів розрахунку положення граничних стовпчиків на залізницях України. **Практична значимість.** З практичної точки зору, результати аналізу створюють умови для виконання подальших досліджень щодо удосконалення наведених вище методів. Результатом досліджень повинна стати розробка універсального методу теоретично точного розрахунку положення граничного стовпчика чи інших об'єктів на залізничних коліях для будь-якої конструкції колійного розвитку. Використання цього методу в практиці проектування можливе шляхом розроблення програмного продукту для визначення положення граничного стовпчика, у т.ч. на коліях шириною 1435 мм, для випадків суміщення на одному земляному полотні колій шириною 1435 і 1520 мм та за умови використання розрахункових вагонів з будь-якими параметрами.

Ключові слова: граничний стовпчик, габаритна відстань, розрахунковий вагон, вісь вагону, план колії, поширення габаритної відстані, крива ділянка колії, радіус кривої, безпека руху.

Вступ

Граничні стовпчики (ГС) являються важливими елементами залізничної інфраструктури, які показують межі колій, де може знаходитись рухомий склад не погрожуючи безпеці руху суміжними коліями. При цьому правилами встановлення світлофорів, що знаходяться у різних міжколійях з граничними стовпчиками, які обмежують дану колію, передбачена відстань від граничного стовпчика до світлофора, мінімальне значення якої становить 3,5 м [1, 2]. Вказана

відстань обумовлюється конструкцією розрахункового вагону, в якості якого прийнятий двовісний вагон [3]. У даний час такі вагони не експлуатуються на залізницях України, а у вагонів, що обертаються, торцевий вихід менший за 3,5 м.

Однак при реальному проектуванні між стиком хрестовини стрілочного перевалу та ізольованим стиком, у створі з яким встановлюється світлофор, передбачається вкладання, як правило, певного набору стандартних рубок рейок.

Це призводить до збільшення розрахункової відстані до світлофора і виникає певною мірою дискусійне питання вибору місця встановлення граничного стовпчика – на відстані 3,5 м від ізолюваного стику чи на розрахунковій відстані від центру стрілочного переводу.

Але на нашу думку, граничний стовпчик, як інфраструктурний елемент, відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки руху і повинен встановлюватися в міжколійї на відстані 2,05 м від осі колії з урахуванням поширення габаритної відстані в кривих.

На коліях, не обладнаних електричною централізацією напільних пристроїв, граничний стовпчик являється єдиним елементом для визначення меж корисної довжини колій, а на коліях, що обладнані ЕЦ граничний стовпчик використовується тільки у випадку порушення нормальної роботи ЕЦ.

На залізницях світу використовуються інші позначення межі безпечного розташування на колії рухомого складу, які представлені в основному пофарбованими шпалами чи з розташованими на їх кінцях сигнальними лампами, розташованими в міжколійї горизонтальними або т-подібними знаками чи лампами, а також мітками на рейках [4]. Існує можливість порушення видимості цих позначень через забруднення, в нічний час, в умовах атмосферних опадів, тощо. Тому ми вважаємо, що найбільш вдалим позначенням є саме залізобетонний граничний стовпчик, встановлений на габаритній відстані від осі колії в міжколійї.

Інтеграція України в європейський простір вимагає вирішення питань інтероперабельності залізничних транспортних систем України та Європи. Напрямами узгодження параметрів залізничних систем є, зокрема, реконструкція існуючої чи будівництво нової залізничної інфраструктури на території України і введення в експлуатацію колій шириною 1435 мм. У зв'язку з цим актуальною є задача створення, на підставі аналізу існуючих, методу визначення положення граничних стовпчиків на коліях будь-якої конструкції та з будь-якими параметрами розрахункових вагонів.

Мета та завдання дослідження

Метою дослідження є удосконалення методів розрахунку положення граничних стовпчиків на залізницях України. Для досягнення сформуваної мети поставлено завдання всебічного аналізу існуючих методів визначення положення граничних стовпчиків з урахуванням багатоваріантності конструктивних особливостей з'єднання

залізничних колій та дотриманням вимог безпеки руху.

Результати дослідження

При проектуванні колійного розвитку залізничних станцій одним з питань є визначення положення граничних стовпчиків (ГС) і світлофорів. Для найбільш поширених випадків колійного розвитку (див. рис. 1 а) існують аналітичні вирази [1] і таблиці для визначення параметрів (відстань $S_{ГС}$, координат $x_{ГС}$, $y_{ГС}$) положення вказаних об'єктів. Аналітичні вирази існують також і для більш складної конструкції колійного розвитку (рис. 1 б), але вони не є універсальними для будь-яких випадків. В дійсності мають місце складні конструкції [5], наприклад на коліях сортувальних парків (рис. 1 в), для яких аналітичні вирази не існують, і розробляти їх для усіх можливих випадків не доцільно. У таких випадках застосовують інші методи, наприклад графічний, але вони є наближеними та вимагають значних часових витрат на реалізацію.

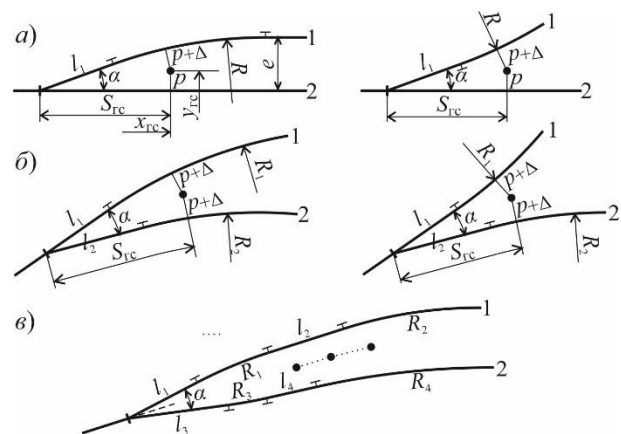


Рис. 1. Розрахункові схеми визначення положення граничних стовпчиків.

В розрахункових схемах (див. рис. 1) використовуються наступні технічні нормативи:

p – потрібна відстань між об'єктом і віссю суміжної колії у прямій ділянці;

Δ – поширення габаритної відстані в зоні кривої ділянки колії з її зовнішнього або внутрішнього боку.

Для окремого об'єкта величина p визначається як

$$p = \frac{e_{\min}}{2},$$

де $e_{\min}$ – мінімальна міжколійна відстань для розташування об'єкта поміж коліями.

Для граничного стовпчика при $e_{\min} = 4,10$ м величина $p = 2,05$ м, а поширення Δ залежить

від радіусу кривої та положення ГС відносно плану колії.

В аналітичних розрахунках [1] закладається відстань $(p + \Delta)$ від ГС по нормалі до осі колії в точці А (рис. 2 а). Але при цьому невідомо, де буде знаходитись ГС і неможливо точно визначити величину Δ . Тому в розрахунках використовують наведені в [3] табличні значення Δ , визначені за умови, коли база розрахункового вагона повністю розміщується в межах однієї кривої.

Крім того, відстань p теоретично потрібно відкладати по нормалі до осі вагона (див. рис. 2 б), положення якої також невідоме.

Таким чином, в розрахункову схему закладаються наперед найбільш сприятливі для безпеки руху умови: максимальні значення Δ та рівність кутів вагона F_B і колії F_K . Отже, результат розрахунку положення ГС буде відповідати умовам безпеки, але теоретично точним не буде.

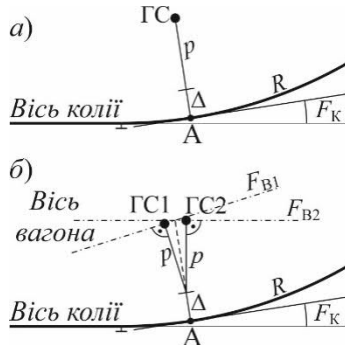


Рис. 2. Взаємне розташування ГС і колії

Таким чином, доцільним є розробка універсального методу теоретично точного розрахунку положення ГС (або інших об'єктів) на залізничних коліях для будь-якої конструкції колійного розвитку. Для рішення поставленої задачі ефективним інструментом є використання імітаційного моделювання на ЕОМ та сучасних засобів інформаційних технологій.

Вихідними даними для задачі визначення положення ГС є параметри колійного розвитку та технічні нормативи розташування об'єктів.

Колійний розвиток подається числовими моделями відповідних суміжних колій: M_1 – колія №1 (верхня на рис. 1), M_2 – колія №2 (нижня на рис. 1). Колійна модель M являє собою послідовну множину окремих елементів EL_i (прямих і кривих ділянок) $M_j = (EL_i)_{i=1}^{n_j}$, тут n_j – кількість елементів відповідної колії.

Кожен елемент подається структурою

$$EL = \{W, l, R, \varphi, x_{\pi}, y_{\pi}, F_{\pi}, x_k, y_k, F_k, x_0, y_0\}$$

з позначеннями, наведеними на рис. 3 і в табл. 1.

а) пряма ділянка ($W=0$) б) крива ділянка ($W=1$)

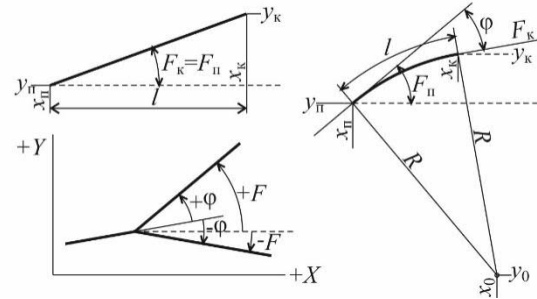


Рис. 3. Параметри елементів плану колії

Таблиця 1

Параметри елементів плану колії

Тип да-них	Позна-чення	Найменування
Вихідні	W	Тип елемента, 0 – пряма ділянка, 1 – крива ділянка
	$x_{\pi,1}, y_{\pi,1}$	Абсциса і ордината початку першого елемента колії
	$F_{\pi,1}$	Абсолютний кут нахилу на початку першого елемента колії
	l	Довжина елемента (для прямої ділянки)
	R	Радіус кривої
Розрахункові	φ	Кут повороту кривої
	x_{π}, y_{π}	Абсциса і ордината початку елемента
	F_{π}	Абсолютний кут нахилу на початку елемента
	x_k, y_k	Абсциса і ордината кінця елемента
	F_k	Абсолютний кут нахилу в кінці елемента
Розрахункові	x_0, y_0	Абсциса і ордината центра дуги кривої

В процесі функціонування моделі на основі вихідних параметрів плану колій визначаються розрахункові параметри його елементів:

– прямої ділянки

$$\begin{aligned} F_k &= F_{\pi}; \\ x_k &= x_{\pi} + l \cos F_{\pi}; \\ y_k &= y_{\pi} + l \sin F_{\pi}; \end{aligned} \quad (1)$$

– кривої ділянки

$$\begin{aligned} F_k &= F_{\pi} + \varphi; \\ l &= |R \cdot \varphi|; \\ x_0 &= x_{\pi} - R \sin F_{\pi} \operatorname{sign}(\varphi); \\ y_0 &= y_{\pi} + R \cos F_{\pi} \operatorname{sign}(\varphi); \\ x_k &= x_0 + R \sin F_k \operatorname{sign}(\varphi); \\ y_k &= y_0 - R \cos F_k \operatorname{sign}(\varphi). \end{aligned} \quad (2)$$

Для розрахунків поширення габаритної відстані в зоні кривої ділянки згідно з [3] прийнято двовісний вагон, принципова схема якого з відповідними параметрами та числовими значеннями довжини L , бази B і торцевим виходом d наведена на рис. 4.

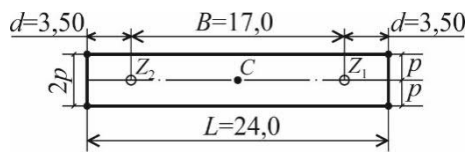


Рис. 4. Схема розрахункового вагона

Визначення величини поширення Δ при конкретному положенні розрахункового вагона в деякій координаті S плану колії проблем не

викликає. Складніше визначити в даній координаті S найбільше зміщення, а також здійснити наступне врахування його для розрахунку положення ГС.

Для наочності на рис. 5 наведені результати розрахунків величин поширення в зоні стикування прямої і кривої (радіусом 200 м) ділянок.

В окремій точці осі X (відносно початку кривої) шляхом переміщення моделі вагона повз дану точку ділянкою $x_{\Pi}..x_K$ визначені найбільші поширення у внутрішній бік кривої Δ_{BH} та зовнішній $\Delta_{ЗВ}$ бік. Як видно з рис. 5, залежність $\Delta=f(X)$ має складний характер, і використовувати числові значення в розрахунках $S_{ГС}$ дуже складно.

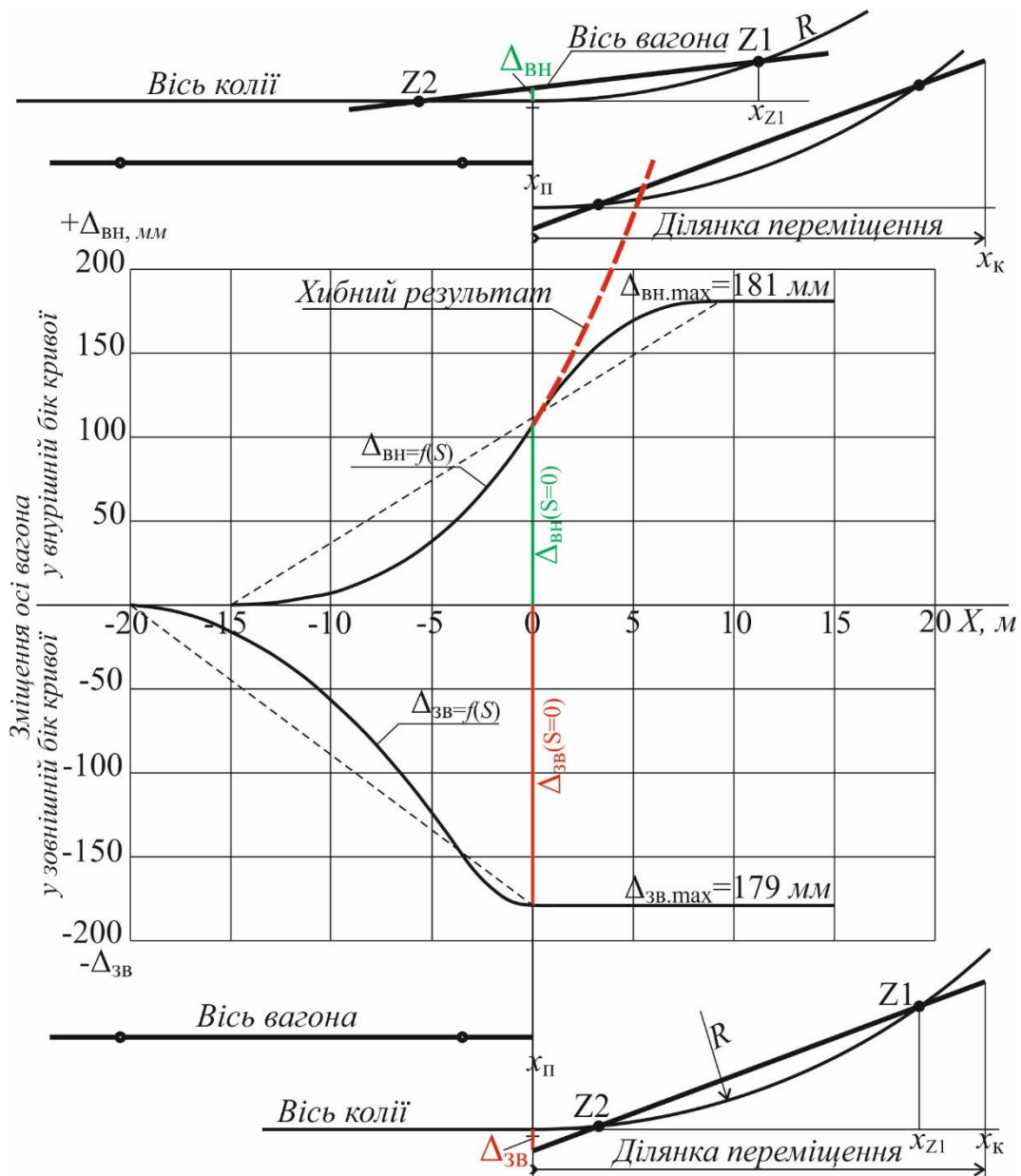


Рис. 5 Залежності величини поширення від координати колії

Інструкція [3] з метою підвищення точності розрахунків положення ГС, передбачає інтерполяцію величин Δ залежно від відстані до початку кривої, що також має свої недоліки в плані точності результатів та ускладнення розрахунків.

Найбільш обґрунтований підхід до визначення величини Δ наведено в роботі [6]. Теоретично виведені залежності максимальних $h = \Delta_{\max.вн} = f(x)$ та мінімальних $g = \Delta_{\min.зв} = f(x)$ відхилень в аналітичному вигляді, що забезпечує високу точність результатів розрахунку положення ГС.

Формалізація залежності величин $h(x)$ і $g(x)$ у аналітичному вигляді є дуже складною і може викликати певні неточності, які вплинуть на кінцевий результат. Так, у розрахунковій схемі роботи [6] величина $h(x)$ представлена як нормаль до продовження осі прямої ділянки, а не до криволінійної. У цьому зв'язку, рекомендована формула $h = \frac{2x^3}{27lR}$ буде мати вірний результат лише у межах $0 < x < l$, а у межах $l < x < 1,5l$ – хибний (див. рис. 5), що потребує удосконалення представленої залежності.

Також слід відзначити, що у роботі [6] авторами представлено аналітичний опис лише для випадку двох суміжних елементів плану прямої і кривої ділянки (рис. 6, а) з довжиною кожної, що перевищує довжину вагона. Разом з тим для можливих конструкцій плану (див. рис. 6 б, в) та інших, які можуть мати місце в горловинах сортувальних парків, потрібно розробляти математичний опис, аналогічний наведеному в [6].

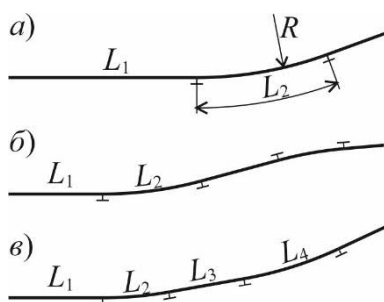


Рис. 6. Приклади можливих конструкцій колій.

Різноманітність конструкцій суміжних колій викликає складність розробки і застосування аналітичного опису у практичних розрахунках. З метою спрощення процесу формалізації та можливості застосування аналітичних виразів на практиці, доцільно використовувати метод імітаційного моделювання переміщення розрахункового вагона по суміжних коліях, що потребує

подальших досліджень та розробки відповідних алгоритмів і процедур.

Наукова новизна та практична значимість

Одержані результати дозволяють підвести наукове підґрунтя щодо недосконалості існуючих методів розрахунку положення граничних стовпчиків на залізницях України. З практичної точки зору, результати аналізу створюють умови для виконання подальших досліджень щодо удосконалення наведених вище методів.

Висновки

В результаті виконаних досліджень отримані наступні висновки.

1. В основі діючих методів визначення положення граничних стовпчиків лежать вимоги до параметрів розрахункового вагону, який не експлуатується на залізницях України, однак перерахунок положення ГС на існуючих коліях магістрального та промислового залізничного транспорту з використанням характеристик вагону, що замінить існуючий розрахунковий вагон вважаємо недоцільним та неактуальним.
2. Враховуючи багатоваріантність конструкцій з'єднання залізничних колій, універсального аналітичного рішення для визначення положення граничного стовпчика не існує.
3. Нові підходи до визначення поширення габаритної відстані при розрахунку положення граничних стовпчиків в умовах автоматизованого проектування мають неточності, а також не враховують різноманітність конструктивних особливостей з'єднання залізничних колій.
4. Результати виконаного аналізу є основою для продовження досліджень щодо удосконалення методів розрахунку положення граничних стовпчиків на залізницях України.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Проектирование железнодорожных станций и узлов [Текст]: справ. и метод. руководство / под ред. А. М. Козлова, К. Г. Гусевой. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Транспорт, 1981. – 592 с.
2. Проектування станційних колій. Роз'їзди, об'їзні пункти та проміжні станції: приклади та задачі: навч. посіб. для студентів ВНЗ / М. І. Березовий, М. П. Божко, В. В. Журавель, Є. Б. Демченко ; Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро : Герда, 2017. – 196 с. – ISBN 978-617-7097-81-4.
3. Инструкция по применению габаритов приближения строений. ГОСТ 9238-83. ЦП/4425. – М.: Транспорт, 1988. – 144 с.
4. Продукція компанії ALDON (Track clearance markers) // ALDON Safety on Track Since 1904: офіц.

сайт. URL: <https://www.aldonco.com/store/p/808-Track-Clearance-Marker-Flush.aspx> (дата звернення: 27.11.2022)

5. Совершенствование конструкции и технологии работы сортировочных комплексов железнодорожных станций: Монография коллектива авторов / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, А. И. Колесник, Е. Б. Демченко, А. С. Дорош – Дн-вск: Изд-во Мако-вещкий, 2012. – 236с. – ISBN 978-966-1507-38-7

6. Бобровский, В. И. Автоматизация определения положения предельных столбиков и сигналов / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко // *Залізничний транспорт України*. – 2004. – № 4. – С. 14–16.

Надійшла до редколегії 09.12.2022.

Прийнята до друку 18.12.2022.

D. KOZACHENKO, M. BOZHKO, M. BEREZOVYI, V. MALASHKIN

ANALYSIS OF EXISTING METHODS FOR CALCULATING THE POSITION OF BOUNDARY COLUMNS

The purpose of the research is to improve the methods of calculating the position of limit posts on the railways of Ukraine. To achieve the established goal, a comprehensive analysis of the existing methods of determining the position of boundary posts was performed, taking into account the multivariate design features of the railway track connection and compliance with traffic safety requirements. **Methodology.** In the process of research, methods of analysis and synthesis were used to study the content and basic provisions of existing methods for determining the position of limit posts on railways; methods of analytical geometry to describe the position of the limit column relative to adjacent tracks, taking into account the geometric parameters of the rolling stock. **The results.** As a result of the conducted research, the following conclusions were obtained. The basis of the current methods of determining the position of the limit posts are the requirements for the parameters of the calculation car, which is not operated on the railways of Ukraine, however, the recalculation of the position of the boundary columns on the existing tracks of the main and industrial railway transport using the characteristics of the car that will replace the existing calculation car is currently impractical and irrelevant. Taking into account the multivariate constructions of the connection of railway tracks, there is no universal analytical solution for determining the position of the limit column. New approaches to determining the distribution of the overall distance when calculating the position of the limit posts in the conditions of automated design have inaccuracies, and also do not take into account the variety of structural features of the connection of railway tracks. The results of the performed analysis are the basis for continuing research on improving the methods of calculating the position of limit posts on the railways of Ukraine. **Scientific novelty.** The obtained results make it possible to summarize the scientific basis for the imperfection of the existing methods of calculating the position of the limit posts on the railways of Ukraine. **Practical significance.** From a practical point of view, the results of the analysis create conditions for further research on the improvement of the above methods. The result of the research should be the development of a universal method of theoretically accurate calculation of the position of the limit post or other objects on railway tracks for any design of track development. The use of this method in design practice is possible by developing a software product for determining the position of the boundary column, including on tracks with a width of 1435 mm, for cases where tracks with a width of 1435 and 1520 mm are combined on the same ground surface and under the condition of using calculated wagons with any parameters.

Keywords: limit column, overall distance, calculated wagon, axle of the wagon, track plan, spread of overall distance, curved section of the track, curve radius, traffic safety.