

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Будівництво, архітектура та інфраструктура
(назва факультету)

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему: Температурна робота безстикової колії в кривих ділянках
за освітньою програмою: Залізничні споруди та колійне господарство
зі спеціальності: J7 Залізничний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: КГ2421

/ Олексій МОЇСЄВ /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:

/ доцент. Максим АРБУЗОВ /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер:

/ зав. каф. Олексій ТЮТЬКІН /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

(назва розділу)

(підпис)

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Будівництво, архітектура та інфраструктура

Кафедра: Транспортна інфраструктура

Рівень вищої освіти: Магістр

Освітня програма: Залізничні споруди та колійне господарство

Спеціальність: J7 Залізничний транспорт
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

Олексій ТЮТКІН

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата _____

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу

магістр

(ступінь вищої освіти)

студенту Моїсеєв Олексій Володимирович

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Температурна робота безстикової колії в кривих ділянках

Керівник роботи: Арбузов Максим Анатолійович доцент

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від

"02" 10 2025 р. № 1401ст

2. Строк подання студентом роботи: 11.01.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: Характеристики сучасного стану залізничних перевезень, аналіз технічного стану колій

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина:

Поняття про роботу безстикової колії, температурні напруження, погонний опір переміщенню рейкової пліти при зміні температури

4.2 Основна частина:

Аналіз температурного розширення плітей, зміна зазорів стикових при зміні температури, дослідження погонного опору.

5. Перелік графічного матеріалу:

Презентація за матеріалами досліджень, викладених в магістерській роботі (PowerPoint, 10 слайдів)

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
1	Арбузов М.А., доцент		
2	Арбузов М.А., доцент		
3	Арбузов М.А., доцент		
4	Арбузов М.А., доцент		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1 Теоретичні основи дослідження		
2	Розділ 2 Дослідження погонного опору 2.1 Відомість про температурні напруження 2.2 Відомість про погонний опір		
3	Розділ 3 Зміна довжини рейки при коливанні її температури		
4	Розділ 4 Розрахунок крутного моменту при вимірюванні затяжки клемних болтів		
5	Формування реферату, загальних висновків та рекомендацій		
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	11.01.26	100%
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії		

Студент

_____ (підпис)

Олексій МОЇСЄВ

_____ (Ім'я ПІРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Максим АРБУЗОВ

_____ (Ім'я ПІРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:
62 с., 6 рис., 6 табл., 17 літературних джерел.

Об'єкт дослідження – ділянка колії станції Н., та перегін з криволінійними ділянками К. – Н. парної колії.

Мета роботи – аналіз проблем, які виникають під час зміни температури рейки, дотримання вимог при погонному опорі рейки.

У цій роботі проводилося дослідження зміни стикових зазорів при різних показниках температури а також при максимально можливій температурі рейки для регіону, велися відомості погонного опору рейки, показники затяжки рейкових скріплень при недостатньому погонному опорі.

На основі проведеного дослідження були зроблені висновки та запропоновані шляхи вирішення проблем про посилення погонного опору, рекомендації правильного закріплення рейкової пліті в межах температурного інтервалу на постійний режим експлуатації.

Ключові слова: РЕЙКОВА ПЛІТЬ, ТЕМПЕРАТУРНІ НАПРУЖЕННЯ
ПОГОННИЙ ОПІР.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	10
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОГОННОГО ОПОРУ	15
2.1 Відомість про температурні напруження	26
2.2 Відомість про погонний опір.....	34
3 ЗМІНА ДОВЖИНИ РЕЙКИ ПРИ КОЛИВАННІ ЇЇ ТЕМПЕРАТУРИ...48	
4 РОЗРАХУНОК КРУТНОГО МОМЕНТУ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ЗАТЯЖКИ КЛЕМНИХ БОЛТІВ.....	53
ВИСНОВКИ.....	58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	61

ВСТУП

Зварювання рейок – це універсальний інженерний інструмент, який використовується для з'єднання відрізків рейок для формування довгозварної рейки.

Рейковий прокат виготовляється з рейок різної довжини методом контактного зварювання оплавленням. Переважним методом є використання статичної установки у стаціонарних установках, але його також можна виготовляти за допомогою мобільних машин контактного зварювання оплавленням. Наразі існують заводи зі статичного зварювання, що виробляють рейковий прокат. Стаціонарні заводи використовують зварювальний апарат Schlatter GASS 80/580 AC, який також включає станцію очищення кінців рейок, автоматизований прес та автоматичний шліфувальний цех.

Рейки готують до зварювання на станції очищення кінців рейок, а потім переміщують до зварювальної головки, де рейки вирівнюються вздовж центральної лінії головки, а також перевіряється їх поперечне вирівнювання. Перед початком зварювання рейки затискаються на головці та під опорою. Одна з рейок утримується статично, а інша може рухатися, що дозволяє проводити кування. Залежно від профілю рейки, що зварюється, вибирається програма зварювання, в якій запрограмовані параметри зварювання (вольти, амperi, кількість попередніх нагрівань, тиск кування тощо), що означає, що оператор не може змінити її.

Після встановлення на колію, пліті зварюються разом для утворення довгої пліті звичайним методом з'єднання - алюмінотермічним зварюванням. Наразі схвалено два процеси - Thermit (Велика Британія) та Railtech (Велика Британія). Процес Thermit є більш усталеним і вперше був запроваджений у Великій Британії в 1958 році. Однак процес Railtech, який використовується лише з 1998 року, набирає популярності, особливо серед підрядників з реконструкції.

Обидва процеси схожі за своїм виконанням. Зварювальний зазор створюється або дисковим різанням, або газокисневим різанням (номінально 28 мм та 25 мм для Thermit та Railtech відповідно), а кінці рейок загострюються на 1,5 мм, виміряні на 1 м. На цьому етапі два процеси відрізняються тим, що Thermit використовує двосекційну вогнетривку форму, яка регулюється за допомогою тертя та напилювання, тоді як Railtech використовує трисекційну вогнетривку форму з вбудованими повстяними смужками, які герметизують рейки та не потребують регулювання, окрім місцевого різання повсті для покращення вирівнювання.

Нещодавнє впровадження процесу Thermit SkV-E (вдосконаленого) означає, що в обох процесах тепер використовуються системи попереднього нагрівання низького тиску з використанням кисню та пропану як паливного газу для звичайного застосування, а також ацетилену як паливного газу в тунелях. Тиск газу та час попереднього нагрівання для Thermit та Railtech відповідно (профіль рейки CEN 56E1) становлять: 0,7 бар пропан/3,0 бар кисень протягом 3,5 хвилин та 0,6 бар пропан/1,2 бар кисень протягом 4 хвилин. В обох процесах тепер використовується тигель багаторазового використання, хоча для процесу Thermit SkV-L80 з широким зазором тигель тривалого терміну служби все ще використовується головним чином з міркувань безпеки та охорони здоров'я через великий об'єм розплавленої сталі, яка залишатиметься без підтримки на формах.

Після попереднього нагрівання тигель встановлюють на місце, алюмініотермічна частина запалюється, і отримана розплавлена сталь потім заливається у форми. Зварний шов залишають непорушним протягом певного часу, перш ніж обладнання розбирають, і зварний шов обробляють машиною, залишаючи приблизно 3 мм надлишкового матеріалу навколо головки рейки, який потім шліфують до профілю за допомогою шліфувального верстата.

Як згадувалося раніше, машини для зварювання з високою міцністю (MFBW) використовуються для виробництва легкого плавлення (LWR), але

все частіше використовуються для виробництва хромованого плавлення (CWR). Машини MFBW мають недоліки, зокрема, щодо доступу до об'єкта через їхній відносний розмір, а також собівартість одиниці продукції за зміну, яка зазвичай вимагає виконання близько 30-40 зварних швів, щоб зробити їх економічно привабливими порівняно з алюмініотермічним зварюванням. Однак, цю високу вартість можна компенсувати вищою якістю зварного шва та нижчим рівнем браку.

В даній роботі проведено дослідження роботи рейкових плітей в експлуатації. Розглянуто роботу зазорів у зрівнювальних прольотах. Такі дослідження є обов'язковими перед проведенням алюмотермічного зварювання плітей. Сьогодні на вітчизняних залізницях взято курс на створення довгих рейкових плітей довжиною «від станції до станції». Тому знання про роботу плітей, особливо в кривих ділянках, є актуальним питанням сьогодення в процесі розвитку колійної інфраструктури.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Значну частину головних колій на залізницях України становить безстикова колія. Ця конструкція є найбільш ефективною і має великі переваги на відміну від ланкової колії. Відсутність рейкових стиків на безстиковій колії робить рух по ній більш комфортнішим для пасажирів, а також відсутність динамічних ударних сил по стикам робить менший знос верхньої будови колії, що забезпечує довший термін служби рейок, шпал і баласту, зменшує витрати робочої сили на поточне утримання, а також менший знос коліс рухомого складу.

Безстикова колія кріпиться як на розділних болтових скріпленнях типа КБ, так і безболтових клемно пружних скріпленнях типа КПП. Вкладається безстикова колія суто на залізобетонних шпалах, на щебеновому баласті і може вкладатися як на прямих так і на кривих ділянках колії але з радіусом не менше 350м. Безстикова колія з довгими рейковими плітьми використовується також як в прямих так і в кривих ділянках але з радіусом не менше 600м. В залежності від місцевих умов безстикова колія встановлюється проектом і але повинна бути не менше 400м. З дозволу начальника служби колії можуть укладатися рейкові пліті безстикової колії меншої довжини як на перегонах, так і в межах станції між ізолюючими стиками, або між стрілочними переводами. Укладання рейкових плітей між стрілочними переводами повинні бути відділені від стрілочних переводів двома парами зрівнювальних рейок по 12,50м. Зрівнювальні рейки з'єднуються між собою шістьотворними накладками та закріплені високоміцними болтами. При укладанні рейкових плітей в кривих ділянках колії їхні кінці повинні бути розташовані один напроти одного, дозволяється забігання стиків, але не більше ніж на 8 см.

Рейкові пліті досягаються будь якої довжини і досягаються зварюванням рейок. Всі ці роботи проводяться на рейкозварювальному підприємстві (РЗП). Вони займаються виробництвом рейкових плітей і після зварювання відповідної довжини доставляються спеціальним рейковозним

поїздом до міста укладки. Але на відміну від коротких рекових плітей довгі рейкові пліті зварюються в колії для збільшення їхньої довжини колійною рейкозварювальною машиною типа КРЗМ. Після зварювання кожної пліті, кожний зварний стик повинен бути відмічен білою маслянистою фарбою з обох боків від зварного стика на шійці та підшві рейки. Після укладання рейкової пліті, на краю пліті, на початку та вкінці робиться маркування рейкової пліті, де маслянистою білою фарбою наноситься номер РЗП на якому виготовленні рейкові пліті, номер за зварювальною відомістю, сторонність рейкової пліті (права чи ліва), довжина самої пліті в метрах з точністю до двох знаків після коми, також додають дату укладання пліті, температуру закріплення, та температурний інтервал закріплення.

На відміну від ланкової колії безстикова колія потребує більш ретельного контролю над собою. Це в першу чергу викликано поздовжніми температурними зусиллями, які виникають в рейковій пліті особливо в літній період. Нагрів рейкової сталі викликають поздовжні сили які при слабому плечі баластної призми можуть викликати викід колії, при слабому затягуванні рейкових скріплень можна досягти переміщення рейкових плітей від сумісної дії температурних і динамічних сил. Контроль за переміщенням рейкових плітей здійснюється шляхом зміщення білих рисок, які нанесені білою фарбою на боковій грані підкладкі та підшві рейки. Такі шпали називають маячні шпали. Вони як правило кріпляться клемними болтами з підрізними лапками, а при безболтовому кріпленні клема на цій шпалі відсутня. Зміна напруженого стану визначається неспівпаданням рисок на підкладці і рейки. При зміщенні рисок до 5мм потребує перевірку стану скріплень на ділянці при необхідності часткову заміну дефектних скріплень або сплошну перетяжку клемних і закладних болтів. Якщо після проведення всіх заходів по перетяжці і частковій заміні скріплень зміщення продовжується, то необхідно вжити заходів по зняттю температурних напружень методом розрядки.

Через зміну температури навколишнього середовища рейкова пліть

стискається при високій температурі рейкової сталі, а при низькій температурі сталеві рейки працюють на розтяг. При температурно напруженій безстиковій колії поздовжні зусилля які виникають в рейковій пліті при нагріві мають спробу змінити довжину пліті за рахунок стискальних сил, але при добре закріпленій рейковій пліті подовження не трапляється і при слабому плечі баластної призми може здійснитися викід колії. При низькій температурі рейковій пліті, поздовжні зусилля працюють на розтяг, що може призвести до зламу рейки по підшві і утворення небезпечного зазора при якому рух поїздів заборонено. Такі температурні напруження в цілому трапляються якщо рейкова пліть була закріплена при укладці за межами температурного інтервалу. Тому перед перезакріпленням пліті на постійний режим експлуатації робиться розрядка, знімаються напруження і рейкова пліть закріплюється в межах температурного інтервалу.

Розрядження температурних напружень у рейковій пліті одна із трудомістких і відповідальних колійних робіт в колійном господарстві де потребується обмеження швидкості руху поїздів при підготовчих роботах а приосновних зариття руху. Саме розрядження виконується виваженням на ролики рейкової пліті і ударними силами чи посукиванням молотками вдовж пліті досягаються розподіл напружень при якому змінюється довжина пліті. Сам контроль за якістю переміщенням досягається контролем за переміщенням перерізів пліті відносно маячних шпал, які наносяться білою рисою, на рейкі і шпалі через кожні 50м, а також поживження чи зменшення пліті на її кінцях. Тому після того як переміщення пліті зупинилось при ударних силах напруження в пліті остаточно знято і в зрівнювальних пролетах укладаються рейки іншої довжини при досяганні нормативних зазорів в стиках. Як правило розрядження рейкової пліті проводиться по обох рейкових нитках. Але при послідовному розрядженні різниця в температурах закріплення обох ниток не повинно перевищувати 5°C. Остаточна температура закріплення встановлюється путем заміру температури рейки перед началом і кінцем закріплення і вибирається середне

значення температури і рейкова пліть закріплюється на постійний режим експлуатації.

Як зазначалось вище, що безстикова колія – це конструкція верхньої будови колії, де рейки з'єднуються між собою зварюванням у суцільну рейкову пліть, що дозволяє усунути стики. Але як зазначалось вище температурний вплив для рейкової сталі має значний коефіцієнт лінійного теплового розширення, що при високих температурах рейки спричиняє виникнення значних поздовжніх напружень стиснення, про які вже зазначалось вище. При охолодженні рейки і знижені температури виникають напруження розтягнення, що також впливає на стійкість колії. При охолодженні виникають можливі тріщини у зварних швах де накопичуються напруження, що викликають розвиток втоми матеріалу. Тому температура укладання рейкової пліті є важливим і визначальним фактором, як при реконструкції. При правильному підході дозволяє забезпечити баланс напружень на протязі року. Тому заборонено укласти рейкові пліті при температурі нижче -15°C на прямих ділянках, і нижче -5°C на кривих ділянках колії. Таким чином, постійний контроль за технічним станом верхньої будови колії і контроль за температурним режимом є важливим з точки зору аварійних ситуацій на коліях.

Температурні напруження є основним фактором, тому її експлуатація потребує суворих нормативних вимог, які регламентуються в Україні інструкцією ЦП-0266 «Технічні вказівки по улаштуванню, укладанню, ремонту і утриманню безстикової колії на залізницях України».

Клас колії та урахування кліматичних умов визначають температуру закріплення рейкових плітей. Довгі пліті повинні бути закріплені в межах температурного інтервалу для перешкодження порушення її геометричних параметрів. Для кліматичних умов України оптимальний інтервал закріплення на ділянках з обслуговування важкої техніки $+25^{\circ}\text{C} \dots +35^{\circ}\text{C}$. Для ділянок з легким обслуговуванням $+25^{\circ}\text{C} \dots +40^{\circ}\text{C}$. Такі діапазони забезпечують уникати великих температурних напружень коли температура

колії може досягати відмітки до + 60°C. Тому виконання нормативних температурних режимів зберігає геометричну стабільність рейкової пліті, і забезпечує безпеку руху поїздів, коли температура рейки досягає високих показників.

Дотримання температурних режимів є важливим фактором при укладанні безстикової колії. При їх недотриманні можуть виникнути відступи в стабільності роботи колії, такі як порушення стабільності баласту, або швидкому зношенні верхньої будови колії, що приводить до загрози безпеки руху поїздів. Є ряд найпоширеніших дефектів, які відбуваються з порушенням температурного режиму такі як:

Викривлення колії, яке може виникнути при перевищенні заpredельної температури, і при слабкому баласт в шпальних ящиках, при слабкому кріпленні при температурному розширенні пліть втрачає свою стійкість і зміщується за рахунок продольних сил в горизонтальній площині.

Злам зварних швів, виникає переважно при низькій температурі рейкової пліті, яка при критичній температурі працює на разрив, тому при концентрації напружень в зварних стиках можуть виникнути потріскування або розрив зварного шва, який погрожує безпеці руху поїздів.

Порушення геометричних параметрів колії, виникає з порушенням температурного режиму, і виникають деформації, такі як порушення стабільності рівня колії, кути в плані колії, небезпечне уширення колії. Всі ці параметри порушують плавність руху поїздів і швидкий знос верхньої будови колії.

Незважаючи на недоліки, які присутні в безстикової колії, вона володіє перевагами такими як, зменшення зносу, збільшення служби елементів колії, економія металу, підвищений комфорт. Ці переваги роблять безстикову колію основною конструкцією колії незалежно від її довжини та інших характеристик. Ця конструкція є найбільш сучасною і ефективною для залізничного транспорту усьому світі і вважається найбільш прогресивною конструкцією на сучасному залізничному транспорті.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОГОННОГО ОПОРУ

Погонний опір переміщенню колії вздовж формується опором шпал переміщенню в баласті або опором переміщенню рейок по опорам. Погонний опір впливає на деформацію плитей, на зміну температурних зазорів, на довжину дихаючих кінців та цілий ряд технічних параметрів, пов'язаних з технологією роботи та утримання а також з безпекою на залізничному транспорті.

Дослідженню підлягає ділянка колії з кривими та прямими, плітями та зрівнювальними рейками. Дослідження зазорів в стиках відображає дослідження погонного опору.

Розподілена температурна сила (кН/м) на деформуючій ділянці [6] однієї рейкової нитки безстикової пліті знаходиться по формулі:

$$p_t^{poz} = \frac{P_t}{X}, \quad (2.1)$$

де: P_t - поздовжня температурна сила (кН), яка виникає в одній рейковій нитці безстикової пліті. При зміні температури рейки відносно температури закріплення на величину Δt сила P_t знаходиться по формулі:

$$P_t = \alpha \cdot E \cdot \Delta t \cdot F, \quad (2.2)$$

де: α - коефіцієнт лінійного розширення рейкової сталі, $\alpha = 0,0000118$ 1/град;

E - модуль пружності рейкової сталі, $E = 2,1 \times 10^5$ МПа = $2,1 \times 10^8$ кН/м²;

F - площа перетину рейки, м².

Δt - інтервал зміни температури рейки відносно температури закріплення.

X – довжина кінцевих ділянок (м), на яких відбуваються поздовжні деформації рейкової пліті при нагріванні на певне число градусів Δt . Визначається за формулою:

$$X = \frac{\alpha \cdot E \cdot \Delta t \cdot F}{r}, \quad (2.3)$$

де: r - погонний опір поздовжньому переміщенню підшви рейки по основі, залежить від типу проміжних рейкових скріплень і епюри шпал.

Погонний опір знаходиться по формулі:

$$r = \frac{C'_{yz}}{l_{uz}} \quad (2.4)$$

C'_{yz} - опір вузла скріплення силам поздовжнього переміщення рейки (кН). Приймається $C'_{yz} = C_{yz}$

Величини C_{yz} , r для різних типів сучасних скріплень наведені в [6].

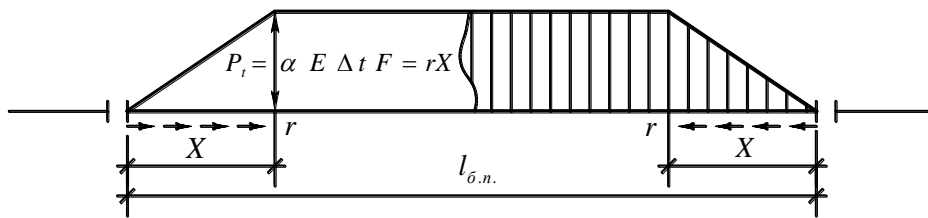


Рис. 2.1 Епюра поздовжніх сил в рейковій пліті безстикової колії

Визначення поздовжньої деформації кінців рейкової пліті безстикової колії здійснюється наступним чином.

Поздовжні деформації кінців рейкової пліті можливо визначити із розгляду епюри поздовжніх сил в безстиковій пліті на рис. 2.1.

Визначення довжини кінцевих ділянок X рахується по формулі (2.5):

$$X = \frac{\alpha \cdot E \cdot F \Delta t}{r} \quad (2.5)$$

Фактичне зміщення кінців пліті Δl_{ϕ} , що відбувається при зміні температури рейок, визначається як різниця між можливим повним подовженням кінців і подовженням кінців, яке не відбулось, тобто

$$\Delta l_{\phi} = \frac{1}{2} \alpha \cdot X \cdot \Delta t, \quad (2.6)$$

З урахуванням того, що можливе вільне подовження кінця пліті складає

$$\Delta l = \alpha \cdot X \cdot \Delta t \quad (2.7)$$

розрахунки показують, що фактичне подовження кінців рейкової пліті і подовження, яке не відбулось, рівні між собою.

Схема ділянки

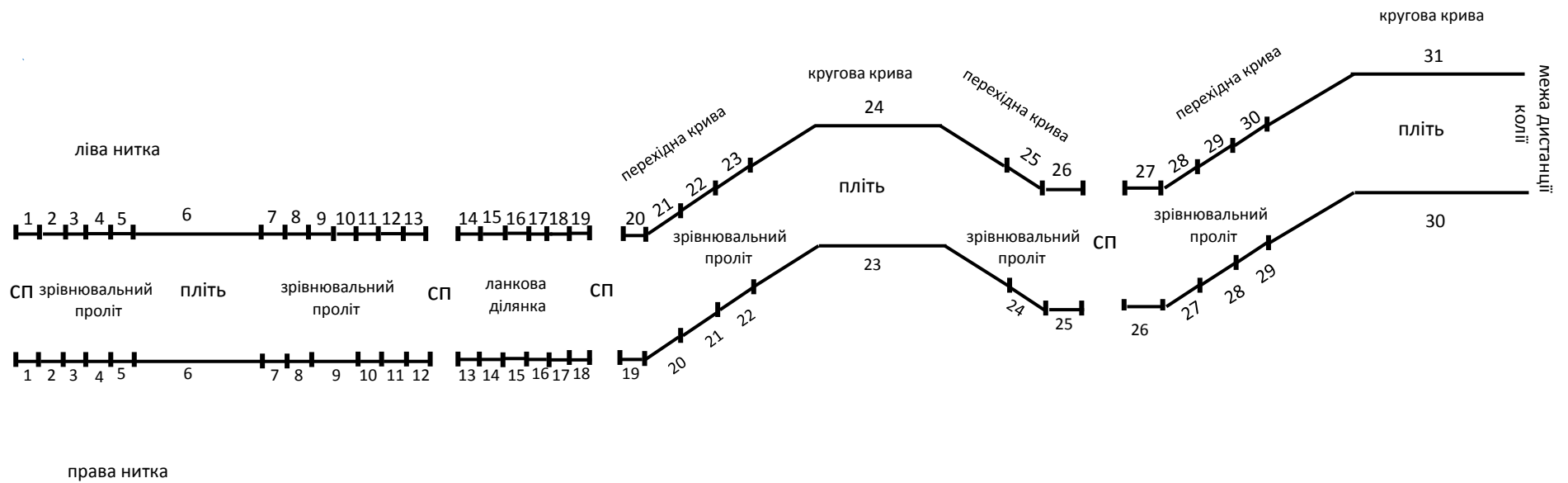


Рис. 2.2 Схема ділянки залізничної колії, що підлягає дослідженню

Таблиця 2.1 Вимірювання зміни стикових зазорів в залежності від зміни температури рейки та повітря

Кілометри/пікети	Температура повітря	Температура рейки	Величина зазора		Температура повітря	Температура рейки	Величина зазора		Температура повітря	Температура рейки	Величина зазора		Температура повітря	Температура рейки	Величина зазора	
			Права нитка	Ліва нитка			Права нитка	Ліва нитка			Права нитка	Ліва нитка			Права нитка	Ліва нитка
5км/пк 10,9 (зрівнювальний проліт)	12°C	15°C	Права нитка	Ліва нитка	34°C	45°C	Права нитка	Ліва нитка	20°C	25°C	Права нитка	Ліва нитка	1°C	8°C	Права нитка	Ліва нитка
			7	8			0	0			3	4			10	7
			5	11			0	4			3	9			15	7
			12	21			0	13			6	18			25	24
			12	11			5	1			10	7			15	24
			18	20			15	12			20	14			20	30
			30	24			12	6			21	18			28	33
5км/пк 1, 4км/пк 10 (зрівнювальний проліт)	13°C	17°C	Права нитка	Ліва нитка	36°C	50°C	Права нитка	Ліва нитка	20°C	25°C	Права нитка	Ліва нитка	1°C	8°C	Права нитка	Ліва нитка

			14	19			0	0			8	11			25	25
			3	9			0	0			2	5			6	15
			10	20			0	10			6	19			14	25
			-	15			-	12			-	17			-	20
			20	17			9	8			17	13			25	19
			20	4			10	0			16	3			20	8
			3	11			0	2			1	7			10	15
			23	11			19	10			21	15			23	19
4км/пк 9,8 (ланко ва колія)	13°C	17°C	Пра ва нитк а	Ліва нитк а	36°C	50°C	Пра ва нитк а	Ліва нитк а	20°C	25°C	Пра ва нитк а	Ліва нитк а	2°C	10°C	Пра ва нитк а	Ліва нитк а
			9	5			0	0			6	2			16	11
			12	24			2	23			13	24			24	24
			13	18			5	10			10	16			18	20
			9	10			0	0			4	5			16	15
			9	20			0	13			5	16			22	23
			17	13			12	6			15	10			18	15
			20	26			19	26			20	26			28	26
4км/пк 8,7 (зрівн юваль ний проліт)	14°C	18°C	Пра ва нитк а	Ліва нитк а	37°C	52°C	Пра ва нитк а	Ліва нитк а	21°C	27°C	Пра ва нитк а	Ліва нитк а	2°C	10°C	Пра ва нитк а	Ліва нитк а
			11	25			5	15			9	25			14	31
			2	10			0	0			2	6			11	13
			20	3			10	0			15	1			25	11

			20	5			0	0			13	2			26	13
			16	15			8	4			15	10			21	18
Зкм/пк 9 (зрівнювальний проліт)	14°C	18°C	Пра ва нитк а	Ліва нитк а	37°C	52°C	Пра ва нитк а	Ліва нитк а	21°C	27°C	Пра ва нитк а	Ліва нитк а	2°C	10°C	Пра ва нитк а	Ліва нитк а
			15	15			4	3			14	15			18	19
			15	15			5	5			15	13			17	17
			16	18			14	16			15	15			28	32
Зкм/пк 8 (зрівнювальний проліт)	14°C	18°C	Пра ва нитк а	Ліва нитк а	37°C	52°C	Пра ва нитк а	Ліва нитк а	21°C	24°C	Пра ва нитк а	Ліва нитк а	2°C	10°C	Пра ва нитк а	Ліва нитк а
			1	11			0	0			0	4			5	13
			16	19			6	13			10	16			19	21
			12	25			5	12			9	19			15	25
			21	21			14	15			18	18			23	23
			25	24			16	11			20	17			25	24

На рис. 2.2. представлено схему дослідної ділянки з позначенням кривих, прямих, плітей та рейок стандартної довжини. Виділено праву таліву рейку. Пронумеровані стики дозволяють робити прив'язку до об'єкту вимірювання. Підчас досліджень здійснювалися виміри температури та величини зазорів у всіх стиках. Тому важливо було слідкувати за конкретним зазором та конкретною температурою.

Дослідження проводилися тривалий час більше року. Тому охопений великий дослідний проміжок часу, що об'єктивно відображає роботу плітей на протязі року.

Вимірювалася температура як самої рейки так і повітря, так як вони відчутно різняться. Всі досліджені параметри оформлені у вигляді таблиці 2.1.

Для детального подальшого аналізу проведено вимірювання всіх довжин рейок. Так як дихаючі кінці можуть змінювати свою довжину в залежності від погонного опору, то знання про розмір рейки є важливою інформацією.

Таблиця 2.2 Довжини рейок дослідної ділянки

Права нитка		Ліва нитка	
Номер рейки	Довжина, м	Номер рейки	Довжина, м
1	16,69	1	16,70
2	25,00	2	25,00
3	25,01	3	25,00
4	25,02	4	25,00
5	12,40	5	12,48
6	837,50	6	837,50
7	12,42	7	12,42
8	25,01	8	25,00
9	25,00	9	13,90
10	24,99	10	11,07

11	12,45	11	25,00
12	14,35	12	12,50
13	10,79	13	14,29
14	18,46	14	10,81
15	25,00	15	18,48
16	25,00	16	25,00
17	24,99	17	25,00
18	9,76	18	24,92
19	15,51	19	9,69
20	12,50	20	15,43
21	25,02	21	12,54
22	12,54	22	25,02
23	796,08	23	12,46
24	12,60	24	798,00
25	12,49	25	12,54
26	12,55	26	12,51
27	12,46	27	12,49
28	12,43	28	12,53
29	25,02	29	12,49
30	440,02	30	25,00
		31	439,12

В практичні експлуатації плітей безстикової колії важливо забезпечити безпечне виконання колійних робіт. Для будь-якої роботи необхідно слідкувати за різницею між температурою закріплення пліті та фактичною температурою. Якщо дана різниця більша за допустиму величину, то може статися викид плітей безстикової колії. З іншого боку всі колійні роботи плануються. І часто складається ситуація, коли запланована робота відкладається через високу фактичну температуру рейок. Колійники не знають температуру рейок «на завтра». Але завжди є інформація про прогнозну температуру повітря. Необхідно навчитися переходити від прогнозної температури повітря на температуру рейки. Для цього були

проведені спостереження та температурою повітря та рейки в різні погодні умови. В таблиці 2.3 представлено дослідження температури повітря та температури рейки.

Таблиця 2.3 Дослідження температури повітря та температури рейки

№ дослідження	Температура рейки °С	Температура повітря °С	Примітки
1	15	12	26.09.25 (9.20 год)
2	17	13	26.09.25 (9.45 год)
3	18	14	26.09.25 (10.00 год)
4	45	34	20.07.25 (11.30 год)
5	50	36	20.07.25 (11.50 год)
6	52	37	20.07.25 (12.10 год)
7	25	20	30.08.25 (9.15 год)
8	27	21	30.08.25 (9.35 год)
9	8	1	27.01.25 (10.40 год)
10	10	2	27.01.25 (11.05 год)
11	11	8	18.10.25 (9.00 год)
12	12	8	18.10.25 (9.30 год)
13	12	8	18.10.25 (10.00 год)
14	12	8	18.10.25 (10.30 год)
15	13	8	18.10.25 (11.00 год)
16	13	9	18.10.25 (11.30 год)
17	13	9	18.10.25 (12.00 год)
18	14	9	18.10.25 (12.30 год)
19	14	9	18.10.25 (13.00 год)

20	14	10	18.10.25 (13.30 год)
21	15	10	18.10.25 (14.00 год)
22	15	10	18.10.25 (14.30 год)
23	13	9	18.10.25 (15.00 год)
24	12	8	18.10.25 (15.30 год)
25	10	7	18.10.25 (16.00 год)

За даними спостереження побудовано графік залежності температури рейки від температури повітря (рис. 2.3)

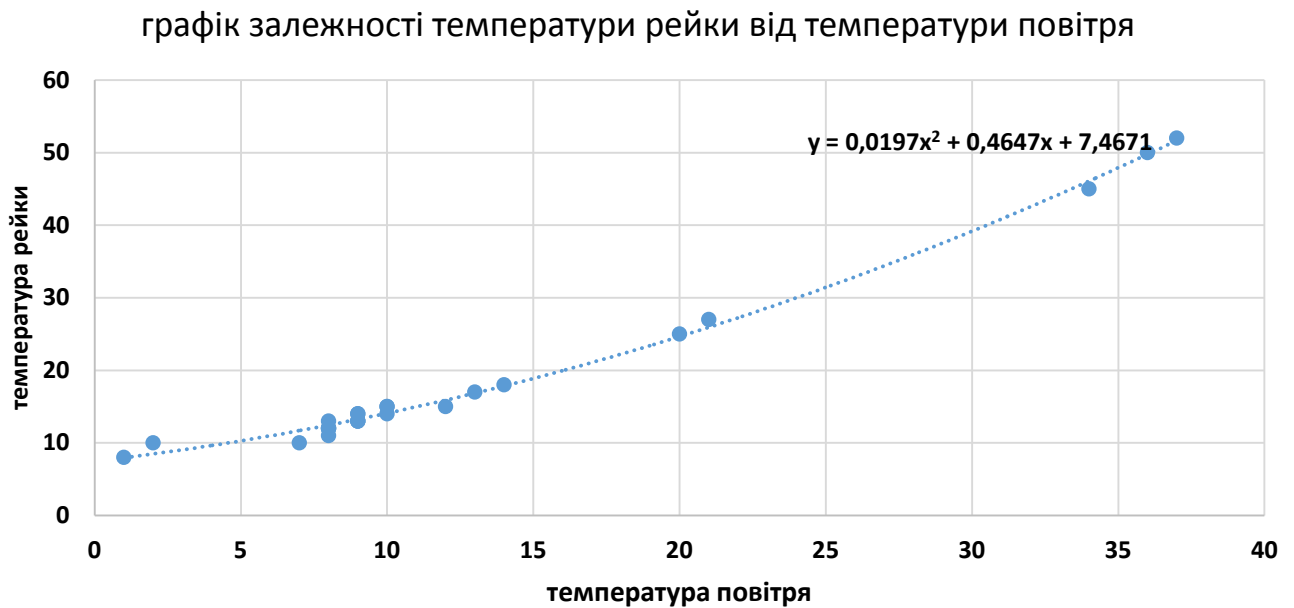


Рис. 2.3 Залежність температури рейки від температури повітря

Висновок до дослідження:

При високих температурах до температури повітря можна додати 20°C, і отримуємо температуру рейки.

При температурах до 10°C додавати треба 5°C. Таким чином, температура рейки від температури повітря має нелінійну залежність, що описується рівнянням $y = 0,0197x^2 + 0,4647x + 7,4671$ тобто

$$t_p = 0,02t_n^2 + 0,5t_n + 7$$

Приклад використання формули:

Нехай температура повітря $t_n=2^\circ\text{C}$, тоді $t_p = 0,02*34^2 + 0,5*34 + 7=47^\circ\text{C}$.

В дійсності $t_p=45^\circ\text{C}$, похибка складає 2°C , тобто 4%.

Нехай температура повітря $t_n=2^\circ\text{C}$, тоді $t_p = 0,02*2^2 + 0,5*2 + 7=8^\circ\text{C}$.

В дійсності $t_p=10^\circ\text{C}$, похибка складає 2°C .

Механізм нагрівання повітря підчинається наступному закону. Повітряні маси прозорі. Тому сонячні промені проходять скрізь них, не нагріваючи їх. Тобто інфрачервоний спектр випромінювання не впливає на прозоре повітря, потрапляє на земну поверхню (колію), нагріває її. А повітряні маси контактуючи з нагрітою поверхнею відбирають тепло від неї.

Зміна температури рейки проходить в умовах складного теплообміну. Знаходячись під дією сонячних промінів, рейки отримують теплову енергію (рис. 2.4). Частина енергії витрачається на зворотне випромінювання і тепловіддачу в навколишнє середовище. При досягненні рівноваги між подводимим теплом та теплом що віддається, температура рейки перестає зростати, хоча локальні значення температури різних ділянок як у довжині рейки, і в його поперечному перерізі можуть досить істотно відрізнитись.

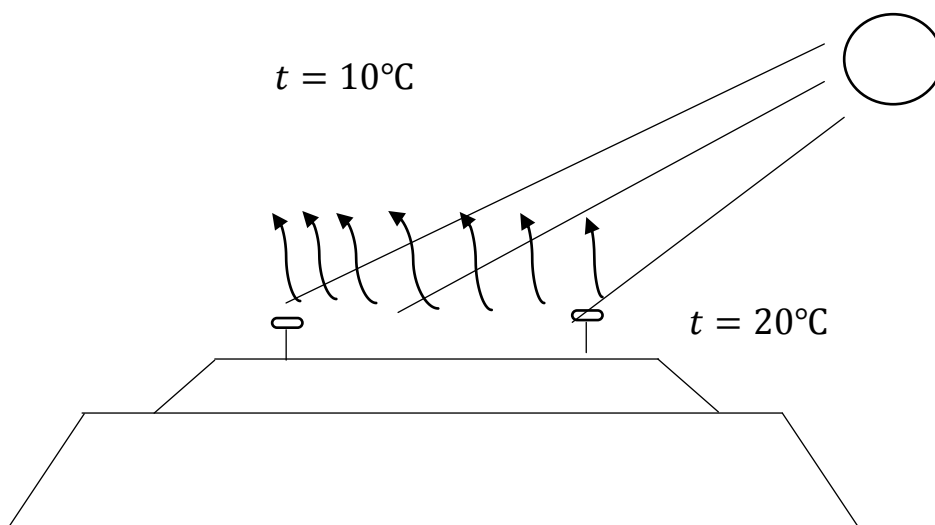


Рис. 2.4 – Процес нагрівання рейки від сонячних промінів та теплообміну з навколишнім середовищем

Проведемо дослідження погонного опору фактичного, що діє в колії. Від погонного опору залежить верхня межа розрахункового інтервалу закріплення плітей. Але можливе порушення цього інтервалу, та послідує розрив стикових болтів або розкриття зазору більше 50 мм. Що особливо, немає на залізниці офіційно прописаної методики контролю погонного опору, але в усіх основних інструкціях приводяться необхідні розміри даного параметру. Тому в даному розділі переслідуються дві цілі: по-перше визначення фактичного стану опору в дослідній ділянці, та по-друге напрацювання робочої методики контролю даного параметру для інших дистанцій колії.

2.1 Відомість про температурні напруження:

Зберемо інформацію про температурні напруження, а також про

- опір переміщенню рейки по підкладках;
- опір переміщенню шпал у баласті;
- угон колії.

В рейкових плітях, при їх укладанні та утриманні головною ознакою є правильне закріплення, коли в літку або в зиму при зміні температури рейкова пліть не має можливості змінити свою довжину. Тому на відміну від ланкової колії при розрахунку безстикової колії враховують температурні напруження, які досягають дуже великих значень.

Розрахунки напружень і деформацій від дії колісного навантаження в рейках безстикової колії, у шпалах, баласті, на основній площадці та в тілі земляного полотна не відрізняються від розрахунків цих величин у ланковій колії. Горизонтальні поздовжні сили враховуються шляхом належного вибору допустимих напружень (шляхом зниження фізичного напруження, що допускається).

Для безстикових плітей, при розрахунку яких на міцність аналітично враховується вплив температурних напружень за фізично допустимі напруження в рейках приймаються допустимі напруження згину в рейках при роботі на витривалість σ_r приймається:

- $\sigma_r = 350$ МПа для незагартованих рейок типів Р50, Р60 і Р65;
- $\sigma_r = 380$ МПа для обсяговозагартованих рейок типу Р50 ;
- $\sigma_r = 400$ МПа для обсяговозагартованих рейок типів Р60, Р65 і Р75 [10, 11].

Для ланкової колії безпосередньо розрахунком не враховуються температурні сили і температурні напруження, тому величина допустимого фізичного напруження для рейок ланкової колії знижується відносно прийнятих допустимих напружень для рейок безстикових плітей на величину температурних напружень.

Температурні напруження визначаються по такій залежності:

$$\sigma_t = \alpha E \Delta t = 2,5 \Delta t \quad (2.8)$$

- Де α – коефіцієнт лінійного розширення рейкової сталі, $\alpha = 0,0000118^\circ\text{C}^{-1}$;
- E – модуль пружності рейкової сталі, $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа;
- Δt - зміна температури рейки відносно температури закріплення.

Якщо у вираз (2.8) підставити числові значення α і E , як величини постійні відносно рейкової сталі, то отримаємо спрощений вираз для визначення температурних напружень, МПа. Для залізниць України в умовах зміни температури рейок до $T_{max} = 60^\circ\text{C}$ і при прийнятому оптимальному температурному інтервалі закріплення $t_{opt} = 25 - 35^\circ\text{C}$, рекомендується приймати $\Delta t_{max} = 25 \div 30^\circ$, тоді для рейок довжиною не більше $l = 25$ м $\sigma_r = 2,5 \cdot \Delta t = 70$ МПа.

Крім того, при розрахунках діючих напружень в рейках напруження від поїзного навантаження враховуються з коефіцієнтом запасу $K_H=1,3$ [2] .

Таким чином допустимі напруження в рейках визначаються за наступними формулами:

- для безстиквої колії

$$[\sigma_p]_{б.к.} = \sigma_r \quad (2.9)$$

- для ланкової колії

$$[\sigma_p]_{лр} = \frac{\sigma_r - \sigma_t}{K_H} \quad (2.10)$$

Умова міцності ланкової рейкової колії має вигляд

$$\sigma_{к-п}^{розр} \leq [\sigma_p]_{лр} \quad (2.11)$$

$$\sigma_{к-г}^{розр} \leq [\sigma_p]_{лр} \quad (2.12)$$

- де $\sigma_{к-п}^{розр}$, $\sigma_{к-г}^{розр}$ - розрахункові напруження в кромках підшви і головки рейки відповідно.

Умова міцності рейок безстиквої колії з урахуванням температурних напружень має вигляд:

$$K_H \cdot \sigma_p + \sigma_t \leq [\sigma] \quad (2.13)$$

- Де K_H – коефіцієнт неврахованих факторів, приймається рівним 1,3 для нових рейок і 1,4 для старопридатних рейок;
- σ_p – діючі (розрахункові) напруження в кромках підшви або головки рейок від роботи її на вигин під дією колісного навантаження, ці напруження визначаються в практичних розрахунках на міцність [3; 4];
- σ_t – температурні напруження;
- $[\sigma]$ – допустимі напруження в рейках безстиквої колії, приймаються рівними умовній межі витривалості при роботі рейки на деформації вигину [3]. Якщо відсутні інші рекомендації, то для розрахунку в курсовому проекті можна прийняти $[\sigma] = 350$ МПа для незагартованих рейок і $[\sigma] = 400$ МПа для загартованих.

Температурна сила, що діє на рейку, дорівнює:

$$P_t = \alpha \cdot E \cdot \omega_1 \cdot \Delta t \quad (2.14)$$

або $P_t \approx 2,5\omega_1 \cdot \Delta t$

а на колію в цілому:

$$P_t = 2\alpha \cdot E \cdot \omega_1 \cdot \Delta t \quad (2.15)$$

або $P_t \approx 5,0\omega_1 \cdot \Delta t$

- де ω_1 – площа поперечного перерізу рейки.

Із формул видно, що величина температурного зусилля в рейці не залежить від її довжини. При нездійсненому подовженні або скороченні в рейці будь-якої довжини виникає однакова температурна сила.

Для забезпечення умови міцності безстикової колії необхідно, щоб зміни температури рейкової пліти відносно температури її закріплення не перевищували допустимих значень. Допустимі за умови міцності зміни температури рейкової пліти відносно температури закріплення знаходять за сумісним розв'язанням рівнянь відносно Δt .

Допустиме збільшення температури рейки відносно температури її закріплення з умови міцності (для літа) визначається за формулою:

$$\Delta t_{\max(\text{м})} = \frac{[\sigma] - k_{\text{н}} - \sigma_{(\text{Г-К})}^{(\text{л})}}{\alpha E} \quad (2.16)$$

де як напруження від рухомого складу прийняті напруження, які виникають у кромці головки рейки влітку $\sigma_{(\text{Г-К})}^{(\text{л})}$, що відповідає стискальним напруженням, і визначаються з практичних розрахунків колії на міцність.

Аналогічно визначається допустиме зменшення температури рейки відносно температури закріплення з умов міцності (для зими):

$$\Delta t_{\min(\text{м})} = \frac{[\sigma] - k_{\text{н}} - \sigma_{(\text{П-К})}^{(\text{з})}}{\alpha E} \quad (2.17)$$

- де $\sigma_{(п-к)}^{(з)}$ – напруження в кромці підшви рейки, визначені для зими, що відповідає розтяжним напруженням.

Влітку стискальні поздовжні сили в рейках можуть досягати небезпечних значень, виникає можливість викиду колії. Викид колії може відбутися в горизонтальній або вертикальній площині. Для забезпечення стійкості рейкової колії проти викиду необхідно, щоб поздовжня стискальна сила, яка діє у двох рейкових плітях, не перевищувала закритичного значення P_3 . Величина цієї сили залежить від конструкції верхньої будови колії, плану та її технічного стану.

Допустиме підвищення температури рейки відносно температури закріплення за умови стійкості з урахуванням одиниць виміру можна визначити за формулою

$$\Delta t_{max(c)} = \frac{5[P_K]}{\alpha EF} \quad (2.18)$$

Для забезпечення поздовжньої стійкості колії необхідно:

1. щоб діючі на рейкову пліть поздовжні сили не перевищували сил опору, що забезпечуються рейковими скріпленнями;
2. щоб ті ж сили не перевищували сил опору переміщенню шпал в баласті. Тобто поздовжня стійкість колії буде забезпечена, якщо не буде відбуватися спільне поздовжнє переміщення рейок з опорами і не буде мати місце поздовжнє проковзування підшви рейки по опорах.

Перша умова (яку слід назвати - поздовжня стійкість рейко-шпальної решітки) буде виконуватися в тому випадку, якщо пружна поздовжня реакція кожної опори не буде перевищувати допустимого опору переміщенню цієї опори вздовж колії, тобто повинна виконуватись нерівність:

$$\max\left(p_{зг}^{np} + p_{гальм}^{cp}\right) \cdot l_{ш} + p_t^{роз} \cdot l_{ш} \leq \frac{W_0^{np}}{K_3} \quad (2.19)$$

де: $p_{зг}^{np}$ - погонна поздовжня сила від пружного згину рейки, кН/м;

- $P_{гальм}^{cp}$ - розподілена гальмівна сила, яка передається від коліс рухомого складу на рейкову нитку, кН/м;
- $l_{ш}$ - відстань між осями шпал, (ширина 1-го шпального прогону) м;
- $P_t^{роз}$ - розподілена поздовжня температурна сила діюча на рейку (при ланковій колії) або на рейкову пліть (при безстиковій колії), кН/м;
- $[W_0^{np}]$ - допустимий опір переміщенню шпали вздовж колії (віднесений до однієї рейкової нитки), кН;
- K_3 - коефіцієнт запасу на поздовжню стійкість (приймається $K_3 = 1,2$).

Опір переміщенню не завантаженої шпали уздовж колії $[W_0^{np}]$, віднесений до однієї рейкової нитки.

Друга умова (яку слід назвати - поздовжня стійкість рейкової колії) буде виконуватися в тому випадку, якщо сумарні поздовжні сили уgonу рейки (разом з температурними поздовжніми силами) не будуть перевищувати сили опору поздовжньому переміщенню, яка забезпечуються рейковими скріпленнями

$$\sum P_{угон+темн} = \max(P_{зз}^{np} + P_{гальм}^{cp}) + P_t^{роз} \leq [r_{скр}^{ног}] \quad (2.20)$$

- де: $[r_{скр}^{ног}] = \frac{r}{K_3}$ - допустимий погонний опір рейкової нитки, що забезпечується скріпленням (кН/м). Величини r – погонного опору поздовжньому переміщенню підшви рейки по основі для сучасних типів скріплень приведені в табл. 2.4.

Найбільш зрозуміле явище уgonу прослідковується при розгляданні розрахункової схеми, балка яка лежить на суцільній основі, пружній у вертикальному напрямку і недеформованій (по нейтральній осі рейки) горизонтальній площині. При застосуванні надійного проміжного

скріплення, коли під час пружного повороту перерізу рейки не відбувається поздовжнього переміщення підшви рейки по підкладці. Динамічно це відбувається при русі коліс по рейці, коли відбувається її згин в вертикальній площині і виникає поздовжнє переміщення точок, які розміщені на основі рейки.

Таблиця 2.4 Погонний опір поздовжньому переміщенню підшви рейки по основі.

Скріплення	$C_{уз}$, Н/мм	r (для епюри 2000), кН/м	r (для епюри 1840), кН/м	r (для епюри 1667), кН/м
SKL-14 (Фоссло)	11500	23,0	21,2	19,2
Пендрол	13000	26,0	23,9	21,7
СБ-3, КПП-1	8320	16,6	15,3	13,9
КБ _{max}	11300	22,6	20,8	18,8
КБ _{min}	8000	16,0	14,7	13,3
КПП-5	9700	19,4	17,9	16,2
ДО (дер., середньої зношеності) без протиугонів	2000	4,0	3,75	3,0
ДО (дер., нові) при повній кількості протиугонів (44 шт. на ланку 25,0 м при епюрі 1840 шп/км)	4000-5000	19,5	18,0	16,7

Розподілену поздовжню силу від згину рейки на одиницю її довжини можна визначити за формулою:

$$p_{зс}^{np} = U_x \cdot \Delta X \quad (2.21)$$

- де: U_x - модуль пружності колії в поздовжньому напрямку, Н/мм²;

- ΔX - поздовжнє відхилення підошви рейки, відносно свого початкового положення, викликане поворотом перерізу рейки при його вертикальному згині, мм.

Модуль пружності колії в поздовжньому напрямку, знаходиться по формулі:

$$U_x = \frac{C_{оп}^{сум}}{l_{ш}} \quad (2.22)$$

- де: $l_{ш}$ - відстань між осями шпал, мм;
- $C_{оп}^{сум}$ - сумарна поздовжня жорсткість підрейкової основи віднесена до однієї опори (Н/мм), знаходиться по формулі:

$$C_{оп}^{сум} = \frac{0,5 \cdot C_{ш-б} \cdot C_{уз}}{0,5 \cdot C_{ш-б} + C_{уз}} \quad (2.23)$$

де: $0,5 \cdot C_{ш-б}$ - поздовжня жорсткість системи шпала–баласт, віднесена до однієї рейкової нитки (Н/мм).

Згідно [3] поздовжня жорсткість для всієї шпали тобто для 2-х рейкових ниток знаходиться за формулою:

$$C_{ш-б} = C_{ш-б}^o + A_{ш-б} \cdot Q \quad (2.24)$$

де: $C_{ш-б}^o$ - поздовжня горизонтальна жорсткість основи, віднесеної до однієї шпали (дві рейкові нитки) без вертикального навантаження, Н/мм, це значення для різних конструкцій колії наведені в табл. 19;

- $A_{ш-б}$ - коефіцієнт, який залежить від якості баласту, мм^{-1} ;
- 0,5 – коефіцієнт, який переводить поздовжню жорсткість система шпала-баласт віднесену до однієї шпали в поздовжню жорсткість віднесену до однієї рейкової нитки;

- Q - вертикальне навантаження, яке передається на шпалу від рейки, за цю величину приймається поперечна динамічна сила з розрахунків колії на міцність, Н;
- $C_{уз}$ - поздовжня жорсткість вузла скріплення, Н/мм приймається по довідковим даним в залежності від типу скріплення (див. табл. 2.4).

2.2 Відомість про погонний опір

Розглянемо температурну роботу безстикової колії. Якщо уявити рейку довжиною L_0 вільними від сил опору, то при природній зміні температури на $t_i - t_0 = t$ його довжина буде рівна L_i . Зміна довжини рейки розраховується за формулою:

$$\lambda = L_i - L_0 = \alpha L_0 t \quad (2.25)$$

- де, α – коефіцієнт лінійного розширення сталі.

Відносне подовження такої рейки $\varepsilon = \lambda/L_0 = \alpha t$, температурне напруження $\varepsilon_t = 0$, та діюча на нього поздовжня сила $N_t = 0$. Якщо уявити ту же рейку у вигляді стрижня з жорсткими опорами на кінцях, то при зміні температури на t , його довжина не змінюється, тобто $L_i = L_0$. В рейці виникає напруження, пропорційне значенню відносного подовження, що не відбулося, і зворотнє йому напруження за виразом:

$$\sigma_t = -E\varepsilon = -E\alpha t \quad (2.26)$$

- де E – модуль пружності рейкової сталі.

Температурна сила N_t і опорні реакції R_H на кінцях рейки буде рівною:

$$N_t = -R_H = -E\alpha Ft, \quad (2.27)$$

- де F – площа поперечного перерізу рейки.

Таким чином при підвищенні температури (t – величина додатня), в рейці виникає стискаюча сила і напруга стиснення, знак яких відповідно до прийнятих значень мінус, а при зниженні – розтягуюча сила і напруження розтягіння зі знаком мінус. В подальшому будемо мати на увазі це правило,

але для спрощення скористаємось лише абсолютним значенням сил і напружень.

При жерських опорах на кінцях стрижня найбільші абсолютні температурні напруження і сили діють при $\max t$ і $\min t$. Якщо рейка на кінцях стиснута накладками так, що гранична реактивна сила, що обмежується силами тертя, рівна R_H , то температурна сила $N_t \leq R_H$. Для того щоб сила N_t подолати реактивний опір накладок, то необхідна зміна температури на

$$t_H = R_H / \alpha EF. \quad (2.28)$$

При $N_t = R_H$ та подальшій однозначній зміні температури до $t_i > t_H$ рейка деформується як вільний стрижень на довжину λ :

$$\lambda = \alpha L_0 (t_i - R_H / \alpha EF) \quad (2.29)$$

Припустим, що рейка-стрижень з погонним опором r у підшві, але вільна від сил опору на кінцях. Таким стрижнем може бути рейка розташована на підкладках і не закріплена накладками на кінцях, або з накладками після подолання сил опору останніх, тобто при температурі $s > t_H$.

На схемі рейка (мал.2) прийнято, що сили опору в підшві симетрично розподілені по довжині, тому температурні напруження і подовження рейки також симетричні по відношенню до її середини. Для спрощення припустимо, що сили опору Q на кожній шпалі (замінені розподіленим погонним опором) рівні, тобто не залежать від того, на яке значення переміститься рейка щодо кожної данної шпали. В дійсності лише сили тертя під час переміщення рейки по підкладках може бути рівними. Що ж до сил пружного опору при переміщенні рейки разом із шпалами, то їх значення нелінійно залежать від переміщення. Найбільший можливий опір $\sum r = rx$; очевидно, що рейка в перерізі x буде нерухомим до тих пір, поки температурна сила $N_t < rx$. Температура t_i , при якій діюча сила N_t збільшиться настільки, що зможе подолати погонний опір і почнеться

зміщення переріза x , визначиться з рівності $N_t = rx$, але так як $N_t = \alpha E F t_i$, то:

$$t_i = rx / \alpha E F \quad (2.30)$$

За формулою (22) визначена довжина l кінцевої ділянки рейки, на якій при даних погонних опорах і прирощенні температури t буде змінюватись довжина рейки.

При $x = l$ і $t_i = t$:

$$l = \alpha E F t / r \quad (2.31)$$

Рухливі ділянки рейки l з кожної її сторони прийнято називати дихаючими, або температурно деформованими ділянками. Найбільша довжина l_{max} буде при найбільшій можливій в даних умовах температурі $max t$. Якщо загальна довжина рейки $l > 2l_{max}$, то в ньому є середня нерухома частина, для якої $\lambda = 0$. Середня нерухома частина рейкової пліті працює аналогічно стрижню з жорсткими опорами на кінцях. Найбільші їх значення отримують при максимально можливому значенні $max t$ і $min t$.

На рухомих ділянках рейкової пліті довжиною l у кожному з перетені при подоланні сил опору утворюються температурні напруження $\sigma_t = N_t / F$. Виділимо в межах довжини l на відстані x від одного з кінців рейкової пліті елементарну ділянку dx . При зміні температури на t на ділянці dx відбувається зміна довжини на Δx , температурній сили на ΔN_t і напружень на $\Delta \sigma$. Для цієї ділянки $\Delta N_t = N_t - rx$ і $\Delta \sigma = \Delta N_t / F$. За законом Гука $\Delta \sigma = E(\Delta x / dx)$ та, відповідно, $\Delta N_t / F = E(\Delta x / dx)$, звідки $\Delta x = (\Delta N_t / E F) dx$.

Прінтегрувавши вираз в межах від 0 до l , отримаємо повну зміну $\lambda/2$ довжини ділянки l :

$$\lambda/2 = \alpha l t - r l^2 / 2 E F. \quad (2.32)$$

Після підстановки з формули (2.31) замість l його значення та множення на 2 отримали повне подовження пліті, або значення, на яке змінюється зазор між двома плітями:

$$\lambda = (EF/r)\alpha^2 t^2 \quad (2.33)$$

Ця закономірність зміни довжини λ стрижня з опором r в підшві справедлива і для рейкової пліті з опором R_H на її кінцях. Різниця полягає в тому, що довжина її кінцевих ділянок може змінюватися тільки після подолання опору R_H , тобто зміни температури на $t_H = R_H/\alpha EF$. Підставивши у формулу (2.33) замість t його значення $t - t_H$ (за умовою що $t > t_H$), отримаємо для рейкової пліті рівняння

$$\lambda = (EF/r)\alpha^2 (t - t_H)^2 \quad (2.34)$$

Формула (2.34) справедлива для випадку однозначної зміни температури, що називається прямим ходом. При зміні знака температури, тобто при зворотньому її ходу

$$\lambda = (EF/2r)\alpha^2 (t - t_H)^2 \quad (2.35)$$

З викладеного випливає ряд вимог, які мають бути пред'явлені до конструкції безстикової колії і температурного режиму його роботи. При данному типі рейки у відомих кліматичних умовах зміна зазору в стику пліті залежить від погонного r і стикового R_H опорів. На всіх дорогах світу при звичайному з'єднанні накладки для запобігання надмірних ударів коліс дозволяється змінювати зазор не більше ніж на 20-24 мм. Для того щоб не вийти за межі встановленого конструктивного зазору (при накладочному стику це може бути причиною руйнування болтів і роз'єднання колії), необхідно створити великі погонні і стикові опори r і R_H , прямо залежні від конструкції колії.

На значення погонного опору впливають: спосіб прікріплення рейки до шпал, розмір і число шпал на одиниці довжини, матеріал і розміри баластної призми, а на стикове – число, розмір і натяг болтів. Якщо конструкція скріплень, шпал і баластної призми не забезпечують необхідний опір, то слід змінити з'єднання плітей таким чином, щоб збільшилося λ . На одних дорогах для таких цілей збільшують кількість зазорів між плітями (укладання одного або декількох коротких рейок), на других – змінюють

накладочні стики зрівнювальними прольотами. На відчизняних дорогах влаштовують накладочні стики і укладають між плітями три рейки довжиною 12,5 м.

Скориставшись теоретичними відомостями про погонний опір, зробимо розрахунки на нашій ділянці і визначимо наскільки подовжиться рейка на кінцях λ зі зміною температури при опорі r .

Скористаємося формулою $\lambda = (EF/r)\alpha^2(t - t_n)^2$. Де за значення λ - примемо різницю зазорів між ланками при зміні температур; $t - t_n$ - різниця температур.

При чотирех вимірів зазорів ділянки, з різними значеннями температури, згідно таблиці, зміни відбулося 3.

Підситаavimo зміни значень температури і зазорів у формулу (2.34) і отримаємо подовження рейки на кінцях, в мм, при різниці температур.

Всі розрахунки зробимо для правої і лівої нитки, занесемо в таблицю 2.5, і виведемо середнє значення подовження рейки.

Таблиця 2.5 Виміри по правій нитці

Стик між ланками	Вимір 1		Вимір 2		Вимір 3		Вимір 4	
	темпера-тура	зазор	темпера-тура	зазор	темпера-тура	зазор	темпера-тура	зазор
5км/ пк 10,9 (зрівнювал ьний проліт)								
1	15	7	45	0	25	3	8	10
1-2	15	5	45	0	25	3	8	15
2-3	15	12	45	0	25	6	8	25
3-4	15	12	45	5	25	10	8	15
4-5	15	18	45	15	25	20	8	20
5-6	15	30	45	12	25	21	8	28

5км/пк1, 4км/пк10 (зрівнювальний проліт)	темпера- тура	зазор	темпера- тура	зазор	темпера- тура	зазор	темпера- тура	зазор
6-7	17	14	50	0	25	8	8	25
7-8	17	3	50	0	25	2	8	6
8-9	17	10	50	0	25	6	8	14
9-10	17	20	50	9	25	17	8	25
10-11	17	20	50	10	25	16	8	20
11-12	17	3	50	0	25	1	8	10
12	17	23	50	19	25	21	8	23
4км/пк9,8 (ланкова колія)	темпера- тура	зазор	темпера- тура	зазор	темпера- тура	зазор	темпера- тура	зазор
13	17	9	50	0	25	6	10	16
13-14	17	12	50	2	25	13	10	24
14-15	17	13	50	5	25	10	10	18
15-16	17	9	50	0	25	4	10	16
16-17	17	9	50	0	25	5	10	22
17-18	17	17	50	12	25	15	10	18
18	17	20	50	19	25	20	10	28
4км/пк8,7 (зрівнювальний проліт)	темпера- тура	зазор	темпера- тура	зазор	темпера- тура	зазор	темпера- тура	зазор
19	18	11	52	5	27	9	10	14
19-20	18	2	52	0	27	2	10	11
20-21	18	20	52	10	27	15	10	25

21-22	18	20	52	0	27	13	10	26
22-23	18	16	52	8	27	15	10	21
Зкм/пк 9 (зрівнювальний проліт)	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор
23-24	18	21	52	7	27	11	10	26
24-25	18	20	52	17	27	20	10	24
25	18	16	52	14	27	15	10	28
Зкм/пк 8 (зрівнювальний проліт)	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор
26	18	1	52	0	24	0	10	5
26-27	18	16	52	6	24	10	10	19
27-28	18	12	52	5	24	9	10	15
28-29	18	21	52	14	24	18	10	23
29-30	18	25	52	16	24	20	10	25

Таблиця 2.6 Розрахунок погонного опору по правій нитці

Стик між ланками	Зміна 1		Зміна 2		Зміна 3		Розрахунок 1	Розрахунок 2	Розрахунок 3	Середнє значення розрахунку
	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор	опір	опір	опір	опір
5км/пк 10,9 (зрівнювальний проліт)										

альний проліт)											
1	30	7	20	3	17	7	30,1	31,2	9,7	23,6	
1-2	30	5	20	3	17	12	42,1	31,2	5,6	26,3	
2-3	30	12	20	6	17	19	17,5	15,6	3,6	12,2	
3-4	30	7	20	5	17	5	30,1	18,7	13,5	20,8	
4-5	30	3	20	5	17	0	-	18,7	-	18,7	
5-6	30	18	20	9	17	7	11,7	10,4	9,7	10,6	
5км/пк1, 4км/пк1 0 (зпівнюв альний проліт)	температ ура	зазор	температ ура	зазор	температ ура	зазор	опір	опір	опір	опір	
6-7	33	14	25	8	17	17	18,2	18,3	4,0	13,5	
7-8	33	3	25	2	17	4	85,1	73,1	17,0	58,4	
8-9	33	10	25	6	17	8	25,5	24,3	8,4	19,4	
9-10	33	11	25	8	17	8	23,2	18,3	8,4	16,6	
10-11	33	10	25	6	17	4	25,5	24,3	17,0	22,3	
11-12	33	3	25	1	17	9	-	-	-	-	
12	33	4	25	2	17	2	63,7	73,1	33,8	56,8	
4км/пк9, 8 (ланкова колія)	температ ура	зазор	температ ура	зазор	температ ура	зазор	опір	опір	опір	опір	
13	33	9	25	6	15	10	28,3	24,3	5,2	19,3	
13-14	33	10	25	11	15	11	25,4	13,3	4,8	14,5	
14-15	33	8	25	5	15	8	31,8	29,2	6,6	22,5	
15-16	33	9	25	4	15	12	28,3	36,5	4,4	23,1	
16-17	33	9	25	5	15	17	28,3	29,2	3,1	20,2	
17-18	33	5	25	3	15	3	50,9	48,7	17,5	39,0	
18	33	1	25	1	15	8	-	-	-	-	

4км/пк8, 7 (зрівнювальний проліт)	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор	опір	опір	опір	опір
19	34	6	25	4	17	5	45,1	36,5	13,5	31,7
19-20	34	2	25	2	17	9	-	-	-	-
20-21	34	10	25	5	17	10	27,0	29,2	6,7	20,9
21-22	34	20	25	13	17	13	13,5	11,2	5,2	9,9
22-23	34	8	25	7	17	6	33,8	20,9	11,2	21,9
3км/пк 9 (зрівнювальний проліт)	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор	опір	опір	опір	опір
23-24	34	14	25	4	17	5	19,3	36,5	13,5	23,1
24-25	34	3	25	3	17	4	90,1	48,7	17,0	51,9
25	34	2	25	1	17	13	-	-	-	-
3км/пк 8 (зрівнювальний проліт)	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор	опір	опір	опір	опір
26	34	1	28	0	14	5	-	-	-	-
26-27	34	10	28	4	14	9	27,0	45,8	50,9	41,2
27-28	34	7	28	4	14	6	38,6	45,8	76,4	53,6
28-29	34	7	28	4	14	5	38,6	45,8	91,7	58,7
29-30	34	9	28	4	14	5	30,0	45,8	91,7	55,8

Таблиця 2.7 Виміри по лівій нитці

Стик між ланками	Вимір 1		Вимір 2		Вимір 3		Вимір 4	
	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор
5км/пк 10,9	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор

(зрівнювальний проліт)								
1	15	8	45	0	25	4	8	7
1-2	15	11	45	4	25	9	8	7
2-3	15	21	45	13	25	18	8	24
3-4	15	11	45	1	25	7	8	24
4-5	15	20	45	12	25	14	8	30
5-6	15	24	45	6	25	18	8	33
5км/пк1, 4км/пк10 (зрівнювальний проліт)	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор
6-7	17	19	50	0	25	11	8	25
7-8	17	9	50	0	25	5	8	15
8-9	17	20	50	10	25	19	8	25
9-10	17	15	50	12	25	17	8	20
10-11	17	17	50	8	25	13	8	19
11-12	17	4	50	0	25	3	8	8
13	17	11	50	2	25	7	8	15
4км/пк9, 8 (ланкова колія)	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор
14	17	5	50	0	25	2	10	11
14-15	17	24	50	23	25	24	10	24
15-16	17	18	50	10	25	16	10	20
16-17	17	10	50	0	25	5	10	15
17-18	17	20	50	13	25	16	10	23
18-19	17	13	50	6	25	10	10	15
19	17	26	50	26	25	26	10	26

4км/пк8, 7 (зрівнювальний проліт)	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор
20	18	25	52	15	27	25	10	31
20-21	18	10	52	0	27	6	10	13
21-22	18	3	52	0	27	1	10	11
22-23	18	5	52	0	27	2	10	13
23-24	18	15	52	4	27	10	10	18
3км/пк 9 (зрівнювальний проліт)	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор
24-25	18	13	52	0	27	5	10	23
25-26	18	17	52	8	27	14	10	22
26	18	18	52	16	27	15	10	32
3км/пк 8 (зрівнювальний проліт)	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор
27	18	11	52	0	24	4	10	13
27-28	18	19	52	13	24	16	10	21
28-29	18	25	52	12	24	19	10	25
29-30	18	21	52	15	24	18	10	23
30-31	18	24	52	11	24	17	10	24

Таблиця 2.8 Розрахунок погонного опору по лівій нитці

Стик між ланками	Зміна 1	Зміна 2	Зміна 3	Розрахунок 1	Розрахунок 2	Розрахунок 3	Середнє значення розраху

										нкү
5км/ пк 10,9 (зрівн юваль ний проліт)	темпер атура	зазор	темпер атура	зазор	темпер атура	зазор	опір	опір	опір	опір
1	30	8	20	4	17	3	26,2	23,3	22,5	24,0
1-2	30	7	20	5	17	2	30,0	18,7	33,8	27,5
2-3	30	8	20	5	17	6	26,2	18,7	11,2	18,7
3-4	30	10	20	6	17	17	21,0	15,6	4,0	13,5
4-5	30	8	20	2	17	16	26,2	46,7	4,2	25,7
5-6	30	18	20	12	17	15	11,7	7,8	4,5	8,0
5км/пк 1, 4км/пк 10 (зпівн юваль ний проліт)	темпер атура	зазор	темпер атура	зазор	темпер атура	зазор	опір	опір	опір	опір
6-7	33	19	25	11	17	14	13,4	13,3	4,8	10,5
7-8	33	9	25	5	17	10	28,3	29,2	6,7	21,4
8-9	33	10	25	9	17	6	25,4	16,2	11,2	17,6
9-10	33	3	25	5	17	3	50,9	29,2	22,5	34,2
10-11	33	9	25	5	17	6	28,3	29,2	11,2	22,9
11-12	33	4	25	3	17	5	63,7	48,7	13,5	41,9
13	33	9	25	5	17	8	28,3	29,2	8,4	21,9
4км/пк 9,8 (ланко ва	темпер атура	зазор	темпер атура	зазор	темпер атура	зазор	опір	опір	опір	опір

колія)											
14	33	5	25	2	15	9	50,9	73,1	5,83	43,3	
14-15	33	1	25	1	15	0	-	-	-	-	
15-16	33	8	25	6	15	4	31,8	24,3	13,1	23,1	
16-17	33	10	25	5	15	10	25,4	29,2	5,2	19,9	
17-18	33	7	25	3	15	7	17,8	48,7	7,5	24,7	
18-19	33	7	25	4	15	5	17,8	36,5	10,5	21,6	
19	33	10	25	0	15	0	25,4	-	-	25,4	
4км/пк 8,7 (зрівнювальний проліт)	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор	опір	опір	опір	опір	
20	34	10	25	10	17	6	27,0	14,6	11,2	17,6	
20-21	34	10	25	6	17	7	27,0	24,3	9,7	20,3	
21-22	34	3	25	1	17	10	-	-	-	-	
22-23	34	5	25	2	17	11	54,0	73,1	6,1	44,4	
23-24	34	11	25	6	17	8	24,5	24,3	8,4	19,1	
3км/пк 9 (зрівнювальний проліт)	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор	опір	опір	опір	опір	
24-25	34	13	25	5	17	18	20,8	29,2	3,7	17,9	
25-26	34	9	25	6	17	8	30,0	24,3	8,4	20,9	
26	34	2	25	1	17	17	-	-	-	-	

Зкм/пк 8 (зрівнявальний проліт)	температура	зазор	температура	зазор	температура	зазор	опір	опір	опір	опір
27	34	11	28	4	11	11	24,5	45,8	2,6	24,3
27-28	34	6	28	3	11	5	45,1	61,0	5,6	37,2
28-29	34	13	28	7	11	6	20,8	26,1	4,7	17,2
29-30	34	6	28	3	11	5	45,1	61,0	5,6	37,2
30-31	34	13	28	6	11	7	20,8	30,5	4,0	18,4

Як видно деякі розрахунки приймають досить великі значення. Це більш пов'язано з непередбачуваними зовнішніми факторами. Але як ми бачимо присутні досить великі значення, які перевищують нормативне, і пов'язано це скоріше за всього з ослабленням опору в скріпленнях на кінцях рейки.

Таким чином, рейка у такому випадку приймається як вільний стрижень, який зміщується при зміні температури без якого-небудь відносного опору руху. У таких випадках необхідно вжити заходи бо забезпеченню стійкості опору руху при зміні температурних значень рейки. Перш за все треба зробити перетяжку всіх клемних, закладних і стикових болтів торцевими ключами або електрогайковертами, якщо потрібно то замінити непридатну підрейкову резину типу ПРБ. Якщо такі заходи не допоможуть, то необхідно вжити заходів по суцільній заміні скріплень на даній ділянці.

3 ЗМІНА ДОВЖИНИ РЕЙКИ ПРИ КОЛИВАННЯХ ЇЇ ТЕМПЕРАТУРИ

Якщо покласти рейку довжиною L на ролики чи якісь спеціальні підкладки з дуже низьким коефіцієнтом тертя, то можна вважати що вільному подовженню рейки нічого не заважає.

Зміна довжини рейки на ΔL , як вільного стрижня, при зміні її температури визначається за формулою:

$$\lambda = L_i - L_0 = \alpha L_0 t \quad (3.1)$$

Зі схеми нашої ділянки візьмемо за приклад розрахунку ділянку з рейковою пліттю та зрівнювальними прогонами на 3км пк9 нашої схеми. З паспортних даних дві пліті права і ліва зі зрівнювальними прольотами на примиканні були покладені і закріплені при наступній температурі. Окремо виділю ділянку і покажу на схемі рейкові пліті з маркуванням плітей та зрівнювальні прольоти.

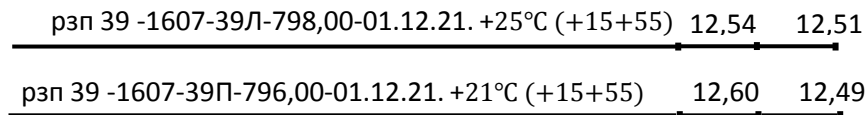


Рис. 3.1 Схема розглянутої ділянки

За формулою (3.1) розрахуємо наскільки подовжилась рейкова пліть правої і лівої нитки при зміні температури до $+52^\circ\text{C}$. Значення температури взяті з таблиці 1 відстеження ділянки. Прийmemo що рейка не закріплена і представлена як вільний стрижень.

Розрахуємо для лівої нитки подовження λ ;

$$\lambda = 0,0000118 \cdot 798,00 \cdot (52 - 21) = 0,29\text{м}$$

Для правої нитки;

$$\lambda = 0,0000118 \cdot 796,00 \cdot (52 - 21) = 0,29\text{м}$$

Таким чином при зміні температури на $+31^{\circ}\text{C}$ рейки подовжились на 290мм.

В цьому випадку подовженню рейок на таку довжину нічого не протидіяло і напруга в рейках була відсутня.

Як нам відомо рейки в колії лежать на металевих підкладках і прикріплені до кожної шпали потужним проміжним скріпленням а з примиканням до сусідній рейки з'єднана стиковим скріпленням. Тому в реальних умовах подовження рейки не може бути таким вільним. Зміна довжини рейкової пліті описується складним законом, враховуючи подолання погонного і стикового опору.

Припустимо, що рейки закріплені жорстко по обом кінцям і укладені в колію з нульовими зазорами. За формулою розділу 2.1 розрахуємо яка поздовжня сила стискання виникає в рейках

$$P_t = \alpha \cdot E \cdot \omega_1 \cdot \Delta t$$

$$P_t = 250 \cdot 82,7 \cdot (52 - 21) = 640925 \text{ Н}$$

Таким чином в рейках з нульовими зазорами при неможливості змінити свою довжину виникає поздовжня температурна сила майже 64 т. В рейковому стику накладки, які стягнуті стиковими болтами, створюють силу опору зміщення рейки в стику. Процес зміни довжини рейки не почнеться поки сила яка виникає при зміні температури поздовжня сила не перевищить силу опору руху в стику. Величину зміни температури t_n при якій зможе начатись зміщення розраховується за формулою розділу 2.2.

Розрахуємо зміну температури для виділеної ділянки при величині зазору 15мм.

$$t_n = R_n / \alpha E F.$$

де R_n – величина опору стику. Для безстикової колії приймається від 140000 до 160000 Н. Приймаємо 140000 Н.

Розрахуємо:

$$t_n = 140000/250 \cdot 82,7 \approx 7^\circ\text{C}.$$

Таким чином при температурі рейки 28°C ($21+7$) стиковий опір буде подолано.

Якщо температура рейки буде вище 28°C , то почнеться зміщення кінців рейки в межах стикового зазора і подолання погонного опору цьому переміщенню. При цьому одночасно буде змінюватися довжина рейки і її напруженого стану.

Як було сказано вище, при зміні температури в рейці виникають поздовжні сили. Покажемо на малюнку розподіл поздовжніх сил на рейці довжиною L .

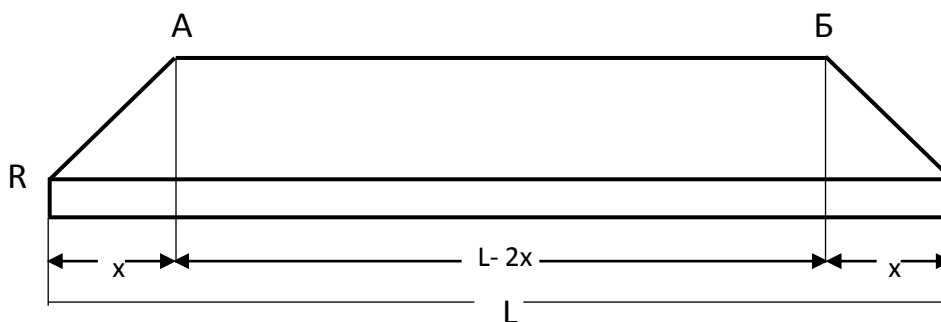


Рис 3.2 Схеми розподілу поздовжніх сил

З малюнка показано розподіл поздовжніх температурних напружень по рейці довжиною L : x - довжина рухомої частини рейки, $L-2x$ - довжина нерухомої частини рейки, R - стиковий опір.

Як було сказано вище при постійном по довжині рейки погонному опорі r по довжині ділянки x , в рейці виникає погонний опір rx , який рівномірно змінюється до нуля в кінці рейки. В перерізах А і Б, виникають напруження. В проміжку між перерізами рейка не має деформацій і працює як

рейка, яка жорстко закріплена по кінцям. Дожину активної ділянки x можна знайти за формулою:

$$x = \alpha EFt/r \quad (3.2)$$

Проаналізувавши цю формулу, звисно впливає що довжина активної частини рейки прямо пропорціональна величині збільшення температури и обернено пропорціонально величині погонного опору. Звисно величина погонного опору залежить від типа і конструкції проміжних скрілень, силі затяжки цих скріплень, роду і щільності щебневого баласту і інших причин. В крайному випадку:

$$x = 0,5L$$

Найбільша зміна температури, при якій повністю подолається погонний опір і повздовжні деформації. Які розповсюджуються по всій довжині рейки дорівнює:

$$t_{\max \text{ пог}} = 0,5l_p/\alpha EF \quad (3.3)$$

Розглянемо загальний випадок зміни довжини L рейки типу Р65, яка закріплена на постійний режим роботи при температурі t_0 .

Величина подовження кінця рейки λ для подолання погонного опору визначається за формулою:

$$\lambda = rx^2/\alpha EF \quad (3.3)$$

Довжина рухомої частини рейки, при збільшені її температури на Δt_0 складає:

$$x = \alpha EF\Delta t/r \quad (3.4)$$

Зміщення кінця рейки при збільшені її температури на Δt дорівнює:

$$\Delta l = 0,5\alpha x(\Delta t - \Delta t_n) \quad (3.5)$$

Зі сказаного вище зробимо наступні розрахунки для частини нашої ділянки, яка зображена вище і перевіримо режим її роботи на правильність закріплення при вказаній температурі на постійний режим роботи. Для перевірки візьмемо максимально можливу температуру рейки для нашого

регіона Д., вона складає близько $+60^{\circ}\text{C}$. По нашій схемі у нас є зрівнювальний проліт, який складається з двох пар рейок довжиною 12,50, з даних взятих у технічному відділу, величина зазорів при закріпленні на постійний режим роботи складала $\delta_3 = 15\text{мм}$. Задача складається визначити, чи здійсниться змикання зазорів в зрівнювальних прольотах при максимально можливій температурі рейки.

Прийmemo для розрахунку опір стикового скріплення $R=140000\text{ Н}$, величину погонного опору зміщення рейкової пліті $r = 30\text{Н/см}$.

Розрахунок.

Змикання зазорів може здійснитися тільки при збільшенні температури. Вище ми рахували наскільки температура повинна піднятися, щоб подолати рух опору в стиках. Вона складає $t_n \approx 7^{\circ}\text{C}$. Розрахуємо діапазон температур, при якій кінець рейкової пліті зміщується в напрямку зрівнювального прольоту Δt_+ .

$$\Delta t_+ = t_{max} - t_3 - t_n = 60 - 21 - 7 = 32^{\circ}\text{C}$$

Визначимо довжину поздовжній деформації x при максимальній температурі відносно температури закріплення:

$$x = \alpha EF \Delta t_+ / r = 250 \cdot 82,7 \cdot \frac{32}{30} = 22053\text{ см}$$

Зміщення кінця рейки при температурі $+ 32^{\circ}\text{C}$ після подолання стикового опору дорівнює:

$$\Delta l_+ = 0,5 \alpha x \Delta t_+ = 0,5 \cdot 0,0000118 \cdot 22053 \cdot 32 = 41\text{ мм}$$

При збільшенні температури для повного змикання всіх трьох зазорів в зрівнювальному прольоті, кінець рейкової пліті повинен зміститися в напрямку зрівнювального прольоту на $\Delta l_{1+} = \delta_3 \cdot 3 = 15 \cdot 3 = 45\text{ мм}$.

Так як $\Delta l_+ < \Delta l_{1+}$ тобто $41\text{мм} < 45\text{мм}$, то змикання зазорів в зрівнювальному прольоті не здійсниться.

Звернемо увагу, що дана ділянка правильно визначена на температуру закріплення рейки на постійний режим експлуатації, а також на важливість визначення нейтральної температури.

4 РОЗРАХУНОК КРУТНОГО МОМЕНТУ, ПРИ ВИМІРЮВАННІ ЗАТЯЖКИ КЛЕМНИХ БОЛТІВ НА ОБСТЕЖУЮМІЙ ДІЛЯНКІ КОЛІЇ

Як було сказано вище одній із важливих умов безперебійної роботи безстикової колії є забезпечення необхідних величин погонного опору переміщенню рейок відносно шпал або рейок зі шпалами відносно баласту.

Як правило, преміщення рейкошпальної решітки відносно баластного слою трапляється рідко і може виникати при значних відступах в контурі баластної призми від нормативів. Погонне переміщення рейок відносно шпал, забезпечується за рахунок притискання клемних болтів до підкладок, та у випадку роздільного скріплення, яким є тип КБ- 65, та притискання закладних болтів до шпал. Скріплення типу КБ-65 вимагає значних трудовитрат на періодичне підтягування гайок клемних і закладних болтів, які досягають 25-30 % від загальних витрат на поточне утримання безстикової колії.

Конструкція проміжних рейкових скріплень повинна забезпечувати достатній опір поздовжньому переміщенню плітей (25- 30 Н/м), стабільність ширини колії, можливість швидкого закріплення плітей при укладці та звільненню їх при розрядці напружень, ремонтах колії та заміні плітей. Для забезпечення потрібного погонного опору необхідне притискання рейки до підшви повинно складати не менше ніж 20 Кн.

В таблиці 4.1 покажемо норму затяжки клемних і закладних болтів безстикової колії, а також допустиме зниження її в процесі експлуатації.

Для забезпечення запасу притискання клемних закладних болтів типу КБ – 65 при укладці плітей та при підтягуванні їх в процесі експлуатації, необхідно досягти крутний момент 200 Н/м для клемних болтів, та 150 Н/м для закладних болтів.

Таблиця 4.1 Нормативний крутний момент затяжки гайок

Показники	Крутний момент, Н.м, по типу скріплення КБ-65	
	клеммный болт	закладной болт
Затяжка клемних і закладних болтів при укладці безстикової колії	150	120
Допустиме зниження затяжки клемних і закладних болтів в процесі експлуатації	100	70

Зробимо перевірку затяжки клемних болтів на обстежувомій ділянці, та відносно цього розрахуємо за формулою крутний момент :

$$M = mgL \quad (4.1)$$

- де m – маса закрутки клемного болта
- $g = 9,8 \text{ м/с}^2$
- L – довжина плеча.

Вище ми робили перевірку погонного опору і в табличному вигляді його розраховали. По отриманим розрахункам було видно, що на деяких ділянках погонний опір дуже низький, про що свідчить послаблення затяжки скріплень на таких ділянках.

За експериментальну візьмемо для перевірки одну з цих ділянок, та перевіримо масу закрутки. За звичай візьмемо кантерні ваги, підберемо по головці клемної гайки накидний ключ з рукояткою, яка буде вважатися даним плечем L . Надіємо кільце на рукоятку данного накидного ключа, яка є на кантерних вагах, і зусиллям взявшись рукою за ваги за рахунок довжини плеча робимо розкрутку клемної райки до тих пір, поки гайка не здійсне рух розкручування. При цьому в залежності від зусиль. показники вагів також будуть міняти свої значення.

Тому, як тільки клемна гайка здійснила свій рух, ми повинні зафіксувати на цьому етапі показники вагів, які в свою чергу з формули приймаються за масу m . З досвіду зрозуміло, що затяжка може бути різною за силою і навіть плече самого ключа буде недостатнє щоб гайка здійснила свій рух. Тому в данному випадку плече посилюється по довжині і вище вказаним методом робимо тіж самі дії. Таким чином по довжині всієї рейки на ділянці 5км пк 1 права нитка, перевіримо вище вказаним способом масу затяжки клемних болтів, на кожній шпалі по довжині 25 м і розрахуємо крутний момент.

Данні розрахунку занесемо в таблицю і відобразимо графічно. В графіку покажемо показники крутного моменту для внутрішнього і зовнішнього клемного болтів. Довжина плеча приймалася при замірюванні $L = 0,73\text{м}$.

Таблиця 4.2 Результати вимірювання зусилля затяжки гайок

№	Значення показника m , кг	
	Зовнішня клема	Внутрішня клема
Порядковий номер шпали		
1	9,6	13,6
2	7,5	12,2
3	11,4	20,5
4	20,4	21,8
5	21,6	23,6
6	21,6	22,4
7	22,9	16,3
8	21,9	20,7
9	10,5	14,4
10	9,4	14,8
11	8,3	10,2
12	16,7	12,2
13	17,8	13,7
14	17,4	20,7
15	14,5	11,0
16	22,5	18,3

17	22,8	16,4
18	22,8	16,1
19	22,8	8,8
20	10,3	7,2
21	9,2	5,4
22	12,1	6,4
23	12,4	7,5
24	8,2	12,8
25	9,5	13,4
26	10,4	14,2
27	19,7	11,9
28	18,8	9,8
29	19,8	7,7
30	18,1	7,9
31	17,3	12,4
32	14,3	11,3
33	21,2	12,3
34	24,5	8,1
35	24,9	5,5
36	17,4	10,1
37	17,2	11,1
38	15,5	9,2
39	12,4	15,6
40	20,1	13,4
41	22,2	14,0
42	24,2	14,2
43	10,5	10,2
44	11,4	10,1
45	8,6	9,8
46	10,1	8,8
47	13,9	11,2
48	13,8	8,2
49	15,4	7,3
50	16,7	6,3

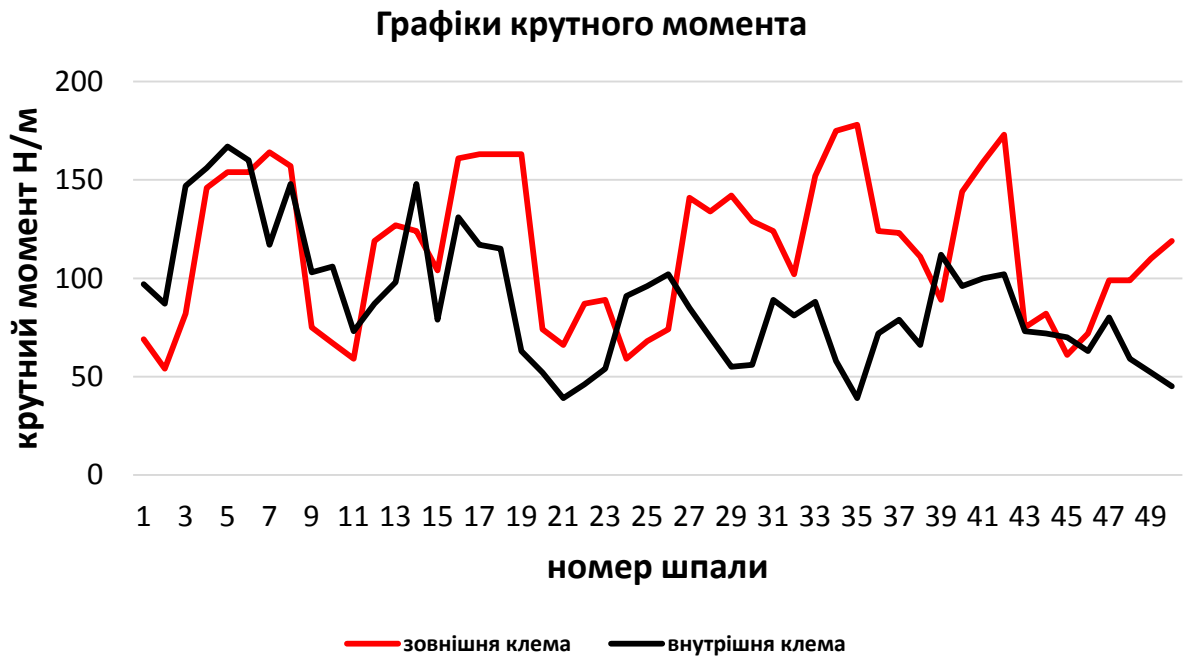


Рис. 4.1 Розподілення крутного моменту по дослідній ділянці

Зробивши висновки можна зрозуміти, що порахував середнє значення крутного моменту зовнішньої і внутрішньої клемних болтів (зовнішня 117 Н/м, внутрішня 85 Н/м) бачимо, що значення крутного моменту зовнішньої клеми трохи більше мінімально допустимого, тоді як крутний момент внутрішньої клеми менше мінімально допустимого. Такі показники на данній ділянці є однієї з причин досить слабого значення погонного опору рейки, і для усунення і збільшення показника крутного моменту до нормативного треба вжити відповідні заходи , які були представлені вище.

ВИСНОВКИ

Таким чином, погонний опір переміщенню колії вздовж формується опором переміщенню рейок по опорах. Погонний опір впливає на деформацію плітей, на зміну температурних зазорів, на довжину дихаючих кінців та цілий ряд технічних параметрів, пов'язаних з технологією роботи та утримання а також з безпекою на залізничному транспорті.

Виконано вимірювання зазорів та температури для ділянки залізничної колії, що підлягала дослідженню. Спостереження та дослідження тривали більше року. За даними спостереження побудовано графік залежності температури рейки від температури повітря. При високих температурах до температури повітря можна додати 20°C, і отримуємо температуру рейки. При температурах до 10°C додавати треба 5°C. Таким чином, температура рейки від температури повітря має нелінійну залежність, що описується рівнянням $t_p = 0,02t_n^2 + 0,5t_n + 7$.

Механізм нагрівання повітря підчинається наступному закону. Повітряні маси прозорі. Тому сонячні промені проходять скрізь них, не нагріваючи їх. Тобто інфрачервоний спектр випромінювання не впливає на прозоре повітря, потрапляє на земну поверхню (колію), нагріває її. А повітряні маси контактуючи з нагрітою поверхнею відбирають тепло від неї.

Проведено дослідження погонного опору фактичного, що діє в колії. Методика визначення погонного опору спирається на формулу формуло $\lambda = (EF/r)\alpha^2(t - t_n)^2$, де за значення λ - примемо різницю зазорів між ланками при зміні температур; $t - t_n$ - різниця температур. І визначаємо із формули погонний опір r . Розрахунки проведено для правої та лівої рейкової нитки.

Деякі розрахунки приймають досить великі значення. Це більш пов'язано з непередбачуваними зовнішніми факторами. Але як ми бачимо присутні досить великі значення, які перевищують нормативне, і пов'язано це скоріше за всього з ослабленням опору в скріпленнях на кінцях рейки.

Таким чином, рейка у такому випадку приймається як вільний стрижень, який зміщується при зміні температури без якого-небудь відносного опору руху. У таких випадках необхідно вжити заходи бо забезпеченню стійкості опору руху при зміні температурних значень рейки. Перш за все треба зробити перетяжку всіх клемних, закладних і стикових болтів торцевими ключами або електрогайковертами, якщо потрібно то замінити непридатну підрейкову резину типу ПРБ. Якщо такі заходи не допоможуть, то необхідно вжити заходів по суцільній заміні скріплень на даній ділянці.

Довжина активної частини рейки прямо пропорціональна величині збільшення температури и обернено пропорціонально величині погонного опору. Звісно величина погонного опору залежить від типа і конструкції проміжних скрілень, силі затяжки цих скріплень, роду і щільності щебневого баласту і інших причин.

Проведено на практиці методику розрахунку крутного моменту, при вимірюванні затяжки клемних болтів на дослідній ділянці колії.

Була зробилена перевірка погонного опору. По отриманим розрахункам було видно, що на деяких ділянках погонний опір дуже низький, про що свідчить послаблення затяжки скріплень на таких ділянках.

За експериментальну взято для перевірки одну з цих ділянок, та перевіriamo рівень затяжки. За реалізації методики візьмемо кантерні ваги, підберемо по головці клемної гайки накидний ключ з рукояткою, яка буде вважатися даним плечем L . Надіємо кільце на рукоятку данного накидного ключа, яка є на кантерних вагах, і зусиллям взявшись рукою за ваги за рахунок довжини плеча робимо розкрутку клемної райки до тих пір, поки гайка не здійсне рух розкручування. При цьому в залежності від зусиль. показники вагів також будуть міняти свої значення.

Тому, як тільки клемна гайка здійснила свій рух, ми повинні зафіксувати на цьому етапі показники вагів, які в свою чергу з формули приймаються за масу m . З досвіду зрозуміло, що затяжка може бути різною

за силою і навідь плече самого ключа буде недостатнє щоб гайка здійснила свій рух. Тому в данному випадку плече посилюється по довжині і вище вказаним методом робимо тіж самі дії. Таким чином, по довжині всієї рейки на ділянці 5км пк 1 права нитка, перевірено вище вказаним способом зусилля затяжки клемних болтів, на кожній шпалі по довжині 25 м і розраховано крутний момент.

Зробивши висновки можна зрозуміти, що порахувавши середнє значення крутного момента зовнішньої і внутрішньої клемних болтів (зовнішня 117 Н/м, внутрішня 85 Н/м) бачимо, що значення крутного момента зовнішньої клеми трохи більше мінімально допустимого, тоді як крутний момент внутрішньої клеми менше мінімально допустимого. Такі показники на данній ділянці є однієї з причин досить слабого значення погонного опору рейки, і для усунення і збільшення показника крутного момента до нормативного треба вжити відповідні заходи

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Проектування і розрахунки конструкцій залізничної колії : підручник у 2-х томах / за заг. ред. Е. І. Даніленко. Київ : Хай-Тек Прес, 2020. Том 2. 552 с.
2. Даніленко Е. І. Залізнична колія : підручник для вищих навчальних закладів у 2-х томах. Київ : Інпрес, 2010. Том 2. 456 с.
3. Технічні вказівки по улаштуванню, укладанню, ремонту і утриманню безстикової колії на залізницях України. ЦП-0266 : Затв.: Наказ Укрзалізниці № 033-Ц від 01.02.2012. Київ, 2012. 147 с.
4. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. ЦП-0117 : Затв.: Наказ Мінтрансу та зв'язку України від 13.12.2004, №960-ЦЗ. Київ, 2004. 170 с.
5. Курган Д. М., Бондаренко І. О. Визначення температурного режиму роботи безстикової колії : методичні вказівки до курсового і дипломного проектування. Дніпро, 2008. 19 с.
6. «Розбудова залізничної мережі 1435 як інфраструктурна основа інтеграції українських залізниць до європейської транспортної системи» автори Вернигора Р.В., Гой В. О., Мікульшин С. Е., 2023 р.
7. «Розвиток контрейлерних перевезень в Україні та досвід перевезень в європейських країнах» автор Баланов В. О., 2012 р.
8. «The requirements of tomorrow`s rail transport infrastructure» by Dr. Konstantinos Giannakos, 2004.
9. «Особливості напружено-деформованого стану суміщеної залізничної колії» автори М. Б. Курган, Д. М. Курган, М. Ю. бражник, Д. Л. Ковальський, 2019 р.
10. «Вплив відмінностей європейської та української колійної інфраструктури на знос коліс рухомого складу» автори Курган М. Б., Курган Д. М., Панченко П. В., 2019 р.

11. «Оцінювання витривалості пружних клем рейкового скріплення КПП-5» автори В. І. Грибовська, Р. В. Чепіль, 2013 р.
12. «The Advisability of Using Dual Gauge for Expansion of the International Traffic» by M. Kurhan, D. Kurhan, M. Husak, N. Hmelevska, 2020
13. Державні будівельні норми України «Споруди транспорту залізниць колії 1435 мм. Норми проектування.» ДБН В.2.3-XX:202X автори О. Калінін, канд. техн. наук; С. Мірошніченко, канд. техн. наук; А. Пługін, д-р техн. наук (керівник розробки); Д. Пługін, д-р техн. наук.
14. Державні будівельні норми. Споруди транспорту. Залізниць колії 1520 мм: ДБН В. 2.3. – 19 – 2019 [Текст]/ затв.: наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 28.09.2018 №261. – К., 2018. – 126 с.
15. Правила технічної експлуатації залізниць України: ПТЕ [Текст]/ затв.: наказ Мінтрансу України 19. 03.2002. №179 / Мін-во трансп. України. К., 2002.
16. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України. ЦП-0269 [Текст]/ Е.І. Даніленко, А.М. Орловський, М.Б. Курган, В.О. Яковлев та інші. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012.
17. ДСТУ Б В.2.6-209:2016 «Шпали залізобетонні попередньо напружені для залізниць колії 1520 і 1435 мм. Технічні умови», Київ. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2016.