

РЕЗУЛЬТАТИ НАТУРНОГО ВИПРОБУВАННЯ НА МІЦНІСТЬ СТІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ ТИПУ Р65 МАРКИ 1/11 ПРОЕКТУ Дн 300

Наведено результати натурного випробування на міцність стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11 проекту Дн 300.

Изложены результаты натурного испытания на прочность стрелочного перевода типа Р65 марки 1/11 проекта Дн 300.

The results of full-scale strength test of the switch type R65 mark 1/11 of the design Dn 300 are described.

Стрілочний перевід типу Р65 марки 1/11 проекту Дн 300 запроєктовано та виготовлено ВАТ «Дніпропетровський стрілочний завод» для укладання на головних коліях зі швидкостями руху поїздів по прямому напрямку до 160 км/год.

У конструкції нового переводу використано багато рішень, що були апробовані під час експлуатації серійного переводу-аналога цих же типу й марки проекту 65111Ж: повністю збігаються радіуси гостряка та перевідної кривої, початковий кут гостряка та стрілочний кут; теоретична довжина переводу, довжини гостряків та рамних рейок; відстані від початку рамних рейок до центру переводу та від центру переводу до математичного центра хрестовини; ширина колії по прямому та боковому напрямках. Однотипні також конструктивні рішення окремих частин дослідного переводу та аналога: ідентична стрілка, до бруса № 43 однакова епюра їх розкладення, в обох переводах пружне проміжне кріплення (клеми типів КП-2 і КП-3).

До особливостей, якими дослідний перевід відрізняється від переводу проекту 65111Ж, відносяться такі:

– замість жорсткої хрестовини запропонована нова конструкція з рухомим поворотним сердечником;

– вилучено упорки в межах рамних рейок та перевідної кривої (залишилася лише одна біля вістря гостряка);

– прикріплення стрілочних підкладок до брусів за допомогою закладних болтів замінено на шурупно-дюбельне;

– стрілочна й хрестовинні гарнітури доповнено зовнішніми замкачами, а самі гарнітури розміщені в металевих порожнистих брусах;

– запропонована нова конструкція залізобетонних брусів з постійним поперечним перерізом по всій довжині.

Зважаючи на суттєвість наведених вище конструктивних відмінностей нового переводу від серійного, потреба в проведенні натурного випробування дослідного переводу на міцність очевидна.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ

Дослідний перевід був укладений у кінці листопада 2004 року на ст. Вільнянськ Придніпровської залізниці (перевід № 1). Випробування проведені у квітні–травні 2005 року, на їх початок по переводу було пропущено близько 30 млн т вантажу брутто.

Під час випробування стан дослідного переводу, прилеглих стрілочних переводів і колій, контактної мережі в цілому відповідав вимогам нормативної документації на дослідний стрілочний перевід та чинних «Тимчасової інструкції з організації швидкісного руху пасажирських поїздів. Вимоги до інфраструктури та рухомого складу» [1] й «Інструкції по устрою та утриманню колії залізниць України» [2] (спостерігалось відхилення положення рейкових ниток дослідного стрілочного переводу в межах з'єднувальної частини за рівнем до 10 мм по прямому напрямку та до 14 мм – по боковому). Знос металевих частин переводу не перевищував 1,0 мм.

Слід зазначити, що під час обстеження дослідного переводу було виявлено значну кількість брусів з волосовими тріщинами в бетоні. Довжина тріщин досягала 5 см, найчастіше вони спостерігалися на боковій поверхні бруса в зоні дюбеля. Наявність тріщин на момент проведення випробування, на нашу думку, на несучій здатності брусів не позначилися, хоча не виключено, що їх наявність може негативно відбитися на терміні служби брусів надалі.

Також необхідно зауважити, що за 16 днів випробування через зовнішній замикач двічі не переводився сердечник хрестовини та один раз – гостряк.

Визначення показників напружено-деформованого стану переводу виконувалося під дією спеціального дослідного поїзда. Дослідний поїзд складався з двох електровозів (при швидкостях до 80 км/год включно – серій ВЛ8 і ВЛ11, за більших – серії ЧС7), пасажирського вагона на візках моделі КВЗ-ЦНИИ і чотирьох чотиривісних піввагонів на візках моделі 18-100, завантажених щебенем (один з навантаженням на вісь 10,6 т, другий – 18,1 т і два з навантаженням на вісь 23,9 т і 23,4 т). При швидкостях більше 80 км/год вантажні вагони з дослідного поїзда вилучалися, замість електровозів серії ВЛ використовувались електровози серії ЧС7. Швидкість 160 км/год реалізовано тільки одним електровозом серії ЧС7. Схеми дослідних поїздів наведено на рис. 1. Цифрами тут позначено номери осей, які використовувалися під час обробки даних.

Поїздки виконувалися човником (туди і назад) зі швидкостями 5, 40, 80, 100, 120, 140 і 160 км/год по прямому напрямку та 5, 15, 25, 40 і 50 – по боковому. З кожною швидкістю було зроблено від 5 до 23 заїздів (половина заїздів у протишерстному напрямку, половина – у пошерстному).

Крім стандартних показників напружено-деформованого стану стрілочного переводу, що завжди визначаються під час випробування (напруження в металевих частинах; горизонтальні та вертикальні сили, що діють на перевід; деформації та переміщення рейкових елементів та брусів), для оцінки впливу нової конструкції проміжного кріплення та металевих брусів на роботу дослідного переводу вимірювалися також їх горизонтальні та вертикальні переміщення й деформації.

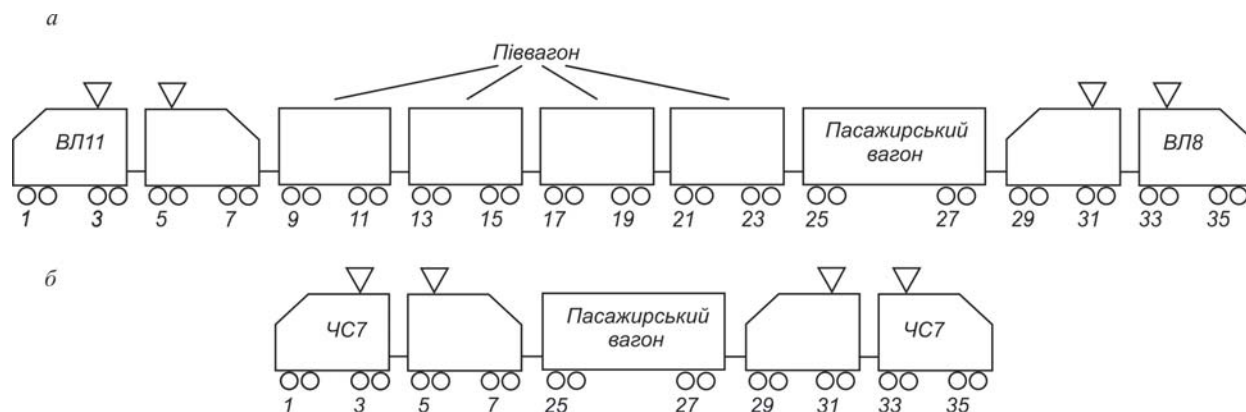
Схеми установки приладів по прямому й боковому напрямках дослідного переводу наведено на рис. 2. У порівнянні зі схемами, які використовувалися під час випробування стрілочних переводів проектів 65109Ж-01 та 65111Ж [3, 4], особливістю цих схем є наявність приладів для визначення напружень у межах внутрішніх кромek підшов гостряка та рухомого сердечника.

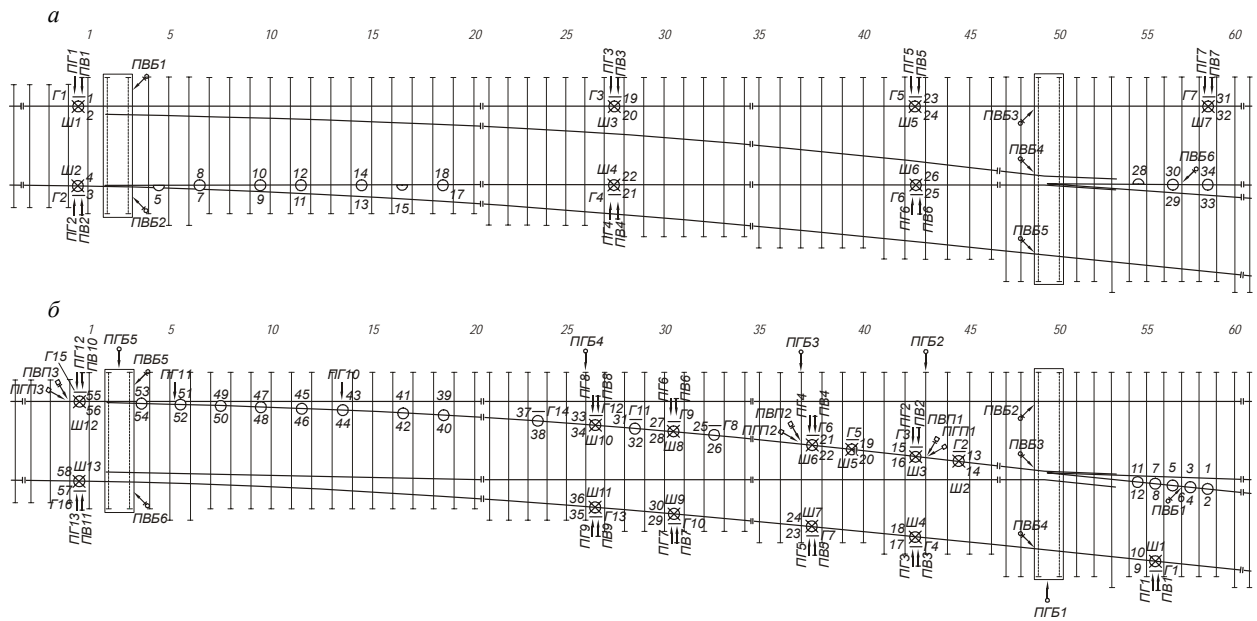
Випробування та розшифровка одержаних даних виконані Колієвипробувальною ГНДЛ ДНУЗТ за допомогою вимірювально-інформаційної системи «ПОНІЛ ДИИТ-1», що пройшла державну метрологічну атестацію відповідно до чинного порядку. Характеристики приладів, методики їх установки та визначення вертикальних і горизонтальних сил не відрізнялися від наведених у [3].

Техніка статистичної обробки та аналізу даних для кожного екіпажа в цілому теж відповідала наведеній у [3], крім порядку групування даних, одержаних для електровоза серії ВЛ8 та завантажених піввагонів під час руху по боковому напрямку. Результати, отримані для ВЛ8, розглядалися не окремо для кожної осі, а групувалися таким чином (див. рис. 1): група 1 – вісь 29, 2 – 30, 3 – 31 та 33, 4 – 32 та 34, 5 – 35, 6 – 36, а дані, одержані для піввагонів з навантаженням на вісь 23,9 т і 23,4 т, об'єднувалися в одну вибірку (групування результатів, отриманих для ВЛ11, виконано як для вагонів).

Одержані результати аналізувалися окремо для стрілки, гостряка, з'єднувальної частини та рухомого сердечника. Аналогічно до [3, 4] об'єктом аналізу були тільки максимальні ймовірні значення.

Допустимі та рекомендовані величини сил, деформацій та напружень в елементах стрілочного переводу становлять (відповідно до рекомендацій, розроблених експертами V комісії ОСЗ):





Умовні позначення:

- × – прилад для вимірювання вертикальних сил, що діють на рейкові елементи;
- Д, — – прилади для вимірювання напружень відповідно в кромці підшви та головки рейки;
- Г, Ш, — – прилади для вимірювання відповідно вертикальних і горизонтальних переміщень рейки;
- , — – прилади для вимірювання відповідно вертикальних і горизонтальних переміщень бруса;
- , — – прилади для вимірювання відповідно вертикальних і горизонтальних переміщень підкладки на брусі

Рис. 2. Схема установки приладів: а – по прямому напрямку переводу; б – по боковому

1. Напруження в кромках рейкових елементів, МПа:
 - гостряки та рухомий сердечник, виготовлені з гострякового профілю275
 - решта елементів.....250
2. Вертикальні сили взаємодії колеса та рейки в межах стрілки та з'єднувальної частини, кН.....200
3. Переміщення рейкових елементів, мм:
 - вертикальні10
 - горизонтальні (рекомендована).....4

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ПЕРЕВОДУ ПІД ЧАС РУХУ ДОСЛІДНОГО ПОЇЗДА ПО ПРЯМОМУ НАПРЯМКУ

Одержані результати відповідно до типу екіпажа та швидкості його руху наведено в табл. 1 - 5. У цих таблицях відсутні дані про напружено-деформований стан основи дослідного стрілочного переводу, і зокрема металевих порожнистих брусів, – ці результати наведено в окремій частині даної статті.

Незважаючи на тип екіпажа, найбільше від швидкості залежать напруження в зовнішніх кромках рейкових елементів та горизонтальні сили: зі збільшенням швидкості від мінімального значення до максимального напруження в

різних частинах переводу зросли в середньому на 36 % (максимальна різниця склала 70 %), а горизонтальні сили – на 260 % при максимальній величині 580 % (порожній піввагон). Водночас різниця між величинами вертикальних сил залежно від швидкості не перевищувала 32 %. Необхідно відмітити, що для електровоза серії ЧС7 різниця напружень у рухомому сердечнику склала 64 %; дуже ймовірно, що за наявності даних для 5 км/год або 40 км/год ця різниця була б ще більшою.

При швидкостях дослідного поїзда до 80 км/год найбільші значення майже завжди реєструвалися під колесами завантаженого до повної вантажопідйомності піввагона, а при швидкостях від 100 км/год до 160 км/год – під колесами ЧС7.

Напруження в рейкових елементах. Напруження в рейкових елементах визначалися в неробочій кромці головки та в обох кромках підшви.

Нормативна величина для напружень у неробочій кромці головки відсутня, тому як самостійна величина ці процеси не аналізувалися (вони застосовувались для розрахунку горизонтальної сили, що діє на рейки, за методикою д-ра техн. наук О. П. Єршкова).

Таблиця 1

Відношення між напруженнями в зовнішніх та внутрішніх кромках рейкових елементів дослідного переводу (прямий напрямок), %

| Частина переводу | Значення | |
|----------------------|----------|-------------|
| | середнє | максимальне |
| Рамні рейки | 148 | 224 |
| Гостряк | 173 | 262 |
| З'єднувальна частина | 141 | 241 |
| Рухомий сердечник | 158 | 214 |

Прилади для визначення напружень, установлені також і в межах внутрішньої кромки підшов гостряка та рухомого сердечника, дозволили оцінити відношення між напруженнями в зовнішній та внутрішній кромках по всій довжині переводу, а не тільки в передньому вильоті рамних рейок та рейках з'єднувальної частини, як звичайно.

Порівняння напружень у зовнішніх та внутрішніх кромках рамних рейок, гостряка, рейок з'єднувальної частини та рухомого сердечника для екіпажів, що входили в дослідний поїзд, дало такі ж результати, як і під час випробувань переводів проектів 65109Ж-01 та 65111Ж [3, 4] – практично в усіх випадках напруження в зовнішній кромці підшви були більші за напруження у внутрішній, але для гостряка ця різниця була найбільша як за середніми значеннями, так і за максимальними. Усереднені дані за типами екіпажів, швидкостями та напрямками руху дослідного поїзда (ПШ, ПРШ) наведено в табл. 1.

Розташування максимальних значень напружень по довжині окремої частини переводу більше залежить від швидкості екіпажа, ніж від його типу (звичайно, за наявності значної кількості приладів по довжині, як, наприклад, для гостряка або рухомого сердечника). Це твердження можна проілюструвати розташуванням максимумів напружень по довжині гостряка для електровоза ЧС7: швидкості 100 км/год та

Таблиця 2

Середні ($\bar{\sigma}$) та максимальні ймовірні (σ_{\max}^i) величини напружень у рейкових елементах, одержані під час руху дослідного поїзда по прямому напрямку, МПа

| Рухомий склад | Швидкість руху, км/год | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|
| | 5 | | 40 | | 80 | | 100 | | 120 | | 140 | | 160 | |
| | $\bar{\sigma}$ | σ_{\max}^i | $\bar{\sigma}$ | σ_{\max}^i | $\bar{\sigma}$ | σ_{\max}^i | $\bar{\sigma}$ | σ_{\max}^i | $\bar{\sigma}$ | σ_{\max}^i | $\bar{\sigma}$ | σ_{\max}^i | $\bar{\sigma}$ | σ_{\max}^i |
| Рамні рейки | | | | | | | | | | | | | | |
| ВЛ11 | 77,7 | 105,6 | 79,2 | 98,8 | 91,9 | 117,2 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| ВЛ8 | 72,5 | 91,6 | 65,2 | 95,2 | 82,8 | 114,4 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| ЧС7 | – | – | – | – | – | – | 77,5 | 106,5 | 91,1 | 130,6 | 111,4 | 168,5 | 87,4 | 147,6 |
| Піввагон 23,9 т/вісь | 74,9 | 103,0 | 64,7 | 89,8 | 97,0 | 136,4 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Піввагон 18,1 т/вісь | 55,7 | 75,4 | 58,6 | 82,1 | 48,9 | 96,7 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Піввагон 10,6 т/вісь | 40,0 | 64,0 | 35,6 | 52,3 | 41,1 | 88,2 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Пасажи́рський вагон | 51,1 | 74,6 | 47,7 | 69,4 | 48,0 | 74,7 | 45,6 | 69,4 | 48,4 | 69,3 | 52,6 | 73,2 | – | – |
| Гостряк | | | | | | | | | | | | | | |
| ВЛ11 | 108,5 | 127,1 | 108,7 | 132,5 | 106,8 | 153,1 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| ВЛ8 | 105,9 | 125,4 | 107,2 | 125,5 | 108,8 | 135,9 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| ЧС7 | – | – | – | – | – | – | 116,8 | 136,0 | 123,0 | 163,0 | 124,5 | 195,5 | 113,8 | 186,9 |
| Піввагон 23,9 т/вісь | 99,4 | 111,2 | 95,0 | 122,9 | 113,2 | 159,2 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Піввагон 18,1 т/вісь | 92,1 | 101,7 | 87,5 | 106,4 | 83,2 | 133,6 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Піввагон 10,6 т/вісь | 62,7 | 78,9 | 62,1 | 73,8 | 73,3 | 111,8 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Пасажи́рський вагон | 75,5 | 92,0 | 76,2 | 94,4 | 80,3 | 101,6 | 85,2 | 119,0 | 83,2 | 118,0 | 92,7 | 119,0 | – | – |
| З'єднувальна частина | | | | | | | | | | | | | | |
| ВЛ11 | 67,7 | 85,0 | 71,2 | 104,4 | 72,9 | 118,1 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| ВЛ8 | 56,2 | 80,1 | 71,7 | 108,9 | 67,0 | 115,7 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| ЧС7 | – | – | – | – | – | – | 60,7 | 95,9 | 57,5 | 106,5 | 76,4 | 148,6 | 103,3 | 133,2 |
| Піввагон 23,9 т/вісь | 56,7 | 76,5 | 67,5 | 105,9 | 93,2 | 127,8 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Піввагон 18,1 т/вісь | 48,9 | 65,3 | 56,1 | 83,4 | 54,6 | 97,5 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Піввагон 10,6 т/вісь | 29,8 | 45,2 | 36,2 | 58,6 | 40,3 | 77,0 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Пасажи́рський вагон | 47,9 | 60,2 | 53,4 | 73,0 | 48,2 | 74,1 | 46,7 | 66,7 | 42,3 | 69,7 | 43,6 | 75,3 | – | – |
| Рухомий сердечник | | | | | | | | | | | | | | |
| ВЛ11 | 80,7 | 96,7 | 84,4 | 102,3 | 97,6 | 135,0 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| ВЛ8 | 80,2 | 94,6 | 79,6 | 103,8 | 91,6 | 127,0 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| ЧС7 | – | – | – | – | – | – | 76,4 | 92,5 | 79,3 | 118,7 | 88,0 | 131,3 | 91,6 | 151,8 |
| Піввагон 23,9 т/вісь | 58,4 | 85,1 | 68,5 | 102,0 | 68,7 | 116,6 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Піввагон 18,1 т/вісь | 57,6 | 72,7 | 54,7 | 74,6 | 53,9 | 79,4 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Піввагон 10,6 т/вісь | 32,4 | 46,5 | 30,0 | 54,6 | 34,2 | 56,8 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Пасажи́рський вагон | 45,3 | 61,2 | 44,2 | 59,9 | 56,3 | 71,5 | 55,6 | 66,1 | 59,7 | 70,4 | 66,8 | 83,8 | – | – |

120 км/год – прилад «7», 140 км/год – «13», 160 км/год – прилад «15».

Максимальні значення напружень одержано під впливом електровоза серії ЧС7 за швидкості 140...160 км/год. У межах рамних рейок вони склали 168,5 МПа, гостряка – 195,5 МПа (прилад «13»), з'єднувальної частини – 148,6 МПа, рухомого сердечника – 151,8 МПа (прилад «33»). Усі ці значення не перевищують відповідних допустимих величин.

Вертикальні сили та переміщення рейок. Величини вертикальних сил більшою мірою залежать від розташування приладу, ніж від

швидкості. Максимальне значення сил у межах рамних рейок складає 171,0 кН, з'єднувальної частини – 185,9 кН. У першому випадку це електровоз серії ЧС7, у другому – повністю завантажений вагон.

Осідання рамних рейок у межах переднього вильоту перевищує осідання рейок у решті перерізів і досягає 4,8 мм. Не виключено, що причиною цього є нестійке положення металевого порожнистого бруса в плані та профілі.

Порівнюючи з допустимими величинами, можна твердити, що вертикальні сили та переміщення їх не перевищують.

Таблиця 3

Середні (\bar{P}) та максимальні ймовірні (P_{\max}^i) величини вертикальних сил, одержані під час руху дослідного поїзда по прямому напрямку, кН

| Рухомий склад | Швидкість руху, км/год | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| | 5 | | 40 | | 80 | | 100 | | 120 | | 140 | | 160 | |
| | \bar{P} | P_{\max}^i | \bar{P} | P_{\max}^i | \bar{P} | P_{\max}^i | \bar{P} | P_{\max}^i | \bar{P} | P_{\max}^i | \bar{P} | P_{\max}^i | \bar{P} | P_{\max}^i |
| Рамні рейки | | | | | | | | | | | | | | |
| ВЛ11 | 124,2 | 159,6 | 106,4 | 156,8 | 116,4 | 156,5 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| ВЛ8 | 120,1 | 145,0 | 103,3 | 133,7 | 108,7 | 154,8 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| ЧС7 | – | – | – | – | – | – | 114,3 | 164,2 | 117,3 | 171,0 | 130,5 | 164,4 | 104,3 | 160,7 |
| Піввагон 23,9 т/вісь | 127,2 | 167,9 | 92,1 | 157,5 | 128,9 | 168,2 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Піввагон 18,1 т/вісь | 93,2 | 124,6 | 75,9 | 124,7 | 86,3 | 117,1 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Піввагон 10,6 т/вісь | 70,6 | 98,3 | 45,2 | 87,3 | 59,2 | 98,9 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Пасажи́рський вагон | 70,3 | 88,2 | 68,6 | 92,4 | 60,2 | 109,9 | 71,2 | 113,2 | 76,7 | 93,0 | 78,7 | 95,9 | – | – |
| З'єднувальна частина | | | | | | | | | | | | | | |
| ВЛ11 | 116,0 | 144,9 | 115,9 | 154,9 | 128,8 | 178,1 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| ВЛ8 | 116,6 | 150,6 | 123,0 | 149,4 | 113,3 | 164,0 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| ЧС7 | – | – | – | – | – | – | 108,3 | 152,8 | 106,1 | 150,5 | 110,7 | 144,5 | 122,7 | 156,1 |
| Піввагон 23,9 т/вісь | 115,2 | 141,0 | 121,8 | 181,9 | 131,2 | 185,9 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Піввагон 18,1 т/вісь | 92,2 | 121,6 | 98,3 | 122,3 | 98,9 | 143,9 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Піввагон 10,6 т/вісь | 59,7 | 78,2 | 48,7 | 81,4 | 62,7 | 88,8 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Пасажи́рський вагон | 78,7 | 109,2 | 72,3 | 97,9 | 69,6 | 98,4 | 88,1 | 113,1 | 74,7 | 109,1 | 64,6 | 86,6 | – | – |

Таблиця 4

Середні (\bar{H}) та максимальні ймовірні (H_{\max}^i) величини горизонтальних сил, одержані під час руху дослідного поїзда по прямому напрямку, кН

| Рухомий склад | Швидкість руху, км/год | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| | 5 | | 40 | | 80 | | 100 | | 120 | | 140 | | 160 | |
| | \bar{H} | H_{\max}^i | \bar{H} | H_{\max}^i | \bar{H} | H_{\max}^i | \bar{H} | H_{\max}^i | \bar{H} | H_{\max}^i | \bar{H} | H_{\max}^i | \bar{H} | H_{\max}^i |
| Рамні рейки | | | | | | | | | | | | | | |
| ВЛ11 | 3,8 | 17,8 | -6,9 | -19,6 | 5,4 | 26,7 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| ВЛ8 | 1,4 | 11,8 | 2,1 | 14,4 | 5,1 | 27,3 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| ЧС7 | – | – | – | – | – | – | 3,1 | 27,2 | 5,7 | 32,6 | 20,7 | 77,4 | 28,3 | 72,5 |
| Піввагон 23,9 т/вісь | 3,4 | 13,4 | -3,3 | -16,1 | 20,3 | 45,7 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Піввагон 18,1 т/вісь | -3,2 | -12,2 | -8,4 | -14,8 | -1,3 | -26,6 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Піввагон 10,6 т/вісь | -3,1 | -7,9 | -3,8 | -9,8 | 10,6 | 45,2 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Пасажи́рський вагон | -1,2 | -18,9 | -3,1 | -18,4 | -0,9 | -19,4 | 3,3 | 24,1 | 0,6 | 21,2 | 3,1 | 24,0 | – | – |
| З'єднувальна частина | | | | | | | | | | | | | | |
| ВЛ11 | 6,6 | 25,4 | -10,5 | -29,2 | 8,4 | 40,6 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| ВЛ8 | 2,0 | 21,0 | 4,2 | 34,4 | 8,7 | 46,1 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| ЧС7 | – | – | – | – | – | – | 8,3 | 33,7 | 9,2 | 50,8 | 17,6 | 86,1 | 26,1 | 81,2 |
| Піввагон 23,9 т/вісь | 2,6 | 24,5 | 9,7 | 44,2 | 28,5 | 65,1 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Піввагон 18,1 т/вісь | 2,9 | 13,2 | 9,3 | 20,9 | 12,3 | 51,3 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Піввагон 10,6 т/вісь | -4,8 | -12,8 | -4,8 | -14,5 | 19,6 | 39,7 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Пасажи́рський вагон | 8,5 | 30,8 | 10,1 | 34,8 | 11,2 | 39,3 | 13,3 | 41,2 | 12,2 | 38,4 | 12,6 | 39,6 | – | – |

Примітка: мінус означає, що сила спрямована всередину колії.

Середні (\bar{y}) та максимальні ймовірні (y_{\max}^i) величини горизонтальних переміщень рейкових елементів, одержані під час руху дослідного поїзда по прямому напрямку, мм

| Рухомий склад | Швидкість руху, км/год | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| | 5 | | 40 | | 80 | | 100 | | 120 | | 140 | | 160 | |
| | \bar{y} | y_{\max}^i | \bar{y} | y_{\max}^i | \bar{y} | y_{\max}^i | \bar{y} | y_{\max}^i | \bar{y} | y_{\max}^i | \bar{y} | y_{\max}^i | \bar{y} | y_{\max}^i |
| Рамні рейки | | | | | | | | | | | | | | |
| ВЛ11 | 0,19 | 0,95 | 0,24 | 1,20 | 0,28 | 1,34 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| ВЛ8 | 0,19 | 0,84 | 0,22 | 1,06 | 0,47 | 1,45 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| ЧС7 | – | – | – | – | – | – | 0,30 | 1,24 | 0,74 | 2,12 | 1,31 | 3,37 | 1,08 | 2,25 |
| Піввагон 23,9 т/вісь | 0,21 | 0,66 | 0,12 | 0,97 | 0,29 | 1,45 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Піввагон 18,1 т/вісь | 0,17 | 0,68 | 0,45 | 1,10 | 0,35 | 1,70 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Піввагон 10,6 т/вісь | 0,13 | 0,39 | 0,20 | 0,69 | 0,72 | 1,93 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Пасажи́рський вагон | 0,22 | 1,24 | 0,45 | 1,20 | 0,37 | 1,00 | 0,46 | 1,56 | 0,37 | 1,39 | 0,95 | 1,88 | – | – |
| З'єднувальна частина | | | | | | | | | | | | | | |
| ВЛ11 | -0,56 | -1,36 | -0,69 | -1,51 | -0,87 | -1,68 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| ВЛ8 | -0,51 | -1,17 | -0,38 | -1,30 | 0,45 | 1,52 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| ЧС7 | – | – | – | – | – | – | -0,60 | -1,37 | 0,47 | 2,40 | 0,38 | 3,22 | 0,84 | 3,36 |
| Піввагон 23,9 т/вісь | -0,62 | -1,26 | -0,73 | -1,40 | 0,61 | 2,52 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Піввагон 18,1 т/вісь | 0,31 | 1,26 | -0,37 | -1,26 | 0,28 | 1,73 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Піввагон 10,6 т/вісь | -0,51 | -0,90 | -0,40 | -0,79 | 0,70 | 1,89 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Пасажи́рський вагон | 0,42 | 1,32 | 0,65 | 1,86 | 0,53 | 1,84 | 0,61 | 1,80 | 0,48 | 1,49 | 0,59 | 1,68 | – | – |

Примітка: мінус означає, що переміщення спрямоване всередину колії.

Горизонтальні сили та переміщення рейок. Найбільші значення горизонтальних сил зареєстровані під колесами електровоза серії ЧС7 за швидкості руху 140 км/год. У межах рамних рейок величина сили досягає 77,4 кН, у з'єднувальній частині – 86,1 кН (хоча за швидкості 100 км/год вони складають 27,2 кН та 33,7 кН відповідно). Ці дані свідчать про суттєве погіршення горизонтальної динаміки електровоза серії ЧС7 під час руху зі швидкостями 140...160 км/год. Якісні характеристики залежностей напружень, горизонтальних сил та переміщень від швидкості подібні – це ще раз підтверджує, що основною причиною появи великих напружень у підшві рейки є горизонтальна сила.

Найбільші значення горизонтальних переміщень рейок теж реєструються під колесами ЧС7, вони однакові в передньому вильоті рамних рейок та в з'єднувальній частині й досягають 3,4 мм, що не перевищує рекомендованих значень.

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ПЕРЕВОДУ ПІД ЧАС РУХУ ДОСЛІДНОГО ПОЇЗДА ПО БОКОВОМУ НАПРЯМКУ

Результати досліджень напружень, сил та деформацій, одержані під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку дослідного перевалу, наведено в табл. 6 - 10. Найчастіше найбільші значення показників спостерігалися під час руху електровозів серій ВЛ8 та ВЛ11, один раз – піввагона (23,9 т/вісь).

Напруження в рейкових елементах. Подібно до аналізу напружень, одержаних під час руху дослідного поїзда по прямому напрямку, у табл. 6 наведено усереднені дані про відношення між напруженнями в зовнішніх та внутрішніх кромках рейкових елементів дослідного перевалу, отриманими під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку. Найбільша різниця спостерігалася для гостряка, для решти елементів ця різниця менша, але теж суттєва. Необхідно зазначити, що в перерізах гостряка, де фіксувалися найбільші по його довжині напруження, у внутрішній кромці спостерігалися від'ємні значення, що досягали -83 МПа.

Таблиця 6

Відношення між напруженнями в зовнішніх та внутрішніх кромках рейкових елементів дослідного перевалу (боковий напрямок), %

| Частина перевалу | Значення | |
|----------------------|----------|-------------|
| | середнє | максимальне |
| Рамні рейки | 160 | 268 |
| Гостряк | 237 | 582 |
| З'єднувальна частина | 182 | 326 |
| Рухомий сердечник | 183 | 338 |

Аналіз результатів, наведених у табл. 7, дозволяє зробити висновок, що за всіх швидкостей дослідного поїзда напруження в рамних рейках, рейках з'єднувальної частини та рухомому сердечнику суттєво менші за допустимі (176,1 МПа, 178,3 МПа та 170,6 МПа відповідно). У діапазоні швидкостей 5...25 км/год напруження в цих частинах перевалу практично не змінюються, невелике їх збільшення

Середні ($\bar{\sigma}$) та максимальні ймовірні (σ_{\max}^i) величини напружень у рейкових елементах, одержані під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку, МПа

| Рухомий склад | Швидкість руху, км/год | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|
| | 5 | | 15 | | 25 | | 40 | | 50 | |
| | $\bar{\sigma}$ | σ_{\max}^i | $\bar{\sigma}$ | σ_{\max}^i | $\bar{\sigma}$ | σ_{\max}^i | $\bar{\sigma}$ | σ_{\max}^i | $\bar{\sigma}$ | σ_{\max}^i |
| Рамні рейки | | | | | | | | | | |
| ВЛ11 | 124,7 | 155,8 | 118,5 | 148,4 | 119,9 | 150,1 | 132,6 | 169,2 | 132,7 | 157,0 |
| ВЛ8 | 146,3 | 173,6 | 141,4 | 173,0 | 140,0 | 169,2 | 144,4 | 176,1 | 138,7 | 167,1 |
| Піввагон 23,9 т/вісь | 123,3 | 148,4 | 113,7 | 136,7 | 118,1 | 140,5 | 122,7 | 148,9 | 117,5 | 134,5 |
| Піввагон 18,1 т/вісь | 92,2 | 122,7 | 88,7 | 110,5 | 96,6 | 116,3 | 110,5 | 139,8 | 97,0 | 119,0 |
| Піввагон 10,6 т/вісь | 68,0 | 81,0 | 57,3 | 77,7 | 62,0 | 80,1 | 69,6 | 85,4 | 60,4 | 76,7 |
| Пасажи́рський вагон | 76,1 | 90,2 | 74,1 | 89,9 | 75,8 | 89,5 | 83,3 | 92,4 | 79,6 | 92,6 |
| Гостряк | | | | | | | | | | |
| ВЛ11 | 170,2 | 207,0 | 172,1 | 206,1 | 179,9 | 214,1 | 197,8 | 240,0 | 211,4 | 259,0 |
| ВЛ8 | 179,3 | 217,2 | 182,1 | 213,5 | 184,1 | 216,2 | 195,8 | 215,1 | 207,0 | 232,6 |
| Піввагон 23,9 т/вісь | 163,5 | 194,2 | 158,9 | 186,3 | 155,7 | 190,6 | 182,6 | 204,8 | 181,6 | 216,8 |
| Піввагон 18,1 т/вісь | 131,6 | 162,3 | 134,0 | 153,1 | 138,1 | 164,4 | 153,9 | 177,7 | 153,0 | 196,8 |
| Піввагон 10,6 т/вісь | 92,7 | 112,0 | 82,3 | 106,8 | 88,3 | 104,1 | 94,6 | 118,7 | 103,1 | 140,8 |
| Пасажи́рський вагон | 104,3 | 129,4 | 107,4 | 135,2 | 110,1 | 136,9 | 114,0 | 141,3 | 116,5 | 145,7 |
| З'єднувальна частина | | | | | | | | | | |
| ВЛ11 | 117,1 | 144,9 | 119,6 | 154,6 | 122,7 | 159,7 | 135,2 | 162,3 | 143,4 | 158,4 |
| ВЛ8 | 132,9 | 165,5 | 131,9 | 163,6 | 132,1 | 160,1 | 135,4 | 175,8 | 135,8 | 178,3 |
| Піввагон 23,9 т/вісь | 101,6 | 131,5 | 105,1 | 138,1 | 104,1 | 131,4 | 111,4 | 138,3 | 111,4 | 140,7 |
| Піввагон 18,1 т/вісь | 77,9 | 112,3 | 88,5 | 108,0 | 95,2 | 116,2 | 105,4 | 128,6 | 106,7 | 135,6 |
| Піввагон 10,6 т/вісь | 59,4 | 74,7 | 61,2 | 75,5 | 63,8 | 79,0 | 65,2 | 89,0 | 70,4 | 87,3 |
| Пасажи́рський вагон | 66,2 | 99,2 | 74,7 | 97,8 | 71,8 | 95,0 | 82,1 | 103,6 | 81,9 | 110,4 |
| Рухомий сердечник | | | | | | | | | | |
| ВЛ11 | 98,3 | 124,1 | 99,1 | 127,9 | 106,9 | 132,0 | 105,1 | 137,1 | 106,1 | 126,3 |
| ВЛ8 | 134,4 | 151,6 | 126,2 | 160,1 | 142,4 | 170,6 | 143,4 | 167,5 | 137,0 | 148,9 |
| Піввагон 23,9 т/вісь | 77,1 | 105,2 | 80,4 | 113,4 | 87,8 | 129,0 | 88,5 | 125,0 | 93,4 | 136,4 |
| Піввагон 18,1 т/вісь | 64,8 | 83,7 | 60,1 | 80,1 | 62,9 | 88,9 | 65,7 | 86,6 | 73,0 | 107,1 |
| Піввагон 10,6 т/вісь | 49,1 | 65,0 | 47,2 | 67,3 | 56,2 | 85,4 | 47,7 | 66,6 | 41,4 | 74,3 |
| Пасажи́рський вагон | 61,4 | 89,3 | 55,5 | 77,0 | 61,7 | 84,9 | 59,7 | 93,5 | 64,2 | 96,9 |

реєструється лише за швидкостей 40...50 км/год. У всіх випадках це збільшення не перевищує 30 %. Слід зазначити, що напруження у внутрішніх рейках не набагато менші за напруження в зовнішніх, які виконують основну функцію – спрямовують колісні пари під час руху по боковому напрямку переводу.

Найбільше напруження в зовнішній кромці гостряка зареєстровано під колесами електровоза серії ВЛ11 (259,0 МПа). Ця величина суттєво перевищує найбільші напруження, одержані раніше під час випробувань стрілочних переводів проектів 65109Ж-01 та 65111Ж [3, 4] (214,3 МПа та 181,5 МПа), але допустимій величині відповідає. На рис. 3 наведено розподіли напружень по довжині гостряка залежно від напрямку та швидкості руху цього локомотива: суцільною лінією показані напруження, зареєстровані у випадку ПРШ напрямку руху дослідного поїзда, пунктирною – ПШ. Максимум напружень спостерігається в перерізі гостряка, що розташований в кінці бокового стругання (прилад «47»), під час руху в протишерстному напрямку. Пояснити це можна ударним характером взаємодії екіпажу та гостряка, ефект якої

збільшується зі збільшенням швидкості, а за швидкості 50 км/год досягає максимуму.

До цікавих висновків приводить аналіз напружень у перерізі гостряка, що розташований між брусами 11 і 12 та поряд із цим місцем. Величини напружень тут суттєво відрізняються між собою, причому незалежно від напрямку руху напруження, що зареєстровані приладом «45», є суттєво меншими.

Відомо, що на величину напружень у підшві рейки або гостряка впливає:

– по-перше, вертикальне навантаження, яке викликає вертикальний прогин рейки і, як результат, напруження розтягнення;

– по-друге, горизонтальна сила, яка є причиною вигину рейки в горизонтальній площині. Горизонтальний вигин призводить до стиснення волокон внутрішньої кромки та розтягнення волокон зовнішньої кромки. Таким чином, напруження розтягнення в підшві гостряка, що є результатом дії вертикального навантаження, за рахунок горизонтальної сили в зовнішній кромці ще збільшуються, а у внутрішній – зменшуються.

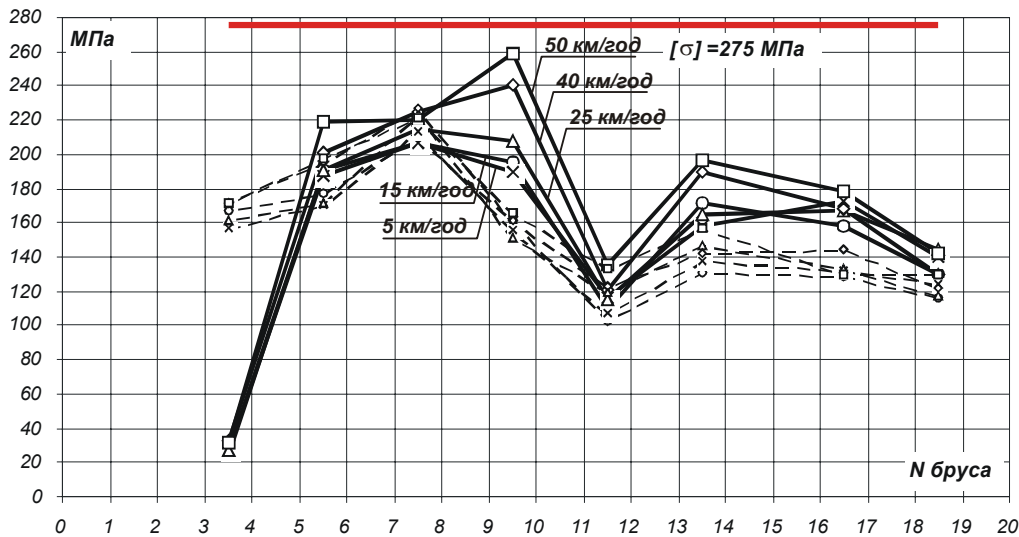


Рис.3. Напруження в зовнішній кромці криволінійного гостряка, одержані під колесами електровоза серії ВЛ11

Конструкцією рамних рейок дослідного перевалу передбачено наявність 8 упорних накладок, призначення яких – передавати горизонтальне навантаження від гостряка на рамну рейку. Між брусами 11 і 12 упорна накладка розміщена якраз посередині ящика, навпроти місця, де розмішений прилад «45», що призводить до зменшення величини горизонтальної деформації гостряка і, у свою чергу, до зменшення напружень.

Вертикальні сили та переміщення рейок. Порівняння вертикальних сил, що діють на внутрішню та зовнішню рейки, вказує на наявність впливу непогашеного відцентрового прискорення на величину перерозподілу вертикальних сил між рейками. Тому цілком природно, що сили по зовнішній рейці (напрямно) більші в порівнянні з внутрішньою. І зі збільшенням швидкості руху дослідного поїзда ця різниця збільшується.

Для вагонів це характерно при всіх швидкостях руху в усіх досліджених зонах стрілочного перевалу (за винятком переднього вильоту в разі протишерстного напрямку руху – через відсутність значних величин непогашених відцентрових прискорень). Для локомотивів ця залежність надійно проявляється лише за швидкостей 40 км/год і більше. При менших швидкостях величини сил, що реєструються на внутрішній рейці, іноді перевищують сили по зовнішній рейці.

Максимальні величини вертикальних сил, що діють на рамні рейки, становлять 196,6 кН, на рейки з'єднувальної частини – 193,5 кН, що не перевищує допустимих значень.

Найбільше вертикальне переміщення рейки зафіксовано під колесами електровоза серії ВЛ8 – 5,1 мм (передній виліт рамної рейки). Це дещо більше, ніж у випадку прямого напрямку, але теж не перевищує допустимої величини й дозволяє стверджувати, що дослідний перевід під час випробування задовільно утримувався у вертикальному профілі.

Горизонтальні сили. Одержані дані вказують на те, що під час прямування рухомого складу по боковій колії перевалу на рейки діють значні горизонтальні сили, направлені назовні, причому як на зовнішню рейку, так і на внутрішню.

У більшості випадків для всіх екіпажів (крім електровоза серії ВЛ8) найбільші величини сил у з'єднувальній частині спостерігаються по внутрішній рейці (переріз, розташований між брусами № 42 і 43). Тільки за швидкостей 40...50 км/год найбільші горизонтальні сили реєструються на зовнішній рейці (ВЛ11, піввагон з навантаженням 18,1 т/вісь). Найімовірніше, причина цього полягає в «підвищенні» зовнішньої рейки (як уже зазначалося, відхилення за рівнем у з'єднувальній частині складало 14 мм). У межах переднього вильоту рамної рейки для вагонів максимальні сили реєструвались на зовнішній рейці, для локомотивів – на внутрішній.

Найбільші величини горизонтальних сил склали для рамних рейок 98,7 кН, для з'єднувальної частини – 107,7 кН.

Горизонтальні переміщення рейок та зміна ширини колії. У всіх перерізах спостерігалися тільки пружні переміщення, залишкових переміщень не зафіксовано. У разі пошерстного на-

прямку руху дослідного поїзда в передньому вильоті та при обох напрямках руху для з'єднувальної частини спостерігаються горизонтальні переміщення обох рейок, направлені назовні колії. Це цілком закономірно з огляду на наявність горизонтальних сил, направлених назовні колії, що діють на обидві рейки.

Максимальні величини горизонтальних переміщень для рамних рейок склали 5,3 мм (передній виліт рамної рейки), для з'єднувальної частини – 5,6 мм. В обох випадках це дані по внутрішній рейці, переміщення зовнішньої рейки в 1,5...2 рази менші. Необхідно зазначити, що така ситуація спостерігалась у всіх перерізах з'єднувальної частини, де були розташовані прогиноміри на обох рейках. У раніше випробуваних переводів з прикріпленням підкла-

дки до бруса за допомогою закладного болта [3, 4] цього явища не зафіксовано, а максимальні переміщення були менші у 2 рази.

Горизонтальні переміщення рейкових елементів у з'єднувальній частині для локомотивів та завантажених вагонів перевищують наведені вище граничні значення майже для всіх досліджених швидкостей. Зважаючи на те що ця величина «рекомендована», а не «допустима», причиною обмеження швидкостей руху поїздів по дослідному переводу вона бути не може. Не виключено, що зменшення бокової жорсткості дослідного переводу, про що свідчать ці дані, призведе до зменшення інтенсивності горизонтального зносу рейок перевідної кривої та гостряка.

Таблиця 8

Середні (\bar{P}) та максимальні ймовірні (P_{\max}^i) величини вертикальних сил, одержані під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку, кН

| Рухомий склад | Швидкість руху, км/год | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| | 5 | | 15 | | 25 | | 40 | | 50 | |
| | \bar{P} | P_{\max}^i | \bar{P} | P_{\max}^i | \bar{P} | P_{\max}^i | \bar{P} | P_{\max}^i | \bar{P} | P_{\max}^i |
| Рамні рейки | | | | | | | | | | |
| ВЛ11 | 137,3 | 165,5 | 135,6 | 167,7 | 134,7 | 168,7 | 150,3 | 191,4 | 151,8 | 194,9 |
| ВЛ8 | 146,0 | 172,1 | 151,7 | 179,5 | 154,1 | 176,8 | 155,7 | 181,9 | 160,9 | 186,2 |
| Піввагон 23,9 т/вісь | 142,0 | 176,0 | 136,2 | 168,9 | 145,5 | 172,0 | 152,5 | 196,6 | 147,5 | 184,6 |
| Піввагон 18,1 т/вісь | 97,9 | 117,4 | 98,2 | 125,7 | 103,4 | 132,3 | 121,6 | 157,2 | 106,7 | 147,9 |
| Піввагон 10,6 т/вісь | 56,0 | 81,8 | 61,6 | 84,6 | 65,7 | 101,0 | 70,5 | 90,1 | 64,3 | 87,3 |
| Пасажирський вагон | 78,1 | 108,1 | 82,3 | 107,1 | 89,3 | 111,0 | 86,4 | 118,6 | 89,0 | 118,4 |
| З'єднувальна частина | | | | | | | | | | |
| ВЛ11 | 130,5 | 161,1 | 130,0 | 163,8 | 132,2 | 161,9 | 139,7 | 171,5 | 131,5 | 182,9 |
| ВЛ8 | 148,8 | 191,2 | 147,5 | 183,7 | 147,5 | 168,3 | 140,7 | 170,8 | 150,2 | 193,5 |
| Піввагон 23,9 т/вісь | 131,0 | 170,3 | 122,6 | 165,0 | 128,7 | 175,9 | 134,6 | 180,4 | 132,9 | 175,1 |
| Піввагон 18,1 т/вісь | 102,7 | 143,1 | 121,9 | 141,8 | 109,2 | 151,4 | 115,1 | 147,2 | 96,3 | 146,3 |
| Піввагон 10,6 т/вісь | 65,1 | 96,9 | 56,8 | 90,8 | 61,6 | 108,1 | 63,3 | 107,6 | 65,3 | 102,4 |
| Пасажирський вагон | 81,1 | 118,8 | 77,9 | 108,5 | 74,7 | 105,1 | 72,5 | 108,9 | 88,2 | 123,7 |

Таблиця 9

Середні (\bar{H}) та максимальні ймовірні (H_{\max}^i) величини горизонтальних сил, одержані під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку, кН

| Рухомий склад | Швидкість руху, км/год | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| | 5 | | 15 | | 25 | | 40 | | 50 | |
| | \bar{H} | H_{\max}^i | \bar{H} | H_{\max}^i | \bar{H} | H_{\max}^i | \bar{H} | H_{\max}^i | \bar{H} | H_{\max}^i |
| Рамні рейки | | | | | | | | | | |
| ВЛ11 | 64,2 | 88,4 | 66,6 | 86,0 | 65,7 | 89,2 | 61,2 | 84,7 | 70,0 | 96,6 |
| ВЛ8 | 75,5 | 94,3 | 77,1 | 94,6 | 82,3 | 95,7 | 71,4 | 98,7 | 71,1 | 97,5 |
| Піввагон 23,9 т/вісь | 65,3 | 85,7 | 63,7 | 81,2 | 62,5 | 84,3 | 64,3 | 82,1 | 61,6 | 79,7 |
| Піввагон 18,1 т/вісь | 53,6 | 70,7 | 52,9 | 73,5 | 57,0 | 73,5 | 62,0 | 74,9 | 57,4 | 74,8 |
| Піввагон 10,6 т/вісь | 35,1 | 47,5 | 33,9 | 41,9 | 33,9 | 48,5 | 36,3 | 45,6 | 34,0 | 47,4 |
| Пасажирський вагон | 34,5 | 46,7 | 34,4 | 47,7 | 33,8 | 44,6 | 38,9 | 48,5 | 38,5 | 46,7 |
| З'єднувальна частина | | | | | | | | | | |
| ВЛ11 | 64,8 | 82,0 | 62,8 | 78,1 | 54,6 | 79,8 | 59,3 | 83,8 | 61,8 | 90,3 |
| ВЛ8 | 64,5 | 100,4 | 68,7 | 97,7 | 68,9 | 94,4 | 70,4 | 107,7 | 71,6 | 107,5 |
| Піввагон 23,9 т/вісь | 55,9 | 77,9 | 50,4 | 74,6 | 52,9 | 71,1 | 48,5 | 71,0 | 42,6 | 73,6 |
| Піввагон 18,1 т/вісь | 50,4 | 72,5 | 51,2 | 67,9 | 49,2 | 65,6 | 48,8 | 62,1 | 50,1 | 65,2 |
| Піввагон 10,6 т/вісь | 31,0 | 43,7 | 27,6 | 39,8 | 26,8 | 41,7 | 27,6 | 40,1 | 35,5 | 48,6 |
| Пасажирський вагон | 36,6 | 56,5 | 30,5 | 46,8 | 31,1 | 45,9 | 34,1 | 53,0 | 27,8 | 48,9 |

Середні (\bar{y}) та максимальні ймовірні (y_{\max}^i) величини горизонтальних переміщень рейкових елементів, одержані під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку, мм

| Рухомий склад | Швидкість руху, км/год | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| | 5 | | 15 | | 25 | | 40 | | 50 | |
| | \bar{y} | y_{\max}^i | \bar{y} | y_{\max}^i | \bar{y} | y_{\max}^i | \bar{y} | y_{\max}^i | \bar{y} | y_{\max}^i |
| Рамні рейки | | | | | | | | | | |
| ВЛ11 | 3,24 | 3,96 | 3,37 | 4,24 | 3,33 | 4,13 | 3,20 | 4,48 | 3,43 | 4,44 |
| ВЛ8 | 3,77 | 4,82 | 4,28 | 5,28 | 4,32 | 4,93 | 4,56 | 4,99 | 4,44 | 4,98 |
| Піввагон 23,9 т/вісь | 2,81 | 3,55 | 3,02 | 4,03 | 2,80 | 3,56 | 3,04 | 3,74 | 2,50 | 3,86 |
| Піввагон 18,1 т/вісь | 2,49 | 3,10 | 2,85 | 3,68 | 2,74 | 3,35 | 2,43 | 2,94 | 2,72 | 3,46 |
| Піввагон 10,6 т/вісь | 1,67 | 2,24 | 1,91 | 2,24 | 1,68 | 2,05 | 1,64 | 2,08 | 1,67 | 2,56 |
| Пасажи́рський вагон | 1,54 | 2,04 | 1,72 | 2,21 | 1,53 | 1,83 | 1,39 | 2,02 | 1,34 | 2,18 |
| З'єднувальна частина | | | | | | | | | | |
| ВЛ11 | 3,98 | 4,86 | 3,99 | 4,89 | 3,97 | 4,91 | 4,03 | 4,87 | 3,90 | 4,77 |
| ВЛ8 | 3,71 | 5,45 | 4,13 | 5,56 | 4,51 | 5,49 | 4,33 | 5,09 | 4,26 | 4,61 |
| Піввагон 23,9 т/вісь | 3,49 | 4,60 | 3,52 | 4,56 | 3,49 | 4,32 | 3,32 | 4,36 | 2,89 | 4,03 |
| Піввагон 18,1 т/вісь | 3,43 | 4,35 | 3,45 | 4,16 | 3,40 | 4,26 | 3,13 | 3,84 | 2,83 | 3,68 |
| Піввагон 10,6 т/вісь | 2,07 | 2,88 | 2,26 | 2,99 | 2,18 | 2,99 | 2,14 | 2,74 | 1,99 | 2,57 |
| Пасажи́рський вагон | 2,70 | 3,62 | 2,54 | 3,34 | 2,60 | 3,52 | 2,54 | 3,34 | 2,26 | 3,12 |

Таблиця 11

Середні ($\bar{\Delta}$) та максимальні ймовірні (Δ_{\max}^i) величини зміни ширини колії, одержані під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку, мм

| Рухомий склад | Швидкість руху, км/год | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|
| | 5 | | 15 | | 25 | | 40 | | 50 | |
| | $\bar{\Delta}$ | Δ_{\max}^i | $\bar{\Delta}$ | Δ_{\max}^i | $\bar{\Delta}$ | Δ_{\max}^i | $\bar{\Delta}$ | Δ_{\max}^i | $\bar{\Delta}$ | Δ_{\max}^i |
| Рамні рейки | | | | | | | | | | |
| ВЛ11 | 5,17 | 6,46 | 5,33 | 6,55 | 5,12 | 6,67 | 5,31 | 6,38 | 5,21 | 6,90 |
| ВЛ8 | 5,10 | 6,38 | 5,79 | 6,56 | 5,72 | 6,48 | 6,00 | 6,99 | 5,98 | 6,86 |
| Піввагон 23,9 т/вісь | 4,72 | 6,20 | 5,13 | 6,41 | 4,95 | 5,88 | 4,96 | 6,20 | 4,36 | 6,21 |
| Піввагон 18,1 т/вісь | 4,46 | 5,36 | 4,75 | 5,65 | 4,91 | 5,46 | 4,51 | 5,41 | 4,65 | 5,78 |
| Піввагон 10,6 т/вісь | 2,94 | 3,71 | 3,14 | 3,82 | 3,10 | 3,62 | 3,00 | 3,65 | 3,05 | 4,00 |
| Пасажи́рський вагон | 2,72 | 3,53 | 2,94 | 3,78 | 2,73 | 3,53 | 2,63 | 3,45 | 2,56 | 3,66 |
| З'єднувальна частина | | | | | | | | | | |
| ВЛ11 | 5,80 | 7,54 | 5,90 | 7,37 | 6,15 | 7,96 | 6,42 | 8,07 | 6,58 | 8,27 |
| ВЛ8 | 4,87 | 6,88 | 4,71 | 6,72 | 4,94 | 6,93 | 5,94 | 6,48 | 5,48 | 5,99 |
| Піввагон 23,9 т/вісь | 4,46 | 6,27 | 4,59 | 6,40 | 4,75 | 6,22 | 4,89 | 6,59 | 4,55 | 6,98 |
| Піввагон 18,1 т/вісь | 5,04 | 6,53 | 4,98 | 6,38 | 5,22 | 6,52 | 4,97 | 6,40 | 4,94 | 6,01 |
| Піввагон 10,6 т/вісь | 3,32 | 4,46 | 3,52 | 4,56 | 3,47 | 4,76 | 3,28 | 4,20 | 3,31 | 4,25 |
| Пасажи́рський вагон | 3,91 | 5,17 | 3,84 | 5,17 | 3,96 | 5,17 | 4,08 | 5,10 | 3,60 | 4,98 |

Для визначення змін ширини колії показаня обох приладів підсумовувались і одержані суми склали первинні вибірки, які надалі підлягали статистичній обробці.

Найбільші розширення незалежно від типу екіпажа наявні тільки під першими (напрямами) осями візків. Максимальні величини в межах перевідної кривої склали 8,3 мм, передньо-го вильоту – 7,0 мм.

ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОСНОВИ ДОСЛІДНОГО СТІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ

На відміну від залізобетонних брусів, що застосовуються з металевими частинами переводів проектів 1740 та 2215, залізобетонні бруси

дослідного перевалу мають постійний поперечний переріз по всій довжині. Така конструкція краща для поточного утримання перевалу та забезпечує зручніший прохід обслуговуючого персоналу, особливо в зимовий період, хоча ці зміни призводять до додаткових витрат бетону та збільшують масу основи перевалу.

Армування брусів таке ж, як і в брусів зі змінною формою. Площа поперечного перерізу арматури 340 мм². Відстань від низу поперечного перерізу бруса до центру ваги напруженої арматури 82 мм, а та ж відстань до центру приведенного поперечного перерізу бруса – 79 мм. Ексцентриситет зусилля попереднього обтиску відносно центру ваги приведенного поперечного перерізу бруса складає -3 мм (для порівняння в залізобетонній шпалі +8 мм).

Застосування шурупно-дюбельного кріплення стало причиною того, що підрейкові частини брусів не мають заглиблень. Таким чином, передача горизонтальних зусиль від рейки на брус здійснюється через підкладку, шуруп та дюбель. У серійних конструкціях брусів, завдяки підрейковим заглибленням, ці зусилля від підкладки передаються безпосередньо на брус через прокладку.

Оцінка напружено-деформованого стану основи переводу виконана на підставі аналізу горизонтальних переміщень елементів верхньої будови під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку, де спостерігалися найбільші горизонтальні сили.

Отримані записи горизонтальних переміщень залізобетонних брусів показали, що під дією рухомого складу вони практично відсутні. На записах не видно відхилення від нульової лінії під час проходження колісної пари через місце, де встановлений датчик. Є незначні пружні деформації від дії окремого візка.

На записах горизонтальних переміщень підкладок осі виділяються чіткіше. Тобто наявне переміщення підкладки на брусі за рахунок деформації прокладки та дюбеля. Таким чином частина переміщень не передається на брус, а гаситься шурупно-дюбельним кріпленням.

Для отримання повної картини передачі горизонтальних зусиль від коліс рухомого складу на бруси використано дані датчиків горизонтальних переміщень головок рейок, які встановлені поблизу брусів, переміщення яких аналізувалося. Між брусами № 0 і № 1 – це датчики ПГ12 і ПГ13, між брусами № 26 і № 27 – ПГ9 і ПГ8, між брусами № 37 і № 38 – ПГ5 і ПГ4, між брусами № 42 і № 43 – ПГ2 і ПГ3.

Записи показують, що більша частина горизонтальних переміщень рейок пружно переробляється самою рейкою та кріпленням.

Для кількісної оцінки деформованого стану основи стрілочного переводу складені вибірки показань датчиків, які розділені за швидкостями та напрямком руху дослідного поїзда, типами рухомого складу, осями (напрявні та ведені) і за місцями розташування по довжині стрілочного переводу.

Під час аналізу на стрілочному переводі були виділені передній виліт рамних рейок (брус № 0) та з'єднувальна частина (бруси № 26, № 37 і № 43). У кожній з цих частин розміщений комплект приладів, показання яких дали можливість оцінити деформований стан основи стрілочного переводу в момент проходження будь-якої колісної пари. Розділялися показання при-

ладів, що розміщувалися по внутрішній (рейки, що є продовженням гостряків) та зовнішній рейкових нитках.

Виходячи з цих положень, було проведено статистичну обробку експериментальних даних і їх групування. Розраховані середні та максимальні ймовірні величини переміщень залежно від швидкості руху дослідного поїзда. При цьому також були визначені середні квадратичні відхилення кожної статистичної вибірки та вибрані найбільші зафіксовані величини показників у вибірці.

У табл. 12 наведено вибірки величин горизонтальних переміщень рамних рейок, підкладки та бруса № 0, а саме середні й найбільші зафіксовані величини від дії напрямних осей локомотива серії ВЛ8 (деформації від осей якого є найбільшими) під час руху в пошерстному та протишерстному напрямках.

Таблиця 12

Статистики горизонтальних переміщень рамних рейок (прилади ПГ12, ПГ13), підкладки (прилад ПГП3) та бруса (прилад ПГБ6) у передньому вильоті, що зареєстровані під напрямними осями електровоза серії ВЛ8

| Прилад | Середні та найбільші зафіксовані величини переміщень, мм, відповідно до напрямку й швидкості руху, км/год | | | | | | | | | |
|------------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | пошерстний | | | | | протишерстний | | | | |
| | 5 | 15 | 25 | 40 | 50 | 5 | 15 | 25 | 40 | 50 |
| Брус № 0 | | | | | | | | | | |
| ПГ12 | <u>1,9</u> 2,4 | <u>1,9</u> 2,5 | <u>1,7</u> 2,9 | <u>1,8</u> 2,8 | <u>1,9</u> 2,3 | <u>0,2</u> 1,1 | <u>0,2</u> 0,9 | <u>0,2</u> 0,9 | <u>0,3</u> 1,0 | <u>0,4</u> 1,2 |
| ПГ13 | <u>3,8</u> 4,6 | <u>4,1</u> 5,1 | <u>4,1</u> 5,1 | <u>4,4</u> 4,9 | <u>3,9</u> 4,9 | <u>0,7</u> 1,5 | <u>0,7</u> 1,5 | <u>0,5</u> 1,2 | <u>0,5</u> 1,2 | <u>0,5</u> 1,1 |
| ПГП3 | <u>0,9</u> 1,3 | <u>0,9</u> 1,6 | <u>0,9</u> 1,6 | <u>1,1</u> 1,6 | <u>1,0</u> 1,6 | <u>0,3</u> 0,6 | <u>0,5</u> 0,7 | <u>0,5</u> 0,8 | <u>0,5</u> 0,9 | <u>0,5</u> 0,8 |
| ПГБ6 | Брус практично не зміщується | | | | | | | | | |
| Порожнистий брус | | | | | | | | | | |
| ПГБ5 | <u>1,1</u> 2,3 | <u>1,1</u> 2,1 | <u>1,2</u> 2,3 | <u>1,4</u> 2,3 | <u>1,5</u> 2,4 | <u>0,6</u> 0,8 | <u>0,7</u> 0,9 | <u>0,8</u> 1,1 | <u>0,8</u> 1,1 | <u>0,8</u> 1,3 |

Примітка: у чисельнику – середні значення, у знаменнику – найбільші зафіксовані.

Оскільки брус № 0 розміщений у передньому вильоті, то важливим для цього перерізу є напрямком руху. Це підтверджується даними переміщень головок рамних рейок. При вході на стрілочний перевід з боку стрілки (протишерстний рух) середні величини горизонтальних переміщень не досягають і 1 мм, найбільші зафіксовані – 1,5 мм. У протилежному напрямку ці показники значно вищі – відповідно 2,3 мм і 3,1 мм для зовнішньої рамної рейки (вихід з

криволінійного гостряка) та 4,2 мм і 5,6 мм для внутрішньої.

Підкладка, яка лежить під зовнішньою рамною рейкою, має переміщення назовні до 1,1 мм за середніми величинами, а найбільші відхилення досягають 1,7 мм у разі руху в пошерстному напрямку. Чітко відслідковуються максимуми під час проходження коліс, хоча амплітуда горизонтальних переміщень, у порівнянні з переміщеннями головок рамних рейок, значно менша. Зі зміною напрямку руху величини зміщень підкладки не перевищують 0,9 мм.

Горизонтальних переміщень бруса № 0 практично немає. Брус лежить стабільно. Зусилля, а відповідно й горизонтальні деформації сприймаються й розподіляються рамними рейками та вузлами скріплень. Таким чином зусилля, що передаються на окремих брус, не перевищують сил його горизонтального опору (сил тертя бетону об баласт, опору плеча баластної призми) і не можуть змістити брус поперек колії.

Інша картина з горизонтальною стабільністю порожнистого бруса, який одночасно виконує роль опори та монтажної конструкції перевідного механізму. Його горизонтальні переміщення досягають у середньому 1,5 мм, а найбільші зафіксовані – 2,4 мм. Заміна двох брусів на таку конструкцію не створює відповідного горизонтального опору. Тертя металу об баласт менше, немає плеча баластної призми.

З переходом до з'єднувальної частини змінюється картина взаємодії – зникає значна різниця в показниках, що залежать від напрямку руху дослідного поїзда. Змінюються величини найбільших горизонтальних переміщень із зовнішньої на внутрішню головку рейок перевідної кривої. Горизонтальних переміщень брусів практично немає. Зміна швидкості руху дослідного поїзда від 5 до 50 км/год не веде до збільшення розглянутих показників. Таким чином, зменшення кількості підрейкових опор за рахунок збільшення відстаней між осями брусів у розглянутих зонах переводу не призвело до зниження горизонтальної стабільності конструкції. Винятком є порожнистий брус.

Його значні горизонтальні деформації доповнюються нестабільним положенням у вертикальній площині. Проведене порівняння вертикальних деформацій порожнистого бруса (датчики ПВБ6 і ПВБ5 під час руху по боковому напрямку, ПВБ2 і ПВБ1 – по прямому) з даними датчиків вертикальних прогинів рамних рейок, встановлених на відстані менше 1 м (див.

рис. 1), показує, що коли колісна пара перебуває в перерізі над приладами ПВ10 і ПВ11, прогини рейок менші ніж прогини бруса, коли колісна пара перебуває над коробом. Ще менші значення фіксуються датчиком вертикальних переміщень підкладки, яка розміщена на брусі № 0. Тобто, у місцях, де рамна рейка опирається на залізобетонні бруси, осідання менші.

Зафіксовано значні вертикальні переміщення порожнистого бруса, що розташований у зоні хрестовини. Його прогини більші під зовнішньою рейкою, яка навантажена, і зменшуються на протилежному його кінці. Під час руху дослідного поїзда по прямому напрямку переводу його вертикальні прогини перевищували 5 мм.

ВИСНОВКИ

1. Результати натурального випробування стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11 проекту Дн 300 на міцність свідчать, що показники його напружено-деформованого стану, одержані під час руху дослідного поїзда по прямому та боковому напрямках зі швидкостями до 160 км/год та до 50 км/год відповідно, не перевищують допустимих та рекомендованих величин при всіх реалізованих швидкостях, за винятком горизонтальних переміщень рейкових елементів під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку.

2. Максимальні ймовірні величини горизонтальних переміщень рейкових елементів, одержані під впливом коліс локомотивів та завантажених піввагонів, перевищують рекомендовані значення майже за всіх досліджених швидкостей. Зважаючи на те, що ця величина має статус «рекомендованої», а не «допустимої», причиною обмеження швидкостей руху поїздів по дослідному переводу вона бути не може.

Не виключено, що зменшення бокової жорсткості дослідного переводу, про що свідчать ці дані, призведе до зменшення інтенсивності горизонтального зносу рейок перевідної кривої та гостряка.

3. Вилучення горизонтальних упорок із конструкції рамних рейок дослідного переводу та заміна проміжного кріплення призвели до збільшення напружень у зовнішній кромці гостряка (під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку) на 21...43 % відносно величин, одержаних під час випробувань стрілочних переводів проектів 65109Ж-01 та 65111Ж [3, 4].

4. Наявність та розташування упорних накладок, що входять до конструкції рамних ре-

йок, суттєво впливають на напружено-деформований стан гостряка. Оптимальне їх розміщення дозволяє зменшити величини напружень, що виникають у ньому.

5. Вертикальні та горизонтальні переміщення металевих порожнистих брусів свідчать про їх нестабільне положення у вертикальній та горизонтальній площинах. Результатом їх застосування може стати збільшення витрат праці на утримання стрілочного переводу та зовнішніх замикачів. Порожністі бруси не слід використовувати як несучу конструкцію стрілочного переводу.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Тимчасова інструкція з організації швидкісного руху пасажирських поїздів. Вимоги до інфраструктури та рухомого складу. ВНД 32.1.07.000-02 [Текст]: затв.: Наказ Укрзалізниці 12.07.02. № 360-Ц. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2002. – 51 с.

2. Інструкція по устрою та утриманню колії залізниць України. ЦП-0050 [Текст]: затв.: Наказ Укрзалізниці 06.04.98. № 82-Ц. – К.: Транспорт України, 1999. – 248 с.
3. Орловський, А. М. Результати натурного випробування на міцність стрілочного переводу типу Р65 марки 1/9 проекту 65109Ж-01 [Текст] / А. М. Орловський, В. П. Гнатенко, К. В. Мойсеєнко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2009. – Вип. 31. – С. 144-152.
4. Гнатенко, В. П. Результати натурного випробування на міцність стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11 проекту 65111Ж [Текст] / В. П. Гнатенко, К. В. Мойсеєнко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2009. – Вип. 32. – С. 186-192.

Надійшла до редколегії 09.04.2010.
Прийнята до друку 20.04.2010.