

ЗАЯВА

Балзін Ілля Васильович

(ПІБ повністю)

ти 953

(шифр групи)

ті 273 спеціалізований транспорт

(код та назва спеціальності)

ограми

(назва освітньої програми)

ступеня підготовки магістр

(бакалавр, магістр)

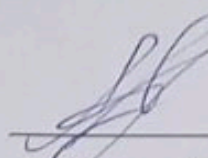
що моя випускна кваліфікаційна робота на тему
освітнього горизонтальної жор
рейко-шпальної решіткиостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення
та електронних джерел мають відповідні посилання.
ірити її наявність академічною плагіату.на з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних випускних
зачів вищої освіти на виявлення текстових та графічних
асобами перевірки на плагіат», згідно з яким виявлення плагіату
для відмови в допуску випускної кваліфікаційної роботи

Підпис

Підпис

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ**

Кафедра «Транспорту інфраструктура»

 «ДО ЗАХИСТУ»
Завідувач кафедри
О. Л. Тюткін

2021р. 12 «24»

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття ОС

«магістр»

Галузь знань 27 «Залізничний транспорт»

Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

ОП «Залізничні споруди та колійне господарство»

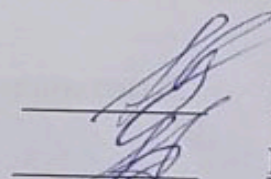


**Тема: «ДОСЛІДЖЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ ЖОРСТКОСТІ
РЕЙКО-ШПАЛЬНОЇ РЕШІТКИ»**

Study of the horizontal stiffness of the rail-sleepers lattice

Керівник дипломної роботи доцент

Нормоконтролер доцент

Виконавець, студент групи КГ1927

М. А. Арбузов

М. А. Арбузов

І. В. Балдін

Baldin Illya

Дніпро
2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра «Транспорту інфраструктура»

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

_____ О. Л. Тютюкін

2021р. _____ «____»

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття ОС

«магістр»

Галузь знань 27 «Залізничний транспорт»

Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

ОП «Залізничні споруди та колійне господарство»

**Тема: « ДОСЛІДЖЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ ЖОРСТКОСТІ
РЕЙКО-ШПАЛЬНОЇ РЕШІТКИ »**

Study of the horizontal stiffness of the rail-sleepers lattice

Керівник дипломної роботи доцент _____ М. А. Арбузов

Нормоконтролер доцент _____ М. А. Арбузов

Виконавець, студент групи КГ1927 _____ І. В. Балдін

Baldin Ilyya

Дніпро

2021

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Український державний університет науки і технологій
ННЦ ОБД кафедра Транспортна інфраструктура
Галузь 27 Транспорт
Спеціальність 273 Залізничний транспорт
ОП «Залізничні споруди та колійне господарство»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідувач кафедри
О. Л. Тютюкін
«___» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття ОС _____ магістр
(освітній ступінь)

студента групи КГ1927 Балдін Ілля Васильович
(номер групи) (ПІБ)

1 Тема дипломної роботи: «Дослідження горизонтальної жорсткості рейко-шпальної решітки»

затверджена наказом по університету від «24» 06 2021 р. №337 ст.

2 Термін подання студентом закінченої дипломної роботи 19.12.2021

3 Вихідні дані до дипломної роботи: проблематика залізниць України.

4 Зміст пояснювальної записки:

1. Особливості улаштування і роботи безстикової колії
2. Формування горизонтальних нерівностей
3. Горизонтальна жорсткість рейко-шпальної решітки
4. Розробка пристрою для збільшення горизонтальної жорсткості
5. Розробка методики використання розробленого пристрою

5 Демонстраційним матеріалом є слайди презентації.

6 Розділи та консультанти

| Розділ | Консультант | Підпис, дата | |
|--|--------------|----------------|------------------|
| | | Завдання видав | Завдання прийняв |
| Особливості улаштування і роботи безстикової колії | Арбузов М.А. | | |
| Формування горизонтальних нерівностей | Арбузов М.А. | | |
| Горизонтальна жорсткість рейко-шпальної решітки | Арбузов М.А. | | |
| Розробка пристрою для збільшення горизонтальної жорсткості | Арбузов М.А. | | |
| Розробка методики використання розробленого пристрою | Арбузов М.А. | | |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| Назва розділу дипломної роботи | Термін виконання | Обсяг розділу, % |
|--|---------------------|---------------------|
| Особливості улаштування і роботи безстикової колії | 26.10 | 30 |
| Формування горизонтальних нерівностей | 26.10 | 30 |
| Горизонтальна жорсткість рейко-шпальної решітки | 5.11 | 50 |
| Розробка пристрою для збільшення горизонтальної жорсткості | 17.11 | 60 |
| Розробка методики використання розробленого пристрою | 19.12 | 100 |

Дата видачі завдання: «23»10 2021 р.

Керівник дипломної роботи

(підпис)

М. А. Арбузов

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

І. В. Балдін

(ПІБ)

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту має 83 с., 47 рис., 9 табл.

Тема: Дослідження горизонтальної жорсткості рейко-шпальної решітки.

У магістерській роботі розглядаються умови роботи колії, що потребують підвищеної стійкості рейко-шпальної решітки, причини появи горизонтальних нерівностей. Розроблено пристрій для підвищення жорсткості рейко-шпальної решітки. Досліджено горизонтальну жорсткість рейко-шпальної решітки різних конструкцій.

Ключові слова: безстикова колія, горизонтальна нерівність, рейкошпальна решітка, жорсткість, діагональ.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ЗМІСТ

ВСТУП

1 ОСОБЛИВОСТІ УЛАШТУВАННЯ І РОБОТИ БЕЗСТИКОВОЇ КОЛІЇ

- 1.1 Конструкція безстикової колії
- 1.2 Особливості роботи безстикової колії
- 1.3 Параметри, що впливають на стійкість безстикової колії
- 1.4 Способи підвищення стійкості безстикової колії

2 ФОРМУВАННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ НЕРІВНОСТЕЙ

- 2.1 Види горизонтальних нерівностей
- 2.2 Оцінка горизонтальних нерівностей методом стріл
- 2.3 Способи боротьби з горизонтальними нерівностями колії

3 ГОРИЗОНТАЛЬНА ЖОРСТКІСТЬ РЕЙКО-ШПАЛЬНОЇ РЕШІТКИ

- 3.1 Фізичне поняття жорсткості балки
- 3.2. Дослідження горизонтальної жорсткості рейко-шпальної решітки
 - 3.2.1 Дослідження ВНДІЗТу
 - 3.2.2. Дослідження ДНУЗТу
 - 3.2.3 Проведення досліджень жорсткості рейко-шпальної решітки на ланкозбиральній базі

4 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ ЖОРСТКОСТІ

- 4.1 Горизонтально жорстка рейко-шпальна решітка
 - 4.1.1 V-подібні шпали
 - 4.1.2 Блочна підрейкова основа
- 4.2 Пристрій для збільшення горизонтальної жорсткості

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

4.3 Проведення досліджень жорсткості рейко-шпальної решітки з розробленим пристроєм на ланкозбиральній базі

5 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИКОРИСТАННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПРИСТРОЮ

5.1 Використання розробленого пристрою в прямих

5.2 Використання розробленого пристрою в кривих

ВИСНОВКИ

ЛІТЕРАТУРА

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ВСТУП

Українські залізниці являють собою могутню транспортну систему, тому на неї приходить більша кількість вантажів та пасажирів, що перевозяться. Колія повинна постійно забезпечувати безперебійний і безпечний рух поїздів із встановленими швидкостями та навантаженнями, які передаються від колісної пари на рейки.

Формування горизонтальних нерівностей та утворення хвилі вигину рейко-шпальної решітки при викиді плітей безстикової колії залежать від горизонтальної жорсткості. При високій жорсткості горизонтальні нерівності мають меншу амплітуду. Викид безстикової колії буде менш ймовірний при високій горизонтальній жорсткості рейко-шпальної решітки.

В даній роботі проведено дослідження жорсткості рейко-шпальної решітки різної конструкції, в різному технічному стані, та розроблено рекомендації для покращення стабільності колії.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 7 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1 ОСОБЛИВОСТІ УЛАШТУВАННЯ І РОБОТИ БЕЗСТИКОВОЇ КОЛІЇ

1.1 Конструкція безстикової колії

З 60-х років ХХ століття укладання безстикової колії набуло популярності в країнах Європи, а з 30-х – впроваджувалося на теренах СРСР завдяки інженерів Міщенко та Боченкова. До 80-х років довжина рейкових плітей верхньої будови колій становила 26% мережі, зараз частка безстикової колії сягає 80%.

Причина такої актуальності та затребуваності пояснюється просто: мінімізувати кількість стиків рейок та знизити навантаження на критичних ділянках. З цією метою виробники збільшували довжину рейок, але це негативно позначалося на показниках кінцевої продукції. Вперше представлена до уваги спеціалістів безстикова колія стала принципово іншим рішенням за рахунок особливої конструкції.

Міщенко та Боченков запропонували використовувати стандартні прокатні рейки по 25 м та зварювати їх між собою відразу на рейковоззварювальних підприємствах у нитки значної протяжності, які остаточно зварюватимуться на місцях укладання.

Сьогодні це робиться за допомогою машини ПРСМ – спеціальної колійної рейко-зварювальної колійної машини. При такій конструкції колії переміщуються тільки кінцеві ділянки (температурно-рухомі), що складає 60-80 м, тоді як середня частина не відчуває критичні напруження та деформації.

Сучасна конструкція безстикової колії виглядає так:

- пліть довжиною біля 800 м;
- зрівняльний проліт безстикової колії, що складається з 2-4 пар звичайних рейок по 12,5 м.

Далі цикл повторюється. Буває конструкція температурно-напруженого типу, а буває з сезонними розрядками.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 8 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

У звичайних умовах перша конструкція краще, тому що використовується при фактичному температурному режимі місцевості. При жарі, холоді, різких перепадах краще друга, із сезонним (осіннім та весняним) зняттям напружень.

Безстикова колія повинна мати такі конструктивні особливості:

- розміщується на прямих ділянках довжиною від 400 м та на кривих – радіусом від 350 м (у виняткових випадках – від 300 м);
- узбіччя земляного полотна має бути досить широким – мінімум 40 см;
- баластовий шар із щебеню – з фракціями 25-60 мм, товщиною 40 см;

зливна призма з шириною узбіччя 50 см, з крутизною відкосів 1:1,5.

1.2 Особливості роботи безстикової колії

Особливістю роботи безстикової колії є те, що рейкові пліті при підвищення або зниженні температури по відношенню до температури закріплення не можуть змінювати свою довжину, а тому в середній частині плітей виникають температурні сили, що можуть призвести влітку до викиду, а взимку до розриву стикових болтів.

Головний елемент безстикової колії — рейкова пліть — це рейки довжиною до 25 м, зварені між собою на рейкозварювальних підприємствах (РЗП) у довжину до 800 м, а потім на місці, при укладанні в колію, з'єднані одна з одною контактним зварюванням за допомогою пересувної рейкозварювальної машини (ПРЗМ). Максимальна довжина рейкової пліті не обмежена. Укладання коротких плітей, довжиною менше 800 м, небажана, оскільки такі пліті вимагають значно більших витрат на утримання. На колії з плітями довжиною менш 400 м витрати на поточне утримання перевищують витрати на утримання ланкової конструкції. На коротких плітях особливо важко утримувати рейкові скріплення через поздовжні температурні

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 9 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

переміщення на кінцевих ділянках. Ці переміщення в період експлуатації істотно змінюють напружено-деформований стан безстикової колії.

Безстикова колія, як і ланкова, не повинна піддаватися угону. Для цього проміжні скріплення повинні забезпечувати постійне притиснення рейки до шпали. Найбільше поширення на мережі вітчизняних залізниць на безстиковій колії із залізобетонними шпалами одержало скріплення типу КБ; відносно рідше використовуються скріплення типу КПП. У процесі експлуатації натяг болтів скріплення слабшає. При недостатній увазі до утримання скріплення (змащенню й підтягуванню болтів) відбувається ослаблення притискання рейки до шпали й починається угон, що приводить до дуже швидкого руйнування всієї конструкції верхньої будови колії через перекид і кантування шпал. Стиснуті ділянки в сумі з температурними силами можуть привести до розриву рейкової нитки; або до викиду рейкошпальної решітки. У зв'язку із цим запобігання й профілактика угону повинна бути пріоритетною метою утримання безстикової колії, тому що допустити угон легше, ніж потім його усунути. Рейкові пліті, якщо вони не зварені між собою, то з'єднуються при відсутності ізолюючих стиків двома або трьома парами рейок довжиною 12,5 м. Ізолюючий стик, що забезпечує опір розриву не менш 1,5 МН, розташовують у середині другої пари рейок. Високоміцний клеєболтовий ізолюючий стик, що має опір розриву не менш 2,5 МН, допускається вварювати у середину пліті (без зрівнювальних рейок). Пристрій зрівнювальних прольотів припускає досить часту (сезонну й епізодичну) необхідність перезакріплення рейкових пліть (так звана розрядка напружень). Практика показала, що при закріпленні плітей при досить високій температурі рейок (в оптимальному температурному інтервалі) ні періодичне, ні епізодичне перезакріплення, як правило, не потрібне.

На зрівнювальних прольотах у холодну пору року зазори в стиках максимально збільшуються, уже до середини або до кінця зими (січень, лютий). Зазори залежать від поздовжньої сили, тривалості її дії, якості закріплення плітей. При розкритті зазору взимку до небезпечної величини -

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 10 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

більше конструктивні (21 мм), щоб не допустити розриву стику, зрівнювальну рейку необхідно замінити на подовжену. Така додаткова робота створює потенційну небезпеку викиду колії навесні при підвищенні температури рейок, якщо вчасно не замінити цю подовжену рейку на нормальну. Щоб не робити такі роботи, при закріпленні рейкових пліть в оптимальному температурному інтервалі зазори варто встановлювати нульовими або близькими до них.

На безстиківій колії необхідно підтримувати нормальні розміри й стан баластової призми. Баласт повинен щільно прилягати до шпал, насамперед по їхній нижній постелі, що здійснюється за допомогою підбиття при виправленні колії. Щільне прилягання баласту забезпечує стабільне положення рейко-шпальної решітки в профілі, плані й у поздовжньому напрямку не менш чим на 80 %. Інші 20 % опору переміщенням у всіх трьох площинах забезпечує щебінь, що перебуває в шпальних ящиках, на плечі баластової призми й на її укосі.

Існує помилкове уявлення про те, що розмір плеча баластової призми безпосередньо впливає на опір зсуву шпал поперек осі колії. Плече необхідно, насамперед, для запобігання інтенсивного отрясування кінців шпал, що потім веде до осідань колійної решітки й значить до нещільного прилягання баласту до нижньої постелі шпал. По довжині шпал баласт варто підбивати й ущільнювати на всій довжині від кінців. Зайво щільне прилягання баласту до середини шпал веде до більш інтенсивного отрясання їхніх кінців, а потім і до поперечного зламу.

Залізобетонні шпали на відміну від дерев'яних мають максимальні прогини на кінцях (дерев'яні - у підрейковому перерізі). Ця особливість збільшує інтенсивність нагромадження залишкових деформацій у баласті. На залізобетонних шпалах динамічні сили, передані на баласт (особливо в стиках), також значно вище, ніж на дерев'яних. Ця обставина дозволяє залізобетонні шпали застосовувати тільки на безстиківій колії. Історично склалося так, що на вітчизняних залізницях ланкову колію застосовують на

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 11 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

дерев'яних шпалах, а безстикову на залізобетонних. Ланкова колія на залізобетонних шпалах застосовувати не можна, тому що на такій конструкції без чергового ремонту не вдається уникнути аварійного стану за період приблизно в 2 рази менший, чим на безстиковій колії.

Стан земляного полотна значно впливає на роботу верхньої будови колії. Думка про те, що при будь-яких хворобах земляного полотна потрібно відмовлятися від застосування безстикової колії, є помилкова. При виникненні на хворих ділянках осідань інтенсивність їхнього наростання при відсутності стиків буде менше.

На ділянках безстикової колії не повинно бути обмежень по показниках плану й профілю. Однак на кривих з малим радіусом, як і на ланковій колії, виникають проблеми, пов'язані з бічним зношуванням зовнішньої рейки й зсувом рельсошпальної решітки поперек осі під дією поздовжніх температурних сил у рейках і бічних силах від рухомого состава. У зв'язку із цим на кривих з малими радіусами рекомендується проведення техніко-економічного обґрунтування застосування безстикової колії, у якому варто врахувати необхідність у період між капітальними ремонтами проведення заміни зношених рейок по зовнішній нитці. Для зменшення інтенсивності бічного зношування зовнішньої нитки варто передбачити застосування рейок підвищеної зносостійкості і лубрикацію. Найбільш ефективна автоматична лубрикація гребенів коліс пристроями, змонтованими на локомотивах.

Безстикова колія може укладатися на мостах і в тунелях. На мостах залежно від довжини й конструкції прольотних будов і мостового полотна рейки по-різному кріпляться на шпалах, мостових брусах або плитах. У проектах враховується необхідність запобігання небажаних спільних дій температурних поздовжніх сил і переміщень у рейкових плітях і пролітних будовах. При використанні скріплень КД-65 або КБ-65 застосовують підрізані клеми, які не перешкоджають поздовжнім переміщенням рейок. Кінці рейкових плітей виводять за межі мосту на відстані від 50 до 100 м.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 12 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

У тунелях проблемою звичайно є необхідність попередження корозії рейок і скріплень, а на виході й вході в тунель - зниження підвищеної динаміки впливу рухомого складу через різку зміну пружності підрейкової основи.

При вживанні заходів по зниженню інтенсивності бічного зношування головки рейки дозволяється застосовувати пліті, зварені зі звичайних термозміцнених рейок.

Довжина зварених плітей, що укладаються, у колії встановлюється проектом залежно від місцевих умов (розташування стрілочних переводів, мостів, тунелів, кривих радіусом менш 350 м і т. д.) і повинна бути, як правило, рівній довжині блок-ділянки, але не менш 400 м. На ділянках з тональними рейковими колами, що не вимагають ізолюючих стиків, або без тональних рейкових кіл, що мають рейкові вставки, зварені з високоміцними ізолюючими стиками з опором розриву не менш 2,5 МН, допускається укладання плітей довжиною до перегону.

З моменту закріплення плітей при укладанні в колію повинно бути організовано постійний контроль за посиленням затягування гайок клемних і закладних болтів і за поздовжніми рухами (угоном) плітей. На наявність угону вказують сліди клем на підшві рейок, зсуву підкладок по шпалах, нещільне прилягання баласту до бічних граней шпал і їхній перекіс.

Контроль за угоном плітей здійснюється по зсувах контрольних перерізів рейкових плітей відносно «маячних» шпал. Ці перерізи відзначають поперечними смугами шириною 10 мм, що наносяться світлою незмивною фарбою на верх підшви й шийку рейки усередині колії в створі з бічною гранню підкладки скріплень КБ. У якості «маячної» вибирається шпала, розташована проти пікетного стовпчика, біля рейки пофарбована яскравою фарбою. Щоб шпала не зміщалася, вона повинна бути завжди добре підбита, закладні болти на ній затягнуті, типові клеми (на КБ) зняті або замінені клемами зі зменшеною висотою ніжок, а гумові прокладки замінені на прокладки з низьким коефіцієнтом тертя (поліетиленові або ін.).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 13 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1.3 Параметри, що впливають на стійкість безстикової колії

Забезпечення стійкості - одна з основних проблем улаштування й утримання безстикової колії. Звичайно розглядають кілька параметрів (причин), що впливають на стійкість безстикової колії. Перша причина полягає в тому, що перед колесом, що рухається, виникає зона, де рейка трохи піднімається в порівнянні зі своїм вихідним положенням. У цій зоні максимальний підйом рейки становить усього 4 % від прогину під колесом. Однак і при такому невеликому його піднятті зменшуються сили зчеплення шпал із щебеневою основою й зменшується опір колії переміщенню.

Друга причина - змінюється стійкість колії при її вібрації за і поперед поїздом, що рухається.

Третя причина - відбувається угон колії. При наявності надійного пружного зв'язку рейкових пліть із основою ці сили відносно невеликі. Однак якщо на довжині батога є ділянки, де погано закріплені клеми проміжних скріплень, при проході поїзда по них виникають місцеві рухи батога з утворенням на їхніх кінцях значних по величині додаткових сил стиску або розтягання. Складаючись із температурними поздовжніми силами, вони можуть викликати порушення стійкості колійної решітки. Втрата стійкості колійної решітки безстикової колії може відбутися як у горизонтальній, так і у вертикальній площинах [7].

Критичну поздовжню стискаючу силу, що викликає втрату стійкості колійної решітки, прагнули визначити як теоретично, так і експериментально. Відомі різні теоретичні підходи до визначення критичної сили, розроблені К.Н. Міщенко, С.П. Першиним, С.И. Морозовим, А.Я. Коганом і іншими вченими. В останні роки М.Ф. Вериго запропонований метод імітаційного моделювання стійкості безстикової колії. А.Я. Коганом розроблена методика розрахунку стійкості безстикової колії, що враховує взаємозв'язок критичної стискаючої сили в рейковій пліті із розмірами нерівностей у прямих і кривих ділянках колії. Експериментальні дослідження містять у собі як визначення окремих характеристик опору безстикової колії й

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 14 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

окремих його елементів викиду (сили опору шпал переміщенням і проміжним скріпленням повороту рейки, жорсткості колійних решіток та ін.), так і створення спеціальних ділянок колії - стендів, на яких відтворюються умови й вивчаються процеси, що супроводжують процес втрати стійкості безстикової колії [8, 9].

Найважливіше значення мали результати експериментальних досліджень, проведених в 60-х р. минулого століття під керівництвом Е.М. Бромберга на стенді ВНДІЗТа. Спостереження за скривленнями колійної решітки на стенді при нагріванні рейок дозволили з'ясувати, як протікає процес втрати стійкості. Було встановлено, що при існуючих співвідношеннях жорсткості колії в горизонтальній і вертикальній площинах процес втрати стійкості відбувається тільки в горизонтальній площині.

До деякого значення температури t_k поздовжня стискальна сила зростає до величини N_k , причому поперечні переміщення колійної решітки при цьому не відбуваються. При подальшому підвищенні температури з'являються переміщення нелінійно, що ростуть спочатку повільно, а потім при досягненні деякої температури t_{zk} - досить швидко. На кінцевій стадії переміщення здобувають динамічний характер, і відбувається викид колії.

Якщо нагрівання рейкових пліть припинялося в інтервалі температур рейок від t_k до t_{zk} і надалі вони остигали, то колія залишалася деформованою. При повторному нагріванні вже скривленої колії викид відбувався, коли значення температур були вже менше.

Е.М. Бромберг запропонував конструкцію й інтервали закріплення рейкових пліть безстикової колії вибирати таким чином, щоб запобігти настанню першого критичного стану - початку рухів колійної решітки [10].

Спостереження показали, що при втраті стійкості безстикової колії в кривих ділянках викид відбувається завжди назовні кривої. Спочатку виникає поперечне зрушення колійної решітки на невеликій по довжині ділянках (8-12 м). Безпосередньо перед викидом наружня рейкова пліть у кривій при щебеневому баласті в плані має відхилення від первісного

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 15 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

положення, рівні 15-25 мм.

Припустимо за умовами забезпечення стійкості безстикової колії підвищення температур рейок було визначено в ході експериментальних і теоретичних досліджень, на підставі яких у Технічних вказівках по улаштуванню, укладанню, ремонту і утриманню безстикової колії на залізницях України дані значення величин Δt_y для знову покладених або перекладених повторно з перебиранням колійної решітки рейкових плітей при різних конструкціях верхньої будови колії. Приведемо значення допустимого підвищення температур рейкових плітей безстикової колії з баластовим шаром із щебеню скельних порід (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 - Допустиме підвищення температури рейкових плітей безстикової колії з баластовим шаром із щебеню скельних порід

| Тип рейок | Еюра шпал, шт./км | Допустиме підвищення температури рейок, °С | | | | | | | |
|-----------|-------------------|--|----------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| | | у прямій ділянці, м | у кривих радіусом, м | | | | | | |
| | | | 2000 | 1200 | 1000 | 800 | 600 | 500 | 350 |
| Р65 | 2000 | 58 | 53 | 51 | 49 | 47 | 43 | 41 | 35 |
| | 1840 | 54 | 50 | 47 | 46 | 44 | 41 | 39 | 33 |
| | 1600 | 47 | 43 | 41 | 40 | 38 | 36 | 33 | - |

1.4 Способи підвищення стійкості безстикової колії

1.4.1 Анкери на торцях шпал

Для збільшення поперечної стійкості колії на всій протяжності кривих можуть встановлюватися поперечні анкери типу АШП-2 (рис. 1.1) відповідно до вимог ТВ «Анкери до шпал поперечні типу АШП». Такі конструкції можна використовувати в безстиковій колії, але на залізницях України безстикова колія влаштовується на залізобетонній підрейковій основі.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 16 |

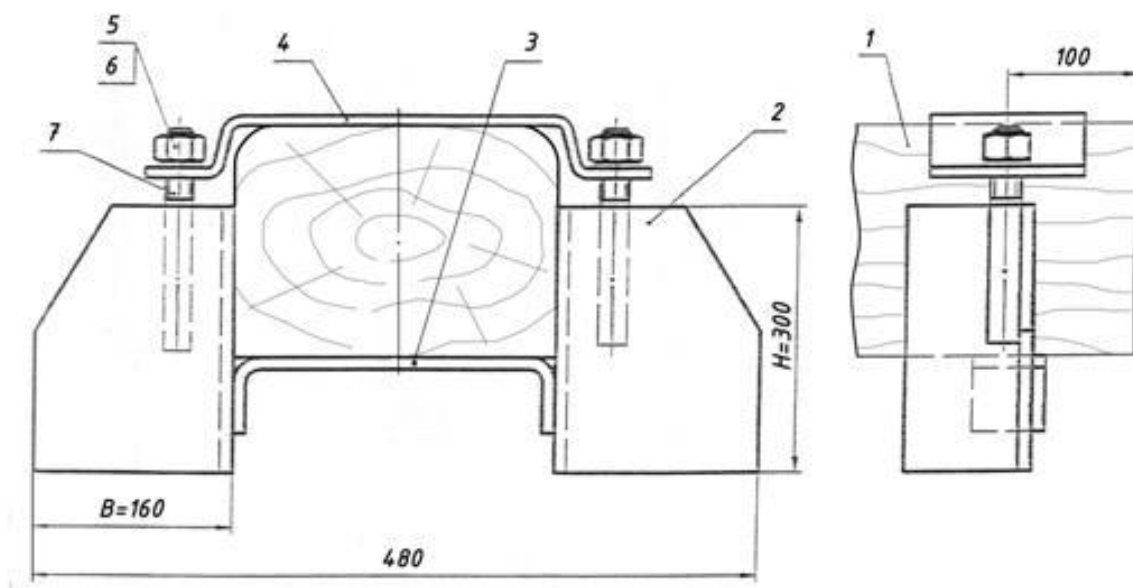


Рис. 1.1. Анкер до дерев'яних шпал поперечний виконання АШП-2:

1 – шпала; 2 – анкер; 3 – перемичка; 4 – притискач; 5 – гайка; 6 – шайба; 7 – болт

1.4.2 Анкери на постелі шпал

Анкери на постелі шпал відображено в патенті RU2536433C2.

Винахід відноситься до конструкції рейкових опор і може бути застосований в конструкції шпал, в основному залізобетонних, застосовуваних у верхній будові залізничної колії, переважно безстиковій.

Загальновідома конструкція суцільнобрускової попередньо напруженої, струнобетонної залізобетонної шпали, у якій нижня постіль плоска або у своїй середній частині вона має виїмку Назва «струнобетонна» означає застосування в рейкових опорах не тільки дровових арматур, але також і арматури стрижневого типу.

Залізобетонна шпала повинна мати високу надійність і довговічність. Строк її використання повинен становити 40-50 років. Основним дефектом, що обмежує строк експлуатації рейкових опор, є поява й розвиток тріщин у середній зоні, тому що саме верх центральної частини випробовує максимальні згинальні моменти.

Залізобетонні шпали мають змінний (по довжині) поперечний переріз із відносно малою жорсткістю в середній частині в порівнянні з підрейковими ділянками. Це дозволяє зменшити згинальні моменти в міжрейковій зоні шпал, саме яка й випробовує максимальні навантаження. Тому в 50-ті роки минулого століття для виключення найнебезпечнішого з варіантів контакту із щебенем, а саме обпирання шпали на баласт своєю середньою частиною, ця ділянка в конструкції рейкової опори спеціально підняли над поверхнею щебенів на 10 мм, зменшивши її висоту в цій зоні з 145 до 135 мм. Це дозволило уникнути або, принаймні, значно послабити напруження, що розтягують, зверху центральної зони залізобетонної шпали. Для зниження тиску на баласт ширина підшви шпал у торців була істотно збільшена - до 305 мм. У середній же частині цей параметр менше й дорівнює 255 мм. Максимальна висота в підрейковій зоні значно вище, ніж у центрі шпали, і становить 229 мм.

Другою важливою функцією рейкових опор є здатність чинити опір силам, що викликають відхилення колії від проектного положення. Тобто шпала повинна добре фіксуватися в баласті й мати значне зусилля зсуву. У протилежному випадку завжди є ймовірність угону й викиду рейкошпальної решітки. Це особливо стало важливим і необхідним після переходу на безстикovu конструкцію колії.

У цьому варіанті верхньої будови залізниці є дуже важливі особливості в поводженні рейкової пліти при підвищенні температури. Виникаючі в ній поздовжні сили можуть досягати 160 т. З урахуванням того, що шпальні решітки містять дві рейки, загальне, сумарне значення зусиль від їхнього нагрівання зростає до 320 тс.

Крім того, до цих поздовжніх стискальних сил може додатися й зусилля від екстреного гальмування поїзда величиною до 70 тс і бічна сила від колісних пар, що досягає на прямих ділянках колії значень 6 тс, а в кривих 16 тс.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 18 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Тому для забезпечення стійкості безстикової конструкції рейкошпальної решітки потрібно значне, принципове підвищення зусилля зсуву залізобетонних шпал у баластовій призмі верхньої будови колії.

Для рішення цієї проблеми відповідно до RU 2433218 С2 запропоновано виконати виступ висотою 28 мм у середній частині рейкової опори її нижньої постелі.

Зробимо оцінку ефективності цього технічного рішення. Якщо прийняти, що торець рейкової опори повністю засипаний щебенем, то ця мінімальна величина заглиблення складе 150 мм. Очевидно, що створення виступу збільшує площу поперечного перерізу тіла шпали. Тому в цій конструкції до зусилля зсуву баласту торцями рейкової опори необхідно додати й зусилля зсуву баласту за рахунок виступу. Його значення при рівних значеннях ширини зі шпалою визначається відношенням висоти виступу до стандартної величини заглиблення рейкової опори в баласт. Таким чином, очікуване збільшення зусилля поперечному зсуву колії шпалою з виступом 28 мм і заглиблення рейкової опори в баласт на 150 мм складе: $(28:150)/100=18,7\%$.

У книзі «Нові колійні машини», М., «Транспорт» 1984 р., стор. 192 за редакцією к.т.зв. Ю.П. Сирейщикова на стор. 192 наведена формула по зусиллю зсуву P_c рейкошпальної решітки. Відповідно до неї P_c збільшується у квадратичній залежності від величини заглиблення. Приймавши цю обставину, в остаточному підсумку одержимо, що для шпали, заглибленої на 150 мм і з виступом у середній частині 28 мм, збільшення зусилля поперечному зсуву може скласти лише $[(150+28):150]^2 \times 100\% - 100\% = 40\%$. Цього явно недостатньо для гарантованого виключення уgonу або викиду залізничної колії й неприпустимості виникнення аварійної ситуації.

Крім того, наявність виступу середньої частини рейкової опори вимагає при укладанні рейкошпальної решітки на баластову призму верхньої будови колії створення відповідного поглиблення, що відповідає по розмірах висоті й довжині виступу. Зробити це на щебені фракції 25-60 мм, зерна якого по

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 19 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

розмірах значно перевищують потрібну величину поглиблення в 28 мм на поверхні баластової призми, а тим більше й на криволінійній ділянці колії, украй важко. Це приведе й до подорожчання будівництва баластової призми. Крім того, наявність виступу визначає небажане й сприяє появі дефектів обпирання шпали на щебені своєю середньою частиною. Це означає істотне збільшення напружень, що розтягують, і підвищення ймовірності появи тріщин у верхній частині центральної зони рейкової опори й приведе до зниження її довговічності, надійності й зажадає значного посилення, подорожчання арматур, що сприймає згинаючі моменти, що значно збільшилися.

Іншою, близькою по конструкції рейковою опорою є залізобетонна шпала по SU1772284A1, що має виступ у підрейкових зонах. Приймаємо це технічне рішення за прототип.

Метою пропонованого винаходу є значне збільшення сили опору зсуву шпали в баласті й підвищення надійності й тріщиностійкості рейкової опори завдяки зниженню згинаючих зусиль у підрейковій зоні, а також і в середній частині.

Зазначена мета досягається тим, що виступ містить зубці. Це дозволяє значно збільшити ефективність шпали по її опорі переміщення в баласті верхньої будови колії й значно зменшити що розтягують кромкові напруження по підшві й верхній частині.

Осаджування, впровадження в баласт зубатої рейкової опори істотно полегшується.

На рис. 1.2 показана конструкція стандартної рейкової опори. При ремонтних роботах верхньої будови колії роблять поставу рейкошпальної решітки. Розглянемо цей процес при роботі колійних машин, наприклад, типу ВПР і Duomatic, що мають подбивочні блоки з вертикально розташованими підбійками. При робочому циклі відбувається їх заглиблення в баласт. Лопатки підбійок опускаються в щебені під нижню поверхню шпали й рухаючись до рейкової опори починають обжимати баласт. При

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 20 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

цьому підбиття відбувається тільки в ділянках, що прилягають до підрейкової зони підшви. Середина не підбивається. У протилежному випадку відбудеться небезпечне обпирання шпали на баласт центральною частиною, виникне максимальний згинальний момент і тоді неминучий поява тріщин у верхній середній частині рейкової опори. У цьому випадку найбільші напруження виникають тому, що плече дії сили P_1 і P_2 від колісної пари поїзда виходить максимально можливою й рівним $L=0,8$ м. L - відстань від поздовжньої осі залізничної колії до середини головки рейки. Сумарне значення $P_1+P_2=P$ визначається припустимим статичним навантаженням на колісну пару, її динамічної складової при русі, ударною дією повзунів колісних пар, рейкових стиків і становить близько 40 тс. Величезне зусилля й максимально можливе плече його дії визначає поява небезпечних напружень у конструкції залізобетонної шпали при її обпиранні на баласт своєю середньою частиною.

Необхідно відзначити, що й підрейкова зона шпали, у своїй середній частині, а саме по підшві, також має напруження розтягання. Пояснюється це тим, що лопатки підбійок колійних машин конструктивно не заходять усередину підрейкової зони, а можуть розташовуватися тільки праворуч і ліворуч від неї. Тому при підніманні колії й при обтиску баласту робочими органами подбивочного блоку щебінки переміщуються зі шпального ящика під підшву рейкової опори тільки в зоні розташування лопаток підбійок, тобто з торця до підрейкової зони й між підрейковою зоною й середньою частиною шпали. Наслідком піднімання колії (звичайно величина підйому 40-60 мм), локального розміщення підбійок і переміщення ними щебінок не під всю підшву шпали є те, що рейкова опора фактично опирається на чотири бугри 1...4. У підрейковій зоні і під середньою частиною рейкової опори утворюються западини 5...7, де баласту немає або його мало й він слабо ущільнений.

Причому поглиблення 5 і 7 розташовані симетрично щодо дії сил P_1 і P_2 . Очевидно, що навантаження на шпалу від колісних пар величиною до 40

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 21 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

те буде згинати рейкову опору долілиць, у зону западин 5 і 7. Саме в них спочатку й утворюються напруги, що розтягують. При проході вагонів, під дією поїзного навантаження бугри мнуть, рейкошпальної решітки осаджується й глибина западин зменшуються. Саме тому із часом западина 6 поступово заповнюється щебінками й виникає обпирання шпали своєю серединою на баласт. Від цього виникають максимальні згинальні моменти в її середній частині.

Для виключення небезпечних напружень у підрейковій зоні й у центрі рейкової опори нової конструкції (рис.1.3) призначені зубаті виступи 8, якими пропонована шпала відрізняється від загальновідомої, стандартної й від прийнятої за прототип. Завдяки їм незатікання, невлучення щебінок у підрейковій зоні при підбитті колії не відбивається негативно на шпалу, не приводить до появи згинальних моментів по підшві опори в підрейковій зоні й у верху її середньої частини. Пояснюється це тим, що шпала на баласт тепер опирається зубатими виступами 8, а западини 5 і 7 зникли, самоліквідувалися. Зубаті виступи 8 розташовані по центрі підрейкових зон і, отже, з навантаженням, з напрямком дії сил P_1 і P_2 від дії колісних пар. Тому що плече дії сил P_1 і P_2 стає рівним 0, той і згинальний моменти в підрейкових зонах зникають. У свою чергу, відсутність виступу в середній частині шпали при проведенні виправлення колії й підніманню, наприклад, на 50 мм і наявність зубатих виступів 8 приводить до появи зазору (появі збільшеної в порівнянні з рис. 1.2 западини 6 між баластом і цією зоною шпали. Тобто наявність поглиблення 6 означає відсутність обпирання центральної частини рейкової опори. Отже, немає й згинального моменту й у середній частині шпали.

Таким чином, введення зубатих виступів 8 на підшві, симетрично розташованих щодо осі дії сил P_1 і P_2 , симетрично щодо колісного навантаження, симетрично поперечній осі підрейкової ділянки, симетрично ложу для установки підшви рейки дозволяє теоретично повністю виключити появу небезпечних напружень у будь-якій зоні опори нової конструкції, а

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 22 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

практично допомагає значно їх зменшити, тим самим забезпечити високу надійність, довговічність і працездатність пропонованої шпали. На виступах розташовані зубці 9. Їхня оптимальна кількість 10 штук на шпалу.

Деякі варіанти виконання виступів, їхньої форми й зубців показані на рис.1.4 - рис.1.6.

Можна використовувати проповану зміну конструкції не тільки при виготовленні рейкових опор, але, і це особливо важливо, для модернізації шпал, що були у вживанні. При цьому можливо самозаліковування безпечних дрібних тріщин у тілі старопридатної шпали при заливанні її нижньої постелі високоміцним бетоном для одержання створюваних виступів. Потрібно відзначити, що є рішення, що дозволяють при необхідності створити й попередні напруження в цементному шарі, що додається.

Відомо, що строк служби залізобетонних рейкових опор становить 40-50 років. Капітальний ремонт шпальних решіток (із заміною рейок) роблять через 18-25 років. При цьому одночасно із заміною рейок доводиться замінити й рейкові опори, які виробили свій ресурс усього на 50%. Винахід дозволяє модернізувати демонтовані при капітальному ремонті колії шпали з метою додання їм підвищеної стійкості за рахунок збільшення зусилля зсуву в баласті в 3-5 разів і «заліковування» наявних дефектів у вигляді дрібних тріщин.

Доцільно використовувати пропоноване технічне рішення разом з винаходом RU 2378444 C2, що припускає примусове осаджування колії вертикальною силою 35-100 тс під час робочого циклу постави. Це дозволить повністю вдавити виступи на підшві 10 шпали в баласт 11 верхньої будови залізничної колії, виключити появу западин 5 і 7 і гарантовано забезпечити таке додаткове ущільнення щебенів, що здатно витримати максимальне поїзне навантаження.

Тому проектне положення рейок зберігається, теоретично, незмінним поза залежністю від пропущеного тоннажу. Пояснюється це тим, що, щебені

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 23 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

при поставі колійною машиною, що працює за принципом RU 2378444 С2, стислий під виступом і під підшовою шпали (за винятком середньої частини) з такою силою, що здатно без осідання сприймати максимально можливе навантаження від колісної пари поїзда рівну 40 тс. Це означає досягнення ідеальної якості ущільнення баласту залізничної колії. Тому осідання рейок долілиць від проектного положення не відбувається при будь-якому пропущеному тоннажі. Треба відзначити, досягнення цього ефекту відбувається по RU 2378444 С2 без зниження продуктивності колійної машини, при роботі її в штатному режимі. Таким чином, відпадає необхідність використання динамічного стабілізатора колії (ДСП).

Але відомо, що ДСП забезпечує ущільнення баласту всього на 20-30% і при цьому знижується точність установки рейок у проектне положення, виконане перед роботою ДСП виправно-підбивочно-рихтувальною машиною.

Наукові дослідження показали, що деяке підвищення стабілізації баласту при роботі ДСП пояснюється підвищенням площі обпирання шпали, тому що при її вібрації відбувається розрівнювання бугрів 1...4. Додаткового ж ущільнення й стиску щебінок верхньої будови колії практично не відбувається.

Застосування нового технічного рішення дозволяє значно збільшити зусилля фіксації шпал у баластовій призмі, робити ефективна протидія стискальним температурним силам, виключити можливість викиду й угону колії, організувати безаварійний рух поїздів на високошвидкісних магістралях, повторно використовувати старопридатні шпали після їхньої доробки не тільки на малодіяльних, але й на головних залізничних коліях.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 24 |

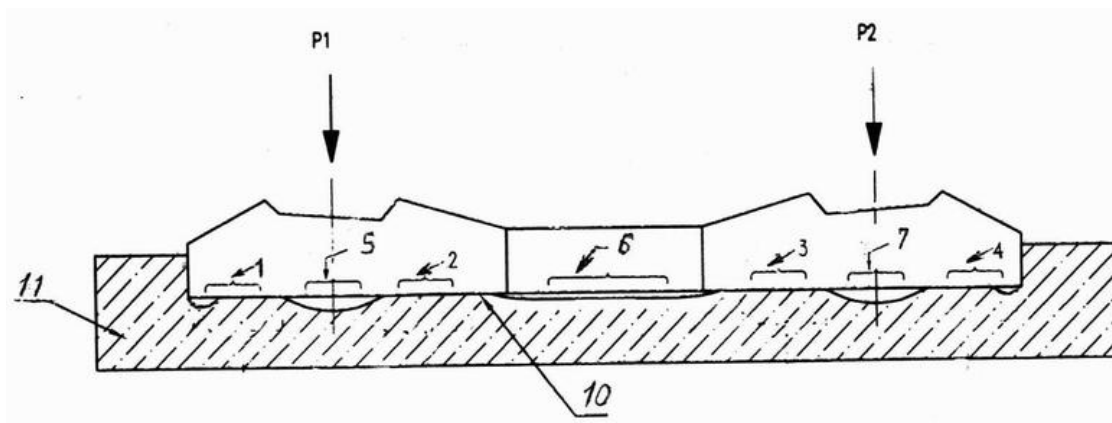


Рис. 1.2. Конструкція стандартної рейкової опори

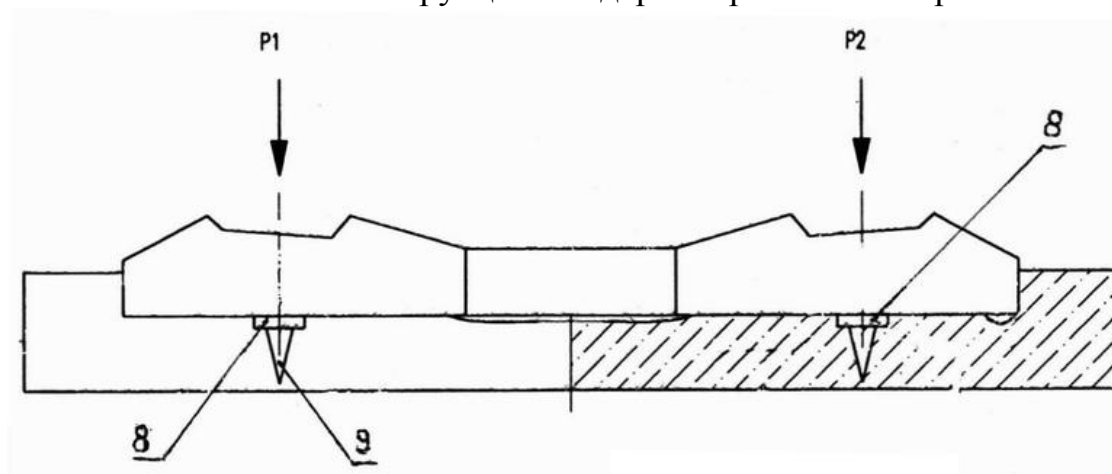


Рис. 1.3. Конструкція рейкової опори із зубатими виступами

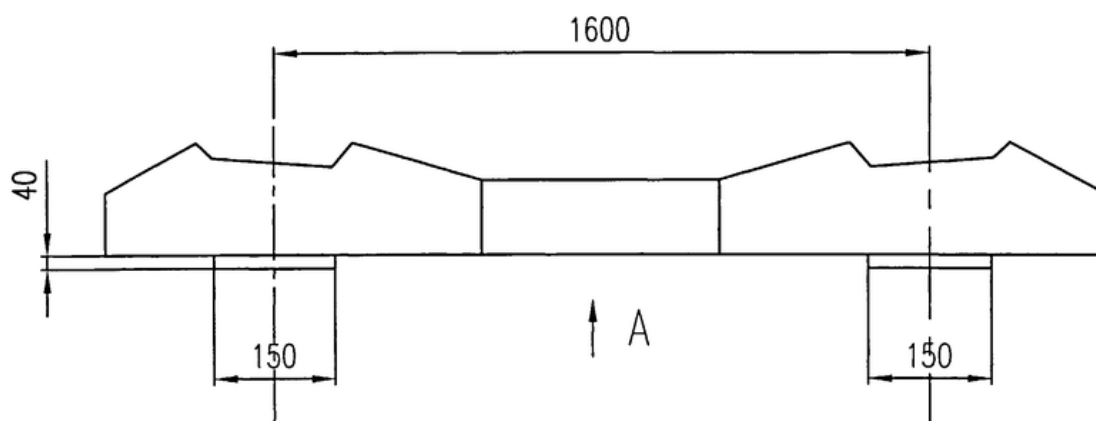


Рис. 1.4. Конструкція рейкової опори із зубатими виступами

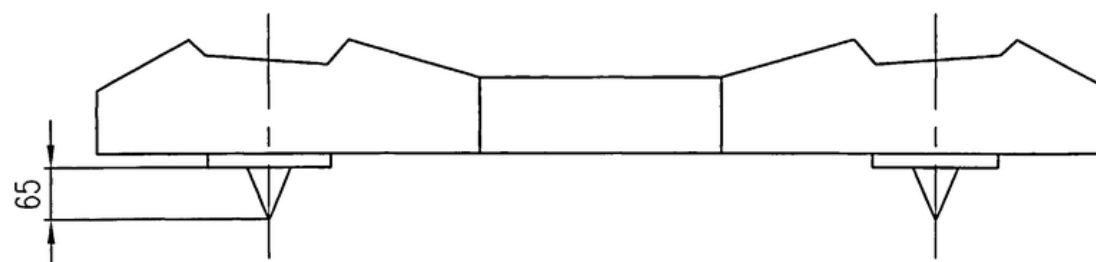


Рис. 1.5. Конструкція рейкової опори із зубатими виступами

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

0053.196506.ДП.2021.001

Арк.

25

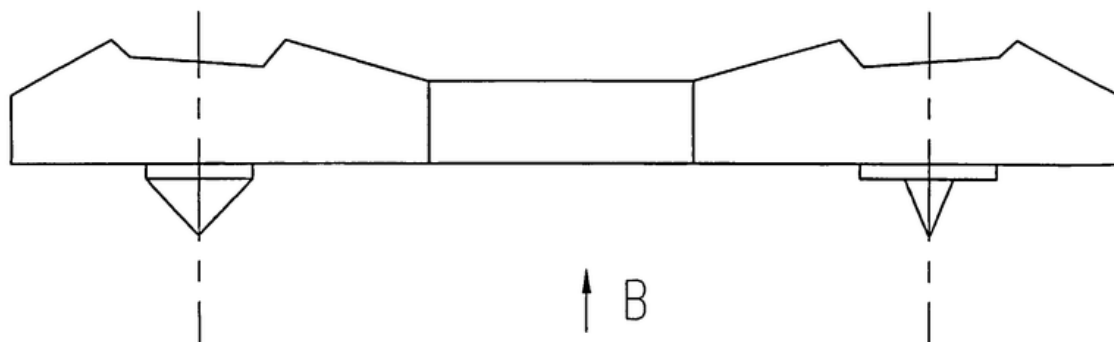


Рис. 1.6. Конструкція рейкової опори із зубатими виступами

1.4.3 Збільшення ваги шпал

Сумарний опір зсуву шпали в баласті складається з сили тертя та сили зчеплення шпали з баластом. На сили зчеплення залежать від форми постелі шпали, про що було розглянуто вище. Сили тертя залежать від маси шпали.

Збільшення ваги шпали викликає збільшення опору зсуву. Так була розроблена і виготовлена спеціальна шпала ШСТ-1 зі збільшеною вагою. Вона відрізняється збільшеною масою на 33% відносно шпали Ш1 [5]. Дослідження показали, що опір зсуву шпали ШСТ-1 в порівнянні з опором зсуву шпали Ш1 збільшився на 25% [5].

1.4.4 Присипка шпал щебенем

Конструкція баластної призми може бути:

одношарова — споруджується з піску, галечно-гравійно-піщаної суміші;

двошарова — складається з піщаної або піщано-гравійної подушки, на яку укладається щебеновий баласт;

Одношарова баластова призма використовується на станційних коліях і коліях з малою вантажонапруженістю, двошарова - на лініях будь-якої вантажонапруженості. Піщана подушка дозволяє заощаджувати більше дорогі баластові матеріали, запобігає засміченню щебенів ґрунтом земляного полотна, охороняє ґрунт від розрідження й від пересихання й розтріскування. При спорудженні земляного полотна зі скельних, великоблочних і піщаних ґрунтів піщана подушка не потрібно.

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

0053.196506.ДП.2021.001

Арк.

26

Для створення при експлуатації колії запасу по висоті баластового шару на його осідання й підвищення надійності захисту основної площадки земляного полотна від залишкових деформацій доцільно мати тим більшу товщину баластового шару, чим більше вантажонапруженість ділянки, на якому цей шар укладається. З підвищенням вантажонапруженості доцільно також збільшувати ширину баластової призми за рахунок присипки баласту за торцями шпал (збільшення плеча баластової призми).

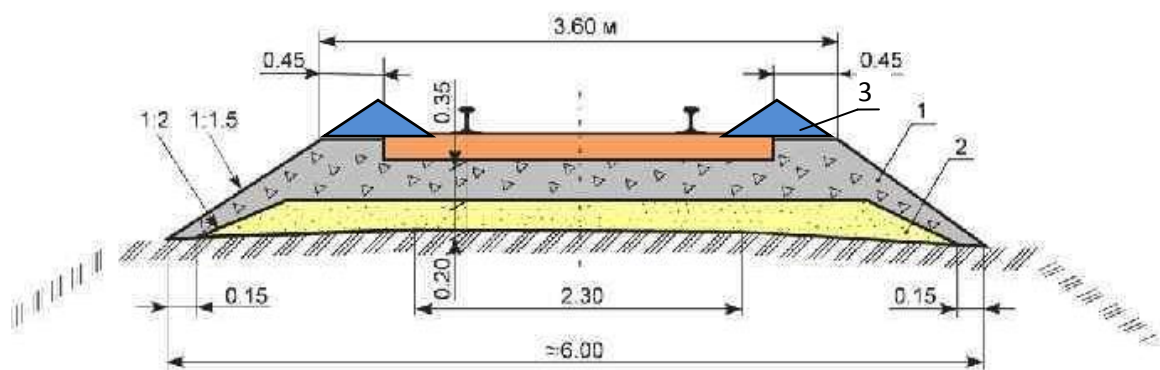


Рис. 1.7. Поперечний профіль баластної призми

1 - щебневий шар, 2 - піщана подушка, 3 – присипка щебенем шпал

На рис. 1.7 показано поперечний профіль баластної призми з присипкою кінців шпал. Така присипка збільшує тиск шпали на баласт, але значного збільшення сил опору не спостерігається, тому такий спосіб широкого розповсюдження не отримав.

1.4.5 Склеювання баласту

Винахід №0002583112 від 10.05.2016 пропонує склеювання баласту.

Винахід відноситься до залізничного транспорту, а саме до способу укріплення баластової призми залізничної колії, і може знайти застосування при колійних роботах, пов'язаних з укріпленням баластової призми на ділянках залізничної колії в кривих малих радіусів, на ділянках виконання колійних робіт із глибокою вирізкою баласту й на споруджуваних або реконструйованих ділянках залізничних магістралей.

Відомий спосіб укріплення баластової призми залізничної колії, що включає відсіпку щебенів з утворенням насипу у вигляді призми й введення в неї сполучного, перед введенням якого здійснюють внесення у верхній шар насипу дрібнозернистого матеріалу в кількості 1, 5-7,0% від ваги оброблюваних щебенів (див. SU 887723 А, опубл. 07.12.1981).

Особливістю відомого способу є введення в поверхневий шар щебенів сполучного, у якості якого використовують відходи нафтопереробки, целюлозно-паперової промисловості й компоненти на основі латексів. Після укладання рейко-шпальної решітки засипають щебінь з його підбиттям, потім після обкатування колії здійснюють розподіл по поверхні щебеневого насипу-призми дрібнозернистого матеріалу із введенням його, за допомогою шнекового устаткування, на глибину до 7 см. Розлив суміші на поверхню щебеню здійснюється за допомогою поливального агрегату. Відомий спосіб дозволяє при повторній перекладці колії використовувати значну частину щебеню, раніше покладеного в насип-призму.

Недоліком відомого способу є те, що укріплена зазначеним образом баластова призма має порівняно низькі експлуатаційні характеристики й властивості, що амортизують, її поверхневий шар має недостатню утримуючу здатність від горизонтального зсуву шпал, що особливо актуально на ділянках руху високошвидкісних поїздів, великовагових і довгосоставних поїздів і перспективних вагонів з навантаженнями більше 23,5 т/вісь.

Найбільш близьким технічним рішенням до запропонованого є спосіб укріплення баластової призми залізничної колії, що включає формування й просочення верхнього щебеневого шару рідкою полімерною сполукою. Особливість даною способу полягає в тому, що здійснюють відсіпку з баластової призми частини щебеневого шару, формують із боку діючої частини колії технологічний укіс висотою Н, у верхні шари укусу й ділянки, що примикають до нього, баластової призми шириною Н/2 уводять рідку полімерну сполуку й формують каркасну структуру щебеневого шару на

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 28 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

глибини 7-14 см за рахунок склеювання зерен щебеню у точках їхнього зіткнення, потім оброблений щебеневий шар витримують в умовах відсутності краплинної рідини й вібрації напротязі 1-4 годин для твердіння (патент №2469145, опубл. 10.12.2012).

Для даного способу укріплення поверхневої частини щебеневого шару баластової призми доцільно використовувати щебінь із щільних гірських порід з номінальним розміром зерен 25-60 мм, у якості сполуки - поліуретановий еластомірний матеріал щільністю 1,09 г/см³, а для захисту обробленого щебеневого шару від дощу на період твердіння сполуки його закривають будь-яким водонепроникним матеріалом.

Недоліком даного способу укріплення баластової призми залізничної колії є низька утримуюча здатність укріпленого з поверхні щебеневого шару. Таким чином, у зазначені періоди не забезпечується підтримка необхідних експлуатаційних характеристик колії й необхідна безпека руху поїздів.

При відсутності інших додаткових засобів укріплення баластової призми можливе зниження поздовжньої й поперечної стійкості експлуатованої ділянки колії під впливом навантажень від руху поїздів і температурних сил, що виникають у рейках у ремонтний і післяремонтний періоди. Додаткове укріплення ділянок колії в кривих і технологічних укосів межколіійної зони баластової призми в зазначених випадках практично здійснюють за допомогою шпунта або щитової опалубки, укріпленої за допомогою сталевих арматур, заглиблених у баластну призму, що збільшує питомі витрати на проведення зазначених робіт.

Зазначений технічний результат досягається за рахунок того, що в способі укріплення баластової призми залізничної колії, що включає формування й просочення верхнього щебеневого шару рідким полімерним сполученням з утворенням каркасної структури, відповідно до винаходу, у верхньому щебеновому шарі баластової призми в зоні плеча, укосу або міжпутної ділянки на відстані від краю рейко-шпальної решітки формують, принаймні, одну канавчату виробку, на дно якої подають рідке полімерне

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 29 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

сполучення, виконане з можливістю вспінювання, потім відновлюють профіль баластової призми до початку вспінювання полімерної сполуки й формують усередині щебеневого шару каркасну структуру у вигляді протяжного елемента жорсткості баластової призми за рахунок утворення композита, після чого оброблена ділянка баластової призми витримується при додатній температурі в умовах відсутності експлуатаційних навантажень протягом 1-4 годин для твердіння.

Крім того, для верхнього щебеневого шару баластової призми в зоні плеча, укусу або междупутної ділянки в якості рідкого полімерного сполучення можна застосовувати поліуретанову піну, причому канавчатую виробку в щебеновому шарі можна формувати на глибину 10-45 см на відстані 5-25 см від краю рейко-шпальної решітки в зоні укріплення баластової призми, а витрату полімерного сполучення розраховують таким чином, щоб площа поперечного перерізу утвореної каркасної структури композита становила не менш 450 см².

Для підвищення ефективності й оптимізації запропонованого способу укріплення баластової призми залізничної колії доцільно використовувати в якості сполучну поліуретанову піну. Отримана структура не затримує на поверхні вологу. При цьому еластичні властивості каркасної пористої структури дозволяють зберігати щебеновий шар укусу й ділянок, що примикають до нього, баластової призми від розриву при різних кліматичних впливах зовнішнього середовища, а також підвищити утримуючу здатність щебеню на ділянках з високошвидкісним рухом поїздів у ремонтний і післяремонтний періоди.

Відповідно до запропонованого технічного рішення полімерне сполучне необхідно вводити в щебеновий шар для укріплення плеча й укусу баластової призми в кривих ділянках колії радіусом менш 350 м з боку зовнішньої рейкової нитки на глибину 20-35 см, а для закріплення щебеневого шару в міжколійя - на глибину до 45 см. Після схоплювання й утворення композита він повинен відповідати екологічним нормативам.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 30 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Сформований у щебеневому шарі композит не повинен зменшувати стабільність баластової призми як у період проведення колійних робіт, так і в процесі подальшої експлуатації. При глибокій вирізці баласту композит повинен мати таку міцність, щоб під дією поїзного навантаження не відбувалося зниження внутрішньої рейкової нитки суміжної колії й не відбувалося обвалення закріпленого плеча баластової призми.

При розробці проектів укріплення баластової призми залізничної колії по запропонованому способі із застосуванням полімерного сполучення, виконаного з можливістю вспинювання. Технологічні операції по запропонованому способі укріплення баластової призми можуть бути виконані як без перерви в русі поїздів вручну з використанням поливальних засобів, так і із застосуванням спеціалізованих машин і встаткування в окремі «вікна» тривалістю 2-4 години. Роботи з омонолічування плеча й укусу баластової призми виконують після закінчення ремонтних колійних робіт. Роботи із закріплення міжколійя повинні бути виконані до колійних робіт, пов'язаних із глибокою вирізкою баласту. Подачу сполучення в баластову призму можна робити при температурі щебеню вище +5°C.

Поліуретанова сполука ПОЛІШАР 100 призначена для укріплення насипних структур із щебеню і гравію (укосів, садових доріжок, «альпійських гірок», відсипок під фундаменти і дороги, в тому числі залізничні).

1.4.6. Зв'язування баласту

Зв'язування баласту виконується для підвищення поперечної стійкості рейко-шпальної решітки в баласті.

Винахід відноситься до верхньої будови колії, а саме до засобів укріплення рейко-шпальної решітки в баласті. Пристрій для підвищення поперечної стійкості рейкошпальної решітки в баласті містить баластову призму й утримуючу конструкцію у вигляді анкера. Утримуюча конструкція

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 31 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

містить геосітку, що складається з вертикальної й горизонтальної площин, з'єднаних між собою під кутом 90 градусів. Вертикальна площина розташована паралельно осі залізничної колії з його зовнішньої сторони. Горизонтальна площина розташована на основній площадці земляного полотна. На вертикальній поверхні геосітки рівномірно по довжині розміщені стрижні зі склопластику, закріплені на ній за допомогою петель, виконаних способом ультразвукового точкового зварювання. Досягається спрощення утримуючої конструкції й виключення корозійних елементів.

Пристрій для підвищення поперечної стійкості рейкошпальної решітки в баласті включає геосітку з розміром від 40×40 до 70×70 мм, що складається з вертикальної й горизонтальної площин, з'єднаних між собою під кутом 90 градусів, причому вертикальна площина висотою 0,4-0,65 м розташована паралельно осі залізничної колії з його зовнішньої сторони, верхній її край збігається з поверхнею баластової призми, а горизонтальна площина шириною 0,1-0,2 м розташована на основній площадці земляного полотна, причому на вертикальній поверхні геосітки рівномірно по довжині розміщені стрижні зі склопластику діаметром 10-20 мм і висотою 0,4-0,65 м, які закріплені на ній за допомогою петель, виконаних способом ультразвукового точкового зварювання.

Відомий пристрій для посилення конструкції залізобетонних шпал, що підвищує опір поперечному зсуву їх у баласті (Альбрехт В.Г., Виноградов Н.П., Зверев Н.Б. і ін. Безстикова колія. / Під ред. Альбрехта В.Г., Когана А.Я. - М.: Транспорт, 2000. - С. 289-295), що включає анкер, фартух, клин (дерев'яну втулку із шурупом). Недоліком даної конструкції є порушення цілісності залізобетонних шпал, що знижує строк їхньої служби, неможливість підбиття залізничної колії високопродуктивними машинами безперервної дії.

Відомий спосіб укріплення баластової призми залізничної колії (2469145, МПК E01Y 1/00, E01Y 27/02, О.А. Мічурін, А.В. Федоров, А.В. Хрулев, Я.И. Шаула. Спосіб укріплення баластової призми залізничної колії.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 32 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- Оpubл. 10.12.2012), що включає використання рідкого полімерного сполучні для обробки щебеневого шару на глибину 7-14 см, що витримують без вологи й механічного впливу й використовують щебені із щільних порід.

Недоліком даного способу є те, що отримана каркасна структура має товщину 7-14 см, що дорівнює стандартному заглибленню шпал у баласті, і не забезпечує підвищення поперечної стійкості рейкошпальної решітки .

Найбільш близьким по технічній сутності до пропонованого пристрою є пристрій для підвищення поперечної стійкості рельсошпальної грати в баласті (RU 2339756, МПК E01Y 1/00, E01Y 3/00, E01Y 3/08. Ю.М. Кравченко, Г.Л. Акерман, С.А Павлов, С.А. Рубльов. Пристрій для підвищення поперечної стійкості рельсошпальної грати в баласті (варіанти).

- Оpubл. 27.11.2008), що включає баластову призму й анкери для рельсошпальної грати з дерев'яними й залізобетонними шпалами.

Недоліком зазначеного пристрою є складність конструкції анкерів, висока вартість металевих елементів і їхня схильність корозії.

Метою винаходу є спрощення утримуючої конструкції, виключення корозійних елементів, зниження експлуатаційних витрат.

Зазначена мета досягається тим, що використовують геосітку зі склопластиковими стрижнями, розміщену по всій висоті тіла баластової призми, паралельно осі залізничної колії.

На рис. 1.8 представлена схема верхньої будови залізничної колії, що включає баластову призму 1 з укосом 3, плечем 2, з розміщеною в ній рейкошпальною решіткою 4 і утримуючою конструкцією 5.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 33 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

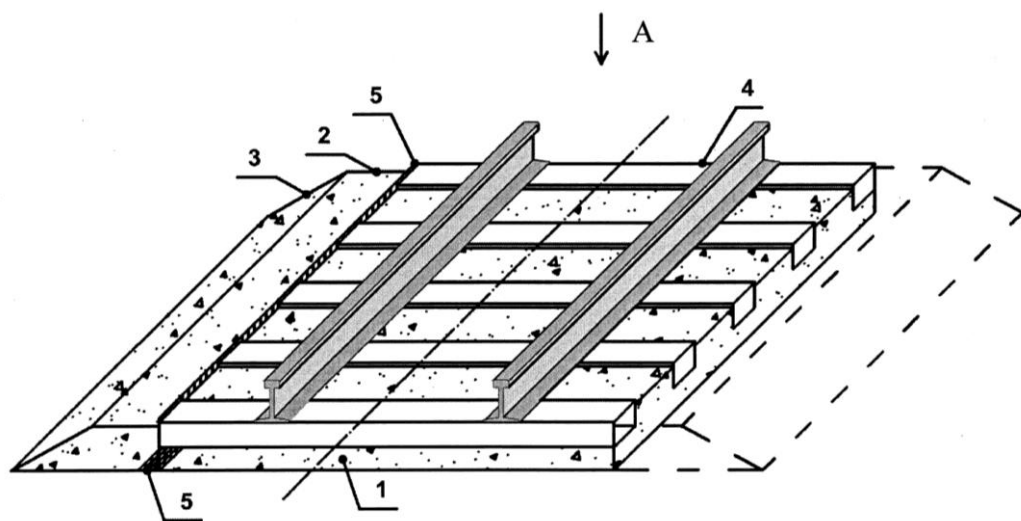


Рис. 1.8. Схема зв'язування баласту

На рис. 1.9 зображена схема утримуючої конструкції 5 (рис.1.8), що включає геосітку 6 з розміром ячеек від 40×40 до 70×70 мм, що складається з вертикальної площини 7 і розташованої під кутом 90 градусів до неї горизонтальної площини 8, із закріпленими на вертикальній площині 7 рівномірно по її довжині склопластиковими стрижнями 9 діаметром 10-20 мм, висотою 0,4-0,65 м, рівній висоті геосітки 6 і товщині баластної призми 1, причому на вертикальній площині 7 по її висоті розташовані петлі 10, виконані способом ультразвукового точкового зварювання.

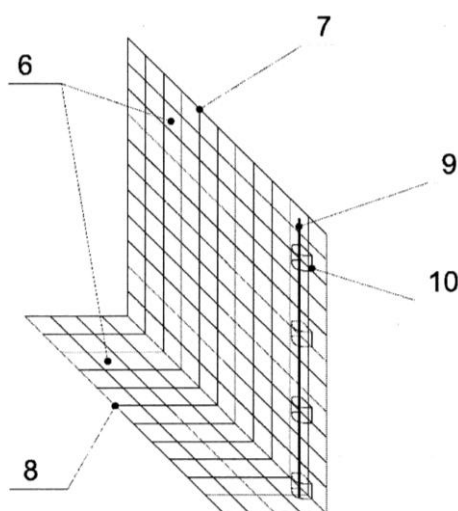


Рис. 1.9. Схема утримуючої конструкції

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

0053.196506.ДП.2021.001

Арк.

34

На рис.1.10 представлена схема розміщення утримуючої конструкції 5 у баластовій призмі 1, що складається з геосітки 6, із закріпленими на ній склопластиковими стрижнями 9.

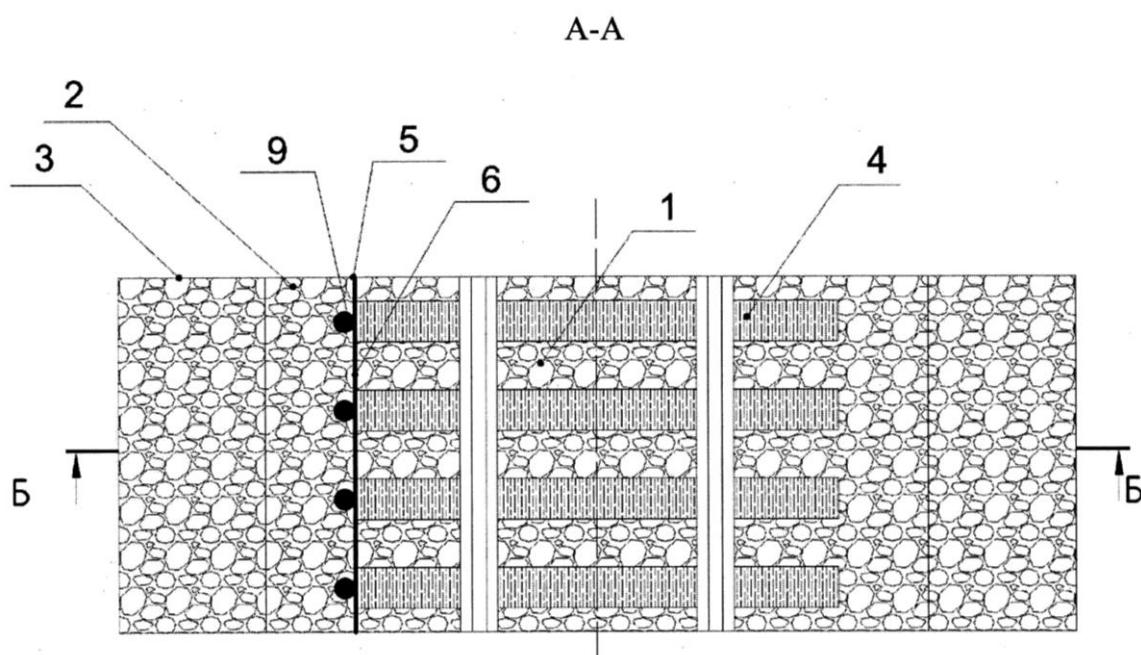


Рис. 1.10. Схема розміщення утримуючої конструкції

На рис. 1.11 зображена схема розташування утримуючої конструкції 5 у баластовій призмі 1 у робочому положенні, тобто паралельно осі залізничної колії.

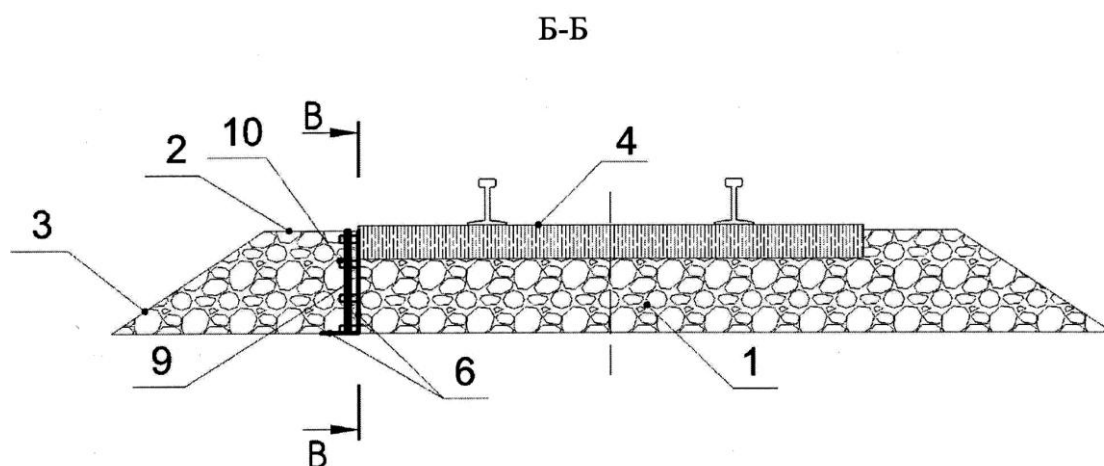


Рис. 1.11. Схема розташування утримуючої конструкції у робочому положенні

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

0053.196506.ДП.2021.001

Арк.

35

На рис. 1.12 представлена схема розташування геосітки 6 зі склопластиковими стрижнями 9 у баластовій призмі 1, закріпленими в петлях 10, перпендикулярно щодо торців шпал 11 рейко-шпальної решітки 4.

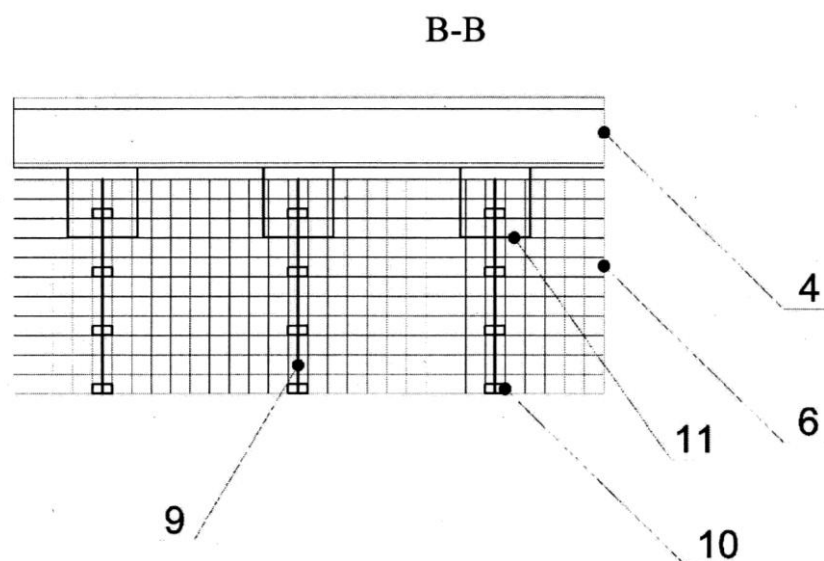


Рис. 1.12. Схема розташування геосітки

Пропонований пристрій працює в такий спосіб.

При русі рухомого складу на рейко-шпальну решітку залізничної колії впливають горизонтальні бічні сили динамічного характеру, які прагнуть змінити геометрію планового положення рейко-шпальної решітки, зрушуючи баласт у торці шпал 11.

Утримуюча конструкція 5 пропонованого пристрою перешкоджає зсуву баласту в зоні плеча 2 баластової призми 1, за рахунок перерозподілу горизонтальних бічних сил, що впливають на рейко-шпальну решітку 4. Виникаючі горизонтальні бічні сили спочатку діють на рейки, потім навантаження передається на шпали 11, заглиблені в баласт на 14-15 см, а від шпал 11 - на матеріал баласту. Через те, що частки баласту втримуються тільки за рахунок первинного ущільнення й сил тертя між ними, вони можуть зміщатися убік укусу 3 баластової призми 1.

Таким чином, використання в утримуючій конструкції як основні елементи промислово вироблених матеріалів - геосітки й стрижнів зі склопластику - не вимагає спеціального складного й дорогого устаткування

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 36 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

при її виготовленні, а відсутність металевих елементів виключає можливість корозії. Крім того, що втримує конструкція повністю розміщена в тілі баластової призми, що не перешкоджає використанню високопродуктивних машин безперервної дії для підбиття залізничної колії й виключенню ручної праці.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 37 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2 ФОРМУВАННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ НЕРІВНОСТЕЙ

2.1 Види горизонтальних нерівностей

Заходи щодо поточного утримання верхньої будови колії спрямовані на створення кращих умов взаємодії колії й рухомого складу. Нерівності колії, що викликають вертикальні й горизонтальні поштовхи, значно збільшують сили впливу рухомого складу на колію й тим самим прискорюють процес нагромадження залишкових деформацій. Звідси випливає необхідність систематичних робіт з виправки напрямку колії в плані й у поздовжньому профілі.

Виправлення колії в плані (рихтування) завжди робиться по одній рейковій нитці, що називається рихтувальною. У кривих ділянках колії рихтувальною ниткою є упорна (зовнішня) нитка. На прямих ділянках колії одноколійні лінії за рихтувальну звичайно приймають праву нитку по рахунку кілометрів, якщо обидві нитки покладені в одному рівні, або занижену нитку, якщо інша покладена з підвищенням на 4 мм. На двоколійних ділянках у прямих рихтувальними служать межпутні нитки як більш стійкі.

Положення іншої рейкової нитки визначається шириною колії по шаблоні й виправляється перешивкою колії, де це потрібно.

Колію рихтують після кожної роботи, пов'язаної з порушенням положення рейкових ниток, протягом ділянки робіт, а також на всьому протязі не рідше двох разів у рік (навесні й восени).

Плавність положення рейкових ниток у поздовжньому профілі підтримується щільним підбиттям шпал і брусів з підніманням їх разом з рейками на необхідну висоту, де це потрібно для вирівнювання. Після підбиття шпал щільно втрамбовують баласт у шпальних ящиках і на укосах баластової призми, особливо проти торців шпал. Нормальні розміри й форма баластової призми зберігаються за рахунок щорічного поповнення баласту.

Довгі нерівності колії в профілі й у плані (довжиною від 60 до 200 м) відносяться до характеристик утримання колії, вони викликані порушеннями

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 38 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

при проектуванні й виконанні робіт з ремонту колії. На швидкісних і високошвидкісних лініях вони підлягають виявленню й усуненню в плановому порядку.

Довгі нерівності визначаються в поздовжньому профілі по всій довжині колії, у плані – окремо для прямих і кривих ділянок. Відповідно до вимог Правил експлуатації об'єктів інфраструктури, рухомого складу й організації руху на ділянках обігу швидкісних і високошвидкісних пасажирських поїздів [5], додаткове непогашене прискорення, викликуване довгохвильовими нерівностями в плані, не повинне перевищувати 0,2 м/с².

Довгі нерівності визначаються за допомогою інерціальних вимірювальних систем колієвимірювального вагона, як відхилення від низькочастотної плавної кривої положення колії в плані й поздовжньому профілі.

При різних швидкостях візний вплив і довжини нерівності:

для швидкостей 141 - 160 км/год враховуються й оцінюються нерівності в плані й профілі довжиною до 100 м;

для швидкостей 161 - 200 км/год враховуються й оцінюються нерівності в плані й профілі довжиною до 150 м;

для швидкостей 201 - 250 км/год враховуються й оцінюються нерівності в плані й профілі довжиною до 200 м.

Довгі нерівності методом стріл знімаються через 20 м з хордою 40 м.

Положення рейкових ниток у плані при звичайних нерівностях горизонтальні стріли вигину від хорди довжиною 20 м у точці, що розташовані через 10 м.

Короткі горизонтальні нерівності визначаються по різниці стріл вигину від хорди довжиною 4 м.

2.2 Оцінка горизонтальних нерівностей методом стріл

Для виконання знімальних робіт криву й прямі ділянки, що примикають до неї, розмічають по робочій грані зовнішньої рейки на рівні

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 39 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

відрізки довжиною по 10 м при радіусі кривій більше 400 м або по 5 м при меншому радіусі. Розмітку й нумерацію точок ведуть у напрямку наростання пікетажу. На прилягаючим до кривої прямим ділянках колії фіксують 3 - 4 точки, у яких при зйомці стріли прогину будуть рівними нулю. Точки закріплюють вертикальною рисою на внутрішній стороні шийки рейки незмивною фарбою. Початковій точці привласнюють нульовий номер. Цю точку погоджують із існуючим пікетажем. Контроль визначення пікетажного положення нульової точки перевіряють прив'язкою до наявних постійних елементів споруджень - труби, малі мости, стрілочні переводи й т. д. У випадку відсутності на ділянці зйомки пікетажу для визначення положення на місцевості головних точок кривої початковій точці дається нульове значення. Стріли прогину вимірюють у кожній точці розподіленіх по кривій, для чого дві сусідні з нею точки розподілу з'єднують шнуром, що є хордою двадцяти - або десятиметрової довжини (рис. 2.1).

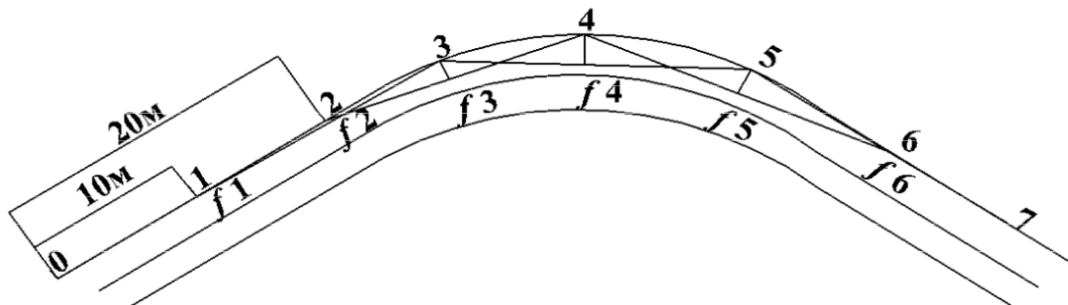


Рис. 2.1 Розбивка кривої для методу стріл

Для зйомки, як правило, використовують капроновий шнур товщиною 0,5 мм. Шнур прикладають до незакругленої частини робочої грані головки зовнішньої рейки на висоті 13 мм від поверхні кочення й у точці, розташованій в середині шнура за допомогою лінійки, торець якої має нульове значення, вимірюється відстань між головкою рейки й шнуром - хордою, що є стрілою прогину. Стріли вимірюють із боку шнура з точністю 0,5 мм.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 40 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Контроль виміру стріл виробляється повторним їхнім виміром у зворотному напрямку.

Припустимі значення різностей суміжних стріл прогину, обмірюваних від двадцатиметрової хорди, залежно від швидкості руху пасажирських поїздів наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Допустимі значення різниці суміжних стріл прогину

| | | | | | | |
|----------------------|----|-------|-------|-------|--------|---------|
| V , км/год | 15 | 16-40 | 41-60 | 61-80 | 81-140 | 141-160 |
| $f_n - f_{n-1}$, мм | 30 | 25 | 20 | 15 | 10 | 8 |

2.3 Способи боротьби з горизонтальними нерівностями колії

Рихтування колії в кривих. Рихтувати колію в кривих складніше чим у прямих. Рихтування прямих ділянок колії при невеликих розладах виконується без попередніх розрахунків - на око, орієнтуючись на видиму прямолінійність колії перед і за місцем зрушення колії. При рихтуванні ж колії в кривій необхідно орієнтуватися на кривизну колії, що відповідає радіусу даної кривої, визначати яку на око не представляється можливим, особливо при наявності на кривій плавних (довжиною більше 30 м) відхилень колії в плані.

Тому в кривих, як правило, рихтують колію на око тільки в місцях коротких (довжиною до 30 м) відступів у плані (кутів). В інших випадках криві рихтують сполученим способом: у реперних точках, що відстоять одна від іншої на 10 м, зрушують колію по розрахунку, а в проміжках між цими точками - на око, якщо рихтування ведеться вручну, або способом згладжування - при рихтуванні колії машинами. Доцільність сполученого способу рихтування полягає в тому, що зрушення реперних точок по розрахункових величинах забезпечує постановку її в задане положення в середньому, але не забезпечує необхідної плавності зміни кривизни, що досягається додатковим рихтуванням колії між реперними точками. І, навпаки, рихтування кривих по всій довжині тільки на око або

згладжуванням (без розрахунку величин зрушень у реперних точках) поліпшують плавність зміни кривизни, але не забезпечує постановки кривої на задану вісь.

Необхідність рихтування всій кривій або її частини тим або іншим способом встановлюється за результатами аналізу стріл прогину кривої.

Рихтування колії гідравлічними приладами. Для рихтування колії використовується комплект гідравлічних приладів типу ГР-12Б (рис. 2.2) із трьох-семи штук залежно від величини зрушень, виду й ступеня ущільнення баласту, потужності й конструкції колії (ланкова, безстикова), а також від того, пряма це або крива ділянка. Наприклад, при рихтуванні безстикової колії з рейками Р65 і залізобетонними шпалами при ущільненому щебеневому баласті на кривій ділянці необхідно не менш семи приладів, а при рихтуванні колії з дерев'яними шпалами на прямій ділянці досить трьох приладів.

Рихтувальні прилади встановлюються через два-три шпальних ящики один від іншого в шаховому порядку, а при наявності "кута" - через один ящик (рис. 2.2). Більша кількість приладів установлюють на тій рейковій нитці, убік якої рихтується колія. З неї у першу чергу знімають тиск рихтовщиків по закінченні зрушення.

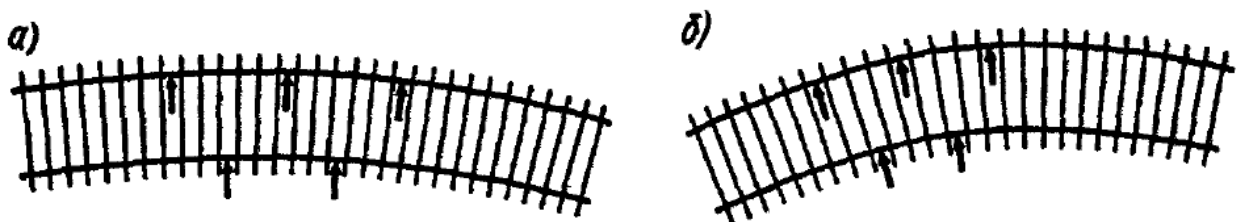


Рис. 2.2. Схеми установки рихтувальних приладів через два (а) і через один (б) шпальний ящик

Зрушення колії варто робити з деяким запасом, що враховує зворотну віддачу рейки після зняття тиску в приладах. Він залежить від конструкції

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 42 |

колії (тип рейки, вид шпал) і величини зрушення й оцінюється до початку робіт.

При ущільненому щебеневому баласті перед зрушенням колії його рихлять ломами в торців шпал з боку, куди вона буде спрямована; одночасно готують місця для установки гідравлічних приладів. Потім група монтерів колії (по кількості приладів) зрушує колію.

Рихтуванням керує бригадир колії. Якщо він уже має достатній досвід рихтування, то визначає зрушення колії на око або з використанням бінокля, а бригадир, що не має досвіду рихтування, якщо досвід недостатній, рихтує колію із застосуванням оптичного приладу. При рихтуванні на око бригадир колії відходить від групи монтерів колії, що зрушують колію, на 40-50 м (а при користуванні біноклем - до 100 м) убік, протилежний напрямку переміщення групи монтерів по ходу рихтування; стоячи над рейкою рихтувальної нитки, він по робочому канту рейки визначає місце й порядок розміщення гідравлічних приладів. Якщо це «кут», що може бути усунутий за одну установку гідравлічних приладів, то бригадир визначає місце найбільшого відхилення колії, де встановлюється середній прилад ; інші прилади розподіляються нарівно по обидва боки від середнього; якщо ж нерівність колії довга й вимагає декількох перестановок гідравлічних приладів зі зрушенням колії в одну сторону, то бригадир колії на початку рихтування й у наступних місцях установки приладів визначає місце крайнього з них і порядок розташування інших приладів.

В обох випадках після початку зрушення колії бригадир визначає момент її закінчення. На прямій ділянці таким моментом є доведення відрізка колії, що зрушується, до загальної прямолінійності з ділянкою, що переглядається бригадиром колії на довжині до місця зрушення, а на кривій - до такої ж кривизни, що й на відрихтованій ділянці кривої.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 43 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

3 ГОРИЗОНТАЛЬНА ЖОРСТКІСТЬ РЕЙКО-ШПАЛЬНОЇ РЕШІТКИ

3.1 Фізичне поняття жорсткості балки

Жорсткість при вигині – це жорсткість стрижня, що згинається, обумовлена як добуток модуля пружності матеріалу на момент інерції його поперечного переріза відносно нейтральної осі.

У конструкційному проектуванні жорсткість балки - це здатність балки протистояти відхиленню або вигину при застосуванні згинального моменту. Згинальний момент виникає, коли сила прикладається десь у середині балки, закріпленої на одному або обох кінцях. На жорсткість балки впливає як матеріал балки, так і форма поперечного переріза балки.

Бетон відмінно підходить для міцності на стиск, але міст, зроблений винятково з бетону, був би поганим вибором. Бетон не міцний, коли він вигнутий; бетонний міст буде провисати в середині через силу ваги й, імовірно, розвалиться. Міст міг би бути набагато міцніший, якби в нього був якийсь фундамент або кістяк, щоб він не занадто сильно відхилявся посередині.

Жорсткість балки може бути розрахована з використанням двох факторів. Перший фактор - модуль пружності. Це властивість матеріалу, що зв'язаний зі схильністю матеріалу до деформації. Якщо балка виготовлена з нержавіючої сталі, вона буде мати більше високий модуль пружності, ніж, наприклад, алюміній. Це пов'язане з тим, що якщо до однієї й тієї ж форми сталі й алюмінію прикласти однакові сили, сталевий об'єкт буде деформуватися менше. Навіть якщо метали не сильно деформуються в порівнянні з гумовими стрічками, вони поведуться однаково; вони розтягуються пропорційно тому, як сильно на них впливає сила. Таким чином, балка, виготовлена з матеріалу з високим модулем пружності, буде мати високу жорсткість балки, зменшуючи ймовірність її вигину.

Іншим фактором у жорсткості балки є момент інерції площі поперечного перерізу балки. Це пов'язане з вертикальним розподілом

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 44 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

матеріалу близько до центра балки або від нього. Часто використовувана конструкція в будівництві з великим моментом інерції - це двотаврова балка. Він називається двотавровою балкою через його поперечний переріз, що має форму букви «Т». Ця форма фокусує більшу частину матеріалу в напрямку дна й верхньої частини поперечного переріза, і в центральних областях досить матеріалу тільки для з'єднання зовнішніх частин. Причиною цієї форми є те, що вона максимізує момент інерції площі для даної кількості матеріалу. Найпоширенішим матеріалом, використовуваним у двотаврових балках, є сталь, що забезпечує високий модуль пружності. Ці дві властивості двотаврової балки надають йому дуже високу жорсткість.

Позначення:

M_x – внутрішній згинальний момент,

I_x – осьовий момент інерції перерізу балки,

E – модуль пружності першого роду (модуль Юнга),

y'' – прогин балки.

Диференціальне рівняння лінії вигнутої осі балки

$$y'' = \frac{M_x}{EI_x} \quad (3.1)$$

Якщо навантаження рівномірно розподілене, то значення максимального згинального моменту буде становити

$$M_{max} = \frac{ql^2}{8} \quad (3.2)$$

При інших схемах навантаження максимальний згинальний момент буде визначатися по іншій формулі. Графік, який показує, як змінюється згинальний момент по довжині балки називається епюрою.

Добуток EI_x називається жорсткістю балки. Якщо відомо згинальний момент та прогин, то завжди можна визначити жорсткість балки.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 45 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

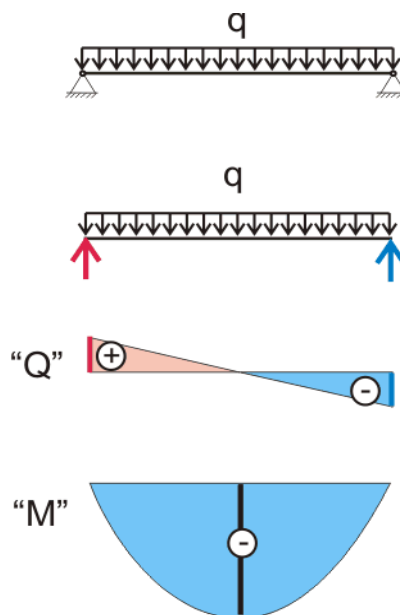


Рис. 3.1 Епюра згинальних моментів

3.2. Дослідження горизонтальної жорсткості рейко-шпальної решітки

Однією з найважливіших завдань дослідження роботи безстикowego шляху є визначення наведеного моменту інерції рейко-шпальної рами, що характеризує жорсткість рейкової ланки, тобто опір ланки викривленню. Наведений момент інерції підраховується за силою, прикладеною до ланки, по прогину та довжині рейкової ланки. Наведеним його називають тому, що момент інерції підраховують за формулами, виведеними для балки. Крім того, враховують модуль пружності E для металу, а насправді його слід врахувати і для деревини. Рейкова ланка не є однорідною балкою, а є решіткою з напівжорсткою загортанням рейок в перерізах проміжних скріплень, складеної з елементів, виготовлених з різних матеріалів.

Найбільш повні дослідження в галузі вивчення наведеного моменту інерції рейково-шпальних грат були проведені канд. техн. наук М. Т. Членовим [3]. Останнім часом нові дослідження у зазначеній галузі у Радянському Союзі проведено канд. техн. наук С. П. Першіним та інж. В. С. Лисюком (МІІТ), які експериментальним шляхом визначили моменти скручування рейки у скріпленнях та розрахунковим шляхом – момент інерції

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 46 |

рейки. Крім того, слід вказати на цікаві дослід, проведені інж. В. І. Плетньовим з різними типами рейок на милицевому скріпленні.

В іноземній технічній літературі останні дослідження опубліковані у ФРН Бірманом [3], Заузенном і Шнеппендалем [3] та у Франції Кассі [3], які досвідченим шляхом визначили величини наведеного моменту інерції рейково-шпальних грат.

У таблиці показані дані величину наведеного моменту інерції. Експериментальні дані, як видно з цієї таблиці, далеко не завжди близькі одна до одної. Деякі величини є сумнівними. У зв'язку з цим було поставлено завдання експериментального дослідження наведеного моменту інерції вітчизняних конструкцій безстиків шляху.

В дослідженнях проведених на ранніх етапах розвитку безстикової колії рейко-шпальна решітка розглядалася як балка із жорстким закріпленням одного кінця. Для такої схеми закріплення жорсткість рейко-шпальної решітки визначалася по методу початкових параметрів за формулою [4]:

$$EI = \frac{M_0 l^2}{2y} + \frac{Q_0 l^3}{6y} - \frac{q_0 l^4}{24y} - \frac{q_1 - q_0}{120ey} l^5, \quad (3.3)$$

де M_0 – згинальний момент, який діє у перерізі, що збігається з початком координат;

Q_0 – поперечна сила, яка діє у перерізі, що збігається з початком координат;

q_0 та q_1 – ординати розподіленого навантаження відповідно у перерізі, який збігається з початком координат, та у першому перерізі;

e – відстань між перерізом, що збігається з початком координат, та першим перерізом;

l – довжина балки;

y – прогин балки.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 47 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

3.2.1 Дослідження ВНДІЗТу

Експериментальні дослідження горизонтальної жорсткості рейко-шпальної решітки проведені Маркарьяном М. А. (ВНДІЗТ) в 1960-х роках [3].

Жорсткість рейко-шпальної решітки, що піднята краном за середню шпалу, визначалася за формулою:

$$EI = \frac{Pl^3}{48y}, \quad (3.4)$$

де P – поперечна сила;

l – довжина балки;

y – прогин балки.

Експериментальні дослідження, проведені Маркарьяном М. А. [3], показали, що коефіцієнт горизонтальної жорсткості рейко-шпальної решітки β для залізобетонних шпал при затяжці гайок клемних болтів крутним моментом 150 Н·м склав 2,5. Коефіцієнт горизонтальної жорсткості рейко-шпальної решітки визначався за формулою:

$$\beta = \frac{I_{РШР}}{2I_{рейки}}, \quad (3.5)$$

де $I_{РШР}$ – приведений горизонтальний момент інерції рейко-шпальної решітки;

$I_{рейки}$ – горизонтальний момент інерції однієї рейки.

Тоді жорсткість рейко-шпальної решітки з залізобетонних шпал при затяжці гайок клемних болтів крутним моментом 150 Н·м склала $EI_{РШР}=2 \cdot 2,5 \cdot 569 \cdot 21000=59,7 \cdot 10^6$ кН·см².

Експериментальні дослідження проводились наступним чином.

На рис. 3.2 показано загальний вигляд експериментальної установки. Рейково-шпальні грати були розташовані горизонтально на роликах, які встановлені між металевими смугами. Для зменшення тертя ролики та смуги змащувалися солідолом. При вигині ланки ролики переміщалися сталевими смугами, що лежали на поперечинах зі шпал. Для того, щоб при згинанні

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 48 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

решітки не відбувалося поперечного переміщення кінців рейкової ланки, в середині шпал (по кінцях рейкової ланки) були пробиті отвори, в які встановлювалися стійки. Сійки за допомогою тросів закріплювалися за упори (із залізобетонних шпал). Вигин решітки проводився гвинтовою стяжкою, яка за допомогою тросів з одного боку з'єднувалася з бетонним упором, а з іншого - через стяжки динамометра із середньою шпалою ланки.

Зусилля на ланку передавалося через стійку, закріплену у центрі середньої шпал рейкової ланки. Характеристика дослідної ланки була наступною: рейки типу Р50 довжиною 12,5 м, скріплення марки К з одновитковими пружинними шайбами та прокладками-амортизаторами з непресованої фанери; шпал дерев'яні, а потім струнобетонні (23 шт. на ланку).

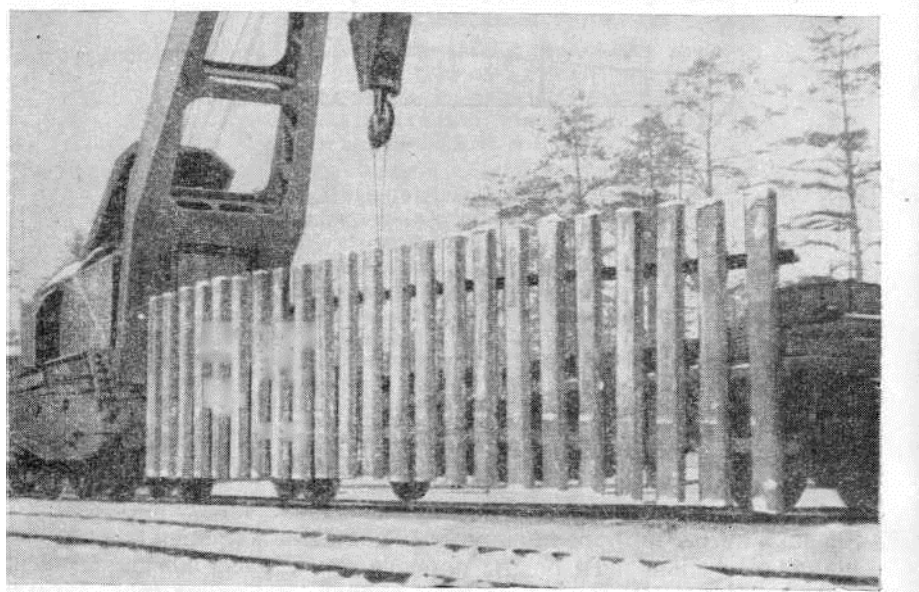


Рис. 3.2. Загальний вигляд експериментальної установки для визначення наведеного моменту інерції колійних ґрат шляхом підвішування за середину

Зусилля, що прикладалися до рейково-шпальних ґрат, визначалися динамометром, ціна поділу якого відповідала 50 кг. У досліді відліки за шкалою динамометра бралися з точністю до 0,5 розподілу. Таким чином,

абсолютна похибка при вимірюванні зусилля, що додавалася до ланки, дорівнювала ± 25 кг.

У дослідях 1956 було встановлено, що розбіжності у величинах прогинів по лівій і правій рейкових нитках були дуже незначні (у межах точності відліку стріли прогину). Тому в дослідях 1957-1958 р. стріла вимірювалася лише з однієї рейкової нитки. Точність виміру стріл прогинів була ± 1 мм. Закручування клемних гайок вироблялося однаковим зусиллям за допомогою торцевого гайкового ключа. Зусилля, що прикладалися до гайок, контролювалися динамометричним гайковим ключем.

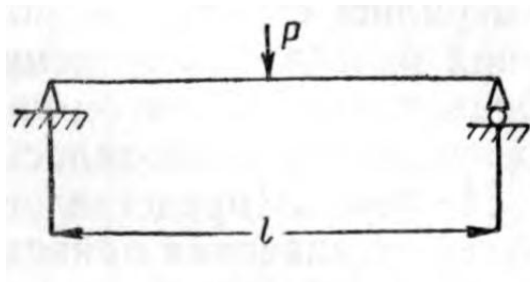


Рис. 3.3. Розрахункова схема колійних грат як балкіна двох опорах:

P - навантаження, прикладене в середині ланки;

l - довжина ланки (відстань між опорами)

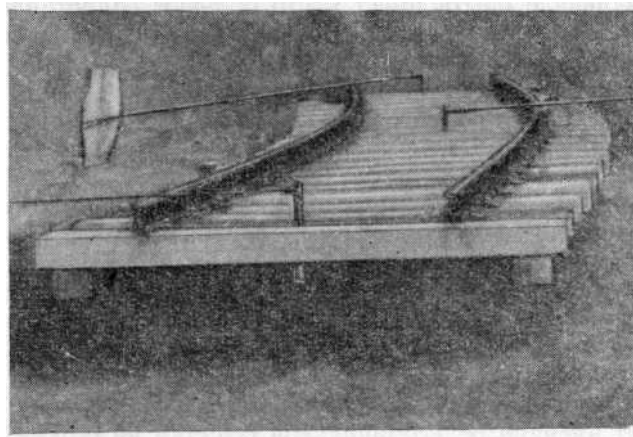


Рис. 3.4. Загальний вид установки для визначення наведеного моменту при горизонтальному розташуванні ланки

Величини крутних моментів на гайках клемних болтів у дослідях 1958 були прийняті рівними 300, 744, 1505, 1950 і 2570 кГ·см. Порядок випробувань щодо моменту інерції рельсо-шпальної рами був наступним. На

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 50 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

початку випробування гайки клемних болтів на скріпленнях закручувалися динамометричним гайковим ключем до потрібної величини. Потім до середньої шпали рейкової ланки за допомогою гвинтової стяжки прикладалися послідовно зростаюче ступінчасте навантаження 50, 100, 200, 300, 500, 750, 1 000, 1 500, 2 000, 2 500 і 3 000. При кожному з цих навантажень вимірювалися стріли прогину рейково-шпальної решітки та поворот перерізів рейки у скріпленнях при згинанні рейкової ланки. Таким чином, при прийнятому значенні сили притискання двох клем до підшви рейки проводилося три-чотири цикли випробувань.

На рис. 5 представлені графіки зміни середнього арифметичного значення наведеного моменту інерції та прогинів рейково-шпальної решітки на залізобетонних шпалах в залежності від зусилля, прикладеного до середньої шпали ланки при різному ступені притискання клемами рейок до підкладок. З рис. 5 видно, що момент інерції рейково-шпальної решітки при навантаженнях до 500 кг є величиною змінної, а при навантаженнях більше 500 кг у першому наближенні може бути прийнятий за постійну величину. Це становище підтверджує висновок, зроблений 1957 р. при дослідях з дерев'яними шпалами [8]. Знову підтвердився і висновок про великий вплив ступеня притискання клем до підшви рейки на величину наведеного моменту інерції рейково-шпальної решітки.

Збільшення наведених моментів інерції рейково-шпальної решітки при малих навантаженнях (до 100-300 кг) можна пояснити тим, що на початку досвіду має місце великий опір сил тертя спокою в вузлах з'єднання рейок і всієї рейково-шпальної решітки в цілому. Відбувається подолання цих сил, грати згинаються незначно і тому наведений момент інерції зростає. У цей момент залишаються ще не вибраними люфти, що мають місце у скріпленнях. Далі відбувається вільний і тому відносно великий вигин рами без великого опору. До цього часу сили тертя спокою подолані, і в міру вибору люфт спочатку інтенсивність прогину рами різко зростає (відбувається зменшення моменту інерції), а потім рама починає працювати

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 51 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

як цілісна конструкція з досить жорсткими вузлами. Збільшення жорсткості з'єднання рейки зі шпалами призводить до зменшення інтенсивності зростання стріл прогину і, отже, збільшення наведеного моменту інерції рейково-шпальної решітки.

Порівняння експериментальних даних показало, що наведений момент інерції рейково-шпальних грат на струнобетонних шпалах більше, ніж на дерев'яних шпалах, що пояснюється жорсткішою конструкцією її на залізобетонних шпалах [8].

Для повноти викладу проведеного дослідження слід зазначити на експериментальну перевірку впливу іржі на рейках і скріплення на величину опірності вигину рейкової ланки. Для цього було проведено кілька циклів дослідів, коли на рейках та скріпленнях були плівки оксидів. Результати проведених дослідів показали, що наявність цих плівок за відсутності вологості в місцях з'єднання рейки зі шпалою призводить до збільшення на 15% наведеного моменту інерції рейково-шпальної решітки. Плівки оксидів на поверхнях тертя металевих елементів верхньої будови сприяють збільшенню коефіцієнтів тертя, а це призводить до збільшення жорсткості рейково-шпальної решітки.

Вищевикладене дозволило встановити, що факторами, що впливають на жорсткість рейково-шпальної решітки, є: тип проміжного скріплення, матеріал шпали, сила притискання клем до підшви рейки та стан частин окремих елементів, що труться.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 52 |

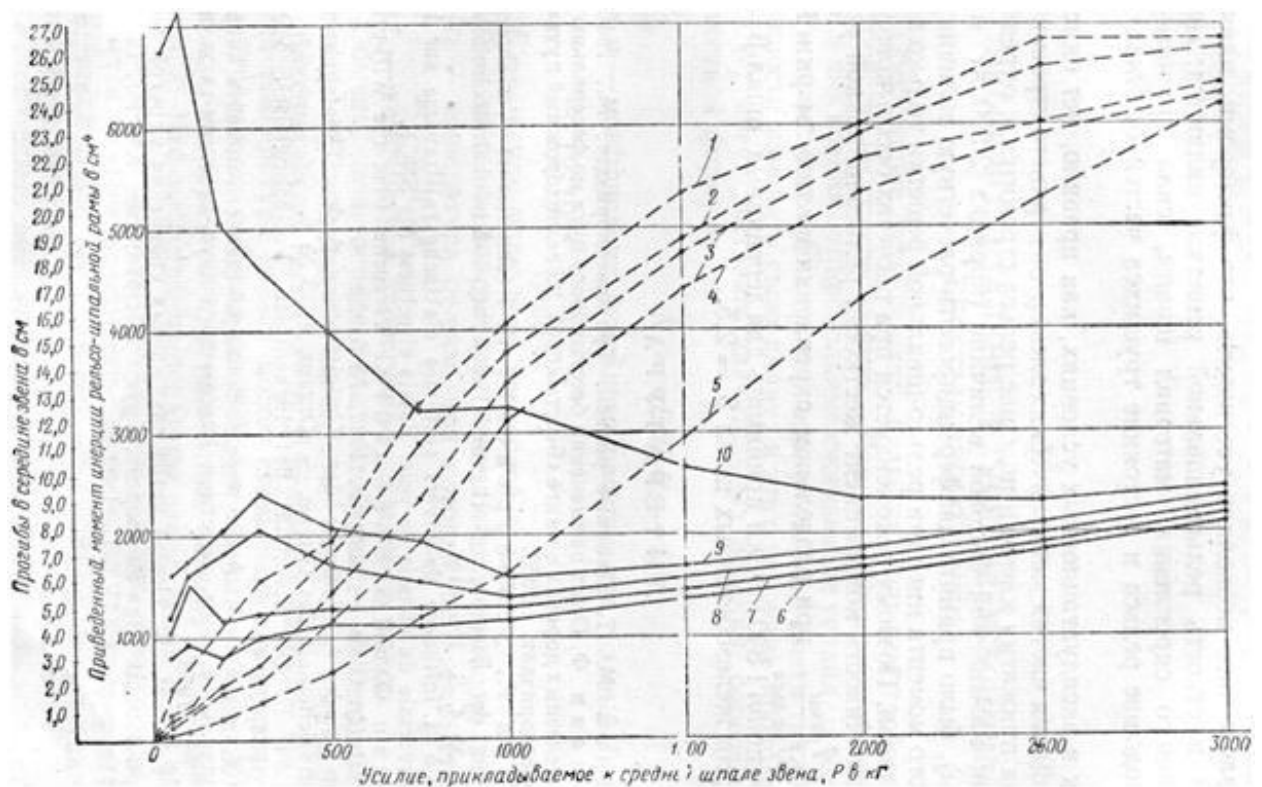


Рис. 3.5. Графік зміни наведеного моменту інерції та прогинів рейково-шпальної решітки на залізобетонних шпалах залежно від зусиль та ступеня притискання клям:

1-5 - прогини в середині ланки при силах притискання рейки двома клямами відповідно 650, 1550, 3100, 4050 і 5250 кг;

6-10 - наведені моменти інерції рейково-шпальної решітки за тих же умов

3.2.2. Дослідження ДНУЗТу

Працівниками ДНУЗТу у 2013 році проведено дослідження горизонтальної жорсткості рейко-шпальної решітки [1]. Випробуванням піддавалася рейко-шпальна решітка зібрана на скріпленні типу КПП-5, КБ-65 та рейко-шпальна решітка суміщеної колії на скріпленні типу КПП-5. Приведемо опубліковані матеріали даних досліджень [1].

Метою досліджень [1] було порівняння жорсткості рейко-шпальної решітки звичайної і суміщеної колії, та порівняння двох запропонованих методів визначення жорсткості рейко-шпальної решітки на базі проведеного експерименту.

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

0053.196506.ДП.2021.001

Арк.

53

В даній роботі проведено експеримент по визначенню горизонтальної жорсткості звичайної рейко-шпальної решітки та горизонтальної жорсткості рейко-шпальної решітки суміщеної колії. Для досліджень було зібрано три рейко-шпальні решітки: рейко-шпальна решітка звичайної колії з двох рейок типу Р65 довжиною 9,483 м, 18 шпал типу Ш1, та скріплення типу КБ-65; рейко-шпальна решітка звичайної колії з двох рейок типу Р65 довжиною 12,495 м, 23 залізобетонних шпал, та скріплення типу КПП-5.2; рейко-шпальна решітка суміщеної колії зібрана з чотирьох рейок типу Р65 довжиною 12,505 м, 19 шпал типу Ш2С, та скріплення типу КПП-5.2. Рейко-шпальні решітки піднімаються двома козловими кранами за дві точки. Захват здійснюється за одну рейку. При підніманні рейко-шпальної решітки шпали намагаються зайняти вертикальне положення. В результаті того, що рейко-шпальна решітка піднята за дві точки, відбувається деформація. Стріла вигину вимірюється посередині вигнутої решітки за двома розрахунковими схемами.

Перший метод: визначення жорсткості рейко-шпальної решітки по прогину, що вимірювався, відносно довжини нерівності всієї деформованої рейко-шпальної решітки.

Розрахункова схема експериментальних досліджень по першому методу представлена на рис. 3.6.

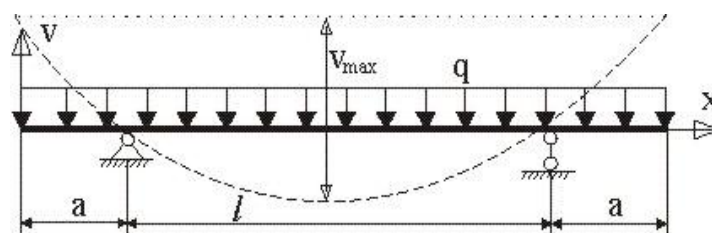


Рис. 3.6. Розрахункова схема експерименту при першому методі

При першому методі стріла вигину v_{\max} вимірювалася відносно довжини нерівності всієї деформованої рейко-шпальної решітки посередині, де поточна координата $x = a + l/2$.

З теорії опору матеріалів відомо, що

$$V_{\max} = \frac{qal^3}{24EI} \left(1 - 6\frac{a^2}{l^2} - 3\frac{a^3}{l^3} \right) + \frac{ql^4}{16EI} \left(\frac{5}{24} - \frac{a^2}{l^2} \right), \quad (3.6)$$

де V_{\max} – прогин балки, де поточна координата $x = a + l/2$;

q – ордината рівномірно розподіленого навантаження;

EI – жорсткість балки;

l – відстань між опорами балки;

a – довжина консольної частини балки.

При відомих значеннях q , a , l , та V_{\max} можна знайти жорсткість рейко-шпальної решітки EI .

Дослідження горизонтальної бічної жорсткості звичайної колії проводилися на рейко-шпальній решітці довжиною 9483 мм, скріплення типу КБ-65, рейки Р65. Рейко-шпальна решітка була піднята за дві точки, що знаходяться від торців рейок на відстані 340 мм. Кількість шпал типу ШІ – 18 шт.

В результаті підйому від власної ваги рейко-шпальна решітка деформувалася, утворюючи стрілу прогину (рис. 3.7).

В таблиці 3.1 представлено виміряні значення стріли прогину звичайної рейко-шпальної решітки. Середнє значення стріли прогину складає 142,5 мм.



Рис. 3.7. Дослідження горизонтальної бічної жорсткості звичайної безстикової колії зі скріпленням типу КБ-65

Таблиця 3.1

Стріли вигину рейко-шпальної решітки звичайної колії зі
скріпленням типу КБ-65

| Номер досліду | Стріли вигину, мм |
|---------------|-------------------|
| 1 | 152 |
| 2 | 155 |
| 3 | 155 |
| 4 | 131 |
| 5 | 131 |
| 6 | 131 |

Дослідження горизонтальної бічної жорсткості суміщеної безстикової колії проводилися на рейко-шпальній решітці довжиною 12505 мм, скріплення типу КПП-5, рейки Р65. Рейко-шпальна решітка була піднята за дві точки, що знаходяться від торців рейок на відстані 760 мм. Кількість шпал типу Ш2С – 19 шт. В результаті підйому від власної ваги рейко-шпальна решітка деформувалася, утворюючи стрілу прогину (рис. 3.8).

В таблиці 3.2 представлено виміряні значення стріли прогину суміщеної рейко-шпальної решітки. Середнє значення стріли прогину складає 235,9 мм.

Дослідження горизонтальної бічної жорсткості звичайної безстикової колії зі скріпленням типу КПП-5.2 проводилися на рейко-шпальній решітці довжиною 12495 мм, рейки Р65 (рис. 3.9). Рейко-шпальна решітка була піднята за дві точки, що знаходяться від торців рейок на відстані 590 мм. Кількість шпал – 23 шт.



Рис. 3.8. Дослідження горизонтальної бічної жорсткості суміщеної безстикової колії

В таблиці 3.3 представлено виміряні значення стріли прогину звичайної рейко-шпальної решітки зі скріпленням типу КПП-5.2.

Таблиця 3.2

Стріли вигину рейко-шпальної решітки суміщеної колії

| Номер досліду | Стріли вигину, мм |
|---------------|-------------------|
| 1 | 231 |
| 2 | 230 |
| 3 | 234 |
| 4 | 231 |
| 5 | 234 |
| 6 | 234 |
| 7 | 240 |
| 8 | 239 |
| 9 | 240 |
| 10 | 239 |
| 11 | 240 |
| 12 | 239 |

Середнє значення стріли вигину рейко-шпальної решітки звичайної колії зі скріпленням типу КПП-5.2 складає 495,7 мм.

Розрахунок жорсткості рейко-шпальної решітки представлено в таблиці 3.4. Прийняті позначення відповідають розрахунковій схемі (див. рис. 3.6).



Рис. 3.9. Дослідження горизонтальної бічної жорсткості звичайної безстикової колії зі скріпленням типу КПП-5.2

Таблиця 3.3

Стріли вигину рейко-шпальної решітки звичайної колії зі скріпленням типу КПП-5.2

| Номер досліджу | Стріли вигину, мм |
|----------------|-------------------|
| 1 | 484 |
| 2 | 499 |
| 3 | 511 |
| 4 | 481 |
| 5 | 494 |
| 6 | 505 |

Таблиця 3.4

Розрахунок жорсткостей рейко-шпальних решіток при першому методі

| Тип РШР | q , кН/см | a , см | l , см | V_{\max} , см | EI , кН*см ² |
|------------------|-------------|----------|----------|-----------------|---------------------------|
| звичайна КБ-65 | 0,0657 | 34 | 880,3 | 14,3 | 40207421 |
| суміщена КПП-5.2 | 0,0816 | 76 | 1098,5 | 23,6 | 78166162 |
| звичайна КПП-5.2 | 0,0613 | 59 | 1131,5 | 49,6 | 30379409 |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 58 |

При другому методі стріла вигину V_{\max} вимірювалася відносно нерівності між точками підвішування решітки, де поточна координата $x = a + l/2$ (рис. 3.10).

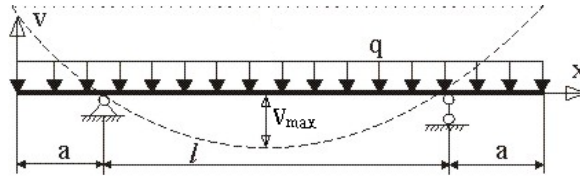


Рис. 3.10. Розрахункова схема експерименту при другому методі

З теорії опору матеріалів [2] відомо, що

$$v_{\max} = \frac{ql^4}{16EI} \left(\frac{5}{24} - \frac{a^2}{l^2} \right), \quad (3.7)$$

де V_{\max} – прогин балки, де поточна координата $x = a + l/2$;

q – ордината рівномірно розподіленого навантаження;

EI – жорсткість балки;

l – відстань між опорами балки;

a – довжина консольної частини балки.

Розрахунок жорсткості рейко-шпальної решітки при другому методі представлено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Розрахунок жорсткостей рейко-шпальних решіток при другому методі

| Тип РШР | q , кН/см | a , см | l , см | V_{\max} , см | EI , кН*см ² |
|------------------|-------------|----------|----------|-----------------|---------------------------|
| звичайна КБ-65 | 0,0657 | 34 | 880,3 | 13,1 | 38934513 |
| суміщена КПП-5.2 | 0,0816 | 76 | 1098,5 | 19,5 | 77517534 |
| звичайна КПП-5.2 | 0,0613 | 59 | 1131,5 | 42,9 | 30099204 |

3.2.3 Проведення досліджень жорсткості рейко-шпальної решітки на ланкозбиральній базі

Експериментальні дослідження, проведені Маркарьяном М. А. [3], показали, що похибка визначення жорсткості рейко-шпальної решітки

зменшується з ростом прикладеної сили. При навантаженнях більше 0,5 т на ланку довжиною 12,5 м при рейках Р50 похибка не перевищує 7%, і жорсткість рейко-шпальної решітки являється постійною величиною. Встановлено також, що розходження у величинах прогинів по лівій та правій рейковій нитці знаходиться в межах похибки вимірювань, а тому дані прогини можуть бути прийняті рівними.

На ланкозбиральній базі м. Кривий Ріг було проведено дослідження жорсткості рейко-шпальної решітки. Для експериментальних досліджень використовувалися ланки зібрані з рейок довжиною 12,5 м типу Р65, з кількістю шпал 23 шт., що відповідає епюрі 1840 шпал/км.

В дослідженнях приймало участь дві ланки рейко-шпальної решітки зібрані зі скріплення типу КБ-65, знос рейок відсутній, та зі скріплення типу КПП-5К, знос рейок 2 мм. Ланки були зважені на спеціальному кантері, що кріпиться на кран, і у вільному виваженому стані здійснювалося вимірювання маси. Ланка зі скріпленням КБ-65 мала вагу 8200 кг. Ланка зі скріпленням КПП-5К мала вагу 7850 кг.

Рейко-шпальна решітка для оцінки горизонтальної жорсткості піднімалася за середину рейку. Під дією власної ваги рейко-шпальна решітка вигиналася так як являється балкою. При цьому решітка займає вертикальне положення. Величина прогину вимірювалася на рейці, що опинилася нижче при підніманні решітки догори. Величина прогину вимірювалася як стріла посередині хорди, що була натягнута між кінцями рейки.

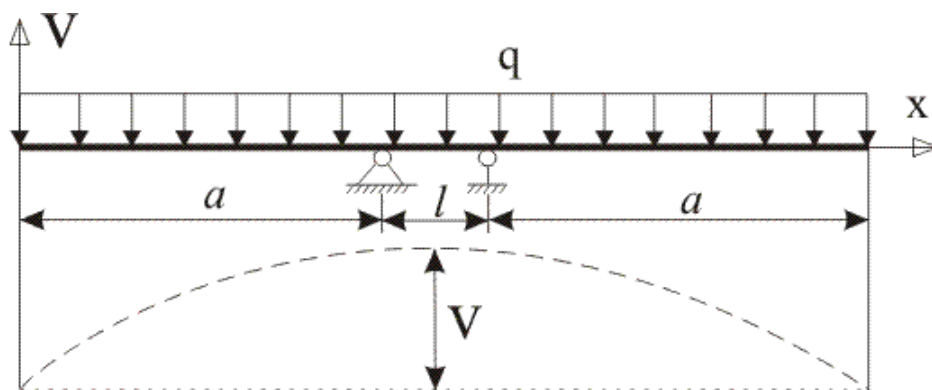


Рис. 3.11. Схема проведення дослідження

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

0053.196506.ДП.2021.001

Арк.

60

Значення стріли вимірювалися тричі. При цьому між вимірами ланка опускалася і знову піднімалася. Так влаштовано було для вибору люфтів і отримання максимального прогину ланки при певній її конструкції.



Рис. 3.12. Проведення дослідження

Перед вивішуванням ланки зі скріпленням типу КБ-65 визначався рівень затяжки гайок клемних та закладних болтів за допомогою динамометричного ключа.



Рис. 3.13. Динамометричне вимірювання

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

0053.196506.ДП.2021.001

Арк.

61

Звичайний динамометричний ключ перестає затягувати гайки після досягнення певного крутного моменту. Таким ключем неможливо визначити крутний момент вже затягнути гайок. Тому використовувався накидний ключ та кантер, покази якого фіксувалися при відкручуванні затягнутих гайок.

Стріла вигину визначалася по середині вигнутої ланки від хорди натягнутої між кінцями рейки (рис. 3.14). При вигину ланки шпали зберігають вертикальне положення, а рейка деформується, тому відбувається поворот рейки по відношенню до шпал (рис. 3.15).



Рис. 3.14. Вимірювання стріли вигину ланки



Рис. 3.15. Поворот рейки по відношенню до шпал

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

0053.196506.ДП.2021.001

Арк.

62

Під час вивішування рейко-шпальної решітки зі скріпленням типу КПП-5, КБ-65 були отримані дані, що зведені до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Стріли виміряні від середини хорди

| Скріплення | | Вимір №1 | Вимір №2 | Вимір №3 | Середнє |
|------------|---------|----------|----------|----------|---------|
| КПП-5 | | 411 | 418 | 419 | 416 |
| КБ-65 | 50 Н·м | 318 | 328 | 330 | 325 |
| | 80 Н·м | 300 | 310 | 310 | 307 |
| | 150 Н·м | 264 | 252 | 252 | 256 |

За довідником [6] балка з рівномірно розподіленим навантаженням, що опирається на дві опори відповідно до позначень на рис. 3.11 має прогин, що визначається за формулою

$$V = \frac{ql^4}{24EI} \left[\frac{a}{l} \left(1 - 6 \frac{a^2}{l^2} - 3 \frac{a^3}{l^3} \right) \right] + \frac{ql^4}{16EI} \left(\frac{5}{24} - \frac{a^2}{l^2} \right) \quad (3.8)$$

де EI – жорсткість балки.

З даної формули можна виразити жорсткість EI .

$$EI = \frac{ql^4}{24V} \left[\frac{a}{l} \left(1 - 6 \frac{a^2}{l^2} - 3 \frac{a^3}{l^3} \right) \right] + \frac{ql^4}{16V} \left(\frac{5}{24} - \frac{a^2}{l^2} \right) \quad (3.9)$$

Розрахунок жорсткості рейко-шпальної решітки зі скріпленням типу КПП-5, КБ-65 проведемо в табличному виді (табл. 3.7).

Таблиця 3.7

Розрахунок жорсткості рейко-шпальної решітки

| Скріплення | | q , кН/м | l , м | a , м | V , м | EI , кН·м ² |
|------------|---------|---------------|---------|---------|---------|-----------------------------|
| КПП-5 | | 6,154 | 1,33 | 5,59 | 0,416 | 2699 |
| КБ-65 | 50 Н·м | 6,429 | 1,33 | 5,59 | 0,325 | 3604 |
| | 80 Н·м | 6,429 | 1,33 | 5,59 | 0,307 | 3824 |
| | 150 Н·м | 6,429 | 1,33 | 5,59 | 0,256 | 4581 |

На рис. 3.16 показано, що прогин рейко-шпальної решітки прямопропорційно залежить від рівня затяжки гайок клемних та закладних болтів. Відповідно і горизонтальна жорсткість рейко-шпальної решітки прямопропорційно залежить від рівня затяжки гайок клемних та закладних болтів.

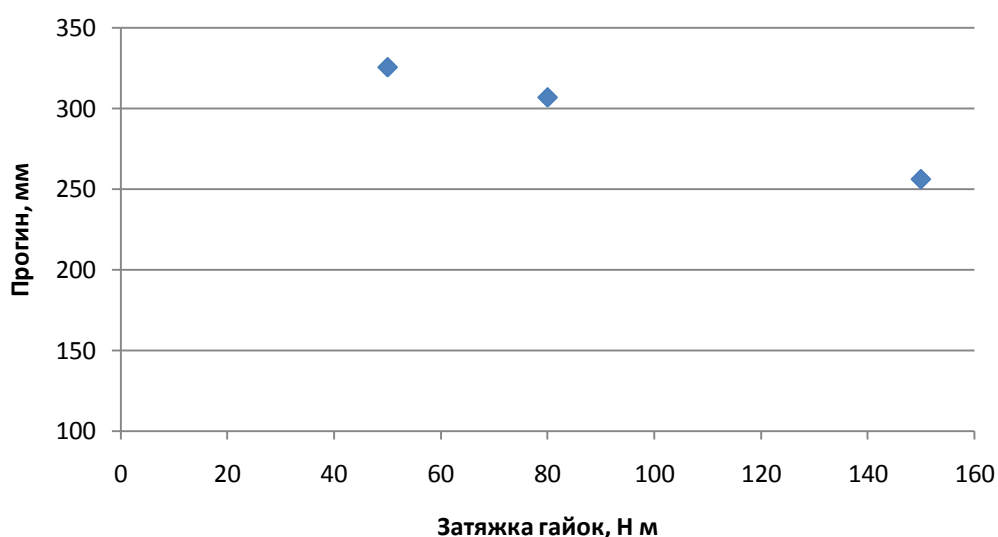


Рис. 3.16. Залежність прогину рейко-шпальної решітки від рівня затяжки гайок

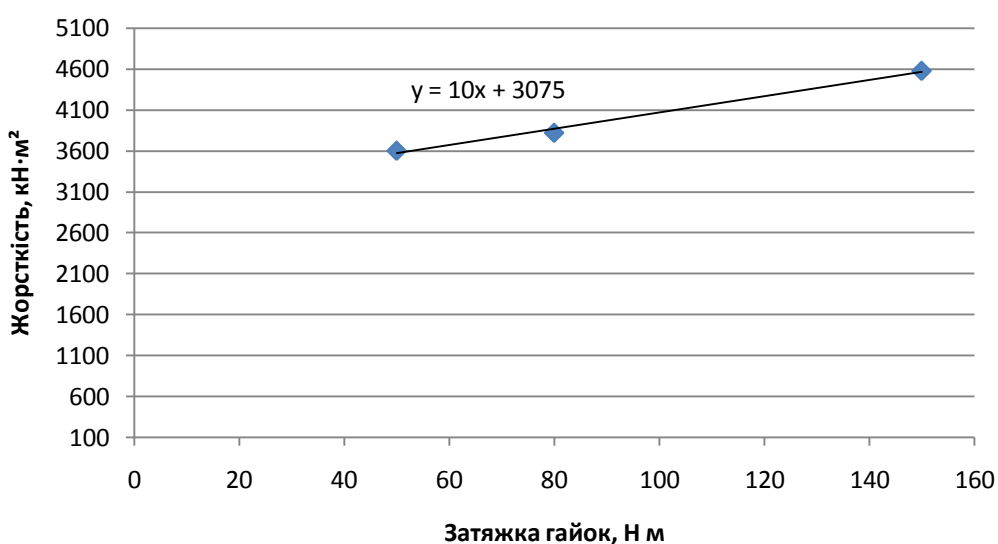


Рис. 3.17. Залежність жорсткості рейко-шпальної решітки від рівня затяжки гайок

Отже, жорсткість рейко-шпальної решітки зростає з рівнем затяжки гайок клемних та закладних болтів за лінійним законом

$$EI = 10M + 3075, \text{ кН}\cdot\text{м}^2 \quad (3.10)$$

де M – крутний момент, з яким затягнуті гайки клемних та закладних болтів, Н·м.

Проведемо порівняння отриманих даних з попередніми дослідженнями, що викладено в п.3.2.1. та п.3.2.2 (рис. 3.18-3.19).

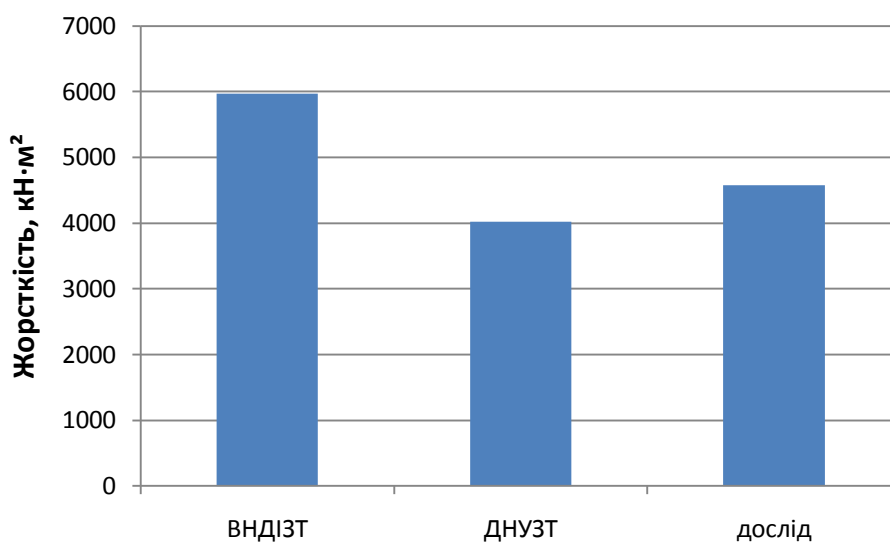


Рис. 3.18. Жорсткість рейко-шпальної решітки зі скріпленням КБ-65

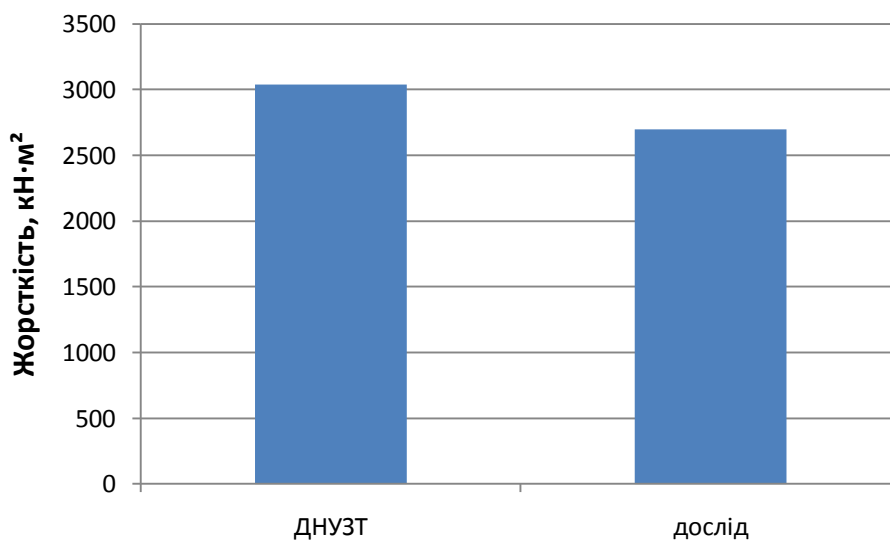


Рис. 3.19. Жорсткість рейко-шпальної решітки зі скріпленням КПП-5

4 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ ЖОРСТКОСТІ

4.1 Горизонтально жорстка рейко-шпальна решітка

4.1.1 Y-подібні шпали

На залізницях Німеччини (DBAG) знову виявляють цікавість до сталевих шпал, що стало можливим завдяки появі Y-подібної конструкції. Ці сучасні шпали, які стали використовувати в 1984 р., розроблені з метою заміни не виправдали себе сталевих коритоподібних.

Конструкція й сфера застосування Y-подібних шпал, що має в плані форму букви Y (рис. 4.1), складається з чотирьох частин: двох S-подібних балок спеціального профілю із широкими полками (головні балки) і двох коротких такого ж профілю (допоміжні балки). Рейка опирається на верхні полки головних і допоміжних балок. На противагу звичайним шпалам, що мають форму бруса із двома опорними площадками для рейок, на Y-шпалі передбачені три подвійні площадки; рейку кріплять в центрі площадок. Нижніми полками балок шпала опирається на баласт.

У порівнянні зі звичайними Y-подібними шпали володіють значно більшим опором поперечному зсуву, для якого вирішальне значення має маса баласту не перед торцем шпали, а в місці її роздвоєння. Змінюючи висоту нижнього ригеля, можна забезпечити необхідний опір шпали поперечному зсуву. Завдяки цьому Y-подібна шпала в найбільшому ступені придатна для ліній із кривими малого радіуса. Довжина контактуючої поверхні дозволяє використовувати її й на вузьких насипах, зокрема на існуючих лініях, де узбіччя відсутні через збільшення ширини міжколійя. Незначна висота Y-шпал полегшує модернізацію й наступну електрифікацію ліній, особливо в тунелях. Треба відзначити, що в останні роки Y-Образні шпали стали більш активно застосовувати на мережах DBAG і часток залізничних компаній.

Однієї з головних цілей, які ставилися перед розроблювачами Y-подібних шпал, було зниження їхньої маси, що значно спрощує укладання. При реконструкції колії поряд із заміною колійних ланок нерідко потрібно

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 66 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

укладання одиночних шпал цього типу. Процес підготовки до робіт передбачає розкладку уздовж колії нових рейок і пакетів Y-подібних шпал. Знявши стару рейко-шпальну решітку, проводять підготовку баластової призми.

Нові шпали розкладають за допомогою екскаватора й потім вручну виставляють у проектне положення. Після цього на них за допомогою рекопідйомника укладають нові рейки й монтують колію. Однак часто виникають труднощі через недостатню тривалість надаваних вікон або через просторові обмеження. В зв'язку із цим такий спосіб реконструкції не одержав досить широкого поширення. Практика показала, що рішення проблеми можливо лише при використанні методів механізованого укладання.



Рис. 4.1. Y-подібні шпали

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 67 |

4.1.2 Блочна підрейкова основа

Блочна підрейкова основа описана в патенті RU2250279C1.

В рамній залізобетонній підрейковій основі, що складається з покладених у ряд на щебеновий баластовий шар залізобетонних рамних шпал, кожна з яких виконана з армованих жорстко з'єднаних між собою двох поздовжніх (лежневих) частин і двох поперечок, що утворюють прямокутну раму з порожньою середньою частиною, з виступами трапецідального профілю з підрейковими площадками в місцях з'єднання поздовжніх частин і поперечок, і рейковими скріпленнями сусідніх рамних шпал, поперечки рамної шпали жорстко з'єднані з поздовжніми частинами по внутрішніх гранях останніх під прямим кутом, а зовнішня грань поздовжньої частини кожної рамної шпали має гладку поверхню, при цьому на поперечках кожної рами із двох сторін виконані фігурні вирізи, на внутрішній - для формування порожнини внутрішньої частини шпали у вигляді осередку, а на зовнішній - для формування осередку між сусідніми рамними шпалами, рівному внутрішньому осередку, причому рейкові скріплення сусідніх рамних шпал розташовані з постійним кроком, рівним відстані між осями поперечок рам, а на підходах до мостів, тунелям, естакадам покладені залізобетонні рами, у поперечках яких по всій їхній довжині й в рівень з їхньою верхньою поверхнею замоноличені заставні деталі трубчастого прямокутного перерізу, до яких здійснюється кріплення зводи «човником» кінців контррейок (або контруктників) за допомогою болтів з Т-подібною головкою через отвори відповідної форми, що улаштовуються по місцю.

Зазначений результат досягається й тим, що в способі спорудження рамної залізобетонної підрейкової основи, що включає, відсіпку щебенового баластового шару, його ущільнення, укладання рамних шпал у безперервний ряд на відсипаний баластовий шар, їхнє підбиття, остаточне ущільнення баластового шару під поздовжніми елементами шпал після досипання баласту, підбиття, постановку, і установку рейкових скріплень у місцях перетинання поздовжніх і поперечних елементів рамної шпали, останні

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 68 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

укладають на відсипаний баластовий шар із зазором між сусідніми рамами для забезпечення вільного доступу підбивочних механізмів до щебеневого баластового шару зовні й зсередини поздовжніх частин залізобетонних рам, при цьому величину зазору визначають із наступної залежності: $H=0,5U$, де H - величина зазору; U - ширина осередку між поперечками усередині кожної рами, при цьому рейкові скріплення сусідніх рамних шпал установлюють із постійним кроком, рівним відстані між осями поперечок рам, і ще тим, що на криволінійних ділянках колії рамні шпали укладають на відсипаний баластовий шар із зазором між сусідніми рамами по зовнішній рейковій нитці із зазором, рівним $H=0,5 U$, де H - величина зазору; U - ширина осередку між поперечками усередині кожної рами, а по внутрішній із зазором у межах $(0,98...1)H$.

Рамна залізобетонна підрейкова основа являє собою безперервний ряд залізобетонних рам 1, покладених на щебеневий баластовий шар 2, із зазорами 3 між торцями поздовжніх частин залізобетонних рам 1. Кожна залізобетонна рама підрейкової основи (рис. 4.2) містить дві поздовжні (лежневі) частини 4 і дві поперечки 5. Поперечки 5 рамної шпали жорстко з'єднані з поздовжніми частинами 4 по внутрішніх гранях останніх під прямим кутом. Торцеві частини рами, а саме, зовнішня грань поздовжньої частини 4 має гладку поверхню. Описана форма рамних шпал дозволяє значно скоротити, приблизно на 30-35% ширини земляного полотна й баластової призми. При укладанні таких рамних шпал на всю проектну довжину колії значно скорочується витрата матеріалів, знижуються трудомісткість процесу укладання, енергоємність і обсяги робіт. На поперечках 5 кожної рами із двох сторін виконані фігурні вирізи 6 і 7. Виріз 6 виконаний на внутрішній поверхні поперечки й служить для формування порожнини внутрішньої частини шпали у вигляді осередку, а виріз 7 на зовнішній поверхні поперечки - для формування осередку між сусідніми шпалами, рівному осередку, внутрішній частині шпали. На кінцевих поверхнях вирізів 6 і 7 формуються скоси 8 для зменшення місцевих

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 69 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

напружень при роботі рам під навантаженням. Кожна поздовжня частина 4 має два вертикальних виступи 9 трапецієдального профілю для розміщення проміжних рейкових скріплень і підрейкових площадок 10, виконаних з нахилом 1:20 усередину колії. Бічні поверхні поздовжніх частин 4 і поперечок 5 виконані з технологічними уклонами для забезпечення безперешкодної розпалубки цих виробів при заводському виготовленні. Верхні поверхні поздовжніх частин 4 і поперечок 5 розташовані в одній горизонтальній площині, а нижня поверхня поперечок 5 перебуває вище підосви поздовжніх частин 4 (див. рис. 4.3).

Спосіб спорудження рамної залізобетонної підрейкової основи здійснюється в такий спосіб. Роблять відсипку щебеневого баластового шару 2, що ущільнюють і потім на нього укладають шар рамних шпал 1 у безперервний ряд. Рамні шпали на всьому продовженні колії укладають на рівному друг від друга відстані, образуя тим самим зазор 3. Величину зазору визначають із наступної залежності: $H=0,5 U$, де H - величина зазору; U - ширина осередку між поперечками усередині кожної рами. При цьому в плані утвориться осередок, рівна по величині осередку між поперечками усередині кожної рами. Утворений зазор служить для забезпечення вільного доступу піднімальних і підбивочних механізмів до щебеневого баластового шару зовні й зсередини поздовжніх частин залізобетонних рам. Зазначена величина зазорів визначена досвідченим шляхом і є оптимальною. Величина зазору $H<0,5 U$ не дозволить установлювати в зазорах домкрати для підйому рейкової колії при веденні підбивочно-виправочних робіт, а при величині зазору $H>0,5 U$ буде відбуватися просипка щебенів, баластового шару від вібрацій, що утворюються при русі рухомого состава по рейковій колії. Істотним є й те, що обрана величина зазору між поперечками рамних шпал постійно й істотно менше діаметра коліс рухомого складу. У відомих технічних рішеннях ця відстань значно більше діаметра коліс, у результаті чого при несподіваному сході рухомого состава відбувається впровадження

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 70 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

колiс у баластовий шар у першому ж шпальному ящику, що значно збільшує наслідки сходу.

Таким чином, наявність зазору 3 між торцями поздовжніх частин залізобетонних рам 1 забезпечується можливість ефективного підбиття баластового шару 2 до необхідної щільності по всій довжині поздовжніх частин залізобетонних рам 1. Крім того, здійснюється ущільнення баластового шару 2 у зазорах 3, що разом з поперечними частинами створює перешкоду поздовжньому угону рамної залізобетонної підрейкової основи й забезпечує можливість установки колійних домкратів у зазорах 3 для виконання піднімання рейкової нитки з упором у підшву рейки, а також підвищити безпека руху рухомих складів.

Потім у рейки встановлюють подбивочні механізми й роблять підбиття залізобетонних рамних шпал по всій довжині зведеної ділянки. Після чого досипають баласт і роблять остаточне ущільнення баластового шару зовні й зсередини поздовжніх частин залізобетонних рамних шпал.

Таким чином, описаний винахід дозволить істотно знизити обсяги робіт при улаштуванні земляного полотна й укладанню щебеневого баластового шару, підвищити стабільність залізничної колії, знизити трудові й матеріальні витрати, забезпечити можливість укладання «човником» кінців контррейок (або контрукутників) на підходах до мостів, тунелів і естакад.

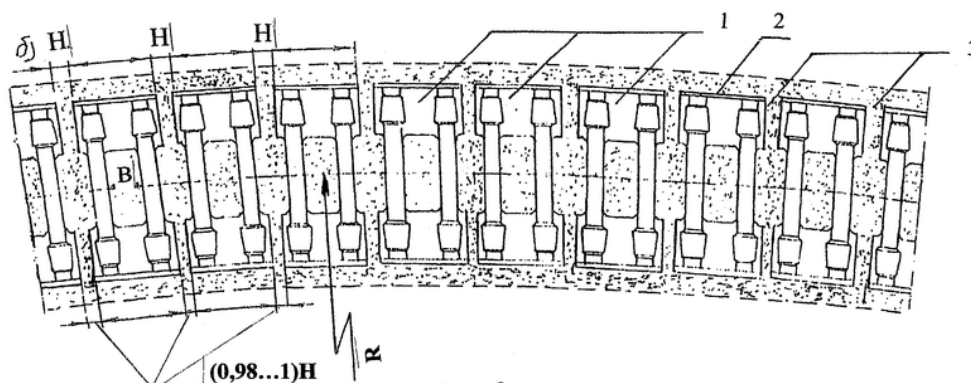


Рис. 4.2. Укладання залізобетонних рам підрейкової основи

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

0053.196506.ДП.2021.001

Арк.

71

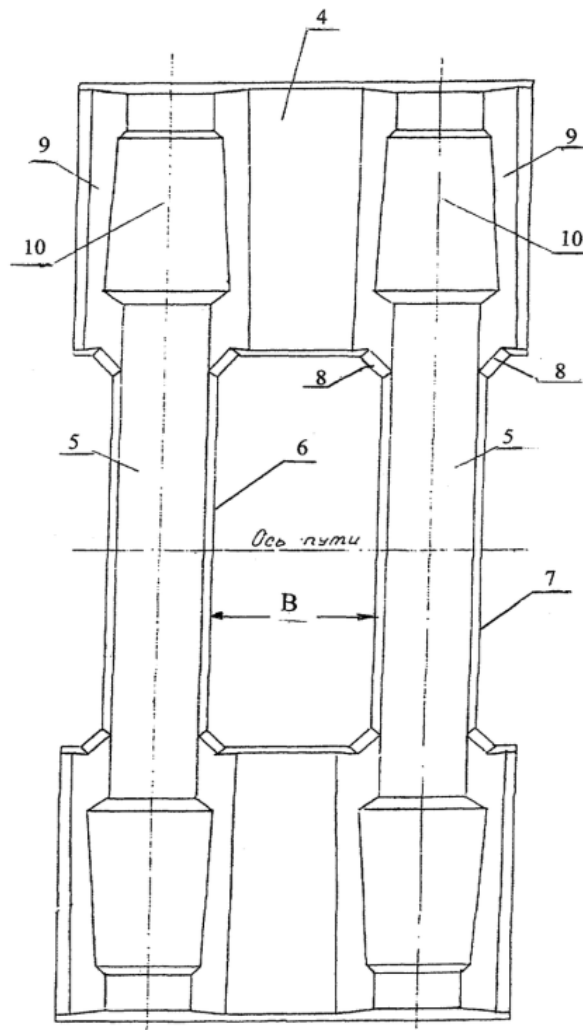


Рис. 4.3. Конструкція залізобетонної рами підрейкової основи

4.2 Пристрій для збільшення горизонтальної жорсткості

Рейко-шпальна решітка містить кріпильні болти та верхню кріпильну частину - хомут, що встановлюється на шпалах. Містить горизонтальні діагоналі жорсткості у вигляді металевих пластин, які встановлені у формі «зигзагу» та приєднані до рейок. Описані в патенті UA 111372 U. Корисна модель належить до залізничного транспорту, а саме до конструкції верхньої будови колії. Корисну модель направлено на вирішення існуючої проблеми щодо збільшення горизонтальної жорсткості рейко-шпальної решітки і протидії поперечному зсуву колії. Відомий пристрій для підсилення конструкції на дерев'яних шпалах, що складається з перемички та притискача, який кріпиться до двох анкерів, розташованих з двох боків за допомогою гайки, шайби та болта (Інструкція з улаштування та утримання

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

0053.196506.ДП.2021.001

Арк.

72

колії залізниць України (ЦП-0269) УДК 625.17(477)(083.13) 2012 р. Недоліками аналога є неможливість монтажу в забаластованій колії та неможливість використання для залізобетонних шпал. Найближчим аналогом до корисної моделі, що заявляється, є пристрій для підвищення поперечної стійкості рейко-шпальної решітки в баласті, який включає в себе анкер, хомут і болти (патент РФ № 2339756, МПК E01B 3/08, 2007 р.). Недоліками найближчого аналога є неможливість монтажу в забаластованій колії та низька ефективна площа опору. Задачею корисною моделлю є удосконалення рейко-шпальної решітки, що дозволить збільшити горизонтальний опір зсуву конструкції. Поставлена задача вирішується тим, що у рейко-шпальну решітку встановлюються діагоналі жорсткості у вигляді металевих пластин у формі "зигзагу", що утворюють з рейками жорсткі трикутники - ферму. Така конструкція є шарнірно-нерухомою, завдяки чому і забезпечується більший горизонтальний опір зсуву всієї конструкції рейко-шпальної решітки. Суть корисної моделі пояснюється кресленням, де на зображена рейко-шпальна решітка. Рейко-шпальна решітка містить залізобетонні шпали 1 та прикріплені до них діагоналі жорсткості 2 у вузлах кріплення 3. Укладання діагоналей жорсткості 2 відбувається наступним чином. На залізобетонні шпали 1 розкладаються діагоналі жорсткості 2, що представляють собою металеві пластини у формі "зигзагу", що утворюють з рейками жорсткі трикутники - ферму. Під час дії горизонтальних сил опір деформації рейко-шпальної решітки буде формуватись не лише рейками, а й горизонтальними діагоналями жорсткості 2. Така конструкція є шарнірно-нерухомою, завдяки чому і забезпечується більший горизонтальний опір зсуву всієї конструкції та ремонтпридатна, що дозволяє її монтаж в забаластованій колії. Рейко-шпальна решітка, що містить кріпильні болти та верхню кріпильну частину - хомут, що встановлюється на шпалах, яка відрізняється тим, що містить горизонтальні діагоналі жорсткості у вигляді металевих пластин, які встановлені у формі «зигзагу» та приєднані до рейок.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 73 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

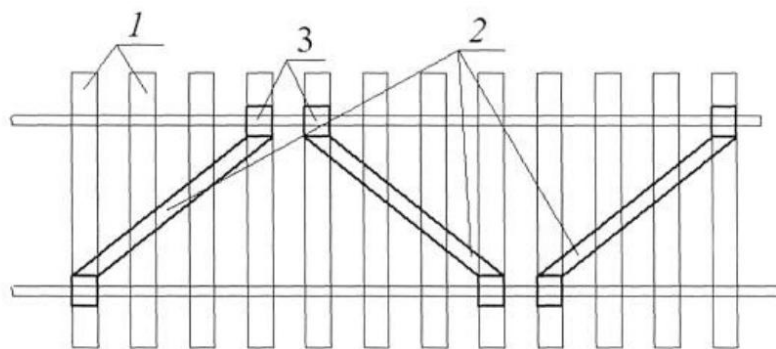


Рис. 4.4. Горизонтальні діагоналі жорсткості

Дана конструкція нажаль має суттєвий недолік – діагональ жорсткості важко приєднати до підкладки так, щоб потім цю підкладку можливо було змонтувати на шпалу. Під час ремонтних робіт або при монтажу дані діагоналі можуть заважати виконувати звичні операції. В таких умовах вони не можуть бути демонтовані, бо являються невідомою частиною колії.

Тому виникає необхідність вдосконалити конструкцію діагоналей жорсткості. По-перше діагональ жорсткості повинна бути окремим елементом і мати змогу встановлюватися в існуючу колію, або легко демонтуватися у випадку необхідності. Повинна бути економічною і з мінімальною металоємкістю. Повинна бути простою в конструкції і експлуатації.

Для створення такої нової конструкції діагоналі жорсткості в шпальний ящик встановлюється підкладка КБ-65 по одній рейковій нитці, та через дві шпали по другій нитці. Ці підкладки з'єднуються прутом діаметром 28 мм, шляхом його приварювання до підкладок. В ідеалі необхідно окремо розробити кріплення діагоналі до підкладки.

На фото показано виготовлену діагональ жорсткості окремо та в зборі. Для виготовлення таких діагоналей необхідно використувати спеціальний стенд та якісне зварювальне обладнання. Неякісні зварні шви можуть призвести до відривання діагоналей від підкладок та суттєвого зменшення жорсткості рейко-шпальної решітки.



Рис. 4.5. Горизонтальна діагональ жорсткості



Рис. 4.6. Установка горизонтальной диагонали жорсткості

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

0053.196506.ДП.2021.001

Арк.

75

4.3 Проведення досліджень жорсткості рейко-шпальної решітки з розробленим пристроєм на ланкозбиральній базі

Дослідження жорсткості рейко-шпальної решітки з розробленим пристроєм проведено на ланкозбиральній базі. Діагоналі жорсткості встановлено з обох боків ланки (рис. 4.7).



Рис. 4.7. Діагоналі жорсткості, що встановлено з обох боків ланки



Рис. 4.8. Вивішування ланки з діагоналями жорсткості

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

0053.196506.ДП.2021.001

Арк.

76



Рис. 4.9. Незначний прогин ланки з діагоналями жорсткості

Розрахунок жорсткості рейко-шпальної решітки зі скріпленням типу КБ-65 та пристроєм, що збільшує жорсткість, проведемо в табличному виді

Таблиця 4.1

Розрахунок жорсткості рейко-шпальної решітки

| Скріплення | q , кН/м | l , м | a , м | V , м | EI , кН·м ² |
|-------------------|---------------|---------|---------|---------|-----------------------------|
| КБ-65 з пристроєм | 6,154 | 1,33 | 5,59 | 0,064 | 18322 |

Рейко-шпальна решітка з розробленим пристроєм збільшила жорсткість в 4 рази. Даний показник міг бути ще вищим, якби було встановлено ще два такі пристрої в середню частину ланки. З фото помітно, що в місцях встановлення розробленого пристрою рейкова нитка не змінила свою прямолінійність, і лише там, де не встановлені були пристрої відбувся вигин решітки.

Можна було встановити косі зтяжки ближче до середньої частини ланки, але таке положення як в експерименті показує наглядно яка довжина ланки піддається деформації. Між косими зтяжками по дві шпали, що складає 1 м. Рейка не має помітних деформацій на такому відрізку. Середня частина ланки складає 4,5 м, де і прослідковується деформація.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 77 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Ця інформація необхідна для формування комбінацій встановлення косих зтяжок, для розробки методики їх застосування в різних умовах експлуатації колії.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 78 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

5 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИКОРИСТАННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПРІСТРОЮ

5.1 Використання розробленого пристрою в прямих

Головний принцип роботи діагоналей жорсткості – це формування трикутника жорсткості. Рейко-шпальна решітка працює по принципу прямокутника. Так як проміжне скріплення є шарніром, хоч і конструктивно є намагання зробити жорстке закріплення, то прямокутник відносно легко перетворюється в паралелограм, відносно легко утворюються горизонтальні нерівності та порушується горизонтальна стійкість безстикової колії. Утворення трикутника жорсткості формує конструкцію, що має назву в будівельній механіці «ферма».

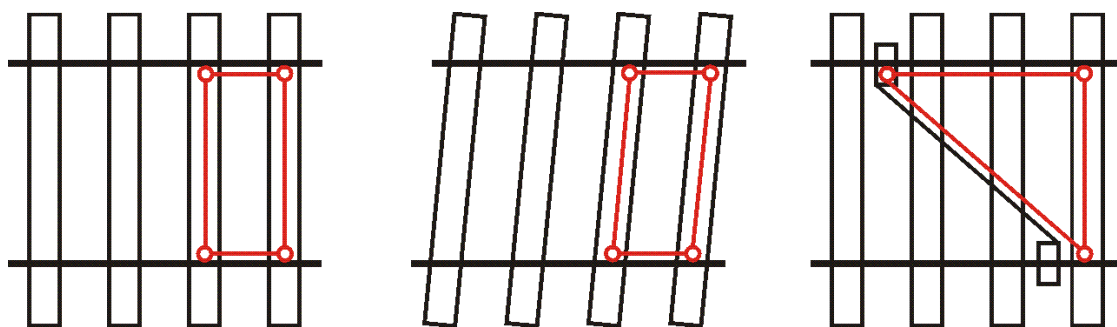


Рис. 5.1. Формування трикутника жорсткості

Елементи ферми – це стержні, які з'єднані шарнірами. На практиці шарніри можуть бути замінені на зварні з'єднання, або клепані з'єднання. Стержні працюють на стиск або розтяг. В залежності від того, як розташована діагональ по відношенню до деформації конструкції, такі і виникатимуть сили. На схемі показано, що червона діагональ розтягається, а синя стискається.

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

0053.196506.ДП.2021.001

Арк.

79

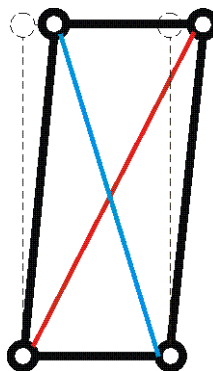
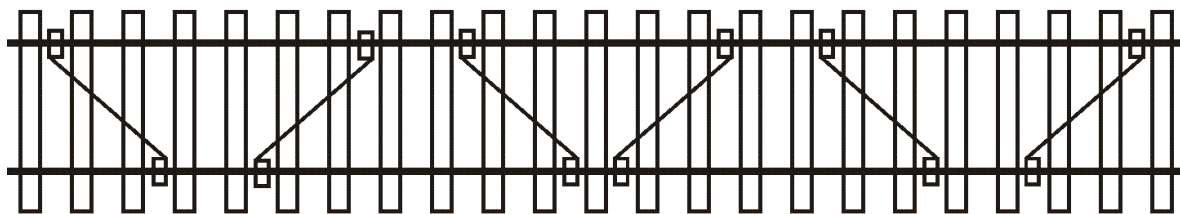


Рис. 5.2. Робота діагоналей жорсткості на стик і розтяг

Стержень, яким являється діагональ, діаметром біля 30 мм та довжиною біля 2 м втрачає стійкість раніше при стисканні, аніж такий стержень втрачає міцність при розтяганні. Тому необхідно передбачити роботу діагоналей жорсткості на розтягання. Так як наперед невідомо напрямок та місце утворення нерівності, то необхідно чередувати діагоналі з різним нахилом.

1840 шп/км



1600 шп/км

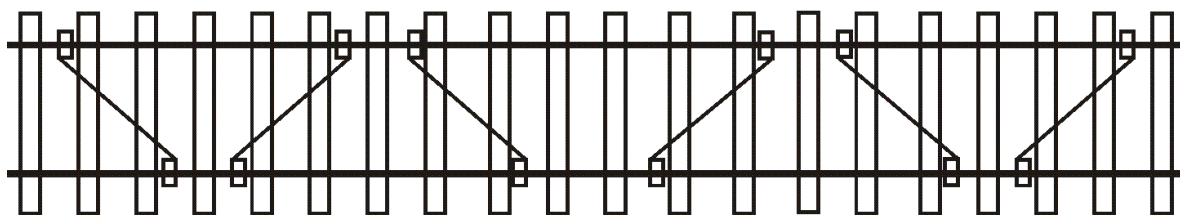


Рис. 5.3. Схема розміщення діагоналей жорсткості

В залежності від епюри кількість шпал на ланці різна, різна і відстань між осями шпал. Тому при різній епюрі розміщення діагоналей жорсткості буде дещо відрізнятися. Якщо встановлювати діагоналі після укладання

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

0053.196506.ДП.2021.001

Арк.

80

рейко-шпальної решітки, то можливі дві схеми: через шпалу, через дві шпали.

На приведених схемах помітно, що при збільшенні відстані між осями шпал підкладка діагоналі не стає на середину шпального ящика. Тобто при зміні епюри повинна бажано щоб була можливість змінювати і довжину діагоналі. До того ж суттєва зміна ширини колії не дасть можливість встановити діагональ жорсткості, що особливо актуально для кривих ділянок колії.

5.2 Використання розробленого пристрою в кривих

Особливістю кривих ділянок колії є збільшення ширини колії.

Згідно ЦП-0269 ширина колії вимірюється між внутрішніми боковими гранями головок рейок на рівні 13 мм нижче верху головок рейок. Відповідно до п. 3.9 ПТЕ норма ширини колії на прямих ділянках колії встановлена 1520 мм. У кривих ділянках колії на дерев'яних шпалах норма ширини колії встановлена:

при радіусах 650 м і більше.....1520 мм;

при радіусах менше 650 до 450 м.....1530 мм;

при радіусах менше 450 до 300 м1535 мм;

при радіусах менше 300 м1540 мм.

На коліях, укладених до 1998 року, допускається норма ширини колії 1520 мм у кривих ділянках радіусами від 349 до 650 м до виконання ремонтно-колійних робіт із комплексної заміни рейко-шпальної решітки.

Для колії на залізобетонних шпалах норма ширини колії на прямих і кривих при радіусах 300 м і більше встановлена однаковою – 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.

Ширина колії більше 1548 мм і менше 1510 мм не допускається.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 81 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таким чином, необхідно передбачити можливість збільшення ширини колії на 25 мм. Діагональ при цьому зростає на 35 мм.

Збільшення довжини діагоналі може бути досягнуто за рахунок використання різбового з'єднання, як на стрілочних переводах. При цьому підкладка буде жорстко з'єднана з частинами діагоналей. Якщо діагональ з'єднати з підкладкою шарнірно, то можна залишити ту ж довжину діагоналі, а при встановленні підкладок вони будуть розміщені ближче одна до одної. Для шарнірного з'єднання можна використати отвори під закладні болти. Найпростіший варіант приварити діагоналі до підкладок на відрехтованій та виставленій по шаблону колії. Такі діагоналі не зношуються, а тому будуть слугувати даній кривій тривалий час, навіть після капітального ремонту колії.

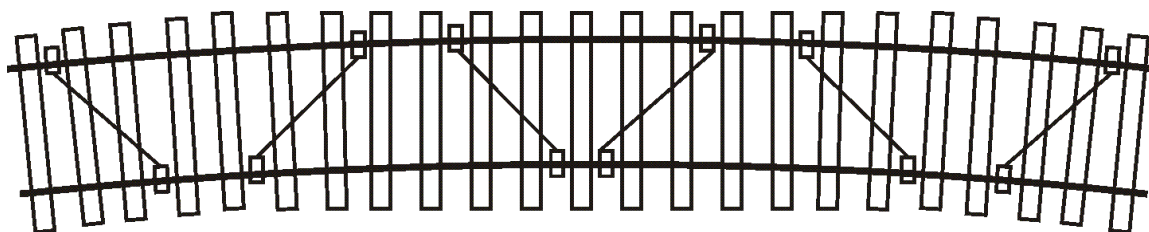


Рис. 5.4. Схема розміщення діагоналей жорсткості в кривій

В кривій ділянці колії зі зменшенням радіусу змінюється довжина діагоналі. Тому для різних кривих повинна бути різна діагональ. Такою діагоналлю може бути регульована тяга стрілочного переводу.



Рис. 5.5. Регульована тяга стрілочного переводу для діагоналі жорсткості

ВИСНОВКИ

Таким чином, безстикова колія для забезпечення стійкості особливо в крутих кривих повинна мати достатню горизонтальну жорсткість. Для збереження плану колії та недопущення розвитку горизонтальних нерівностей колія також повинна мати достатню горизонтальну жорсткість. Горизонтальна жорсткість забезпечує горизонтальну стабільність колії. Горизонтальна стабільність забезпечується анкерами на торцях шпал, на постелі шпал, збільшенням ваги шпал, присипкою шпал щебенем, склеюванням баласту, зв'язуванням баласту.

Результати експериментальних досліджень показали, що звичайна колія зі скріпленням КБ-65 більш жорстка, ніж зі скріпленням КПП-5.2. Горизонтальна поперечна жорсткість рейко-шпальної решітки зі скріпленням КБ-65 більша в 1,7 рази в порівнянні з колією зі скріпленням КПП-5.2. Горизонтальна жорсткість рейко-шпальної решітки прямопропорційно залежить від рівня затяжки гайок клемних та закладних болтів законом $EI = 10M + 3075$. Жорсткість рейко-шпальної решітки зі скріпленням КБ-65 в середньому складає 4500 кН м^2 . Жорсткість рейко-шпальної решітки зі скріпленням КПП-5 в середньому складає 3000 кН м^2 .

Існуюча конструкція рейко-шпальної решітки має недолік у шарнірних зв'язках прямокутника. Улаштування трикутника в рейко-шпальній решітці за допомогою діагоналі жорсткості значно підвищує її жорсткість. Запропонована конструкція регульованої діагоналі жорсткості, її спосіб встановлення та схема частоти і положення діагоналей рейко-шпальної решітки дозволяють підняти горизонтальну жорсткість мінімум в 4 рази.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 83 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ЛІТЕРАТУРА

1. Арбузов, М. А. Дослідження горизонтальної поперечної жорсткості рейко-шпальної решітки суміщеної колії [Електронний ресурс] / М. А. Арбузов // Проблеми механіки залізничного транспорту: Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. - 2013. - Вип. 33. - С. 244-248.
2. Писаренко, Г. С. Справочник по сопротивлению материалов [Текст] / Г. С. Писаренко, А. П.
3. Бесстыковой путь [Текст]: Труды всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта № 244 / за ред. Е. М. Бромберга. – М. : Трансжелдориздат, 1962. – 216 с.
4. Снитко Н.К. Новый метод нахождения уравнения упругой линии бруса при помощи ряда Маклорена. Труды МИИТа, вып. 24, М., 1932.
5. www.css-rzd.ru/vestnik-vniizht/v6-7_1.htm
6. Писаренко.
7. Крейнис З.Л., Селезнева Н.Е. Бесстыковой путь. Как устроен и работает бесстыковой путь: Учебное пособие / Под ред. проф. Крейниса З.Л. - М.: Маршрут, 2005. - 84 с.
8. Коган А. Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом. М.: Транспорт, 1997. - 326 с.
9. Вериго М. Ф. Новые методы в установлении норм устройства и содержания бесстыкового пути.- М: Интекст, 2000. - 184 с.
10. Бромберг Е.М. Экспериментальное изучение устойчивости бесстыкового пути // Труды ВНИИЖТ МПС, вып. 244. – Москва: Трансжелдориздат, 1962. - С. 129-163.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 0053.196506.ДП.2021.001 | Арк. |
| | | | | | | 84 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |