

УДК 656.3:[625.144.2.001.42:625.112]

М. І. БЕРЕЗОВИЙ<sup>1\*</sup>, М. А. АРБУЗОВ<sup>2\*</sup>, Д. М. КОЗАЧЕНКО<sup>3\*</sup>, В. В. МАЛАШКІН<sup>4\*</sup>,  
О. С. БРИТВИН<sup>5\*</sup>

<sup>1\*</sup> Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 03, ел. пошта: m.i.berezovyi@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-6774-6737

<sup>2\*</sup> Кафедра «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373-15-42, ел. пошта 10max@ukr.net

<sup>3\*</sup> Каф. «Транспортний сервіс та логістика», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, г. Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта kozachenko@upr.diit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

<sup>4\*</sup> Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (068) 409 61 85, ел. пошта v.v.malashkin@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-5650-1571

<sup>5\*</sup> АТ «КРИВБАСЗАЛІЗРУДКОМ», вул. Симбірцева, 1-А, м. Кривий Ріг, Дніпропетровська обл., Україна, 50029, тел. +38 (050) 420 07 85, ел. пошта: alexanderbritvin27@gmail.com

## ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІЙ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ В МЕЖАХ ДІЛЯНОК ПЛАВНОГО РОЗШИРЕННЯ КОЛІЇ

**Мета.** Залізничні під'їзні колії промислових підприємств являються відправниками та отримувачами вантажів, що визначають їх основну номенклатуру для перевезень магістральним залізничним транспортом. Протяжність залізничних під'їзних колій промислових підприємств коливається в широкому діапазоні – від кількох сотень метрів до сотень кілометрів, зокрема довжина під'їзної колії ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» перевищує 700 км. Сукупність таких факторів як наявність на під'їзних коліях технологічних перевезень, розвиток транспортної системи промислових підприємств у часі, генеральний план споруд основного виробництва призводить до необхідності застосування норм проектування залізничного транспорту для важких та особливо важких умов. Це виражається в основному у зменшенні радіусів кривих ділянок колій до мінімально можливих значень. При використанні залізобетонних шпал типу Ш6 є можливість влаштувати ширину колії 1539 мм в кривих ділянках. Але у даний час відсутня затверджена конструкція ділянок плавного розширення колії на залізобетонних шпалах перед кривими радіусами менше 300 м. Існує також обґрунтована необхідність збільшення ширини колії як мінімум до 1540 мм в кривих таких радіусів. Разом з обмеженим терміном експлуатації дерев'яних шпал при їх укладанні на ділянках плавного розширення колії у порівнянні із залізобетонними це викликає необхідність розробки конструкції колії на залізобетонних шпалах в межах ділянки плавного розширення колії. **Методи.** Методи наукового аналізу і синтезу конструкції колійного розвитку, методи аналітичної геометрії. **Результати.** На підставі аналізу конструкції проміжних скріплень типу КБ50 запропонована конструкція ділянки плавного розширення колії з використанням залізобетонних шпал типів ШП-1 та Ш6 та рейок Р50. Відвід розширення колії від 1520 до 1545 мм досягається шляхом розробки порядку укладання шпал різних типів та розвертання підкладок КБ50. При цьому довжина ділянки плавного розширення колії від  $s_n=1520$  мм до  $s_n=1545$  мм становить 2800 мм, а фактичний відвід відхилень 8,9%. **Практична значимість.** Застосування розглянутої конструкції в межах ділянок плавного розширення колій за умови позитивних результатів дослідної експлуатації та випробувань встановленої процедури дозволить зменшити експлуатаційні витрати, пов'язані з поточним утриманням колій промислових підприємств, параметри яких відповідають важким та особливо важким умовам проектування.

*Ключові слова:* залізнична колія, залізобетонна шпала, ділянка плавного розширення колії, крива малого радіусу, ширина колії, проміжне скріплення.

### Вступ

Промисловий залізничний транспорт України відіграє визначальну роль в економіці країни і обслуговує промислові підприємства, які формують номенклатуру вантажів, що є основною для перевезень магістральним залізничним транспортом. Загальна розгорнута довжина промислових залізниць, що представлені

залізничними під'їзними коліями, в Україні станом на кінець минулого сторіччя становила 28 тис. км і перевищувала довжину залізниць магістрального транспорту. З того часу скоротилася не тільки кількість промислових підприємств з під'їзними залізничними коліями, а і розгорнута довжина самих під'їзних колій як окремих підприємств, так і в цілому. Цьому сприяла світова фінансова криза 2008 року, повний чи частковий

перехід деякими підприємствами на перевезення вантажів автомобільним транспортом, ліквідація виробництва, тощо. Деякі промислові підприємства шляхом оптимізації виробництва скоротили протяжність власних під'їзних колій.

З початку збройної агресії росії проти нашої країни, що триває вже понад десятиліття певна частина під'їзних колій опинилася на тимчасово окупованій території, а ще якась частина припинила свою діяльність через близькість до зони бойових дій.

Встановити в даний час реальну сумарну протяжність під'їзних колій в Україні не являється можливим.

Під'їзними коліями, що мають найбільшу протяжність – від 60...80 км до понад 200...700 км, являються колії гірничо-збагачувальних комбінатів, металургійних комбінатів та вугільних районів. У той же час близько 75-80 % від загальної кількості під'їзних колій мають залізничну інфраструктуру малої протяжності – від кількох сотень метрів до кількох кілометрів.

При цьому на частині колійного розвитку під'їзних колій великої протяжності, згаданих вище, існують так звані технологічні перевезення, де рухається тільки заводський рухомий склад – локомотиви та вагони, що не виходять на зовнішню мережу залізниць і відсутній рухомий склад магістрального залізничного транспорту. Сюди відносяться колії технологічних циклів чавуноплавильного та сталеплавильного виробництва, перевезення руди (скелі, глини) від місць добування чи перевантаження до дробильних фабрик (відвалів), тощо. По решті колій можуть пересуватися як вагони, так і локомотиви залізниці. У даному випадку під поняттям «залізниця» ми розуміємо інфраструктуру перевізника – АТ «Укрзалізниця», а також локомотиви та вагони операторів різних форм власності, конструкція та стан яких відповідає вимогам, що висуваються до рухомого складу, що має дозвіл на пересування магістральними залізницями.

При цьому до технічного стану та параметрів залізничних колій промислових підприємств, якими обертається рухомий склад залізниці, висуваються такі ж вимоги, як і до колій магістрального транспорту у залежності від їх призначення.

До технічних характеристик колій промислових підприємств, на яких здійснюються технологічні перевезення, висуваються дещо інші вимоги.

Зважаючи на історичний розвиток у часі та трансформацію генерального плану як об'єктів основного виробництва, так і інфраструктури

залізничного транспорту промислових підприємств, виникають ситуації, коли необхідно застосовувати норми проектування для важких та особливо важких умов, коли виключена можливість застосування норм для основних чи важких умов.

### Постановка завдання дослідження

На залізничних коліях промислових підприємств в залежності від режиму та умов їх експлуатації укладаються дерев'яні та залізобетонні шпали. При необхідності заміни дерев'яних шпал виникає проблема виділення необхідних коштів на придбання нових дерев'яних чи нових або бувших у використанні залізобетонних шпал, аналізу терміну їх служби, а також технічні питання. Ці питання пов'язані з неможливістю вкладання залізобетонних шпал в кривих малого радіусу. Слід також зазначити, що фактичний строк служби дерев'яних шпал може бути менше нормативного в залежності від умов експлуатації колій, де вони укладені, зокрема значного зволоження в умовах закритого баласту чи агресивного середовища. Спостереження технічного стану колій на дерев'яних шпалах на під'їзних коліях виявили фактичні відступи від затвердженої конструкції рейкової колії, наприклад відсутність гумових прокладок, що дозволяє зекономити кошти. З іншого боку такі рішення призводять до суттєвого скорочення терміну служби дерев'яних шпал.

Вартість нових просочених дерев'яних шпал в Україні коливається в діапазоні від 900 до 1200 грн за одну шпалу в залежності від сорту деревини, залізобетонні шпали пропонуються по ціні від 1250 грн за шпалу, що досить близько за вартістю. Але при цьому з одного боку проміжні скріплення при укладанні залізобетонних шпал значно дорожчі за костильні, з іншого – термін служби дерев'яних шпал значно менший, що свідчить про вищу ефективність використання саме залізобетонних шпал.

Ще однією відмінною особливістю під'їзних колій являється наявність кривих ділянок колій малого радіусу – аж до радіусів вписування рухомого складу, що обертається на цих коліях.

У цьому зв'язку в даній статті розглянуто конструкцію ділянки плавного розширення колії на залізобетонних шпалах при суміжному укладанні стрілочних переводів чи прямих ділянок колій і кривих ділянок радіусів менших 300 м, а також конструктивні рішення з використанням типових елементів верхньої будови колії, реалізація яких дозволить використання на ділянках плавного розширення колій і кривих ділянках

залізобетонних шпал стандартних конструкцій з дотриманням необхідної ширини колій.

Слід відзначити, що плавне розширення колії при використанні дерев'яних шпал є простою задачею, що не вимагає розробки нестандартних конструктивних рішень.

Практичні спостереження за роботою рейкової колії показують, що при радіусах кривих менше 300 м на залізобетонних шпалах також необхідно влаштовувати ширину колії 1540 мм як і для колії на дерев'яних шпалах. В протилежному разі відбувається інтенсивне зношення бічної поверхні рейок.

Безумовно, розглянуті в статті заходи дозволять значно збільшити міжремонтний термін експлуатації таких колій, скоротити експлуатаційні витрати та підвищити надійність і безпеку руху, а їх реалізація є актуальною задачею.

### **Мета дослідження**

Метою дослідження є розроблення конструкції ділянок плавного розширення колії на залізобетонних шпалах та заходи, реалізація яких дозволить збільшити ширину колії в кривих радіусів менше 300 м на залізобетонних шпалах з використанням стандартних елементів проміжних скріплень до 1540 мм.

Передумовою для виконання досліджень стала задача проектування з'єднувальної колії для в'їзду заводських маневрових локомотивів з колісною формулою  $3_0-3_0$  в депо технічного обслуговування та ремонту, розташованого на території одного з промислових підприємств гірничо-добувної галузі. В процесі проектування виникла необхідність застосування кривих ділянок колії радіусами 80...100 м.

### **Аналіз нормативної документації щодо конструкції залізничної колії в Україні**

На наш погляд, основним нормативним документом, дія якого окрім магістральних залізниць поширюється на проектування та будівництво під'їзних колій промислових підприємств, а також на капітальний ремонт існуючих ліній, є Державні будівельні норми ДБН В.2.3-19:2018 [1].

Аналогом даного документу, який відображає особливості проектування та будівництва промислових залізниць, являються будівельні норми і правила СНиП 2.05.07-91 [2], що введені у дію ще у 1992 році. Деякі положення цього документу в даний час скасовані, але сам документ являється чинним. Ці норми і правила розповсюджуються на проектування нових і

реконструкцію комплексних об'єктів, окремих будівель, споруд і пристроїв у т.ч. по промислово-му залізничному транспорту, враховуючи особливості його функціонування при обслуговуванні вантажних пунктів та технологічних ліній виробництва.

Правила технічної експлуатації залізниць України [3] встановлюють, зокрема, основні розміри, норми утримання найважливіших споруд, пристроїв та рухомого складу і вимоги, які ставляться до них. Усі нормативні документи, що регулюють питання технічної експлуатації, проектування та будівництва залізниць, споруд, пристроїв і рухомого складу, мають відповідати вимогам цих Правил.

Аналогом даного документу, який встановлює основні положення та порядок роботи під'їзних залізничних колій, являються Правила технічної експлуатації залізничного транспорту промислових підприємств [4]. Цей документ поширюється на всі підприємства й організації, контрагентів, що мають у своєму складі власний залізничний транспорт або фронти навантаження-вивантаження.

Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України ЦП-0269 [5] встановлює основні технічні вимоги, норми і правила улаштування та утримання залізничної колії, колійних споруд і пристроїв. Дана інструкція встановлює конструкцію елементів колії, стрілочних переводів, переїздів та інших споруд і пристроїв залізничної колії України.

### **Основний матеріал дослідження**

Далі розглянуто вимоги нормативних документів [1-5] стосовно окремих технічних характеристик колійного розвитку промислових підприємств.

#### **Радіуси кривих.**

Державними будівельними нормами [1, п. 6.53] встановлено мінімальні значення радіусів кривих для перегонів та станційних колій. Мінімальні радіуси на станційних коліях становлять 200 м, а в гіркових горловинах сортувальних парків за останніми розділовими стрілками – 180 м з можливістю зменшення при відповідному обґрунтуванні до 150 м при довжині кривої до 20 м з відповідним посиленням цих кривих.

Будівельними нормами [2] встановлені мінімальні радіуси кривих на під'їзних коліях в залежності від їх призначення. Основними факторами, що відіграють вирішальну роль при визначенні мінімального радіусу кривих ділянок колії, є тип рухомого складу та обсяги перевезень цими коліями. Зокрема на коліях локомотивних

та вагонних депо мінімальні значення радіусів дозволяється встановлювати за умовами вписування рухомого складу. Наприклад, радіус вписування тепловоза серії ЧМЕЗ становить 80 м.

#### Ширина колії.

Інструкцією [5] встановлено, що ширина колії на дерев'яних шпалах при радіусах кривих 300 м і менше становить 1540 мм, а на залізобетонних шпалах при радіусах 300 м і більше –  $s_n=1520$  мм. В кругових та перехідних кривих при радіусах від 200 м до 450 м дозволяється застосовувати конструкції колії, які забезпечують регулювання ширини колії до 1535 мм.

До них відносяться скріплення СКД та КПП з можливістю регулювання ширини колії до 1534 мм.

#### Ділянки для плавного розширення колії.

Суміжне укладання стрілочних переводів (ширина колії в стику рамної рейки та стиках хрестовини –  $s_n=1520$  мм) та прямих ділянок колії з шириною колії  $s_n=1520$  мм і кривих ділянок з шириною колії до  $s_n=1540$  мм вимагає влаштування ділянок колії зі змінною шириною колії. Зміна ширини колії називається відводом відхилень за шириною колії. Укладання таких ділянок просто реалізується на дерев'яних шпалах і неможливе на залізобетонних шпалах.

У скасованих в даний час Правилах технічної експлуатації міжгалузевого промислового залізничного транспорту України було сказано, що відводи відхилень за шириною колії на прямих і кривих ділянках колії не повинні перевищувати 3 мм на 1 м колії на постійних і не більше 5 мм на 1 м на пересувних коліях у розрахунку на погонний метр колії. Будівельними нормами [2] норми відводу відхилень за шириною колії не встановлені, а Інструкцією [5] поряд із встановленим значенням відводу відхилень 1 мм на 1 погонний метр колії наведені значення максимальних швидкостей руху у залежності від фактичних відхилень за шириною колії. Так при швидкостях руху до 25 км/год фактичні відводи відхилень не повинні перевищувати 5,0‰ або 7,6 мм ( $1520 \times 0,005 = 7,6$  мм) на 1 погонний метр колії.

#### Залізобетонні шпали.

Залізобетонні шпали в Україні випускають кілька спеціалізованих заводів. У подальших дослідженнях розглянуто застосування шпал українського виробництва типів Ш1-1 та Ш6.

Шпали типу Ш6 були розроблені в 90-х роках минулого сторіччя для укладання в кривих ділянках колії. При цьому їх конструкція

забезпечувала ширину колії  $s_{ш6}=1539$  мм. Це досягнуто тим, що зовнішні грані заглиблень під рейкових площадок у шпали Ш1-1 знаходяться на відстані 2012 мм, а у шпали Ш6 – на відстані 2031 мм.

Однак шпалу Ш6 так і не вдалося впровадити на мережі магістральних залізниць та під'їзних коліях промислових підприємств через тогочасну відсутність способу укладання шпал на ділянках відводу відхилень за шириною колії, так як скріплення СКД та КПП з'явилися пізніше, а випуск комплектів шпал різних розмірів для укладання на таких ділянках, їх зберігання, технологія укладання тощо було досить проблематичним.

#### Пропонована конструкція ділянки плавного розширення колії при переході в криву малого радіусу на залізобетонних шпалах.

Конструкція ділянки плавного розширення колії та суміжної з нею кривої передбачає укладання рейок типу Р50 на підкладках КБ50.

Використання рейок саме типу Р50 в кривих обґрунтовується меншою жорсткістю і простішим процесом їх гнуття до отримання потрібного радіусу кривої та необхідністю розвертання підкладок типу КБ50 на  $180^\circ$ .

Геометричні розміри підкладки типу КБ50 наведено на рис. 1.

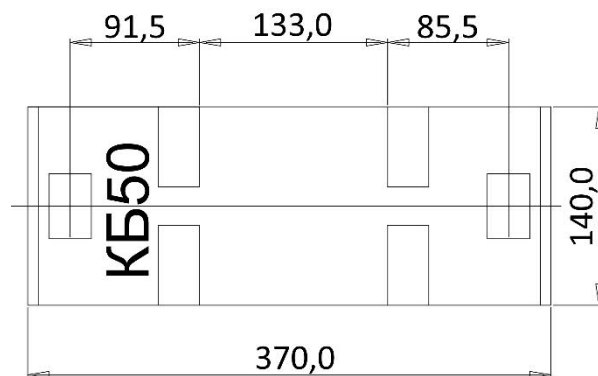


Рис. 1. Підкладка типу КБ50

Підкладка типу КБ50 несиметрична, відстані від центрів отворів для закладних болтів до підшви рейки становлять 91,5 та 85,5 мм. Шляхом розвертання однієї підкладки на  $180^\circ$  досягається можливість збільшення ширини колії на 6 мм.

Конструкція ділянки для плавного розширення колії від стику хрестовини стрілочного переводу до кривої ділянки колії наведена на рис. 2.

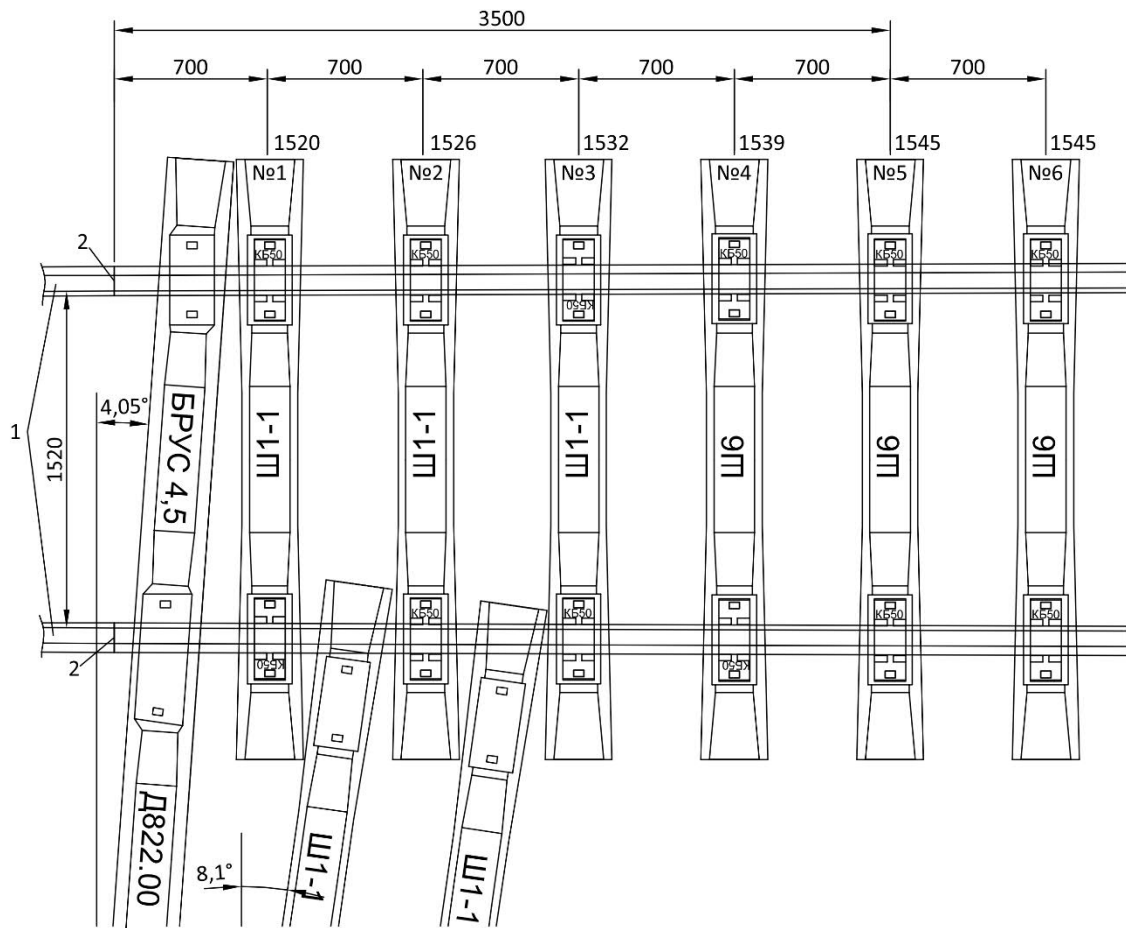


Рис. 2. Конструкція ділянки для плавного розширення колії від стику хрестовини стрілочного перевodu до кривої ділянки колії:

1 – рейки стрілочного перевodu; 2 – стики хрестовини стрілочного перевodu та суміжної прямої ділянки

На даному рисунку показане розташування ділянки плавного розширення колії з боку хрестовини стрілочного перевodu марки 1/7 типу Р50. За хрестовиною вкладається спільний для обох колій, що примикають до стрілочного перевodu, залізобетонний брус довжиною 4,5 м типу Д822.00. На відстані 700 мм за стиком хрестовини стрілочного перевodu вкладається залізобетонна шпала Ш1-1 (позначена №1 на рис. 2) на підкладках КБ50 нормально розташованих для реалізації ширини колії  $s_n=1520$  мм.

На шпалах Ш1-1 №2 та №3 розвертається відповідно одна та обидві підкладки, що дозволяє по осі шпали №2 збільшити ширину колії до 1526 мм, а по осі шпали №3 – до 1532 мм.

Далі вкладаються шпали Ш6. На шпалі №4 підкладки встановлюються в нормальне положення, що дозволяє реалізувати ширину колії 1539 мм, на кожній з наступних шпал здійснюється розвертання однієї з підкладок, а ширина колії становить  $s_{кон}=1545$  мм.

За шпалою №5 можливе улаштування кривої ділянки колії.

Наведена конструкція ділянки плавного

розширення колії дозволяє визначити її основні технічні параметри.

Відстань від стику хрестовини стрілочного перевodu до осі шпали №5 становить 3500 мм, а довжина фактичної ділянки плавного розширення колії від  $s_n=1520$  мм до  $s_{кон}=1545$  мм (відстань між осями шпал №1 та №5) становить 2800 мм.

Таким чином, фактичний відвід ширини колії на 1 погонний метр на ділянці такої конструкції становить  $25/2,8=8,9$  мм, або 8,9%, що згідно п. 2.1.1 Інструкції [5] допустимо для конструктивних відводів на стрілочних переводах.

Безпека руху має бути забезпечена малими швидкостями руху такими ділянками.

Ширина колії в кривих радіусами менше 300 м згідно [5] встановлюється рівною  $s_n=1540$  мм з відхиленням за розширенням +6 мм та за звуженням –4 мм, тобто у діапазоні 1536...1546 мм. Ширина колії в кривій ділянці колії  $s_{кон}=1545$  мм входить у вказаний діапазон.

Для укладання колій розглянутої конструкції при радіусах кривих менше 200 м слід використовувати рейки типу Р50 на проміжних

скріпленнях стандартної конструкції з підкладками КБ50.

### Висновки

В статті розглянуто конструкцію ділянок плавного розширення колії та кривих радіусів менших 300 м на залізобетонних шпалах.

Основними технічними рішеннями, що дозволяють змінювати ширину колії та реалізувати її на рівні не менше 1540 мм в кривих є використання рейок типу Р50, шпал Ш1-1, Ш6 та розвертання підкладок КБ50.

Застосування наведеної конструкції дозволить відмовитись від дерев'яних шпал на ділянках плавного розширення колій і зменшити експлуатаційні витрати на утримання колій.

Практичне застосування колій наведеної конструкції в кривих та ділянках плавного розширення колії можливе лише за умови отримання позитивних результатів випробувань та дослідної експлуатації.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН В.2.3-19-2018 Споруди транспорту. Залізниця колії 1520 мм. Чинні від 2019 01-04. Вид. офіц. Київ: Мін-во регіонального розвитку та будівництва України, 2018. 126 с.

2. СНиП 2.05.07-91 Строительные нормы и правила. Промышленный транспорт. На заміну СНиП 2.05.07-85; чинні від 1992 07-01. Вид. офіц. М.: Мінбуд, 1992. 117 с.

3. Правила технічної експлуатації залізниць України. Міністерство транспорту України. Київ, 2003. 133 с.

4. Правила технічної експлуатації залізничного транспорту промислових підприємств. Міністерство транспорту України. Київ : Індустрія, 2020. 108 с.

5. ЦП-0269. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України. На заміну ЦП-0138; чинна від 2012-05-01. Вид. офіц. Київ: Трансп. України, 2012. 456 с.

Надійшла до редколегії 11.07.2024.

Прийнята до друку 28.08.2024.

M. BEREZOVYI, M. ARBUZOV, D. KOZACHENKO, V. MALASHKIN, O. BRYTVYN

## STUDY OF THE DESIGN OF RAILWAY TRACKS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES WITHIN THE AREAS OF SMOOTH TRACK EXPANSION

**The goal.** Railway sidings of industrial enterprises are the shippers and receivers of goods, which determine their main nomenclature for transportation by mainline rail transport. The length of railway sidings of industrial enterprises varies widely, from a few hundred meters to hundreds of kilometers, including the length of the siding of PJSC ArcelorMittal Kryvyi Rih exceeding 700 km. The combination of factors such as the presence of technological transportation on the sidings, the development of the industrial enterprises' transportation system over time, and the master plan of the main production facilities leads to the need to apply railway transport design standards for severe and especially severe conditions. This is mainly expressed in reducing the radii of curved track sections to the minimum possible values. When using reinforced concrete sleepers of the Sh6 type, it is possible to arrange a track gauge of 1539 mm in curved sections. But currently, there is no approved design for smooth track widening sections on reinforced concrete sleepers in front of curves with radii of less than 300 meters. There is also a reasonable need to increase the track gauge to at least 1540 mm in curves of such radii. Together with the limited service life of wooden sleepers when they are laid in areas of smooth track widening compared to reinforced concrete sleepers, this necessitates the development of a track structure on reinforced concrete sleepers within the area of smooth track widening. **Methods.** Methods of scientific analysis and synthesis of the track development structure, methods of analytical geometry. **Results.** Based on the analysis of the design of intermediate fasteners of the KB50 type, the design of a section of smooth track widening using reinforced concrete sleepers of types Sh1-1 and Sh6 and rails R50 is proposed. The track widening from 1520 to 1545 mm is achieved by developing the order of laying sleepers of different types and turning the KB50 substrates. In this case, the length of the section of smooth track widening from 1520 mm to 1545 mm is 2800 mm, and the actual deviation is 8.9%. **Practical significance.** The use of the considered structure within the areas of smooth track widening, provided that the results of trial operation and testing of the established procedure are positive, will reduce the operating costs associated with the current maintenance of industrial enterprises' tracks, the parameter of which correspond to severe and especially severe design conditions.

**Keywords:** railroad track, reinforced concrete sleeper, section of smooth track widening, small radius curve, track gauge, intermediate fastening.