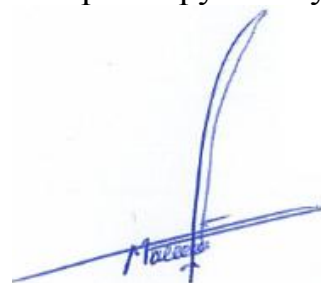


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені
академіка В. Лазаряна

На правах рукопису



МАРКУЛЬ Руслан Володимирович

УДК 625.172:625.143.5

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ КОНТРОЛЮ ТА УТРИМАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ
КОЛІЇ ІЗ СКРІПЛЕННЯМ ТИПУ КПП-5

Спеціальність 05.22.06 – Залізнична колія

ДИСЕРТАЦІЯ

на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор

РИБКІН Віктор Васильович

Дніпропетровськ 2015

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	6
1. АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ДОСЛІДЖЕНЬ НАД РОБОТОЮ ПРОМІЖНИХ РЕЙКОВИХ СКРІПЛЕНЬ. СУТЬ ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	17
1.1 Аналіз робіт, виконаних по темі дослідження, та коротка історична довідка.....	17
1.2 Бічні та вертикальні сили, що виникають в кривих ділянках колії від дії рухомого складу, та їх аналіз по дослідженнях лабораторії ДНУЗТу.....	24
1.3 Методика досліджень напружено-деформованого стану та сил реакцій в елементах проміжних рейкових скріплень, що виникають від дії коліс рухомого складу.....	32
1.4 Висновки до розділу 1.....	34
1.5 Задачі досліджень.....	36
2. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ КОНСТРУКЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ІЗ СКРІПЛЕННЯМ ТИПУ КПП-5.....	38
2.1 Застосування метода кінцевих елементів для дослідження силових та напружено-деформативних характеристик стану елементів проміжного рейкового скріплення типу КПП-5.....	38
2.2 Створення розрахункових схем і КЕ-моделей залізничної колії та елементів вузла рейкового скріплення типу КПП-5.....	41
2.2.1 Шпали.....	41
2.2.2 Підрейкова прокладка типу ПРП.....	43

2.2.3 Анкер закладний типу АЗ-2.....	44
2.2.4 Ізолюючий вкладиш типу ВІП-65.....	45
2.2.5 Клема пружна.....	45
2.2.6 Рейка.....	46
2.3 Складання розрахункових схем конструкції залізничної колії з детальним врахуванням елементів у вузлі рейкового скріплення типу КПП-5.....	47
2.4 Дослідження напруженого стану елементів у вузлі рейкового скріплення типу КПП-5.....	52
2.5 Висновки до розділу 2.....	55
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ІЗ СКРІПЛЕННЯМ ТИПУ КПП-5.....	58
3.1 Характеристика експериментальних ділянок та методика досліджень.....	58
3.2 Динамічні сили, що передаються від коліс рухомого складу на рейки. Згинальні напруження в кромках підшви рейки. Вертикальні та горизонтальні деформації рейкової нитки.....	63
3.3 Згинальні напруження в прутках клеми проміжного рейкового скріплення типу КПП-5.....	75
3.4 Порівняльна характеристика результатів розрахунку напруженого стану колії та елементів проміжного рейкового скріплення типу КПП-5.....	86
3.5 Висновки до розділу 3.....	90
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОМІЖНОГО РЕЙКОВОГО СКРІПЛЕННЯ ТИПУ	93

КПП-5.....	
4.1 Проектування конструкції колійного пристрою по вимірюванню пружних властивостей елементів проміжного рейкового скріплення типу КПП-5.....	93
4.2 Технологія використання конструкції колійного пристрою по вимірюванню пружних властивостей елементів проміжного рейкового скріплення типу КПП-5.....	98
4.3 Оцінка величини пружного ходу нової клеми проміжного рейкового скріплення типу КПП-5.....	100
4.4 Визначення пружних характеристик нової клеми проміжного рейкового скріплення типу КПП-5.....	107
4.5 Полігонні дослідження впливу пружних залишкових деформацій елементів рейкового скріплення типу КПП-5 на величину розмикання силового ланцюжка «рейка-клема-прокладка».....	108
4.6 Висновки до розділу 4.....	122
5. РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПЕРІОДИЧНОСТІ КОНТРОЛЮ ТА УТРИМАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ІЗ СКРІПЛЕННЯМ ТИПУ КПП-5.....	126
5.1 Розробка конструкції регульовального елемента з метою роботи вузла скріплення типу КПП-5 під час експлуатації.....	126
5.2 Розробка технології «монтажу-демонтажу» регулюючої пластини під час експлуатації вузла скріплення типу КПП-5.....	128
5.3 Дослідження підвищення стабільності роботи вузла скріплення типу КПП-5 із використанням регулюючої пластини.....	130
5.4 Висновки до розділу 5.....	136
6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ЗАПРОПОНОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО УТРИМАННЮ	139

ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ІЗ СКРІПЛЕННЯМ ТИПУ КПП-5.....	
6.1 Обґрунтування методики розрахунку.....	139
6.2 Визначення експлуатаційних витрат.....	141
6.2.1 Визначення термінів служби рейок по зносу.....	141
6.2.2 Визначення витрат на заміну шпал.....	144
6.2.3 Визначення витрат на заміну проміжних рейкових скріплень.....	146
6.2.4 Визначення витрат на поповнення баласту.....	146
6.2.5 Визначення витрат на оплату праці при поточному утриманні колії.....	147
6.2.6 Визначення витрат на поточне утримання колії.....	148
6.3 Встановлення періодичності ремонту колії.....	149
6.4 Висновки до розділу 6.....	154
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	155
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	157
ДОДАТОК А.....	173
ДОДАТОК Б.....	184
ДОДАТОК В, Д.....	187
ДОДАТОК Г.....	248

ВСТУП

Україна має добре розвинену інфраструктуру залізниць, для створення яких в першу чергу посприяли високий рівень машинобудування та значний науково-технічний потенціал.

На сьогоднішній день, для більш ефективного використання залізничного транспорту на важливих напрямках Укрзалізниці, відбувається підвищення швидкостей руху вантажних та пасажирських поїздів, збільшення осьового навантаження та вантажонапруженості. Подальший розвиток вище згаданих параметрів ставить перед колійним господарством нові складні задачі, пов'язані із швидким підвищенням міцності та надійності роботи залізничної колії. Одним із заходів щодо покращення конструкції колії являється застосування безстикової колії. Це прогресивна конструкція верхньої будови колії, що дозволяє різко збільшити швидкість руху поїздів без суттєвого збільшення затрат на поточне утримання колії. Однак безстикова колія добре працює при надійному прикріпленні рейкових плітей до підрейкових опор.

Більше чим півтора століття практика експлуатації колії наочно показала, що у всіх видів дерев'яних і залізобетонних підрейкових основ найбільш складним-конструктивно і технологічно вирішальним вузлом, являються проміжні рейкові скріплення. Саме на колійні роботи по утриманню і ремонту скріплень припадає значна доля трудових затрат під час експлуатації колії.

На перших етапах розвитку залізничної колії при відносно невеликих швидкостях руху на дерев'яних шпалах, перші конструкції проміжних рейкових скріплень тривалий час, особливо до 1940 рр., залишались практично без змін: рейка прикріплювалась до шпал за допомогою металевої підкладки та костилів. Однак за рахунок нестачі деревини і з рядом інших причин, відбувається масова заміна дерев'яних шпал та використання

залізобетонних шпал і в кривих малого радіуса. У зв'язку з цим підвищились і розширилися пред'явлені вимоги до скріплень.

Згідно багатовікової практики експлуатації залізничної колії до скріплень пред'являються такі експлуатаційні вимоги:

- зменшення металоємкості та багатoeлементності конструкції;
- забезпечення стабільності ширини колії;
- утримання рейок від уgonу;
- укладання безстикових плітей довжиною у перегін без сезонних температурних розрядок;
- забезпечення оптимальної пружності колії і надійний зв'язок рейок з опорами;
- довготривале забезпечення стабільної ширини колії;
- допускати регулювання положення рейкових ниток по висоті;
- допускати (по можливості) регулювання положення рейкових ниток в плані;
- забезпечувати рейкові нитки від їх поздовжнього переміщення по опорам під дією рухомого складу та температурних сил;
- мати мінімум деталей, бути надійними та технологічними при виготовленні і в експлуатації;
- брати участь при необхідності у створенні електроізоляції одної рейкової нитки від іншої;
- бути економічним;
- допускати механізоване збирання та розбирання;
- допускати можливість розрядки напружень в безстиковій колії і заміну деталей скріплення без переривів в русі поїздів.

За останні роки розроблено велику кількість конструкцій проміжних рейкових скріплень для залізобетонних шпал, але тільки деякі з них, такі як КБ та КПП-5 в результаті довготривалих експлуатаційних спостережень прийняті для широкого застосування в практиці. Однак при довготривалих

експлуатаційних спостережень та виконаних досліджень над скріпленнями типу КБ, були виявлені ряд їх недоліків таких, як:

- складність монтажу-демонтажу під час експлуатації;
- присутність великої кількості різьбових з'єднань;
- багатодетальність;
- висока металоємкість.

Тому для врахування вище перелічених експлуатаційних вимог до проміжного рейкового скріплення та ліквідації недоліків, що присутні у скріплення типу КБ, було запропоновано впровадити на основі без підкладочних без болтових скріплень типу SB-3 польського виробництва вітчизняні скріплення пружного типу КПП-1 а згодом і скріплення типу КПП-5, які б стабільно притискали рейку до підрейкової основи та зменшували б витрати на поточне утримання колії на залізобетонних шпалах.

Однак експлуатація залізничної колії із скріпленням типу КПП-5, показала, що вирішено далеко не всі питання. Одним із факторів по забезпеченню стабільності роботи залізничної колії, являється надійність зв'язків рейок з підрейковою основою, що забезпечується проміжними рейковими скріпленнями.

Під час тривалої експлуатації на ділянках з великою вантажонапруженістю, особливо в кривих малого радіуса, та в стрілочних переводах (в передньому вильоті рамної рейки та в перевідній кривій), де відбувається збільшення поїздного навантаження в поперечно-горизонтальній площині інтенсивно порушується надійність роботи елементів проміжних рейкових скріплень типу КПП-5 із-за частоти відмов його елементів. Це призводить до незабезпечення стабільності характеристик конструкції верхньої будови колії між плановими ремонтами, що нерідко супроводжується додатковими затратами на певних стадіях експлуатації проміжних рейкових скріплень.

Причиною цього є недостатньо вивчена силова робота вузла скріплення типу КПП-5 при експлуатації, яка залежить від багатьох факторів. Від

раціональної силової роботи вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 залежить: просторова жорсткість вузла скріплення; величина опору рейкової нитки поперечному переміщенню (зміна нормативної ширини рейкової колії, пошкодження допоміжних елементів у вузлі скріплення); величина опору поздовжньому переміщенню рейкової нитки (виникнення угону колії), що одночасно загрожує безпеці руху поїздів.

Актуальність теми. Як відомо, стратегічним напрямком розвитку залізничного транспорту України є підвищення швидкості руху поїздів, що суттєво залежить від покращення якості ведення колійного господарства. Одночасно, для колійного господарства стратегічним напрямком є впровадження ресурсозберігаючих інноваційних технологій утримання залізничної колії з метою досягнення найбільшого економічного ефекту від їх впровадження, з дотриманням норм безпеки руху поїздів при підвищенні швидкості руху. Реалізація цієї мети можлива за рахунок розробки рекомендацій та технології щодо утримання залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5. На сьогоднішній день елементи скріплення типу КПП-5 згідно нормативно-технічної документації ремонту не підлягають і замінюються на нові.

Існує проблема, що пов'язана з відсутністю методики та технології контролю за роботою вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, а саме, контроль за роботою окремих його елементів, так як вони визначають надійність роботи вузла скріплення в цілому. Приведені вище твердження вказують на актуальність даної тематики дисертаційної роботи, яка може покращити принципи ведення колійного господарства за рахунок обґрунтування і розробки технології контролю та утримання залізничної колії із використанням скріплення типу КПП-5. Це дозволило б підсилити роботу вузла скріплення з одночасним збереженням працездатності вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 протягом всього міжремонтного терміну експлуатації залізничної колії.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Обраний напрямок досліджень, які були розроблені у межах дисертаційної роботи, був застосований при виконанні науково-дослідних робіт у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, що виконувались за завданням Головного управління колійного господарства Укрзалізниці. Дисертант був відповідальним виконавцем і співавтором документів і звітів нижче наведених науково-дослідних робіт:

- «Розробка наукових основ і техніко-економічне обґрунтування етапів впровадження швидкісного та високошвидкісного руху поїздів в Україні (№ДР 0114U002549)»;

- «Розробка пристрою для контролю сили притискання рейки до підрейкової основи у випадку застосування скріплення типу КПП-5 та регулювання сили притискання клеми КП-5 при втраті пружності. Дослідження з метою розробки рекомендацій щодо утримання колії в залежності від сили притискання рейки до підрейкової основи при використанні скріплення типу КПП-5 (№ДР 0113U002079)».

Мета і задачі досліджень. Метою даної дисертаційної роботи є розробка технології контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5 за рахунок дослідження силової роботи вузла скріплення в процесі експлуатації колії у відповідності критеріям безпеки руху, та впливу на колію рухомого складу.

Задачі досліджень:

1. Виконано аналіз розвитку досліджень роботи проміжних скріплень для залізобетонних шпал, в тому числі і скріплення типу КПП-5, та визначено шляхи покращення їх експлуатаційного ресурсу.

2. Для обґрунтування напруженого стану пружних клем типу КП-5 виконано дослідження моделювання залізничної колії із використанням метода кінцевих елементів, в якому враховано особливості взаємодії рейок та

підрейкових опор зі скріпленням типу КПП-5 при зовнішньому впливі рухомого складу.

3. Виконано експериментальні дослідження роботи залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5 для оцінки напруженого стану пружних клем типу КПП-5 з метою перевірки адекватності математичної моделі реальним умовам експлуатації.

4. Розроблено методику та практичні засоби контролю за станом роботи пружних елементів рейкового скріплення типу КПП-5.

5. Досліджено та обґрунтовано оцінку стану пружних і залишкових деформацій у елементах рейкового скріплення типу КПП-5 та їх вплив на силову роботу вузла скріплення під час експлуатації.

6. З допомогою розробленої методики і практичних засобів розроблено та обґрунтовано технологію контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5; визначено економічну ефективність від її впровадження.

Об'єкт досліджень – процес силового взаємозв'язку у вузлі скріплення типу КПП-5 як закономірність між пружними і залишковими деформаціями у його елементах.

Предмет досліджень – проміжні рейкові скріплення залізничної колії.

Методи досліджень. У дисертаційній роботі використано комплексний метод досліджень, який враховує теоретичну і експериментальну частини. Для теоретичних досліджень застосовували метод математичного моделювання на основі використання метода кінцевих елементів (МКЕ), а також методи математичної статистики для обробки результатів експлуатаційних досліджень та експериментальних випробувань роботи залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5. Усі теоретичні дослідження виконували за допомогою ПЕОМ у операційній системі Windows на базі програмного забезпечення. Математичне моделювання взаємодії колії та рухомого складу виконувались у програмних комплексах ANSYS, та

NASTRAN. Обробку експериментальних даних проводили у програмних комплексах ANSYS, та NASTRAN.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному.

1. Отримала подальший розвиток математична модель залізничної колії із врахуванням проміжного скріплення типу КПП-5, яка на відміну від існуючих враховує кінематичні та силові взаємозв'язки між елементами скріплення, що дозволяє визначити напружений стан найбільш напруженого елемента – клеми у вузлі скріплення типу КПП-5.

2. Вперше встановлені закономірності напруженого стану пружних клем скріплення типу КПП-5, що дозволило більш достовірно дослідити напружений стан пружних клем у вузлі скріплення одночасно по внутрішній та зовнішній стороні рейкової нитки.

3. Одержана невідома раніше математична залежність зміни сили притискання рейки до підрейкової основи при скріпленні типу КПП-5 в процесі експлуатації, яка дозволяє враховувати важливу складову величини інтенсивності зниження сили притискання і монтажною сили притискання, а також робить можливим оцінки зміни сили притискання рейки до підрейкової основи при різних пропущених тоннажах.

4. Вперше запропоновано та використано методику, яка дозволила більш повно, в порівнянні із діючими, використовувати експлуатаційні ресурси елементів скріплення типу КПП-5 за рахунок своєчасного контролю та підсилення силової роботи вузла скріплення під час експлуатації в колії. На основі даної методики розроблено технологію контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що отримані в роботі наукові положення та результати являються базою для вирішення важливої задачі – розробка технології контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5.

Розроблені та обґрунтовані наукові результати дозволяють підвищити ефективність експлуатації залізничної колії із скріпленням типу КПП-5, що є важливим у сучасних умовах ринкової економіки, а саме в даній дисертації.

1. Запропонована методика контролю за станом роботи пружних елементів скріплення типу КПП-5 дозволила розробити конструкцію колійного пристрою, призначеного для визначення пружності та сили притискання клеми при скріпленні типу КПП-5, який прийнято до попереднього використання у вигляді акту впровадження «Розробка пристрою для контролю сили притискання рейки до підрейкової основи у випадку використання скріплення типу КПП-5» в колійному господарстві Придніпровської залізниці. Із появою даної конструкції пристрою появляється можливість встановити контроль за силовою роботою вузла скріплення типу КПП-5 під час експлуатації колії.

2. Із використанням запропонованої методики та розробленої конструкції колійного пристрою було визначено допустиме мінімальне значення сили притискання, при якій стабільно буде притискатись рейка до підрейкової основи із одночасним збереженням оптимальної величини опору поздовжньому переміщенню рейкової нитки.

3. Отримані в дисертації результати силової роботи вузла скріплення типу КПП-5 дозволили розробити технологію контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5. Розроблена технологія базується на проведенні контролю та своєчасного підсилення силової роботи вузла скріплення типу КПП-5 у вказані терміни експлуатації колії.

Отримані в дисертації висновки та рекомендації щодо технології контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5 використовуються у навчальному процесі при підвищенні кваліфікації фахівців колійного господарства Укрзалізниці в навчально-науково-методичному центрі післядипломної освіти Дніпропетровського

національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Особистий внесок здобувача. Автор спільно з науковим керівником сформулював мету, задачі досліджень, а також обговорював отримані результати. Основні наукові положення, результати теоретичних та експериментальних досліджень дисертаційної роботи отримані особисто автором. У наукових працях, що опубліковані в співавторстві, особистий внесок автора такий: у роботі [102] – досліджено заходи щодо можливості укладання анкеризованих залізобетонних шпал у колію із вітчизняними проміжними рейковими скріпленнями типу КПП-5 та СКД65-б, з метою збільшення стійкості залізничної колії в повздовжній та поперечній площині; у [93] – приведені дослідження впливу різних факторів на силову роботу вузла скріплення типу КПП-5; у [106] – розроблена технологія контролю та утримання залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5; у [95] - удосконалено математичну модель роботи залізничної колії з проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 під дією рухомого складу для дослідження найбільш імовірних місць появи напруженого стану в елементах вузла скріплення; у [113] проаналізовано напружено-деформований стан колії із скріпленням типу КПП-5 для підтвердження адекватності математичної моделі та визначення місць встановлення вимірювальних датчиків за результатами математичного моделювання взаємодії колії та рухомого складу; у [103] - розглянуто та обґрунтовано можливості укладання конструкції безстикової колії у кривих, радіусом менше 300 м, із використанням сучасних видів скріплення; у [98] - проведено дослідження нормативів улаштування колії на інтенсивність бічного зношення головки рейки в кривих ділянках досліджено вплив різних параметрів улаштування колії на інтенсивність бічного зношення головки рейки в кривих ділянках, з одночасним зменшенням величини сили притискання рейки до підрейкової основи при скріпленні типу КБ та КПП-5; у [115] – досліджено заходи щодо удосконалення конструкції колії при застосуванні шурупно-дюбельного

кріплення для скріплень типу КБ та СКД, з одночасним зменшенням елементів у вузлі скріплення в порівнянні з нероздільним скріпленням типу КПП-5; у [104] - досліджено техніко-економічне порівняння можливості укладання конструкції безстикової колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5; у [83] – моделювання взаємодії залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 та КБ та рухомого складу в горизонтальній площині; у [119] - досліджено напружено-деформований стан в елементах проміжного рейкового скріплення типу КБ та КПП-5 при повторно змінних циклах навантаження; у [100] - розробка пристрою для розрядки температурних напружень у плітях безстикової колії; у [92] - розробка конструкції пристрою для контролю сили притискання клеми типу до рейки в проміжному рейковому скріпленні, проведення полігонних досліджень з метою визначення пружних характеристик та її силової роботи при експлуатації; у [96] - досліджено вплив множини факторів на величину сили притискання рейки до підрейкової основи у випадку використання проміжного рейкового скріплення типу КПП-5; у [105] – отримано патент на корисну модель, з метою покращення роботи вузла проміжного рейкового кріплення типу КБ та СКД при експлуатації; у [117] - розроблено патент на корисну модель, з метою зміцнення конструкції залізничної колії в повздовжній та горизонтальних площинах при використанні анкеризованих шпал.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації докладалися та обговорювалися на Міжнародних наукових конференціях: «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», присвяченій 150-річчю заснування українських залізниць, 10-річчю вітчизняного пасажирського вагонобудівництва (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, травень 2011 р.); «Проблеми взаємодії колії та рухомого складу», яка присвячена 100-річчю професора Мойсея Абрамовича Фрішмана (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, вересень 2013 р.); «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, квітень 2014

р.); «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, травень 2015 р); у повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на між кафедральному семінарі кафедр «Колія та колійне господарство», «Проектування та будівництво доріг» та «Колієвипробувальної науково-дослідної галузевої лабораторії» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, березень 2015 р.).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані у 16 наукових працях, у тому числі: 7 статей – у фахових виданнях, затверджених МОН України та включених до міжнародної наукометричної бази "Index Copernicus" [93, 106, 95, 113, 98, 115, 104]; 2 статті - у закордонному фаховому виданні [102, 103]; 5 робіт є тезами наукових міжнародних конференцій [83, 119, 100, 92, 96], 2 роботи – пройшли стадію патентування та зареєстровані в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі [105-117].

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та п'яти додатків.

Повний обсяг складає 250 сторінок друкованого тексту, у тому числі: 130 рисунків викладено на 78 сторінках, 59 таблиць на 70 сторінках, список літератури з 120 найменувань займає 16 сторінок, та чотири додатки викладено на 78 сторінках.

1. АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ДОСЛІДЖЕНЬ НАД РОБОТОЮ ПРОМІЖНИХ РЕЙКОВИХ СКРІПЛЕНЬ. СУТЬ ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз робіт, виконаних по темі дослідження, та коротка історична довідка

На сьогоднішній день широке розповсюдження на залізницях України получила конструкція залізничної колії із залізобетонними шпалами. Визначені сфери раціонального застосування конструкції колії із залізобетонними шпалами, однак необхідно її удосконалювати і тут особливо гостро стоїть проблема проміжних рейкових скріплень. На колійні роботи по утриманню і ремонту проміжних рейкових скріплень припадає значна доля трудових затрат підчас експлуатації колії. Це пов'язано із багатьма причинами [1-16], основними з яких є відсутність чітких науково-обґрунтованих механічних, технологічних та експлуатаційних параметрів вузла проміжного рейкового скріплення, які суттєво впливають на міцність та надійність роботи залізничної колії. Розрахунки залізничної колії на міцність являються одним із складних розділів загальної проблеми дослідження взаємодії колії та рухомого складу.

Елементи конструкції залізничної колії – різноманітні, всі вони повинні працювати узгоджено. Силова дія на елементи верхньої будови колії, особливо на елементи проміжних рейкових скріплень, що виникає при проходженні рухомого складу (особливо в кривих ділянках), характеризуються великою кількістю різноманітних факторів, закони зміни яких по величині і по часу являються дуже складними.

Виконані раніше теоретичні та експериментальні дослідження були направлені в основному на вивчення роботи проміжних рейкових скріплень під дією вертикальної системи сил. В роботі [120] для умов колій не загального використання були виконані дослідження просторової жорсткості

скріплення типу КПП-5 із шпалами типу СБЗ-0. Але для умов магістральних залізниць є необхідність дослідження роботи проміжних рейкових скріплень від суміжної дії вертикальної та бічної сил. Причиною цього є поява частих розладів та виходу з працездатного стану елементів у вузлі проміжного рейкового скріплення в колії, особливо в кривих ділянках.

Найбільш розповсюдженими проміжними рейковими скріпленнями на території Укрзалізниці, які пройшли повний строк довготривалих експлуатаційних спостережень, являються підкладочні клемно-болтові скріплення типу КБ та нероздільне безболтове скріплення типу КПП-5. Скріплення типу КБ було піддано ретельним дослідженням в експлуатаційних умовах [17-38, 111, 118]. В результаті досліджень виявилось, що воно володіє рядом переваг, головною з яких – надійне прикріплення рейок до підрейкових опор. Одночасно було встановлено, що в початковому виконанні у колії із залізобетонними шпалами та скріпленнями типу КБ бокова жорсткість рейкової нитки по підшві в 1,4 рази вища, ніж в колії з дерев'яними шпалами. Із збільшенням жорсткості збільшується бокова дія, що передається на кожен шпалу [39-40]. Такі ж висновки були зроблені на основі досліджень, виконаних в ЦНИИ МПС (Всесоюзный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта) [41-45].

Бокова пружність рейкової нитки при проміжному рейковому скріпленні типу КБ забезпечується віджиманням разом із підшвою рейки металевої підкладки в результаті установки по всій ширині у заглиблення залізобетонної шпали, гумової прокладки. Однак типові 6-7 мм прокладки не давали можливості досягнути необхідної величини віджимання. Крім цього, під дією бічного навантаження реборда гумової прокладки перерізались у місці її вигину, після чого металева підкладка упирається відповідно у тіло залізобетонної шпали [46], відбувається сколювання кромки бетону в тілі шпали. При цьому віджимання рейок відносно шпал зменшується, а жорсткість значно підвищується. У зв'язку з цим було виявлено, що одночасно відбуваються відступи із центруванням отворів для закладних та

клемних болтів, пов'язані із взаємним переміщенням рейкових опор (підкладок) в поперечному до осі колії напрямку.

Дослідження вчених ЦНИИ МПС [47] було доказано, що при порушенні центрування отворів в поперек колії різко погіршується забезпечення надійної та сумісної взаємодії між елементами у вузлі проміжного рейкового скріплення в тому числі з опорами підчас прийняття ними горизонтальних поперечних сил, внаслідок чого:

- окремі як закладні так і клемні болти є напружено-деформованими від їх згину в поперек колії, тоді як суміжні болти можуть тривалий час частково або взагалі не працювати;
- порушується рівно-жорсткість колії в горизонтальній площині;
- виникають відступи рейкової колії по шаблону.

Вказані проблеми, що пов'язані із центруванням отворів, які виникають підчас експлуатації проміжного рейкового скріплення типу КБ призводять до зламів реборд металевих підкладок, що утримують клемний болт, а також стають основною причиною зламів закладних та клемних болтів, в яких підчас експлуатації в колії виникають згинальні напруження, у зв'язку з їх позацентровим розтягом [115].

Згідно [48-49], підчас експлуатації колії із залізобетонними шпалами за міжремонтний період може бути пошкоджено до 43 % колійних прокладок, до 10 % металевих підкладок, закладних болтів та ізолюючих втулок з текстоліту [33]. Наявність великого виходу із ладу елементів проміжного рейкового скріплення типу КБ вказується і в інших наукових працях [22-23, 35, 50-51]. Всі вище вказані проблеми у роботі проміжних рейкових скріплень типу КБ призводять до послаблення сил притискання рейок до підрейкових опор, сприяють появі угону безстикової колії та створюють перенапруження в елементах верхньої будови колії. В кінцевому результаті це відбивається на затратах праці при поточному утриманні колії.

Дослідженнями вчених МИИТа [26-29] було обґрунтовано доцільність застосування прокладок з підвищеною пружністю. В даних роботах

зазначалось, що при використанні прокладок такого типу вихід рейок скорочувався в 3 рази, поперечно-горизонтальний тиск на шпали зменшується на 15-23 %. Ефективність використання прокладок з підвищеною пружністю було доказано також дослідженнями, виконаними в ЦНІИ МПС [49, 50, 52-56], ЛІИЖТе [23, 51], та ДНУЗТі [57]. З використанням таких типів прокладок на думку вчених можна добитись зниження бокової жорсткості скріплень при залізобетонних шпалах, що вплинуло б на більш рівномірне розподілення величини бічної сили на елементи у вузлі проміжного рейкового скріплення типу КБ, та досягнути такого рівня бічної горизонтальної сили яка передається на рейку при дерев'яних шпалах із костильним скріпленням.

Стало очевидним [1-16, 58, 118], що параметри скріплень в основному визначаються жорсткістю клемних притискувачів і гумових прокладок важливим при цьому являється відношення вертикальних жорсткостей цих силових факторів. Дійсно, раціональне відношення жорсткісних параметрів пружних клем і гумових прокладок забезпечують надійну роботу рейкової колії та оптимальні параметри вертикальної жорсткості колії, особливо при використанні залізобетонних шпал. Тому, починаючи з 1980-их років, в багатьох країнах, в минулому СРСР, а також закінчуючи сьогоденням і в Україні зайнялись розробкою більш перспективних конструкцій проміжних рейкових скріплень з пружинними клемами високої міцності та гумовими прокладками із великими зворотними деформаціями і високою дисипацією енергії.

Першим проміжним рейковим скріпленням з пружною системою «пружна клема-гумова прокладка», яке впровадилось у 2004 році в широке використання на залізницях України після довготривалих експлуатаційних спостережень являється нероздільне анкерне скріплення типу КПП-1, а згодом і скріплення типу КПП-5 на залізобетонних шпалах. Даний вид скріплення є аналогом польського проміжного рейкового скріплення типу SB-3 [58, 59].

Передумовою впровадження такого виду скріплення являється – забезпечення нормативного рівня притискання підшви рейки до підрейкової опори. Пов'язано це з тим, що підчас експлуатації скріплення типу КБ попередній досвід показав, що відбувається інтенсивне зниження затяжки клемних болтів, особливо під впливом посиленої бічної дії коліс рухомого складу. Це в свою чергу супроводжується появою люфтів між підшвою рейки та опорною площею клеми.

Дослідженнями ДНУЗТу [60] було доказано, що при люфтах величиною більше 1 мм появляється значна ударно-силова взаємодія між підшвою рейки та прижимною клемою, створюючи тим самим концентратори напружень у підшві рейки, що призводять до утворення тріщин уздовж підшви рейки, а в подальшому до її виколювання, що супроводжується появою дефекту 62.1-2 (ГД), [61]. При недостатньому притисканні клемами рейки до шпали можливий також угон рейкових плітей безстикової колії і порушення стійкості рейкової колії [117].

Виходячи із вище вказаної проблеми, для збереження достатнього притискання клем до рейки, стабільності просторової жорсткості вузла проміжного рейкового скріплення, а також для пружної передачі динамічної дії коліс рухомого складу на колію без суттєвого зниження тієї ж сили притискання клеми до підшви рейки було вирішено поступово перейти на тип скріплення з пружними клемами пруткового типу [58].

Було виявлено, що на початкових стадіях експлуатації проміжні безпідкладочні рейкові скріплення типу КПП-5, на відміну від скріплення типу КБ-65, мають ряд переваг таких як: простота монтажу-демонтажу утримання колії; відсутність болтово-гайкових з'єднань; мало-детальність; низька металоємкість. З урахуванням експлуатаційних особливостей вітчизняних залізниць, що мають більш високі, ніж на західноєвропейських вантажонапруженості, осьові навантаження та більшу масу поїздів, особливо в кривих ділянках колії де величини бічних горизонтальних сил стають пропорційними з вертикальними [62], у скріплення типу КПП-5 підчас

тривалої експлуатації виявлено ряд недоліків, пов'язаних з передчасним виходом проміжних його елементів. Причиною цього є недостатньо вивчена робота в колії пружних клем типу КП-5 у скріпленні КПП-5, які першими сприймають долю величини бічної сили, що передається від рейки на вузол скріплення. Вченими ВНИИЖТа [63], ДНУЗТу [58, 64, 119], УкрДАЗТ [114, 116] було проведено дослідження особливостей роботи пружних елементів у вузлі проміжних рейкових скріплень, до яких відносяться і пружні клеми. Згідно досліджень встановлено, що найбільш навантаженими та напруженими являються поверхневі шари прутка клеми. Напруження від кручення та згину, що діють в цих шарах, найбільші значення яких виникають в місцях технологічних згинів, можуть призвести до втрати зусилля притискання клеми до рейки, появи мікро-тріщин, волосовин, а в подальшому і до відмови об'єкта (зламу клеми).

Для залізниць СНД пружинні клеми повинні забезпечувати нормативне монтажне притискання рейки до кожної опори із зусиллям, яке становить 1,6-2,5 т; при цьому коефіцієнт тертя гумових прокладок приймається рівним $0,5 \div 0,6$ [65]. При використанні пластмасових прокладок з коефіцієнтом тертя $0,3 \div 0,4$ (в основному на європейських залізницях) нормативне притискання збільшується до $2,5 \div 3$ т. Таким чином, для безпідкладочних скріплень типу КПП-5 з підрейковою прокладкою та пружними клемами монтажне зусилля притискання рейки двома клемами в залежності від величини коефіцієнта тертя може знаходитись в діапазоні $1,6 \div 3$ т. [58, 64, 66-69]. Однак під час експлуатації логічно очікувати певного зниження притискання клем до рейки, що зумовлено багатьма факторами.

На сьогоднішній день чисельну оцінку зниження ходу пружної клеми в залежності від пропущеного тоннажу досліджено не до кінця, а отже і сила притискання клеми до рейки під час експлуатації, залишається не контрольованою, що в подальшому може негативно вплинути на роботу інших проміжних елементів у вузлі скріплення типу КПП-5 і призвести до втрати працездатності яка приведе до відмови елемента.

Згідно з інформацією по утриманню та експлуатації роботи проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, яка отримана у зв'язку із опитуванням працівників колійного господарства, спостерігається велика її збіжність з полігонними випробуваннями на експериментальному кільці ВНИИЖТа [70]. Було доказано, що недоліком всіх безболтових безпідкладочних скріплень є не висока їх надійність на сприйняття бокових сил від рейки, особливо в кривих ділянках колії радіусом менше 600 м. При цьому підчас експлуатаційних спостережень за роботою проміжних рейкових скріплень типу КПП-5 в діапазонах радіусів менше 600 м часто трапляються випадки розширення рейкової колії, що призводить до порушення нормативної її ширини, що одночасно загрожує безпеці руху поїздів. Причиною цього було встановлено те, що отримані в результаті досліджень [70] великі значення бокових сил сприяють зменшенню сили притискання клеми до рейки. Після зменшення сили притискання клеми до рейки втрачається стабільність просторової жорсткості вузла скріплення та пружна передача динамічної дії коліс рухомого складу на колію. Одночасно з цим підрейкова прокладка не достатньо чинить опір поперечному і повздовжньому зміщенню рейки, збільшується і бокова жорсткість вузла скріплення, що призводить до пошкодження полімерного вкладиша типу ВП 65.1 в місці його контакту із зовнішньою кромкою підошви рейки. Також відбувається знос анкерів шпали та пошкоджується тіло залізобетонної шпали в місці примикання з шапкою монолітного анкера та відбувається угон колії [71-72].

На сьогоднішній день особливість утримання скріплення типу КПП-5 полягає у заміні дефектних деталей в ході їх виявлення. Елементи скріплення ремонту не підлягають і замінюються на нові, які визначаються натурним оглядом геометричних розмірів. Отже, існує проблема, що пов'язана з відсутністю контролю за роботою вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, а саме, контроль за роботою пружних клем типу КП, оскільки вони визначають надійність роботи вузла скріплення в цілому. Це покращило б основні принципи системи ведення колійного господарства, які б в

основному ґрунтувались не на ліквідації відмов, пов'язаних з роботою вузла скріплення, а у їх попередженні, тобто проведення профілактичних робіт у вказані терміни. Тому, перш за все, важливим є сам факт припинення нормального функціонування системи, а не заходи, що необхідні для виконання відновлювальних робіт.

1.2 Бічні та вертикальні сили, що виникають в кривих ділянках колії від дії рухомого складу, та їх аналіз по дослідженнях лабораторії ДНУЗТу

На всій протяжності залізниць України близько 29,6 тис. км. розгорнутої довжини приблизно 70 % складають прямі та 30 % - криві ділянки колії [73]. Головною особливістю умов експлуатації в кривих ділянках колії (особливо у в кривих малих радіусів) є різка відмінність відношень вертикальних і бокових сил, що передаються від коліс рухомого складу на зовнішню та внутрішню рейкові нитки. Зусилля від направляючих на зовнішню рейкову нитку гребенів коліс у поєднанні із силами тертя в місці контакту колеса з поверхнею головки рейки при поворотах колісних пар підчас вписування екіпажу значно збільшують величину бокових сил, що передаються на цю рейкову нитку.

На території Укрзалізниці найбільш поширеними проміжними рейковими скріпленнями, які пройшли довготривалі експлуатаційні спостереження являються скріплення типу КБ-65 та безпідкладочні безболтові скріплення типу КПП-5. Підчас тривалої їхньої експлуатації на ділянках колії, особливо в кривих малого радіуса, під впливом збільшеного поїзного навантаження в поперечно-горизонтальній площині відбувається інтенсивне порушення надійності роботи елементів у вузлі скріплення, що одночасно призводить до порушення роботи конструкції верхньої будови в цілому. Умови роботи колії та вузлів проміжних рейкових скріплень на цих ділянках відрізняються особливо все більше по мірі зменшення радіусів кривих. На сьогоднішній день достатньо вивчена робота скріплень у прямих

та в кривих ділянках колії пологих радіусів, а ось друга частина, не дивлячись на її істотно меншу довжину, тобто дослідження надійності роботи різних конструкцій скріплень не розглядались. Тому для більш конкретного дослідження роботи проміжних рейкових скріплень у складних умовах експлуатації виникає необхідність дослідити, які ж значення бічних та вертикальних сил передаються на рейкові нитки від дії коліс рухомого складу в цих ділянках колії.

Дослідженню бічних горизонтальних сил присвячені роботи багатьох вітчизняних та закордонних вчених. Особливо важливе значення, на думку вчених [74], набувають методи експериментальних досліджень по визначенню бічних горизонтальних сил, що дозволяють безпосередньо врахувати всі різноманітні фактори, що визначають характер та рівень сил взаємодії. На основі цього було детально переглянуто та проаналізовано значення бічних та горизонтальних сил, що виникають в кривих ділянках колії від дії рухомого складу по експериментальних звітах колієвипробувальної лабораторії ДНУЗТу [75-81]. При аналізі приймалися до уваги різні види дослідного рухомого складу та параметри улаштування кривих ділянок колії. Значення бічних та вертикальних сил зображені у таблицях № 1.1 та № 1.2. Вертикальні визначались електро-тензометричним методом по величині поперечної сили що передається на рейку від дії рухомого складу.

На основі отриманих лабораторією ДНУЗТу експериментальних результатів, оцінка зміни величини бічних та вертикальних сил, що виникають в кривих ділянках колії від дії різних типів рухомого складу в залежності від діапазону радіусів, зображено на рис. 1.1-1.4.

Таблиця 1.1 Середні експериментальні значення величини бічних сил ($\bar{Y}_6$) в кривих ділянках (в кН)

№ п/п	Тип рухомого складу	Радіус кривої, м	Рейкова нитка	Швидкість руху, км/год			
				20...40	41...60	61...80	81...100
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Піввагон модель 12-9745	426	Зовн.	32,00	27,65	17,85	-
		82*	Вн.	8,10	11,90	14,90	-
2	Піввагон модель 12-9745	1095	Зовн.	27,90	-	17,90	13,20
		86*	Вн.	5,10	-	1,20	5,00
3	Транспортет вантажопід. 110 т	340	Зовн.	30,50	21,50	14,10	-
		102*	Вн.	-	-	-	-
4	Піввагон модель ЦНИИ-ХЗ-0	340	Зовн.	30,20	22,10	16,35	-
		102*	Вн.	-	-	-	-
5	Електровоз 2ВЛ80С	380	Зовн.	71,85	48,50	44,37	-
		92*	Вн.	-	-	-	-
6	Електровоз ЕЛ5	380	Зовн.	69,53	50,12	46,60	-
		92*	Вн.	-	-	-	-
7	Піввагон мод.18-4129, 25тс	426	Зовн.	26,8	17,50	6,70	-
		82*	Вн.	5,00	6,40	15,75	-
8	Піввагон мод.18-100, 23,5тс	426	Зовн.	32,00	24,10	11,60	-
		82*	Вн.	8,10	14,50	15,30	-
9	Піввагон мод.18-4129, 25тс	1095	Зовн.	-11,20	-	-7,10	-3,95
		86*	Вн.	18,10	-	8,80	6,9
10	Піввагон мод.18-100, 23,5тс	1095	Зовн.	-3,40	-	1,20	5,00
		86*	Вн.	27,10	-	17,90	13,20
11	Електропоїзд ЭПЛ9Т-001 Гол.	415	Зовн.	39,75	45,10	-	-
			Вн.	-	-	-	-
12	Моторний	36*	Зовн.	34,40	35,2	-	-
			Вн.	-	-	-	-
13	Причіпний	36*	Зовн.	36,50	42,20	-	-
			Вн.	-	-	-	-
14	Електропоїзд ЭПЛ9Т-001 Гол.	600	Зовн.	45,20	44,30	38,10	-
			Вн.	-	-	-	-
15	Причіпний	29*	Зовн.	43,40	42,40	37,00	-
			Вн.	-	-	-	-

продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8
16	Моторний	600	Зовн.	49,10	45,50	37,80	-
		29*	Вн.	-	-	-	-
17	ДСЗ-001	415	Зовн.	47,50	41,20	31,90	-
		32*	Вн.	42,20	27,80	26,80	-
18	ЧС-8	415	Зовн.	38,60	35,20	17,50	-
		32*	Вн.	35,40	32,90	13,10	-
19	ДСЗ-001	600	Зовн.	32,80	32,50	30,20	-
		26*	Вн.	52,40	51,30	35,10	-
20	ЧС-8	600	Зовн.	18,60	14,30	11,80	-
		26*	Вн.	47,50	42,00	27,60	-
21	ТЕМ103	420	Зовн.	52,30	46,10	41,80	-
		72*	Вн.	-	-	-	-
22	ТЕП150-001	550	Зовн.	55,10	55,50	58,80	-
		25*	Вн.	53,10	45,40	39,00	-
23	ТЕП150-001	305	Зовн.	35,70	39,60	47,40	-
		104*	Вн.	46,70	37,30	13,30	-
24	ЧС-2	550	Зовн.	45,50	51,80	52,70	-
		25*	Вн.	53,90	45,60	41,80	-
25	ЧС-2	305	Зовн.	52,30	62,40	64,00	-
		104*	Вн.	73,50	61,60	36,60	-
26	Електропоїзд ЭПЛ2Т-01	400	Зовн.	38,20	42,60	-	-
		29*	Вн.	-	-	-	-
27	Електропоїзд ЭПЛ2Т-01	600	Зовн.	20,00	26,30	-	-
		29*	Вн.	-	-	-	-
28	Тепловоз ТЭ116	600	Зовн.	13,90	14,30	-	-
		29*	Вн.	-	-	-	-

Таблиця 1.2 Середні експериментальні значення величини вертикальних сил ($\bar{Y}_v$) в кривих ділянках (в кН)

№ п/п	Тип рухомого складу	Радіус кривої, м	Рейкова нитка	Швидкість руху, км/год			
				20...40	41...60	61...80	81...100
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Піввагон модель – 12-9745	426	Зовн.	123,55	117,65	106,15	-
		82*	Вн.	114,40	124,55	136,60	-
2	Піввагон модель 12-9745	1095	Зовн.	109,00	-	110,70	118,50
		86*	Вн.	129,30	-	114,90	104,10

1	2	3	4	5	6	7	8
3	Електровоз 2ВЛ80С	380	Зовн.	124,12	135,9	148,9	-
		92*	Вн.	137,2	116,00	105,95	-
4	Електровоз ЕЛ5	380	Зовн.	118,06	127,65	143,66	-
		92*	Вн.	134,66	113,66	105,5	-
5	Піввагон мод.18-4129, 25тс	426	Зовн.	120,20	142,35	149,05	-
		82*	Вн.	133,47	129,35	97,00	-
6	Піввагон мод.18-100, 23,5тс	426	Зовн.	114,40	130,80	142,40	-
		82*	Вн.	123,55	117,60	94,70	-
7	Піввагон мод.18-4129, 25тс	1095	Зовн.	112,80	-	120,50	128,20
		86*	Вн.	135,50	-	121,00	113,20
8	Піввагон мод.18-100, 23,5тс	1095	Зовн.	109,00	-	110,70	118,50
		86*	Вн.	129,30	-	114,90	104,10
9	Електропоїзд ЭПЛ9Т-001 Гол.	415	Зовн.	88,70	96,30	-	-
		36*	Вн.	-	-	-	-
10	Моторний	415	Зовн.	103,30	111,80	-	-
			Вн.	-	-	-	-
11	Причіпний	36*	Зовн.	82,70	92,10	-	-
			Вн.	-	-	-	-
12	Електропоїзд ЭПЛ9Т-001 Гол.	600	Зовн.	100,50	101,30	105,30	-
			Вн.	-	-	-	-
13	Причіпний	29*	Зовн.	94,60	95,30	103,50	-
			Вн.	-	-	-	-
14	Моторний	600	Зовн.	110,60	115,10	119,40	-
		29*	Вн.	-	-	-	-
15	ДС3-001	415	Зовн.	103,20	107,40	125,20	-
		32*	Вн.	144,00	122,30	97,10	-
16	ЧС-8	415	Зовн.	92,50	100,90	119,10	-
		32*	Вн.	133,30	110,40	78,60	-
17	ДС3-001	600	Зовн.	101,90	113,20	125,40	-
		26*	Вн.	143,80	122,40	115,70	-
18	ЧС-8	600	Зовн.	97,40	111,90	126,10	-
		26*	Вн.	136,30	127,30	92,30	-
19	ТЕМ103	420	Зовн.	119,10	110,50	119,20	-
		72*	Вн.	-	-	-	-
20	ТЕП150-001	550	Зовн.	117,90	117,20	128,50	-
		25*	Вн.	150,80	129,90	118,70	-
21	ТЕП150-001	305	Зовн.	102,20	107,70	116,00	-
		104*	Вн.	122,90	112,50	85,30	-
22	ЧС-2	550	Зовн.	129,10	131,90	133,40	-
		25*	Вн.	159,60	147,00	113,10	-

1	2	3	4	5	6	7	8
23	ЧС-2	305	Зовн.	118,30	113,00	132,30	-
		104*	Вн.	131,80	125,70	113,10	-
24	Електропоїзд ЭПЛ2Т-01	400	Зовн.	45,60	57,00	-	-
		29*	Вн.	69,20	40,70	-	-

Примітки: у таблицях 1.1-1.2 позначення * - підвищення зовнішньої рейкової нитки в кривих ділянках колії.

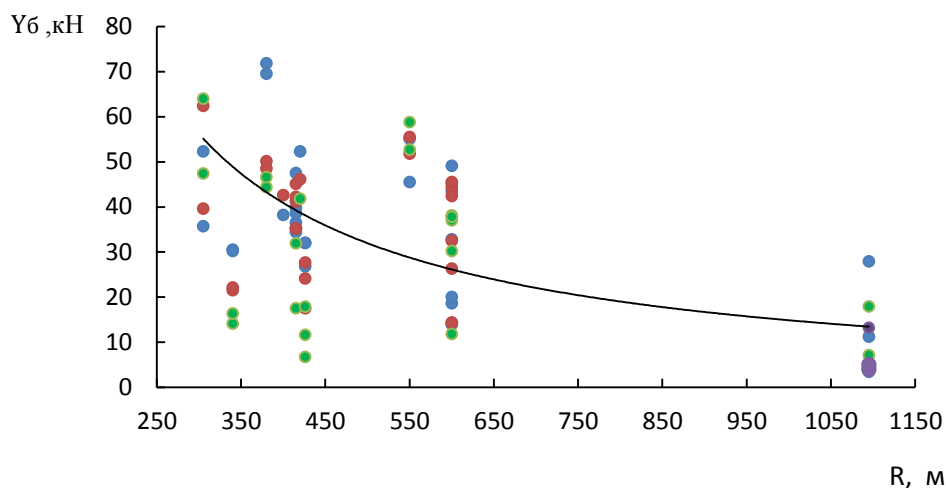


Рис. 1.1 Апроксимація результатів величини бічних сил по зовнішній рейковій нитці від діапазону радіусів

На основі проведеного аналізу, згідно із табличними даними (табл. 1.1), було встановлено, що значення бічних горизонтальних сил, які виникають від дії різних типів рухомого складу на внутрішню рейкову нитку, незначні в порівнянні із значеннями бічних сил, що діють на зовнішню рейкову нитку. Подібні науково обґрунтовані висновки були також доказані та описані вченими у попередніх трудах [62, 74, 83].

Для знаходження математичного рівняння яке б описувало приблизно ті ж самі значення «у» відносно «х» результати спостережень залежності величини бічної сили від діапазону радіусів, які подані як пара координат – «х» та «у» було апроксимовано. За результатами апроксимування було встановлено, що величина бічних горизонтальних сил в залежності від діапазону радіусів носить нелінійний характер (рис. 1.1), який можна описати функцією

$$y = a + \frac{b}{x}, \quad (1.1)$$

де a і b – постійні параметри.

Параметри функції 1.1, за яких вона має мінімум, можна описати системою рівнянь

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial a} \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2, \\ \frac{\partial}{\partial b} \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2. \end{cases} \quad (1.2)$$

За методом найменших квадратів значення параметрів функції можуть бути визначені із виразів

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{x_i} \right)^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{x_i}}{n \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2} - \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} \right)^2}, \quad (1.3)$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{x_i} - \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2} - \left(\frac{1}{x_i} \right)^2}, \quad (1.4)$$

де x_i та y_i – виміряні координати i -ї точки;

n – кількість точок з виміряними координатами.

Згідно отриманих результатів апроксимування встановлено, що величина бічних горизонтальних сил в кривих ділянках колії пологих радіусів до кривих радіусом 600 м ($R=600$ м) стрімко збільшується на 60,5 % в діапазонах кривих від 600 м до 400 м на 8,33%, від 401 м до 300 м на 20 %.

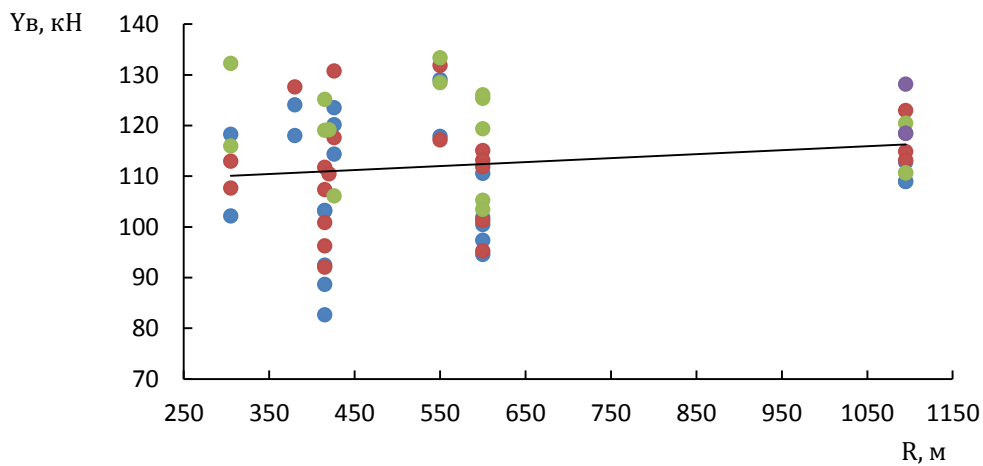


Рис. 1.2 Апроксимація результатів величини вертикальних сил по зовнішній рейковій нитці від діапазону радіусів

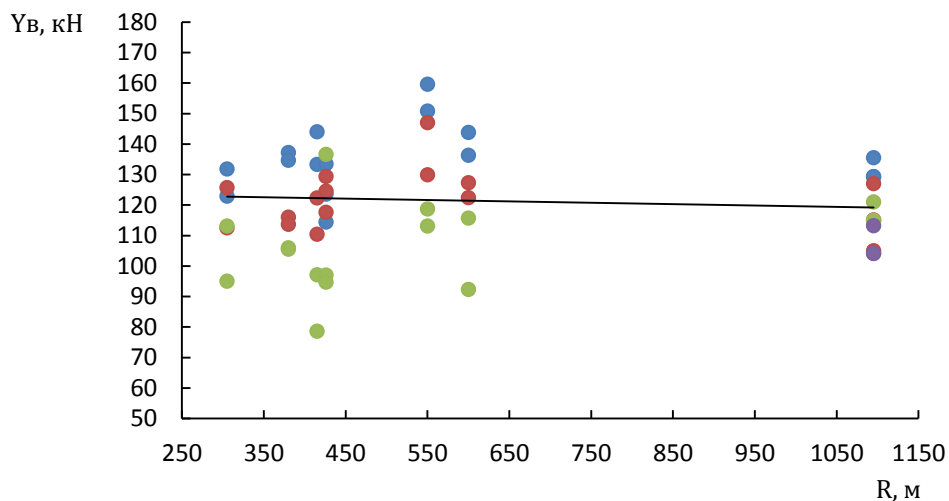


Рис. 1.3 Апроксимація результатів величини вертикальних сил по внутрішній рейковій нитці від діапазону радіусів

Характер зміни величини вертикальних сил як по внутрішній, так і по зовнішній рейковій нитках в залежності від діапазону радіусів за результатами апроксимування носить лінійний характер (рис. 1.2-1.3).

За результатами апроксимування на графіках 1.2 та 1.3 можна зробити висновок, що величина вертикальних сил, які передаються від дії коліс рухомого складу на зовнішню та внутрішню рейкову нитки в кривих ділянках колії, практично не змінюється. Так по зовнішній рейковій нитці величина вертикальних сил змінюється в діапазонах радіусів від 601-1000 м до 501-600 – на 0,16%, від 501-600 м до 401-500 м – на 0,19 %, від 401-500 м

до 300-400 м – на 1,2 %. По внутрішній рейковій нитці від 601-1000 м до 501-600 – на 1,68 %, від 501-600 м до 401-500 м – на 0,24 %, від 401-500 м до 300-400 м – на 6,6 %.

Отже на основі проведеного аналізу бічних та вертикальних сил по звітах лабораторії ДНУЗТу встановлено, в кривих ділянках колії з радіусом 650 м і менше появляється відцентрова сила, яка створює додаткове навантаження на зовнішню рейкову нитку, що пов'язано із багатьма факторами [98].

У дисертаційній роботі з метою подальшого теоретичного дослідження напруженого стану елементів вузла скріплення типу КПП-5 і було проаналізовано значення зовнішніх сил, які виникають у складних умовах експлуатації а саме в кривих ділянках колії з різними діапазонами радіусів.

1.3 Методика досліджень напружено-деформованого стану та сил реакцій в елементах проміжного рейкового скріплення, що виникають від дії коліс рухомого складу

Із підвищенням жорсткості залізничної колії, одночасно збільшилась імовірність появи різних дефектів та пошкоджень а також і вібраційна взаємодія між елементами верхньої будови колії. Зазначені фактори в певній мірі впливають на опір конструкції колії збільшеному поїзному навантаженню в поперечно-горизонтальній площині. Підвищена дія таких сил викликає значний ріст напружень в елементах скріплення, які в свою чергу впливають на стабільність роботи всього вузла скріплення.

Найбільш достовірні місця напружено-деформованого стану в елементах вузла проміжного рейкового скріплення, в яких в подальшому підчас тривалої їхньої експлуатації можуть виникнути пошкодження переважно від дії бічних сил визначалися в основному визначались експериментальними методами, що проводились у 60-70 их роках минулого століття або в окремих випадках теоретичними розрахунками.

Для умов магістральних залізниць методика досліджень напружено-деформованого стану та сил реакцій в елементах проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 на сьогоднішній день експериментальними методами не виконувалась. В окремих роботах [58, 64, 84-85] досліджувались лише окремі елементи вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5.

Дані вище вказаних теоретичних досліджень над роботою проміжних рейкових скріплень типу КПП-5 достовірно не давали науково-обґрунтованих відповідей та чітких результатів по визначенню та появи максимально-ймовірних місць напружено-деформованого стану у елементі вузла проміжного рейкового скріплення під дією зовнішніх сил, що передавались від дії коліс рухомого складу на цей же вузол проміжного рейкового скріплення. З метою отримання достовірних результатів та детальної оцінки можливих місць в елементах, де можуть виникнути максимальні значення напружено-деформованого стану у 60-их роках минулого століття, доцільним стало використання методу кінцевих елементів (далі МКЕ). Так, наприклад, Н. И. Антонов у своїх роботах [86-87], використовуючи МКЕ, теоретично дослідив напружено-деформований стан (далі НДС) елементів роздільних скріплень типу Д4 та К4, а саме пружної клеми та металевої підкладки для дерев'яних та залізобетонних шпал. Використовуючи гіпотези теорії пружності, моделювались плоско-трикутні елементи з двома степенями вільності у кожному вузлі елемента і система. Опорні реакції клеми знаходились із її розрахунку як пластини на трьох опорах з навантаженням від болта в площині пластини, при цьому клема розбивалась на 144-елементи.

Опорні реакції клем в якості зовнішнього навантаження окремо прикладались до металевої підкладки і рейки і в подальшому вивчався НДС системи. Вихідними даними для розрахунку системи приймалися: модуль пружності рейки і підкладки (E , ГПа), коефіцієнт Пуассона (ν), модулі пружності нашпальної і підрейкової прокладок. Враховуючи той фактор, що елементи проміжних рейкових скріплень у колії працюють не як окремі

елемент, а система із спряженими парами тертя між елементами у вузлі скріплення, дані досліджень [86-87, 58, 72] та розрахунки достовірно не давали науково обґрунтованих відповідей та чітких результатів роботи всього вузла проміжного рейкового скріплення під дією сили, що передавалась окремо на елементи проміжного рейкового скріплення в поперечній-горизонтальній площині до осі колії.

В процесі аналізу висвітлених теоретичних методів по визначенню НДС елементів вузла проміжного рейкового скріплення, що базувались на основі поелементних розрахунків в 60-70-их роках минулого століття, отримувались недостовірні результати, які супроводжувались суттєвою похибкою при порівнянні їх з експериментальними даними. Все це пояснюється не врахуванням всіх факторів, які приймають участь у формуванні роботи всього вузла проміжного рейкового скріплення в колії під час його експлуатації [83, 88].

Таким чином, для проведення більш достовірних досліджень які б максимально відповідали експериментальним даним, виникає необхідність створити математичну модель залізничної колії із врахуванням проміжного скріплення типу КПП-5. Дана математична модель на відміну від існуючих враховувала б кінематичні та силові взаємозв'язки між елементами скріплення, що в загальному представляють собою експлуатаційні та конструктивні характеристики роботи вузла проміжного рейкового скріплення в цілому.

1.4 Висновки до розділу 1

При реконструкції вітчизняних магістралей, особливо під швидкісний рух, виникла необхідність удосконалення існуючої конструкції верхньої будови колії впровадженням нових її елементів, які б відповідали сучасним вимогам експлуатації. За рахунок нестачі деревини, і з рядом інших причин відбувається масова заміна дерев'яних шпал та використання залізобетонних

шпал і в кривих малого радіуса. Більше чим півтора століття практика експлуатації колії наочно показала, що у всіх видів залізобетонних підрейкових основ найбільш складним-конструктивно і технологічно вирішальним вузлом, являються проміжні рейкові скріплення. У зв'язку з цим підвищились і розширились пред'явлені до скріплень вимоги. Саме на колійні роботи, з утримання і ремонту скріплень припадає значна доля трудових витрат підчас експлуатації колії. Проміжним рейковим скріпленням, яке впровадилось у 2004 році в широке використання на залізницях України після довготривалих експлуатаційних спостережень являється нероздільне анкерне скріплення типу КПП-5. Даний вид скріплення являється аналогом польського проміжного рейкового скріплення типу SB-3. Було виявлено, що на початкових стадіях експлуатації рейкові скріплення типу КПП-5 на відміну від скріплення типу КБ мають ряд переваг таких, як простота монтажу-демонтажу утримання колії; відсутність болтово-гайкових з'єднань; мало-детальність; низька металоємкість.

З урахуванням експлуатаційних особливостей вітчизняних залізниць, що мають більш високі ніж на західноєвропейських вантажонапруженості, осьові навантаження, та більшу масу поїздів у скріплення типу КПП-5 підчас тривалої експлуатації виявлено ряд недоліків, пов'язаних з передчасною відмовою його елементів. Причиною цього є недостатньо вивчена силова робота в колії елементів вузла скріплення типу КПП-5, які першими сприймають долю величини динамічної сили, що передається від рейки на вузол скріплення.

В кривих ділянках колії, де значення бічних горизонтальних сил згідно результатів дослідження зростають на 88,83 % відбувається поява у певних місцях елементів скріплення значного росту напружень, що впливає на стабільність силової роботи вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5. Найбільш достовірні місця напруженого стану в елементах вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, в яких в подальшому підчас тривалої їхньої експлуатації можуть виникнути пошкодження, та втрата їх

пружних властивостей для умов магістральних залізниць експериментальними методами не виконувалась.

Виникає необхідність у подальшому розвитку математичної моделі залізничної колії із врахуванням проміжного скріплення типу КПП-5, яка на відміну від існуючих враховувала б кінематичні та силові взаємозв'язки між елементами скріплення, що дозволяє визначити напружений стан найбільш напруженого елемента. З метою перевірки адекватності математичної моделі реальним умовам експлуатації необхідно провести експериментальні дослідження роботи залізничної колії із скріпленням типу КПП-5, для оцінки напруженого стану у його елементах.

На сьогоднішній день елементи скріплення типу КПП-5 згідно нормативно-технічної документації ремонту не підлягають і замінюються на нові, що частково пов'язано з відсутністю методики та практичних засобів контролю за станом силової роботи пружних елементів рейкового скріплення типу КПП-5. Знаючи результати силової роботи вузла скріплення, це дозволить розробити технологію контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5, яка буде базуватись на проведенні та своєчасному підсиленні силової роботи вузла скріплення у вказані терміни експлуатації колії.

1.5 Задачі досліджень

Для досягнення поставленої мети в даній дисертаційній роботі необхідно вирішити наступні завдання.

1. Виконати аналіз розвитку досліджень роботи проміжних скріплень для залізобетонних шпал, в тому числі і скріплення типу КПП-5, та визначити шляхи покращення їх експлуатаційного ресурсу.

2. Для обґрунтування напруженого стану пружних клем типу КПП-5 виконати подальші дослідження моделювання залізничної колії із використанням метода кінцевих елементів, в якому врахувати особливості

взаємодії рейок та підрейкових опор зі скріпленням типу КПП-5 при зовнішньому впливі рухомого складу.

3. Виконати експериментальні дослідження роботи залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5 для оцінки напруженого стану пружних клем типу КП-5 з метою перевірки адекватності математичної моделі реальним умовам експлуатації.

4. Розробити методику та практичні засоби контролю за станом роботи пружних елементів рейкового скріплення типу КПП-5.

5. Дослідити та обґрунтувати оцінку стану пружних і залишкових деформацій у елементах рейкового скріплення типу КПП-5 та їх вплив на силову роботу вузла скріплення під час експлуатації.

6. З допомогою розробленої методики і практичних засобів розробити та обґрунтувати технологію контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5; визначити економічну ефективність від її впровадження.

2. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ КОНСТРУКЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ІЗ СКРІПЛЕННЯМ ТИПУ КПП-5

2.1 Застосування методу кінцевих елементів для дослідження силових та деформативних характеристик стану елементів проміжного рейкового скріплення типу КПП-5

За останні тридцять років метод кінцевих елементів (далі МКЕ) став одним із розповсюджених чисельних методів для розрахунку напружено-деформованого стану твердого тіла (елемента). На сучасному етапі використовуються не індивідуальні програмні розробки, а розроблені спеціалістами різних напрямків комплекси програмного забезпечення (ПЗ), в основу яких входить використання основних положень даного методу.

Програмні комплекси в основному складаються із декількох активних розрахункових блоків (модулів): препроцесор – призначений для створення геометричної та розрахункової моделей; модуль проведення обчислень (Solution) – призначений для указання опцій розрахунку та проведення розрахунків; постпроцесор – призначений для перегляду отриманих на основі проведених розрахунків результатів для певного кроку навантаження на всій математичній моделі, перегляд результатів в конкретному вузлі і (або) елементі, для проведення повної послідовності кроків навантаження; модуль імпорту геометричної інформації – призначений для імпортування файлів у яких зберігається геометрична інформація про створені в них елементи.

Дані попередніх теоретичних досліджень та розрахунків достовірно не давали науково-обґрунтованих відповідей та чітких результатів роботи всього вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 в поперечній горизонтальній площині до осі колії, з метою отримання достовірних результатів та достатньої оцінки напружено-деформованого стану елементів у вузлі скріплення, появилась необхідність створення математичної моделі з

елементів залізничної колії при зовнішній дії сили, що передається від коліс рухомого складу.

Таким чином необхідність у подальшому розвитку математичної моделі залізничної колії із врахуванням проміжного скріплення типу КПП-5, яка на відміну від існуючих враховувала б кінематичні та силові взаємозв'язки між елементами скріплення. В загальному аспекті, яка б представляла собою експлуатаційні та конструктивні характеристики всього вузла скріплення [83]. Для цього були розглянуті певні програмні комплекси з точки зору вирішення поставленої задачі.

Автором дисертаційної роботи з використанням системи автоматизованого проектування, такої як Solid Edge ST2 та Solid Works, були описані основні види елементів верхньої будови колії у відповідності з їхньою реальною геометрією та розмірами. Була попередньо підготовлена бібліотека фізичних характеристик для всіх елементів залізничної колії та вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5. Отримані таким чином об'ємні твердотільні експортувались в певні спеціалізовані програмні комплекси, що дозволяють виконувати поглиблений числовий розрахунок і аналіз трьохмірних моделей МКЕ. Найбільш достовірними програмами являються: MSC Visual NASTRAN, COSMOS, ANSYS, MSC/MARC, Design Space, що дозволяють враховувати фізико-механічні властивості елементів верхньої будови колії, оптимізувати параметри конструкції при попередньо заданих зв'язках.

Розрахунки, приведені в даній дисертаційній роботі, були виконані та представлені в програмному комплексі ANSYS Design Space. Теоретичні основи програмного комплексу приведені у додатку А.

Вирішення певної задачі в програмі ANSYS включає декілька етапів, що зображено на рис. 2.1

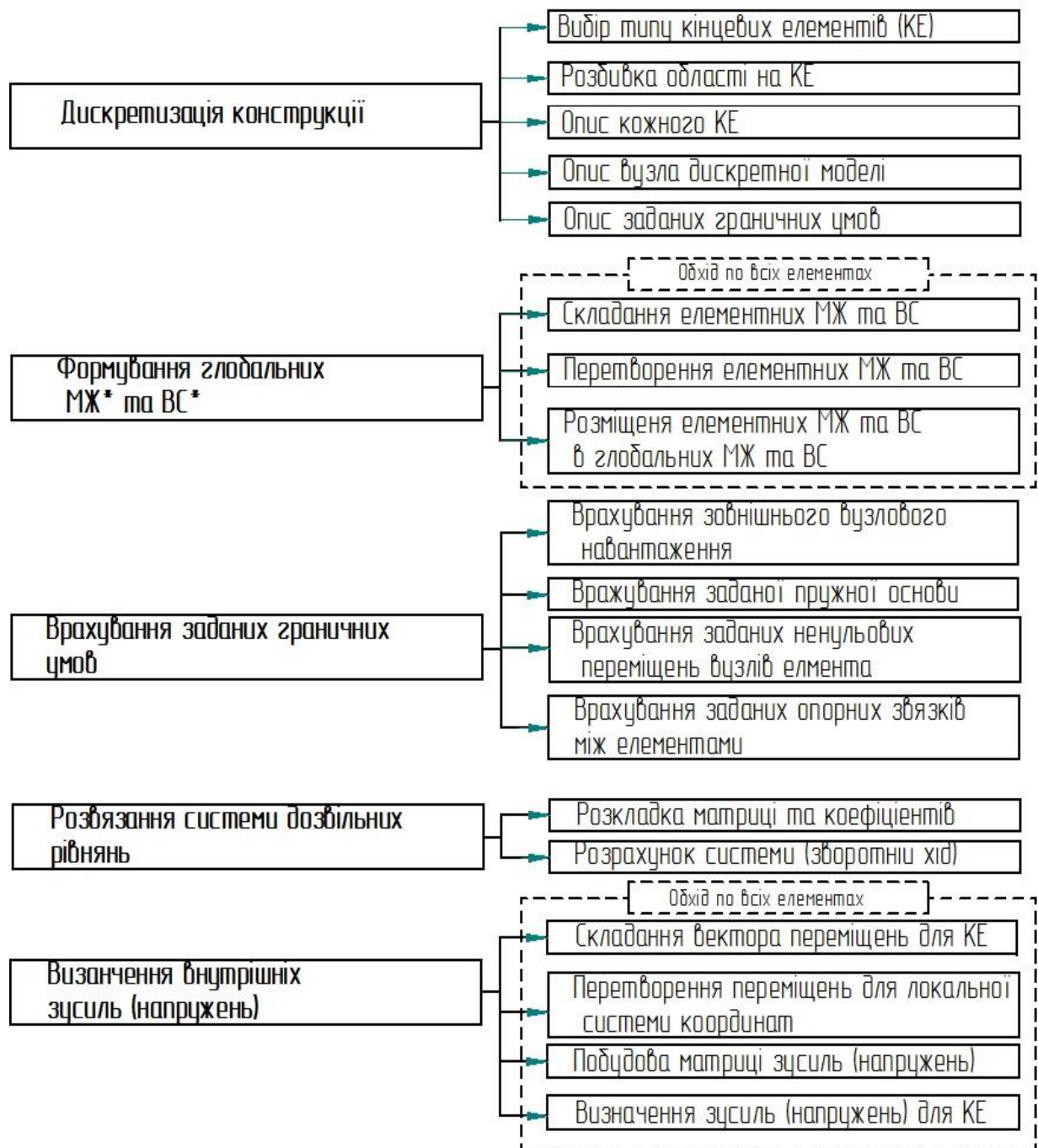


Рис. 2.1 Основні етапи розрахунку МКЕ та послідовність їх виконання:

MJ^* - матриця жорсткості; BC^* - вектор сил.

Вирішення поставленої задачі у дисертаційній роботі, згідно з виконанням послідовностей аналізу, що зображено на рисунку 2.1, автором виконувались такі етапи, як: побудова моделі елементів – створення збірок (сукупність елементів, що представляють собою одну конструкцію або вузол), визначення властивостей матеріалів, використання файлів бібліотеки

матеріалів, створення навантаження та отримання результатів, перегляд результатів. Розбиття елемента на КЕ пропонується у вигляді тетраедра. Регулювання сітки КЕ можливо проводити в певних окремих ребрах моделі, які можуть бути окремими відрізками та спряженими дугами.

Результатами розрахунку являються наступні величини: еквівалентні напруження (Von Mises), три головні величини напружень, деформації, сили реакції між проміжними елементами у збірці (вузлі, конструкції), енергія деформації, прикладене зусилля, поля температур, температурні напруження.

Результати розрахунку можуть бути представлені як у вигляді звіту, так і візуально (наочно).

2.2 Створення розрахункових схем і КЕ-моделей залізничної колії та елементів вузла рейкового скріплення типу КПП-5

Для проведення теоретичних досліджень попередньо були створені розрахункові схеми елементів залізничної колії та вузла проміжного рейкового кріплення типу КПП-5, що зображені нижче.

2.2.1 Шпали

В основу теорії розрахунку та аналізу шпала представлялась як балка кінцевої довжини $l = 1350$ мм. На рис. 2.2 а, б показана схематична конструкція пів-шпали із всіма розмірами та її КЕ-модель. Підчас математичного моделювання, до уваги приймалась та частина рейкової колії, у якій значення напруженого стану в елементах, вузла скріплення будуть максимальними. В даному випадку це зовнішня сторона рейкової нитки. На основі проведеного аналізу горизонтальних сил, що виникають від дії рухомого складу по експериментальних звітах галузевої колієвипробувальної науково-дослідної лабораторії ДНУЗТу [75-81] (див п. 1.2), встановлено, що максимальні значення цих сил виникають в кривих ділянках колії малого радіусу по зовнішній рейковій нитці. Тому

доцільно розглядати одну частину рейкової колії, яка б і описувала параметри улаштування та роботи зовнішньої рейкової нитки під силовим впливом рухомого складу.

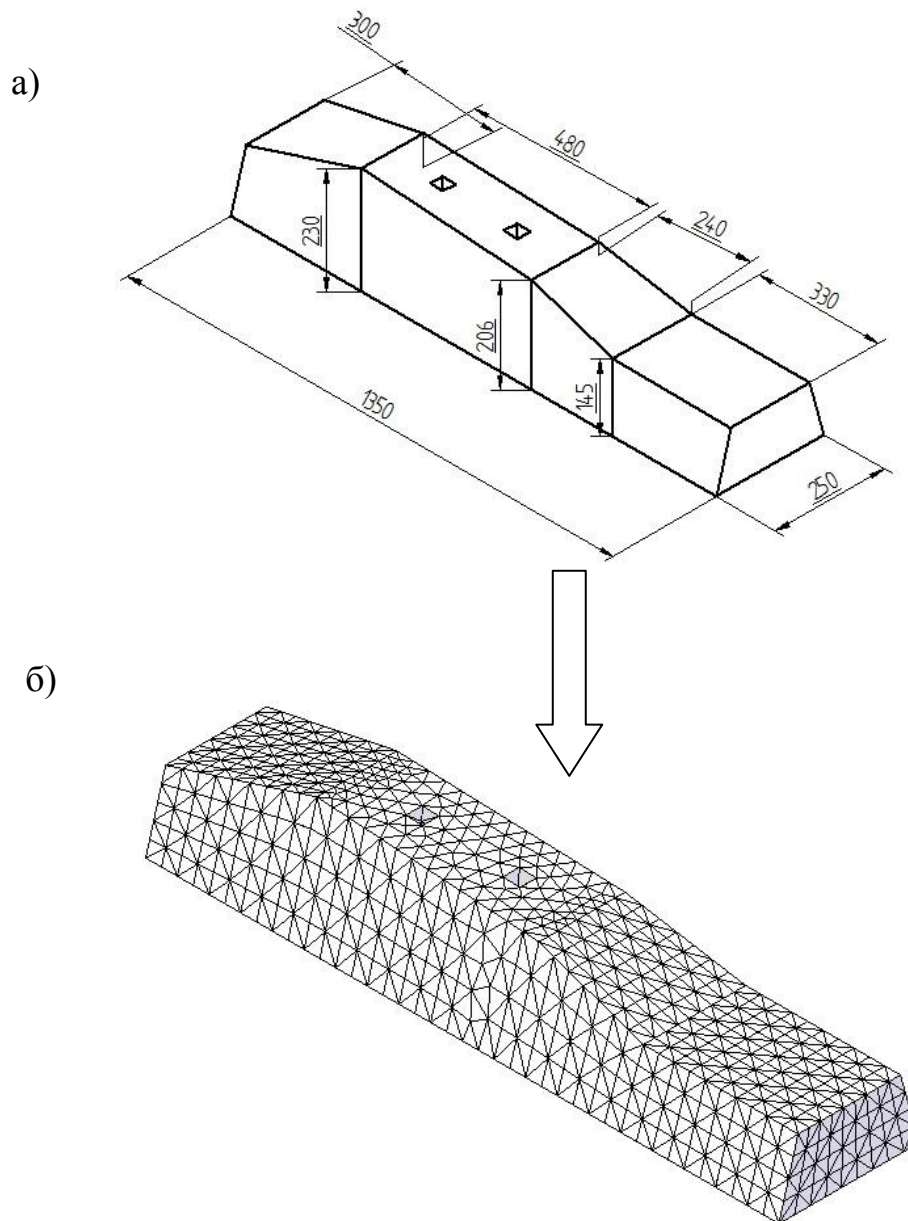


Рис. 2.2 Схема конструкції залізобетонної шпали типу СБЗ-0:

а) геометричні розміри; б) КЕ-модель шпали (14462 вузла і 9236 елементів).

Геометричні параметри анкерної залізобетонної шпали типу СБЗ-0 (ГОСТ 10629-88) та елементів колії вказані у таблиці 2.1. У математичній

моделі прийнята відстань між осями шпал $l = 500$ мм, що відповідає епюрі розкладки (2000 шт/км) в кривих ділянках колії.

Таблиця 2.1 Геометричні параметри елементів колії

Елементи колії	Площа перерізу, см ²	Момент інерції відносно вертикальної осі M_y , см ⁴	Момент інерції відносно горизонтальної осі M_z , см ⁴	Координати центрів тяжіння в загальній системі координат	
				Y, мм	Z, мм
1	2	3	4	5	6
Шпала СБ3-0	435	272,336	269,641	0,00	87,76
Прокладка типу ПРП-1	129,6	0,00	0,001	83,00	2,00
Анкер типу АЗ-2	86,05	0,005	0,004	41,21	-15,78
Ізо-вкладиш типу ВІП65	8,92	0,00	0,00	-14,39	18,80
Клема типу КП-5	2,27	0,002	0,002	27,57	34,10
Рейка Р65	82,70	1272,666	3,820	82,04	1349,75

2.2.2 Підрейкова прокладка типу ПРП

Прокладки підрейкові типу ПРП виготовлені із поліуретану згідно ГОСТ 16337-77. Геометричні параметри підрейкової прокладки зображені у таблиці 2.1, загальний вигляд зображений на рис. 2.3а та 2.3б.

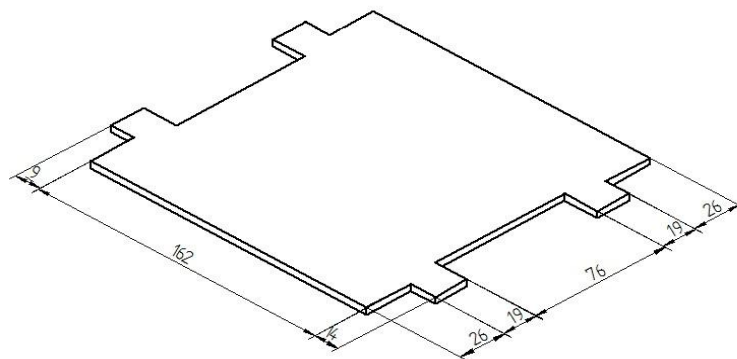


Рис. 2.3а Геометричні розміри конструкції підрейкової прокладки.

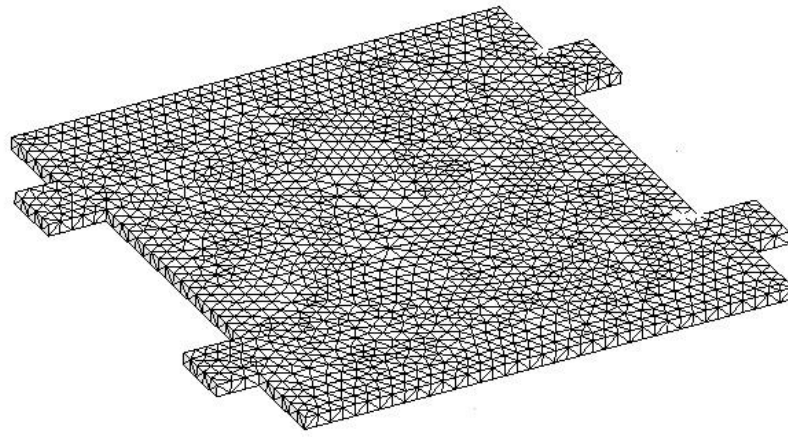


Рис. 2.3б Схема КЕ моделі підрейкової прокладки
(17467 вузлів і 8650 елементів).

2.2.3 Анкер закладний типу АЗ-2

Елемент складного абрису, який складається із верхньої та нижньої частини, при цьому нижня його частина попередньо омонолічена в тіло залізобетонної шпали. Всі геометричні розміри зображені на рисунку 2.4.

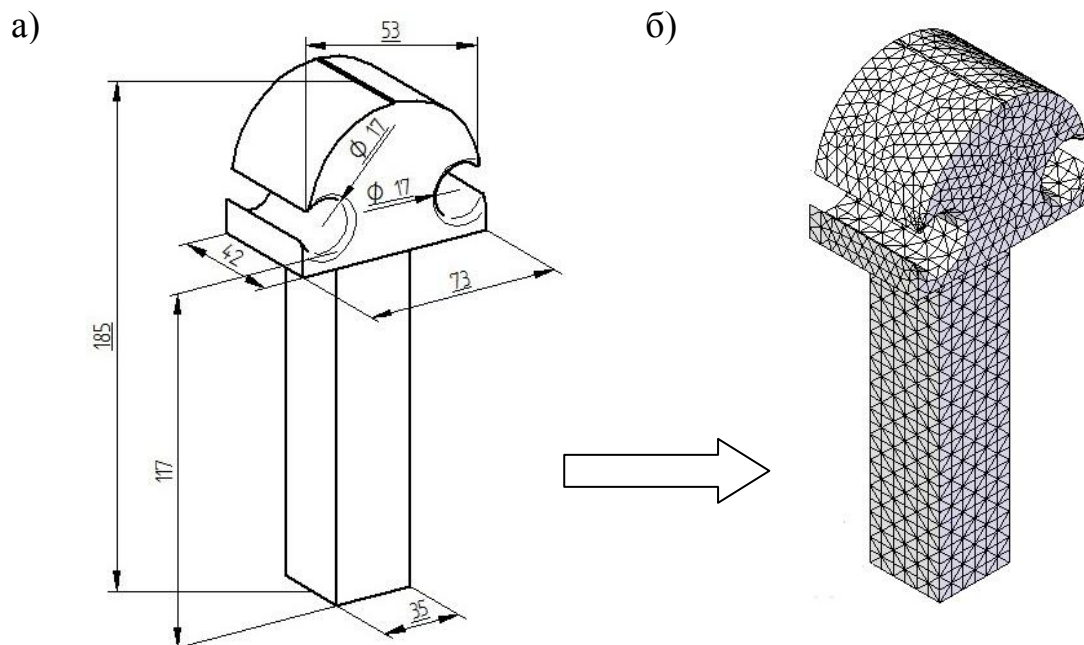


Рис. 2.4 Геометрична схема закладного анкера та його КЕ модель:

а) геометричні розміри;

б) КЕ модель анкера (18106 вузлів і 11489 елементів).

2.2.4 Ізолюючий вкладиш типу ВІП-65

Виготовляється за ТУ У35.2 30268559-049-2002 (ГОСТ17648). Основні параметри та розміри ізолюючого вкладиша зображені на рисунку 2.5.

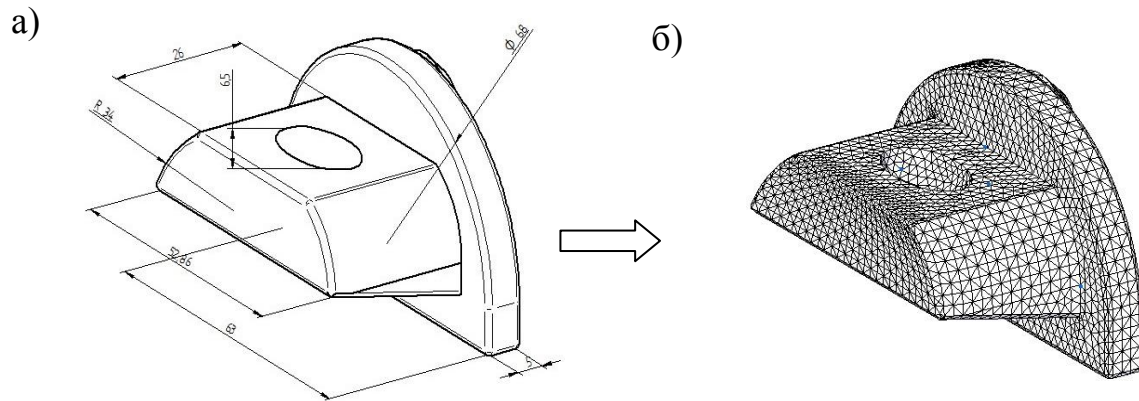


Рис. 2.5 Схема конструкції ізолюючого вкладиша типу ВІП-65:

а) геометричні розміри;

б) КЕ модель вкладиша (26115 вузлів і 17191 елемент).

2.2.5 Клема пружна

Пружні клеми виготовляються за ТУ у 35.2 – 30268559-039 2002 (ГОСТ014959). Основні розміри пружної клеми КП проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 зображені на рис. 2.5.

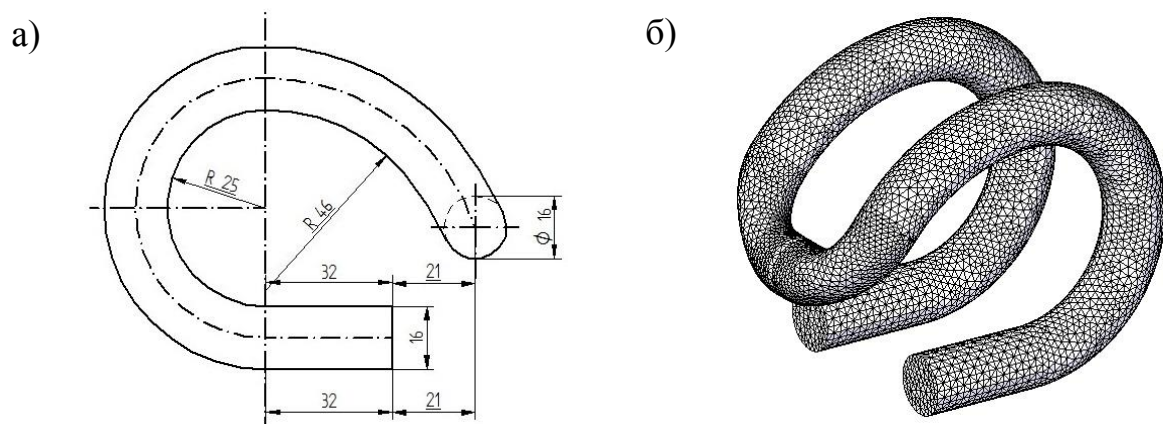


Рис. 2.6 Схема конструкції пружної клеми скріплення типу КПП-5:

а) геометричні розміри;

б) КЕ модель пружної клеми (14487 вузлів і 67578 елементів).

2.2.6 Рейка

Рейку розглянуто як балку кінцевої довжини. Поперечний профіль рейки відповідає ДСТУ 4344:2004 «Рейки звичайні для залізниць широкої колії. Загальні технічні умови». Характеристики площі та сам поперечний профіль рейки зображено на рис. 2.7.

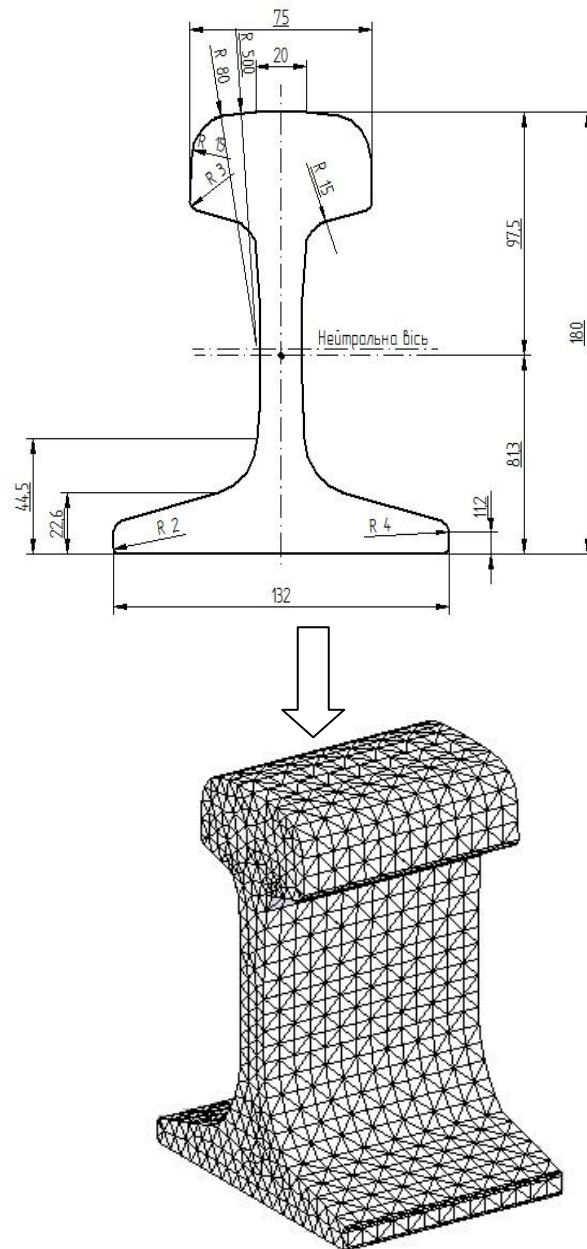


Рис. 2.7 Схема конструкції рейки типу Р65:

а) геометричні розміри;

б) КЕ модель рейки (111029 вузлів і 63787 елементів).

Вище приведені КЕ моделі елементів залізничної колії використовувались при моделюванні конструкції залізничної колії з метою дослідження напруженого стану елементів вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5.

2.3 Складання розрахункових схем конструкції залізничної колії з детальним врахуванням елементів у вузлі рейкового скріплення типу КПП-5

Залізнична колія являє собою складну інженерну конструкцію, що складається із множини елементів, які представляються як механічна система з різними (односторонніми, двосторонніми) зв'язками між елементами. Від жорсткості елементів вузла скріплення і згинальної та крутильної жорсткості рейки залежить величина навантаження, що передається від вище розміщеного елемента на сусідній, а також і сила взаємодії колії та рухомого складу.

Створюючи математичну модель необхідно визначитись із всіма складовими дослідного об'єкта і вирішити питання щодо необхідності їх врахування чи навпаки. Відтворити всі елементи (складові), що представляють собою конструкцію залізничної колії, їх конструктивні, геометричні і фізико-механічні властивості – можливо, але у деяких випадках і не доцільно. Таким чином, необхідно визначити умови, для яких і будуть проводитись розрахунки. Тому приймаємо наступні передумови.

Згідно правил технічної експлуатації (ПТЕ) і норм утримання залізничної колії враховуємо при розрахунку МКЕ елементи, що входять в загальну модель володіють наступними властивостями: рейки, шпали, підрейкові прокладки, ізолюючі вкладиші, пружні клеми – нові, та відповідають вимогам ДСТУ 4344:2004 і ГОСТів, 10629-88, 16337-77, 17648-83, 7417-79 згідно [89].

Конструкція залізничної колії, що представлена у вигляді збірки, складовими якої є допоміжні елементи, що знаходяться в справному стані, і мають свої зазори та люфти, закладені конструкційними нормативами. Наявність цих областей (люфтів) і їх величини носять імовірнісний характер. Однак врахування впливу цих величин може призвести до розкиду в значеннях НДС колії та її елементів. Розглядається конструкція залізничної колії, що працює в пружній стадії, також враховується опір прогину рейкової нитки вниз і у верх. Тому при врахуванні граничних умов всі елементи конструкції колії частково склеєні відповідно в точках контакту між опорними поверхнями. Так як основною задачею було дослідження максимально імовірнісних місць появи напруженого стану в елементах вузла скріплення типу КПП-5, в математичному апараті не враховувалось армування шпали [120]. Для розрахунку у використаному ПЗ мають великий вплив розміри та фізико-механічні властивості об'єкта (елемента).

Для вибору розрахункової довжини ділянки, були розглянуті моделі довжиною 3, 4, 5 м, що складались з рейки, шпал та елементів проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 (пружні клеми, ізолюючі втулки, підрейкові прокладки). Бічна та вертикальна складова сили, що передається від колеса рухомого складу на прикладалось в середній частині ділянки колії.

У всіх трьох випадках ділянка була закріплена відповідно з експлуатаційним розташуванням та роботою елементів верхньої будови колії. У залізобетонних шпалах фіксували всі шість степенів вільності, у підрейкових прокладках фіксувались три степені вільності, ізолюючі вкладиші – три степені вільності з можливістю кручення, пружні клеми – фіксувались всі шість степенів вільності в зонах, що вмонтовувались в пази монолітного анкера шпали типу СБ-3. Враховуючи наявність люфтів та зазорів у збірці між новими елементами конструкції колії, контакти між елементами були з'єднані один раз лінійно з врахуванням відповідних коефіцієнтів тертя в точках контактування їх поверхонь, другий раз всі

елементи вузла скріплення типу КПП-5 були склеяні, тим самим імітуючи пружну роботу вузла рейкового скріплення.

Відповідно з дискретизацією конструкції залізничної колії (рис. 2.1), у вузлі проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 враховувались та приймалися до уваги величини зусилля притискання рейки до підрейкової опори клемами, що становить 20-30 кН. Після проведення розрахунків для двох варіантів міжелементного з'єднання, порівнювали деформації рейкової нитки, прокладок, та пружних клем проміжного рейкового скріплення типу КПП-5. За відповідними схемами було досліджено властивості роботи рейки в поперечному напрямку поздовжній осі колії, а також властивості роботи елементів вузла рейкового скріплення типу КПП-5.

Так як математична модель представляла собою рейкову нитку, що опирається на шпалу, розміщену на рівно пружній основі, пружні характеристики земляного полотна і баластного шару враховані з допомогою модуля пружності [73]. Із отриманих даних встановлено, що при розгляді ділянки колії довжиною 5 м і більше від контактування поверхонь елементів між собою не чинить істотного впливу на значення деформативних характеристик елементів, що доказано [90], де лінії впливу затухають на відстані 2-3 м від місця прикладання сили. Тому для подальших розрахунків та досліджень приймаємо ділянку довжиною 5 м.

З метою отримання достовірних результатів НДС елементів від зовнішньої дії сил, що передаються від коліс рухомого складу на рис. 2.8 представлена остаточною схема моделі для дослідження та детальної оцінки роботи всього вузла рейкового скріплення типу КПП-5 в вертикальній та поперечній-горизонтальній площині до осі колії.

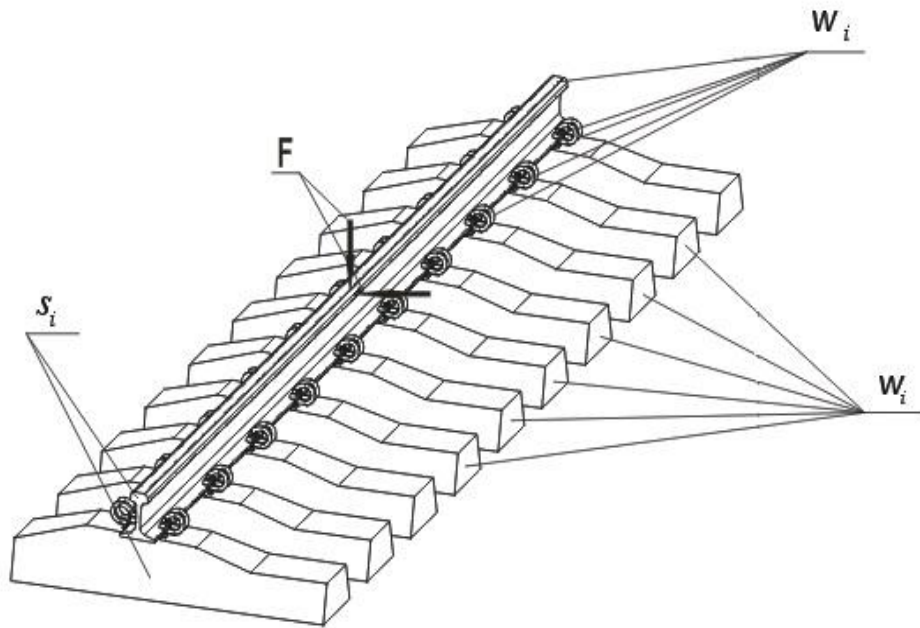


Рис. 2.8 Остаточна модель конструкції ВБК із скріпленням типу КПП-5

В залежності від розбивки області дискретної моделі на кінцеві елементи розрахунок НДС конструкції колії з врахуванням контактного явища між проміжними елементами та фізичної нелінійності достатньо трудомістка задача, що супроводжувалась часом розрахунку від 1,35 год до 2,53 год.

Враховуючи велике розсіювання характеристик залізничної колії та екіпажів, точність вимірювання вказаних величин (див. рис. 2.1) під час проведення експериментів знаходиться з допустимою помилкою на рівні $E = 10 \%$. Міра змін цієї величини встановлюється коефіцієнтом варіації « ϑ »: при $E = 10 \%$, $\vartheta = 10 \%$. Тому підчас виконання дискретизації конструкції кількість кроків (рівнів) розбивки області на КЕ в подальших розрахунках визначалось не більше чим 5% .

На основі попередньо проведених досліджень був створений наступний алгоритм проведення дослідження:

$$R = f_{MKE}(\Omega, F, P, n / \Delta = 5\%), \quad (2.1)$$

$$\text{де } \Omega = \{ \{ \omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots \}, \{ S_1, S_2, S_3, \dots \} \};$$

$$\omega_i = \left\{ \left\{ g_{i1}, g_{i2}, g_{ij} \dots \right\}, \left\{ \varphi_{i1}, \varphi_{i2}, \varphi_{ij} \dots \right\} \right\}. \quad (2,2)$$

Звідси:

$$R = \left\{ \left\{ \sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{1k} \dots \sigma_{ik} \dots \right\}, \left\{ y_{11}, y_{12}, y_{1k} \dots y_{ik} \dots \right\} \right\}, \quad (2.3)$$

де Ω - збірка елементів колії;

ω_i - тверdotілий i -ий елемент (об'єкт) сукупності елементів колії (клема, прокладка, рейка та ін.);

g_{ij}, φ_{ij} - відповідно j -ий елемент сукупності геометричних параметрів

i множини фізико-механічних властивостей об'єкта ω_i ;

$S = \{S_1, S_2, S_i \dots\}$ - множина (сукупність) зв'язків між об'єктами;

F, P - сукупність навантажень та закріплень;

n – кількість циклів розрахунку;

Δ - %-на схожість суміжних результатів;

σ_{ik}, y_{ik} - відповідно k -ий елемент напружень та деформацій об'єкта ω_i ;

R - стан моделі відповідно розрахункам МКЕ.

На основі теоретичних розрахунків згідно вище представленого алгоритму, отримавши вихідні значення напружено-деформативних властивостей k -ого елемента конструкції, можливо проаналізувати найбільш імовірно-достовірні місця появи максимальних напружень в елементах вузла проміжного рейкового кріплення типу КПП-5, особливо в клемі. У місцях клеми, де НДС, що виникає від сумісної взаємодії колії та коліс рухомого складу, є максимальним, підчас експлуатації будуть виникати напруження втоми [113], які в подальшому можуть призвести до послаблення силового ланцюжка – «рейка-клема-прокладка». Одночасно це призведе до втрати стабільності роботи вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5. Аналітичні основи програмного комплексу відображено в додатку А.

2.4 Дослідження напруженого стану елементів у вузлі рейкового скріплення типу КПП-5

Розрахунки залізничної колії на міцність являються одним із складних розділів загальної проблеми дослідження взаємодії колії та рухомого складу. Елементи конструкції залізничної колії – різноманітні, всі вони повинні працювати узгоджено. Силова дія на елементи верхньої будови колії особливо на елементи поміжних рейкових скріплень, що виникає при проходженні рухомого складу (особливо в кривих ділянках), характеризується великою кількістю різноманітних факторів, закони зміни яких за величиною і у часі являються дуже складними. Підчас дослідження напруженого стану елементів у вузлі проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 до моделі прикладались значення зовнішніх сил (F , kH) (див. рис. 2.9), які виникають у складних умовах експлуатації а саме в кривих ділянках колії. На основі цього було детально переглянуто та проаналізовано значення бічних та горизонтальних сил, що виникають в кривих ділянках колії від дії рухомого складу по експериментальних звітах лабораторії КГНДЛ ДНУЗТу (див. п. 1.2 даної роботи). При аналізі приймались до уваги різні види дослідного рухомого складу та параметри улаштування ділянок колії.

На основі теоретичних та проаналізованих автором у даній роботі значень бічних-горизонтальних сил (підрозділ 1.2 даної роботи), що виникають в кривих ділянках колії від дії рухомого складу, по експериментальних звітах колієвипробувальної лабораторії ДНУЗТу [75-81] встановлено, що при діапазонах радіусів $R=300...420$ м середнє значення бічної сили становить $60,22 kH$ і вертикальної $117,93 kH$; при $R=421...550$ м значення бічної сили становить $38,28 kH$, вертикальної $119,28 kH$; та при $R=551...600$ м значення бічної сили становить $21,32 kH$ і вертикальної $119,51 kH$.

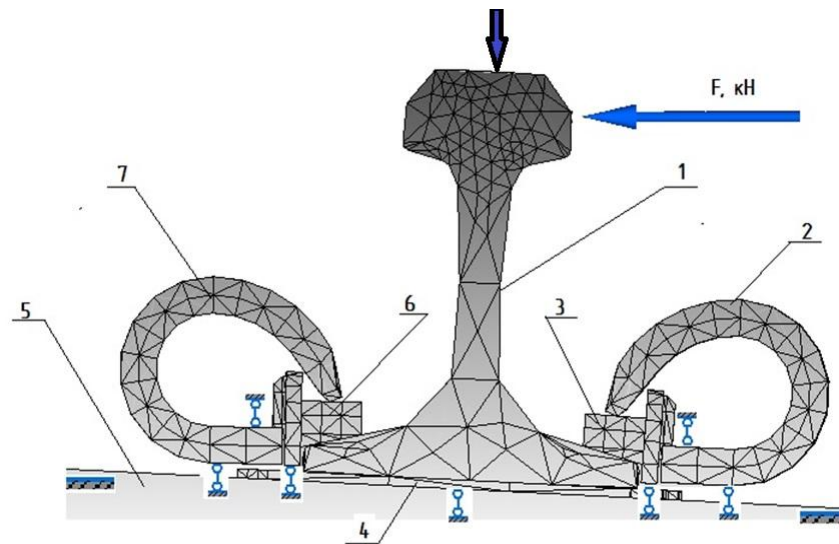


Рис. 2.9 Розрахункова схема вузла рейкового скріплення типу КПП-5:

1 – рейка; 2, 7 – клеми; 4 – підрейкова прокладка;
5 – залізобетонна шпала; 3, 6 – ізолюючий вкладиш.

Розміщення прутків клеми в пазах головки анкера описано двома умовними опорами в певних місцях спирання кінцевих ділянок клеми в кінцеві ділянки пазів отвору анкера.

Дослідження НС проводили одночасно з врахуванням двох видів навантаження. Перший – «робочий режим», коли до головки рейки прикладалась загальна складова бічної та вертикальної сили, що виникає від дії коліс рухомого складу (див рис. 2.8 та 2.9). Другий – «монтажний режим», коли до вільного від фіксації кінця прудка клеми прикладалась монтажна сила, що забезпечує здійснення технологічного монтажу клеми на анкер, середнє значення якої становить згідно [58, 64] $F_m = 7,5 \text{ кН}$. Результати розрахунків прирізних значення сил, що виникають в діапазонах радіусів $R=300...420 \text{ м}$, $421...550 \text{ м}$, $551...600 \text{ м}$ зображені у таблиці 2.3.

Згідно таблиці 2.3, клема №1 розміщувалась по внутрішній стороні рейкової нитки, а клема №2 - відповідно по зовнішній стороні.

Таблиця 2.3 Розрахункові значення напружень (σ , МПа) в клемах

Діапазон радіусів R, м	Сила F, кН		Значення напружень (МПа) в клемах			
			Клема №1		Клема №2	
	Вертикальна	Горизонтальна	Нижня частина прутка	Верхня частина прутка	Нижня частина прутка	Верхня частина прутка
1	2	3	4	5	6	7
300÷420	117,93	60,22	134,945	29,956	57,716	24,512
421÷550	119,28	38,28	98,923	26,991	38,484	20,312
551÷600	119,51	21,32	72,885	23,918	36,712	17,480

Для наочного зображення зміну величини напружень, що виникають в прутках клеми при різних значеннях сили, зображено відповідно на рис. 2.10.

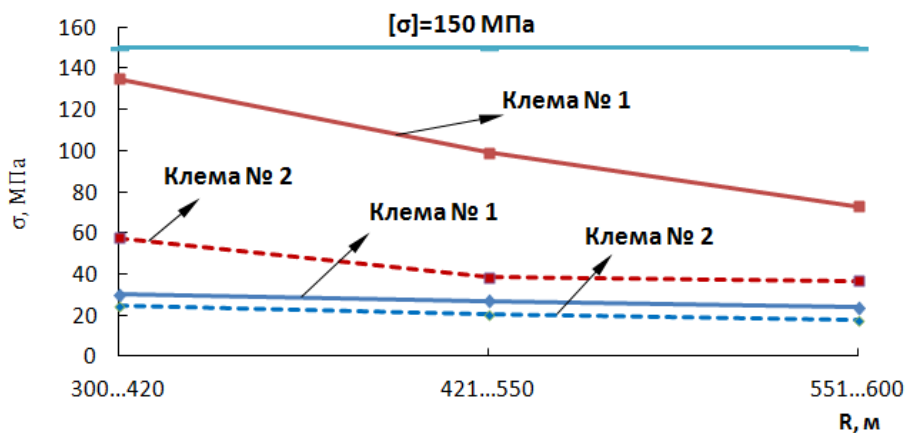


Рис. 2.10 Значення напружень в прутках клеми по зовнішній та внутрішній стороні рейкової нитки

Згідно з отриманих в процесі розрахунку даних, що зображені у таблиці 2.3, встановлено, що значення напружень у нижній частині прутка клеми по внутрішній стороні рейкової нитки в діапазонах кривих малого радіуса на 73,7 % більше, ніж значення напружень у верхній частині прутка клеми. Значення величини напружень у нижній частині прутка клеми по

зовнішній стороні рейкової нитки в діапазонах кривих малого радіуса на 53,1 % більше, ніж значення напружень у верхній частині прутка клеми.

Проаналізувавши теоретично отримані дані, що зображені на рис. 2.10 та у таблиці 2.3, встановлено, що значення напружень, які виникають в прутках клеми №1 (внутрішня сторона рейкової нитки), значно більші від величини напружень в прутках клеми №2 (зовнішня сторона рейкової нитки). Відсоткове співвідношення яких зображено на рис. 2.11.

В основному, згідно з рис. 2.11, аналізуючи отримані дані можна зробити висновок, що значення напружень у нижній частині прутка клеми по внутрішній стороні рейкової нитки на 56 % більше, ніж по зовнішній стороні рейкової нитки.

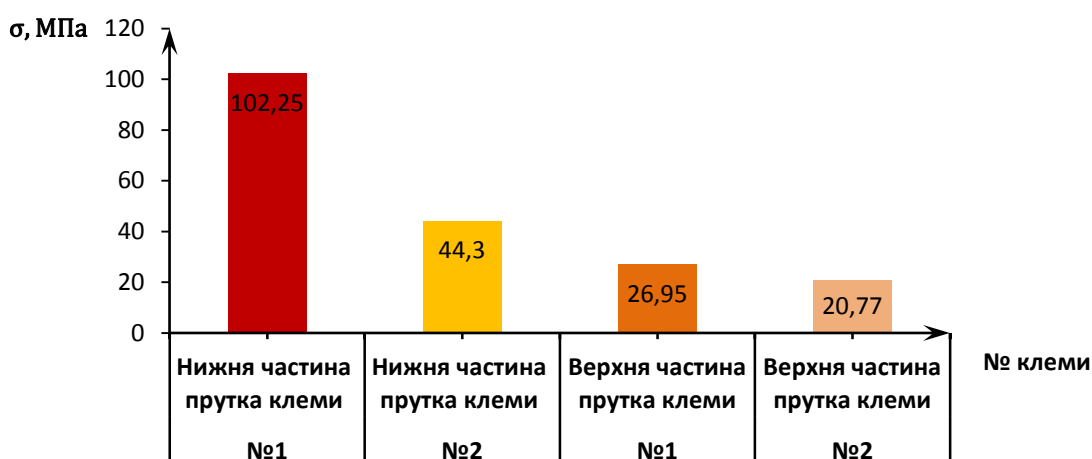


Рис. 2.11 Порівнянні величини напружень в прутках клем №1 та №2

Значення напружень у верхній частині прутка клеми на 53,1 % більше ніж значення напружень у верхній частині прутка клеми.

2.5 Висновки до розділу 2

Аналіз попередніх теоретичних розрахунків з дослідженням роботи вузла проміжного рейкового скріплення показав, що для визначення напружених процесів, які виникають в елементах скріплень, необхідно створити модель конструкції залізничної колії як систему яка б практично у

повній мірі враховувала геометричні форми та реальні умови роботи конструкції вузла скріплення. Дана система повинна включати множину зв'язаних між собою елементів з урахуванням їх фізико-механічних властивостей.

В результаті аналізу та попередніх розрахунків над проміжними рейковими скріпленнями прийнятий МКЕ, з одночасним вибором певного програмного забезпечення, в якому і виконувались розрахунки. Дане програмне забезпечення дозволяє визначити НДС конструкції залізничної колії як в цілому, так і поелементно.

В ПЗ автором роботи підготовлена модель залізничної колії із практично повним та детальним врахуванням елементів вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5. Отриману математичну модель, що залежить від стану кожного елемента, можна використовувати для дослідження міцнісних характеристик вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, а також для виконання робіт, що пов'язані із проектуванням та розробкою та удосконаленням нових конструкцій елементів рейкових скріплень

Підчас дослідження напруженого стану елементів у вузлі проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 до моделі прикладалось система сил, які виникають у складних умовах експлуатації, а саме, в кривих ділянках колії при різних діапазонах радіусів ($R=300...420$; $421...550$; $551...600$ м).

З допомогою математичного моделювання було встановлено, що одним із головних елементів вузла скріплення, які першими сприймають частку величини бічної та вертикальної сили, що передається від дії рухомого складу, являються пружні клеми типу КП-5. Проаналізувавши теоретично-отримані дані, було встановлено, що середні значення напружень, які виникають в прутках клеми по внутрішній стороні рейкової нитки, значно більші від величини напружень в прутках клеми по зовнішній стороні рейкової нитки. А саме, значення напружень у нижній частині прутка клеми по внутрішній стороні рейкової нитки на 56 % більше, ніж по зовнішній

стороні рейкової нитки. Значення напружень у верхній частині прутка клеми по внутрішній стороні рейкової нитки на 53,1 % більше, ніж по зовнішній стороні рейкової нитки, але не перевищують допустимих ($[\sigma] = 150 \text{ МПа}$).

Значення напружень у нижній частині прутка клеми по внутрішній стороні рейкової нитки в діапазонах кривих малого радіуса на 73,7 % більше, ніж значення напружень у верхній частині прутка клеми.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ІЗ СКРІПЛЕННЯМ ТИПУ КПП-5

3.1 Характеристика експериментальних ділянок та методика досліджень

З метою отримання експлуатаційних даних у 2013 р. було проведено експериментальні дослідження взаємодії рухомого складу та залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 [113]. Дослідження проводились галузевою Колієвипробовувальною науково-дослідною лабораторією Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, (КГНДЛ ДНУЗТу) при участі автора та кафедри «Колія та колійне господарство».

Дослідження проводили на ділянці Нижньодніпровськ-Вузол - Самарівка Придніпровської залізниці в кривій радіусом 400 м. Дослідна ділянка розміщувалась в зоні кругової кривої. Ділянка: план лінії – крива, радіусом 400 м; конструкція колії – ланкова колія із рейками типу Р65, шпали залізобетонні, баласт двохшаровий, товщиною 35/20 см; епюра шпал 2000 шт/км; скріплення типу КБ-65. На ділянці виконується рух в основному вантажних поїздів. Вантажонапруженість на ділянці становить 50 млн. т. км. брутто / км. за рік.

За показниками стрічки вагона колієвимірювача колія на даній ділянці утримується в доброму стані (див. дод. Б.2. даної роботи).

Для проведення експериментальних досліджень, відповідно до наказу ПС04/1069 від 22.04.13 р. (дод. «Б.1»), було укладено в колію партію із 10 залізобетонних шпал типу СБ-3 під проміжне рейкове скріплення типу КПП-5 в межах кругової кривої, з'єднувальної гілки Нижньодніпровськ-Вузол – Самарівка (195 км. ПК8).

Дослідження проводили під одним і тим же дослідним рухомим складом, схема якого наведена на рис. 3.1. Для проведення експерименту був попередньо сформований дослідний рухомий склад із двох електровозів типу

ЧС7 та двох вагонів для зерна моделі 19-7053 та 19-7016 з осьовим навантаженням 25 та 23,5 т відповідно.

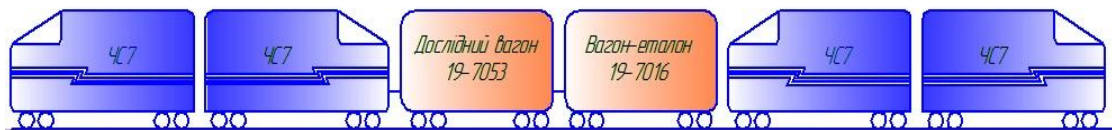


Рис. 3.1 Схема дослідного рухомого складу

Поїздки виконували із швидкістю руху 5; 40; 90 км/год. Підвищення швидкостей руху дослідного рухомого складу підчас експерименту, проводилось після експерт-аналізу з оцінкою значень максимальних вертикальних сил, що передаються від коліс рухомого складу на рейку та кромкових напружень в рейці. Протягом усього часу проведення досліджень, проводилась перевірка стану колії (за шириною, рівень, в плані та впрофілі).

Дослідження проводили в літній період. Для дослідження напружено-деформованого стану у елементах проміжного рейкового кріплення типу КПП-5 було вибрано два вузла скріплення, які розташовувались по одній рейковій нитці (зовнішня рейкова нитка). Всі досліджувані вузли скріплення розташовувались поза зоною впливу рейкових стиків.

В процесі виконання експерименту на дослідній ділянці колії вимірювали такі параметри як:

- згинальні напруження в кромці підшви рейки;
- згинальні напруження на зовнішній грані головки рейки;
- вертикальні сили (в шийці рейки);
- горизонтальні віджимання головки рейки;
- вертикальні осьові прогини рейок;
- напруження у верхній частині прутка клеми першої гілки;
- напруження у нижній частині прутка клеми першої гілки;
- напруження у верхній частині прутка клеми другої гілки;
- напруження у нижній частині прутка клеми другої гілки.

Результати експериментальних досліджень дії рухомого складу на колію та елементи проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 приведені в додатку В.

Поїздки дослідного рухомого складу проводили в прямому і зворотньому напрямку. Кількість дослідних поїздок при відповідній швидкості руху забезпечувало необхідну статистичну достовірність експериментальних результатів.

Для реєстрації напружень в елементах верхньої будов колії, що виникають в процесі взаємодії колії та рухомого складу, використовували тензометричні датчики базою 20 мм і опором 200 Ом. Для вимірювання просторових деформацій рейкових ниток – електропрогиноміри конструкції ЦНИ МПС. В якості фіксуючих пристроїв використовувались аналогові цифрові перетворювачі з одночасним підсиленням постійного струму. Датчики, що фіксували напруження в кромках головки і підшви рейки, розміщували по середині між осями шпал. Датчики, що фіксували напруження в шийці рейки, були встановлені у перерізах рейки, розташованих по осі шпали. В цих перерізах були встановлені і пружні тензо-клеми проміжного рейкового скріплення типу КПП-5. Схема розташування тензометричних датчиків на клемі проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 зображена на рисунку 3.2.

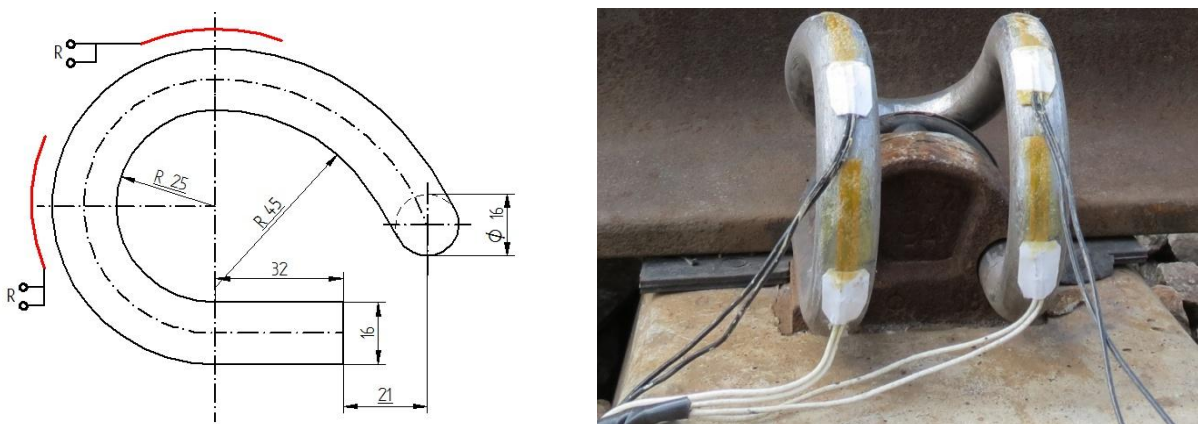
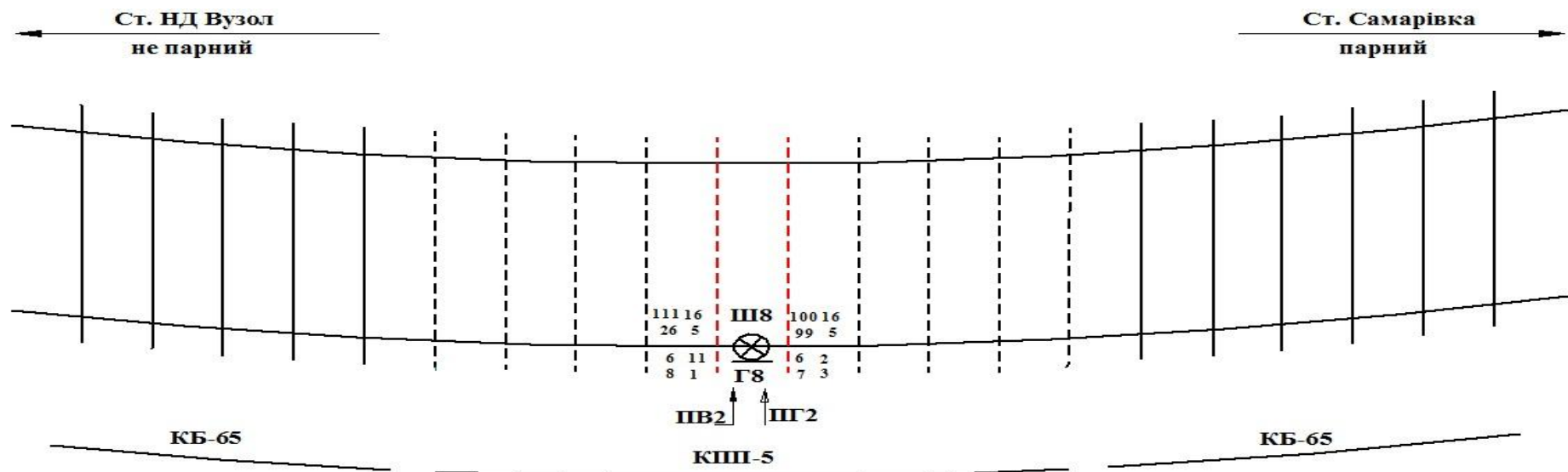


Рис. 3.2 Схема встановлення датчиків на клему

Схема дослідної ділянки із пристроями приведена на рисунку 3.3.



Умовні позначення:

-  - пристрій для вимірювання напружень згину в кромці підшви рейки;
-  - пристрій для вимірювання вертикальних сил, що діють на рейку;
-  - пристрій для вимірювання напружень згину на зовнішній грані головки рейки;
-  - пристрій для вимірювання вертикальних переміщень підшви рейки;
-  - пристрій для вимірювання горизонтальних віджимань головки рейки;
- 111, 16, 26, 5 - тензо-клема по внутрішній стороні рейкової нитки (вузол №1);
- 6, 11, 8, 1 - тензо-клема по зовнішній стороні рейкової нитки (вузол №1);
- 100, 16, 99, 5 - тензо-клема по внутрішній стороні рейкової нитки (вузол №2);
- 6, 2, 7, 3 - тензо-клема по зовнішній стороні рейкової нитки (вузол №2).

Рис. 3.3 Схема установлення вимірювальних пристроїв на дослідній ділянці

Прогиноміри для вимірювання вертикальних переміщень підшви та горизонтальних віджимань головки рейки прикріплювали до спеціальних штирів, попередньо улаштованих (вмонтованих, закріплених) в баластний шар в шпальному ящику біля рейки, що зображено на рисунку 3.4 а. Вертикальні сили, що діють від коліс рухомого складу фіксували з допомогою тензодатчиків («Ш»), що наклеювались вертикально в зоні нейтральної осі по дві сторони шийки рейки (рис. 3.4 б). Показання записувались через електронний підсилювач.

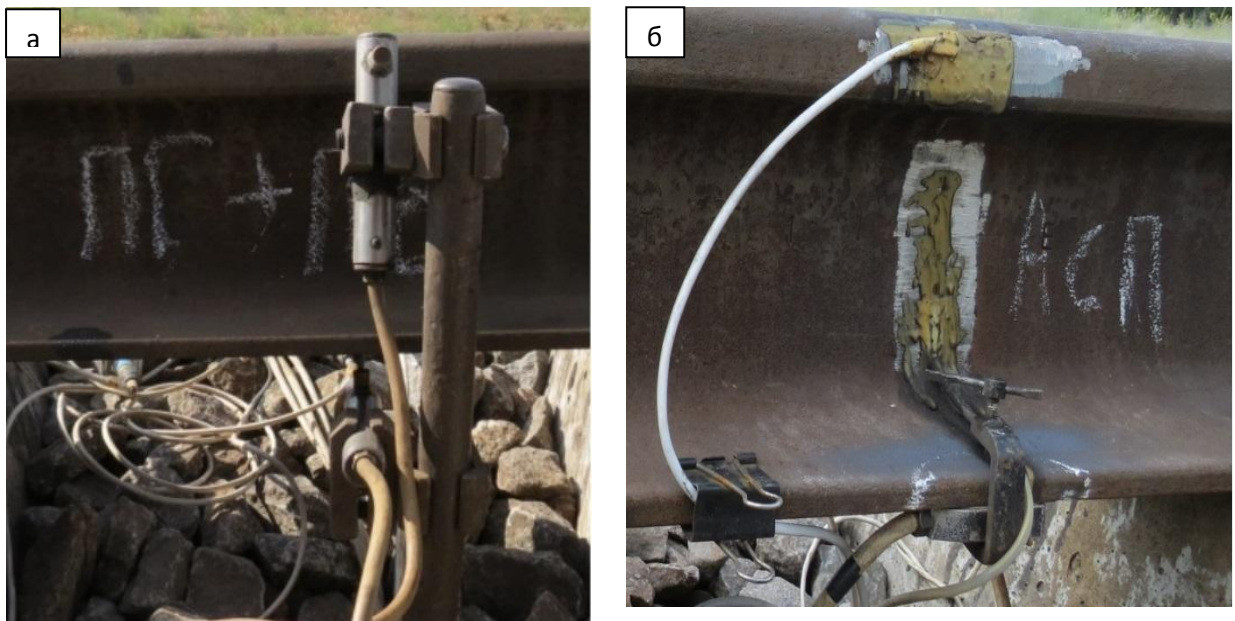


Рис. 3.4 Експериментальне полігонне розташування пристроїв на дослідній ділянці:

а) місце розташування прогиноміра; б) місце наклейки тензодатчика «Ш».

Вимірювання напружень по внутрішній та зовнішній кромках підшви рейки виконувалось за допомогою тензодатчиків, базою 20 мм та опором 200 Ом. Аналогічними типовими датчиками фіксувались напруження по зовнішній грані головки рейки «Г».

Вимірювання напружень у верхній та нижній частині двох прутків клеми, виконували з допомогою чотирьох тензодатчиків, базою 20 мм та опором 200 Ом.

Розшифровка експериментально-отриманих даних проводили за показниками кожного датчика при заданій швидкості руху дослідного рухомого складу. Створювалась первинна вибірка, на основі якої виконувалась статистична обробка експериментальних даних. Для кожної вибірки експериментальних даних визначали по стандартній методиці основна статистика: середнє, середньоквадратичне відхилення, максимально імовірні (максимально спостережувальні) значення, відповідно до прийнятого для розрахунків елементів верхньої будови колії рівня надійності 0,994 [91].

Задачею досліджень являлась оцінка роботи вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 в експлуатаційних умовах. Вибір місць наклейки тензодатчиків було визначено теоретично з допомогою метода кінцевих елементів (МКЕ), за умови імовірної появи по всій довжині прутка клеми максимальних напружень, викликаних крученням.

3.2 Динамічні сили, що передаються від коліс рухомого складу на рейки.

Згинальні напруження в кромках підшви рейки.

Вертикальні та горизонтальні віджимання рейкової нитки.

Раніше уже відмічалось, що вертикальні динамічні сили визначались з допомогою датчиків, встановлених на шийці рейки, в перерізах над опорами.

Аналіз вертикальних сил, що діють від коліс рухомого складу на рейки, проводили на основі опрацювання результатів, отриманих з використанням електронно-обчислювальних машин. Після опрацювання результатів, отриманих під час проведення експерименту, були визначені середні, максимальні імовірні, максимальні спостережувальні значення вертикальних сил, та деформації колії.

Отримані в певних перерізах експериментальні дані можуть бути об'єднані у вибірці по кожній одиниці дослідного рухомого складу для певної швидкості руху, залежно від нумерації осей. Результати групування

значень вертикальних сил приведені у таблиці 3.1. Для наочного зображення також побудовані графіки залежності вертикальних сил від швидкості руху, що зображені на рис. 3.5. В умовних позначеннях «М» - математичне чекання (середнє значення), «S» - середньоквадратичне відхилення, « X_{MB} » - максимальне імовірне, « X_{MH} » - максимальне спостережувальне, значення. «В» - для вагонів, «Л» - для локомотивів.

Таблиця 3.1 Середні ($\bar{P}$), максимальні імовірні (P_{max}^B), максимальні спостережувальні (P_{max}^H) значення вертикальних сил (кН) на дослідній ділянці від дії дослідних вагонів та електровозів ЧС7

Тип рухомого складу	Вісі	Значення вертикальних сил (кН) при швидкості в км/год								
		5			40			90		
		$\bar{P}$	P_{max}^B	P_{max}^H	$\bar{P}$	P_{max}^B	P_{max}^H	$\bar{P}$	P_{max}^B	P_{max}^H
Електровази ЧС7	1	90,34	114,9	103,5	88,99	153,1	207,6	102,1	131,0	127,2
	2	90,47	119,7	108,4	88,59	152,5	206,8	106,4	137,9	134,1
Вагон моделі 19-7053	9	101,2	116,1	111,7	101,2	170,7	217,4	116,9	160,8	140,7
	10	91,89	119,3	108,1	103,2	168,0	205,3	121,7	155,0	146,2
Вагон моделі 19-7053	13	93,81	125,3	112,7	91,22	165,3	222,4	100,6	136,6	122,8
	14	99,14	110,0	107,1	92,06	167,2	222,4	114,5	143,5	134,6

Із рис. 3.5 встановлено, що значного впливу швидкості руху на середнє значення вертикальних сил не спостерігається. Максимальні значення вертикальних сил досягають 170,7 кН, максимальні імовірні значення – 222,4 кН, середнє значення – 106,4 кН.

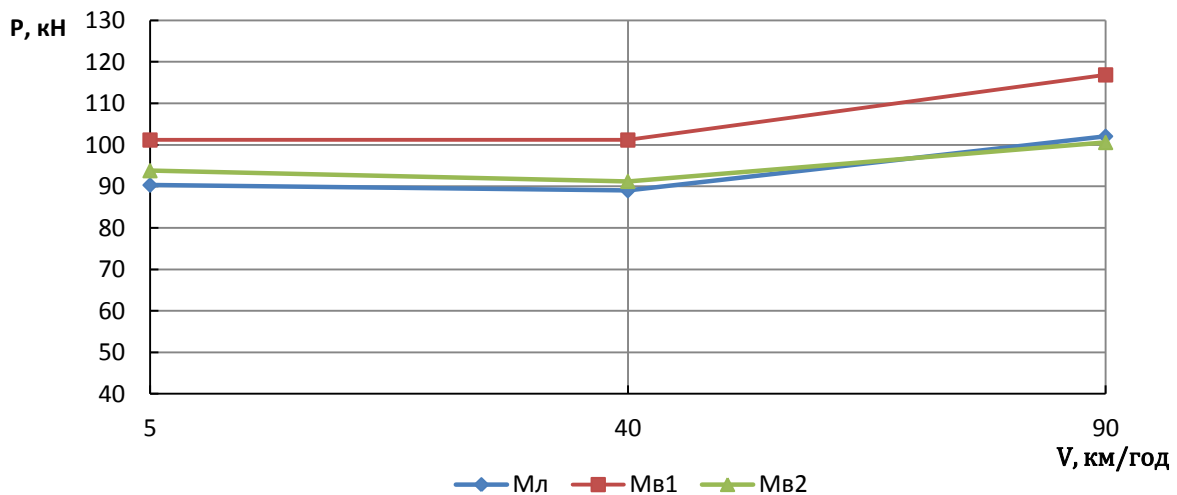


Рис. 3.5 Залежність вертикальних сил на дослідній ділянці від швидкості руху

Бокові динамічні сили визначали аналітичним методом. Для цього використовували методику визначення бокових сил по значенням напружень, отриманих експериментально в кромках підшви рейки та головки рейок, яка розроблена в ЦНИИ МПС.

Методика визначення бокових сил описана нижче:

$$H = B \cdot \sigma_H^{\Pi}, \quad (3.1)$$

де H - бокові сили, що виникають в колії в кН;

B - коефіцієнт для визначення сил в см^2 ;

σ_H^{Π} - напруження, що виникають по зовнішній кромці підшви рейок від дії бокових сил МПа.

Коефіцієнт « B » визначається за формулою:

$$B = 4 \cdot W_z^{\Pi} \cdot k_y^T, \quad (3.2)$$

де W_z^{Π} - горизонтальний момент опору рейок відносно крайніх волокон підшви рейки (см^3);

k_y^T - коефіцієнт відносної жорсткості рейки і підрейкової основи з врахуванням тертя в горизонтальній площині.

Горизонтальний момент опору рейок відносно крайніх волокон підосви рейки визначається з виразу:

$$W_z^{\Pi} = \frac{2 \cdot J_z}{b_{\Pi}} \quad , \quad (3.3)$$

де J_z – горизонтальний момент інерції рейки, для рейок типу Р65

$$J_z = 576 \text{ см}^4;$$

b_{Π} - ширина підосви рейки, для рейок типу Р65 $b_{\Pi} = 150 \text{ мм}$.

Коефіцієнт відносної жорсткості рейки і підрейкової основи (k_y^T) визначається з виразу:

$$k_y^T = \sqrt[4]{\frac{U_y^T}{4EJ_z}} \quad , \quad (3.4)$$

де U_y^T - модуль пружності в горизонтальній площині з врахуванням тертя;

E - модуль пружності рейкової сталі;

Модуль пружності в горизонтальній площині з врахуванням тертя визначається з виразу:

$$U_y^T = \frac{(\lambda \beta_y^{\Pi})^{\frac{4}{3}}}{\sqrt[3]{4EJ_z}} \quad , \quad (3.5)$$

де β_y^{Π} - згинальна жорсткість рейки по підосві рейки в горизонтальній площині, отримана з врахуванням тертя;

λ – коефіцієнт, що враховує кручення рейки, для Р65 $\lambda = 1$.

Підставивши значення U_y^T в формулу 3.4, отримаємо:

$$k_y^T = \sqrt[4]{\frac{(\lambda \beta_y^{\Pi})^{\frac{4}{3}}}{(4EJ_z)^{\frac{1}{3}} 4EJ_z}} \cdot \sqrt[4]{\frac{(\lambda \beta_y^{\Pi})^{\frac{4}{3}}}{(4EJ_z)^{\frac{4}{3}}}} = \sqrt[3]{\frac{\lambda \beta_y^{\Pi}}{4EJ_z}} \quad . \quad (3.6)$$

Звідси:

$$B = 4W_z^{\Pi} \sqrt[3]{\frac{\beta_y^{\Pi}}{4EJ_z}} = 0,1818 \sqrt[3]{\beta_y^{\Pi}} . \quad (3.7)$$

Згинальну жорсткість рейки по підшві в горизонтальній площині можливо визначити через згинальну жорсткість по головці наступним чином:

$$\beta_y^{\Pi} = \varepsilon \beta_y^Z , \quad (3.8)$$

де ε - коефіцієнт відношення експериментальних значень середніх віджимань по підшві до середніх віджимань по головці рейки в горизонтальній площині в першому перерізі при мінімальній швидкості ($v=5$ км/год);

Даний коефіцієнт визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{y_{\text{ср}}^{\Pi}}{y_{\text{ср}}^{\Gamma}} , \quad (3.9)$$

де $y_{\text{ср}}^{\Pi}$, $y_{\text{ср}}^{\Gamma}$ - середні віджимання підшви та головки рейки

Тоді:

$$\beta_y^{\Pi} = 0,217 \beta_y^Z . \quad (3.10)$$

Підставивши вираз 3.10 у формулу 3.7 отримаємо:

$$B = 0,1019 \sqrt[3]{\beta_y^Z} . \quad (3.11)$$

Напруження, що виникають в кромці підшви рейки від дії бокових сил, визначаються з виразу:

$$\sigma_{\text{н}}^{\Pi} = \frac{h_1}{h_1 + h_2} \frac{b_{\Pi}}{b_{\Gamma}} \frac{y_1}{y_2} \sigma_{\text{р}}^{\Pi} + \frac{h_1}{h_1 + h_2} \sigma_{\text{н}}^{\text{усл}} + \frac{h_2}{h_1 + h_2} \frac{b_{\Pi}}{b_{\Gamma}} \sigma_{\text{нар}}^Z , \quad (3.12)$$

де $\sigma_{\text{р}}^{\Pi}$ - напруження, що виникають в кромці підшви рейки від дії вертикальної сили;

σ_n^{ysl} - різниця напружень, що виникають по внутрішній і зовнішній кромці підшви рейки від дії бокових сил.

напруження, що виникають в кромці підшви рейки від дії вертикальної сили, та різниця напружень, що виникають по внутрішній і зовнішній кромці підшви рейки від дії бокових сил визначаються відповідно за формулами:

$$\sigma_p^{\Pi} = \frac{\sigma_{нар}^{\Pi} + \sigma_{вн}^{\Pi}}{2} , \quad (3.13)$$

$$\sigma_n^{ysl} = \frac{\sigma_{нар}^{\Pi} - \sigma_{вн}^{\Pi}}{2} , \quad (3.14)$$

де $\sigma_{нар}^{\Pi}$, $\sigma_{вн}^{\Pi}$, $\sigma_{нар}^Z$ - експериментальні значення напружень по зовнішній та внутрішній кромці підшви і зовнішній грані головки рейки в МПа;

b_{Π} , b_{Γ} , y_1 , y_2 , h_1 , h_2 - геометричні характеристики рейки, що зображені на рис. 3.6.

Звідси, формула для визначення напружень, що виникають по зовнішній кромці підшви рейок від дії бокових сил МПа матиме вигляд:

$$\sigma_n^{\Pi} = A_1 \sigma_{нар}^{\Pi} + A_2 \sigma_{вн}^{\Pi} + A_3 \sigma_{нар}^{\Gamma} , \quad (3.15)$$

де

$$A_1 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \frac{b_{\Pi}}{b_{\Gamma}} \frac{z_1}{2z_2} + \frac{h_1}{2(h_1 + h_2)} , \quad (3.16)$$

$$A_2 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \frac{b_{\Pi}}{b_{\Gamma}} \frac{z_1}{2z_2} - \frac{h_1}{2(h_1 + h_2)} , \quad (3.17)$$

$$A_3 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \frac{b_n}{b_e} . \quad (3.18)$$

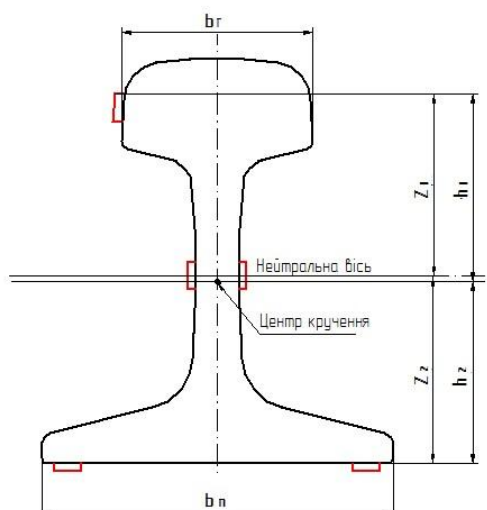


Рис.3.6 Експериментальна схема розміщення датчиків на рейці, та її геометрична характеристика

Результати групування значень бічних горизонтальних сил приведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 Середні ($\bar{H}$), максимальні імовірні (H_{max}^B), максимальні спостережу вальні (H_{max}^H) значення бічних сил (кН)

Тип рухомого складу	Вісі	Значення бічних сил (кН) при швидкості в км/год								
		5			40			90		
		$\bar{H}$	H_{max}^B	H_{max}^H	$\bar{H}$	H_{max}^B	H_{max}^H	$\bar{H}$	H_{max}^B	H_{max}^H
Електровази ЧС7	1	61,94	69,84	68,98	61,17	69,1	69,4	69,63	89,03	81,27
	2	57,69	61,87	60,66	56,93	64,69	65,72	64,92	84,06	78,68
Вагон моделі 19-7053	9	49,49	64,37	61,88	52,62	74,96	70,25	58,2	83,87	71,9
	10	49,34	59,12	54,29	50,65	66,38	69,18	53,59	72,54	62,87
Вагон моделі 19-7053	13	48,78	65,51	59,25	48,43	65,2	60,55	56,94	77,61	72,14
	14	49,78	59,1	53,99	47,11	63,95	62,08	52,38	77,33	66,76

Для наочного зображення побудовані графіки залежності горизонтальних сил від швидкості руху, що зображені на рис. 3.7.

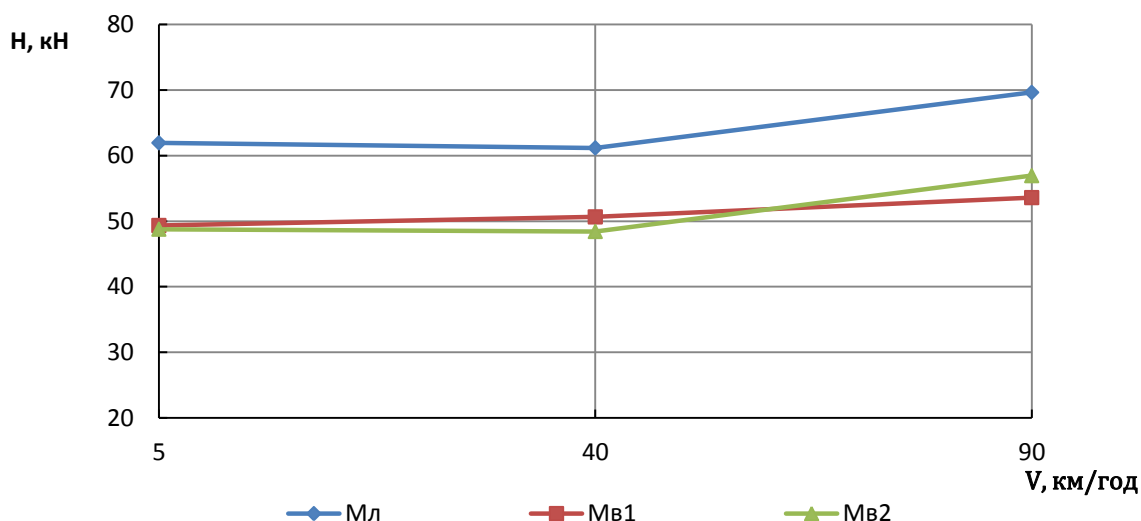


Рис. 3.7 Залежність горизонтальних сил в рейках від швидкості руху

Із вище приведених експериментальних даних випливає, що значного впливу швидкості руху на середнє значення бічних горизонтальних сил не спостерігається. Максимальні значення бічних сил досягають 81.27 кН, максимальні імовірні – 84,06 кН.

Динамічні напруження в підшві рейки являються одним із основних показників впливу рухомого складу на колію. Нормувальне значення цих напружень складає 240 МПа згідно [135] і визначає допустимі швидкості руху рухомого складу по колії із різними конструкціями верхньої будови колії, з умови міцності рейки на згин та кручення. Отримані в результаті експериментальних досліджень напруження в рейках були згруповані по першій та другій осях рухомого складу для всіх перерізів. В кожній групі визначались середні значення, максимальні імовірні, максимальні спостережувальні значення.

На дослідній ділянці середні значення напружень в залежності від швидкості руху розподілялись в діапазоні від 130 МПа до 172 МПа під локомотивами та від 95,89 МПа до 162 МПа під вагонами. Максимальні спостережувальні містяться в інтервалі 96,61-172 МПа під локомотивами та

76-142,8 МПа під вагонами. Результати опрацювання отриманих в ході проведення експерименту приведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 Середні ($\bar{\sigma}$), максимальні імовірні (σ_{max}^B), максимальні спостережу вальні (σ_{max}^H) напружень в кромці підшви рейки (МПа)

Тип рухомого складу	Вісі	Значення бічних сил (кН) при швидкості в км/год								
		5			40			90		
		$\bar{\sigma}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\bar{\sigma}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\bar{\sigma}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H
Електровази ЧС7	1	130,1	143,7	143,7	120,7	171,9	146,1	137,6	175,2	172,2
	2	85,59	96,1	96,61	84,25	123,4	99,58	122,9	155,5	145,5
Вагон моделі 19-7053	9	95,89	121,1	113,0	90,13	142,2	120,2	119,4	162,1	139,6
	10	67,82	87,39	75,88	69,64	104,3	88,56	103,4	140,4	126,9
Вагон моделі 19-7053	13	103,3	129,2	122,8	90,17	142,6	128,5	116,5	157,0	142,8
	14	72,17	85,74	79,73	71,26	106,7	94,17	101,6	146,0	127,1

Експериментальні виміри показали, що рівень згинальних напружень завжди більший в зовнішній кромці підшви рейки, тому дані значення і приведені у таблиці 3.3. У всіх випадках напруження в рейках виявились більшими від дії локомотива.

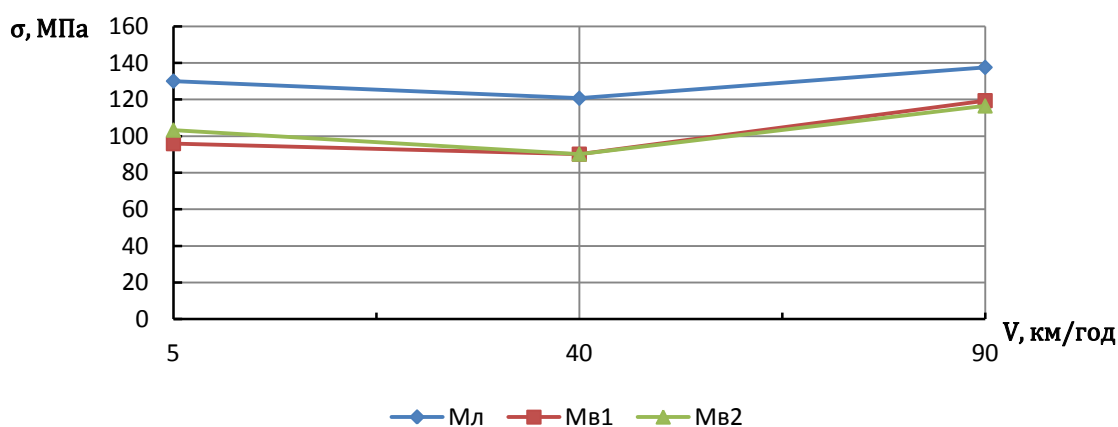


Рис. 3.8 Залежність напружень в кромках підшви рейки Р65 від швидкості руху

Діапазон середніх значень вертикальних осьових прогинів рейкової нитки був виміряний електро-прогиномірами і розподілявся в діапазоні від 1,18 мм до 1,7 мм, а по максимально спостережувальних значенням від 1,41 мм до 1,83 мм. Так як розсіювання діапазону даних незначні, результати вимірювань зводились в одну вибірку по кожній одиниці рухомого складу. Результати вибірки представлені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 Середні ($\bar{Y}$), максимальні імовірні (Y_{max}^B), максимальні спостережувальні (Y_{max}^H) вертикальних осьових прогинів рейки (мм)

Тип рухомого складу	Вісі	Значення вертикальних прогинів (мм) при швидкості в км/год								
		5			40			90		
		$\bar{Y}$	Y_{max}^B	Y_{max}^H	$\bar{Y}$	Y_{max}^B	Y_{max}^H	$\bar{Y}$	Y_{max}^B	Y_{max}^H
Електровози ЧС7	1	1,18	1,55	1,43	1,30	1,73	1,72	1,43	1,65	1,62
	2	1,15	1,53	1,41	1,26	1,65	1,66	1,46	1,71	1,66
Вагон моделі 19-7053	9	1,25	1,65	1,49	1,34	1,80	1,74	1,70	1,97	1,86
	10	1,27	1,63	1,5	1,37	1,75	1,71	1,63	1,76	1,73
Вагон моделі 19-7053	13	1,24	1,73	1,53	1,35	1,79	1,83	1,63	1,79	1,73
	14	1,26	1,63	1,48	1,35	1,83	1,78	1,57	1,72	1,69

Результати вибірки представлені графічно на рис. 3.9.

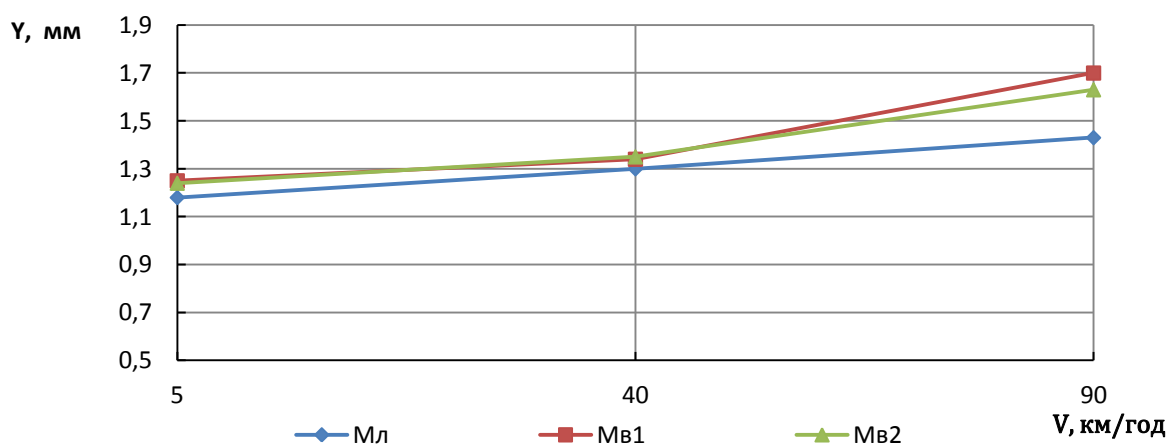


Рис. 3.9 Залежність вертикальних прогинів рейкової нитки від швидкості

Аналізуючи результати експериментальних досліджень по вимірюванню вертикальних сил та вертикальних осьових прогинів рейкової нитки, можна зробити наступні висновки:

- із збільшенням швидкості руху вертикальні сили, що діють на колію від коліс рухомого складу практично не змінюються;
- максимальні значення вертикальних сил при швидкості руху 90 км/год під дослідним вагоном досягли 170,7 кН;
- динамічна зміна вертикальних осьових прогинів рейкової нитки під колесами рухомого складу практично не залежать від швидкості руху.

Важливим показником роботи залізничної колії під дією рухомого складу являються горизонтальні віджимання рейкової нитки, які під час реальних досліджень були виміряні по головці рейки. В експериментальних дослідженнях спостерігались горизонтальні віджимання головки рейкової нитки у бік зовнішньої сторони колії. В таблиці 3.5 приведені основні статистичні дані по величині горизонтального віджимання головки рейки в результаті дії на колію чотирьохосних вагонів та електровозів ЧС7.

Таблиця 3.5 Середні ($\bar{Z}$), максимальні імовірні (Z_{max}^B), максимальні спостережу вальні (Z_{max}^H), бічних віджимань рейки (мм)

Тип рухомого складу	Вісі	Значення бокових віджимань (мм) головки рейки при швидкості в км/год								
		5			40			90		
		$\bar{Z}$	Z_{max}^B	Z_{max}^H	$\bar{Z}$	Z_{max}^B	Z_{max}^H	$\bar{Z}$	Z_{max}^B	Z_{max}^H
Електровази ЧС7	1	1,78	2,39	2,14	1,16	1,61	1,57	1,18	2,11	2,25
	2	0,15	0,37	0,32	0,28	0,67	0,55	1,04	2,4	2,24
Вагон моделі 19-7053	9	1,05	1,88	1,45	0,75	1,41	1,29	1,0	2,13	1,91
	10	0,06	0,12	0,08	0,39	0,98	0,7	1,12	2,33	2,01

продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вагон моделі 19-7053	13	1,25	1,91	1,57	0,97	1,78	1,68	1,04	2,08	1,93
	14	0,14	0,25	0,18	0,39	0,92	0,72	1,09	2,2	1,86

Згідно таблиці 3.5, діапазон середніх значень бокових горизонтальних віджимань головки рейкової нитки коливається від 1,18 до 1,78 мм – під локомотивами, від 0,75 до 1,25 мм – під вагонами. Максимальні спостережувальні значення від 1,57 до 2,25 мм – під локомотивами, від 1,29 до 1,93 мм – під вагонами.

Результати вибірки наочно представлені на рис. 3.10.

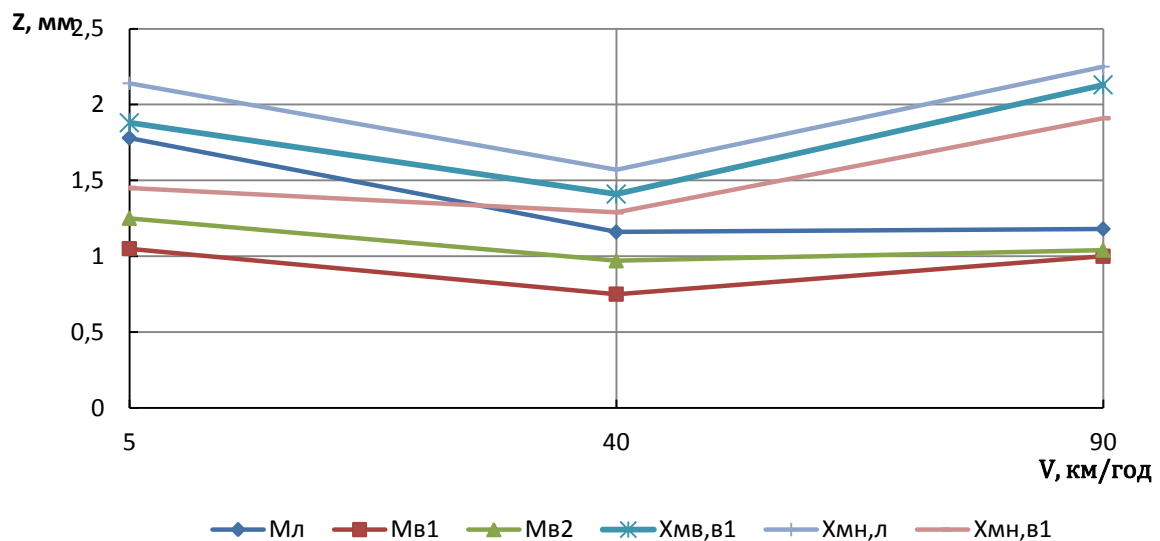


Рис. 3.10 Залежність бокових віджимань головки рейкової нитки від швидкості руху

Із таблиці 3.5 та рис. 3.10 випливає, що при русі електровоза за рахунок направляючого зусилля перша його вісь створює величину віджимання на 30-41 % більше, чим бічні віджимання що виникають при русі вагонів.

В цілому в процесі виконання експерименту на дослідній ділянці колії отримані значення сил, деформацій, та напружень в елементах верхньої

будови колії не перевищували максимально допустимих значень згідно з [90].

3.3 Згинальні напруження в прутках клем типу КП у вузлі проміжного рейкового скріплення типу КПП-5

З метою визначення максимально-імовірних місць появи пружно-залишкових деформацій клем, як одного із основних елементів проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, у яких в подальшому підчас експлуатації можуть виникнути напруження втоми, визначались напруження від кручення, що виникають в прутках клеми в повздовжньому профілі (поперек колії).

Як зазначалось вище, динамічні напруження в клемах рейкового скріплення типу КПП-5 вимірювали з допомогою тензометричних датчиків, наклеєних на прутки клеми. При цьому в зоні наклейки датчика, з метою уникнення впливу місцевих напружень прутки клеми не сточувались. Вибір місць наклейки тензометричних датчиків було визначено теоретично з допомогою метода кінцевих елементів (МКЕ), за умови імовірності появи по всій довжині прутка клеми максимальних напружень, а також виходячи із конструктивних та геометричних параметрів самої конструкції клеми типу КП-5 проміжного рейкового скріплення типу КПП-5.

Перед наклейкою тензометричних датчиків у клеми ретельно вимірювали діаметр прутка, а також довжину по всій її вигнутій поверхні. Наклейку датчиків проводили у двох місцях прутка клеми: у верхній частині, та в центрі згину, радіусом $R=25$ мм, перед прямолінійною частиною прутка, який підчас монтажу вмонтовувався в отвір монолітного анкера.

Отримані в певних фіксованих експериментальних перерізах дані можуть бути об'єднані у вибірці по кожній рухомій одиниці дослідного рухомого складу для певної швидкості руху залежно від нумерації осей.

Результати групування експериментально-отриманих значень крутних напружень по кожному каналу у клемах приведені у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 Середні ($\bar{\sigma}$), максимальні імовірні (σ_{max}^B), максимальні спостережу вальні (σ_{max}^H), напруження в клемах (МПа)

Тип рухомого складу	Вісі	Значення вертикальних прогинів (мм) при швидкості в км/год								
		5			40			90		
		$\bar{\sigma}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\bar{\sigma}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\bar{\sigma}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H
Клема №1 (зовнішня сторона вузол-I), датчик №6										
Електрово зи ЧС7	1	20,69	37,21	27,24	7,22	14,58	13,27	8,09	18,51	20,76
	2	8,02	20,01	13,89	3,73	8,13	9,13	8,79	18,42	19,28
Вагон моделі 19-7053	9	14,05	14,83	14,36	5,37	11,09	11,32	8,20	19,57	19,52
	10	1,83	2,13	1,95	6,79	13,14	10,69	12,07	25,02	20,61
Вагон моделі 19-7053	13	17,37	19,03	18,03	5,32	13,07	11,87	8,44	18,54	18,42
	14	6,79	14,01	9,68	5,80	11,46	12,02	12,09	26,15	22,17
Клема №1 (зовнішня сторона вузол-I), датчик №8										
Електрово зи ЧС7	1	40,21	46,67	43,92	22,63	28,67	28,16	23,67	35,32	31,25
	2	21,32	26,7	24,75	14,93	18,27	18,08	26,87	38,73	33,11
Вагон моделі 19-7053	9	30,39	31,86	30,98	18,54	24,43	23,66	26,65	45,25	38,47
	10	21,62	24,0	22,57	19,56	26,27	23,94	34,97	45,87	39,61
Вагон моделі 19-7053	13	35,34	41,58	37,84	20,49	26,68	26,57	26,70	44,70	39,42
	14	25,19	27,63	26,16	21,18	25,38	25,66	34,41	49,87	42,38

Клема №1 (зовнішня сторона вузол-I), датчик №11										
Електрово зи ЧС7	1	11,64	14,63	13,50	4,00	8,88	7,20	5,09	12,68	10,35
	2	9,78	11,96	10,78	3,13	7,02	5,84	6,75	12,89	10,93
Вагон моделі 19-7053	9	7,68	8,22	7,90	3,55	9,75	9,22	6,51	12,86	11,32
	10	7,57	9,17	8,21	4,67	10,59	7,90	8,47	14,39	13,03
Вагон моделі 19-7053	13	8,99	10,44	9,57	3,65	6,92	6,11	6,56	13,98	12,02
	14	8,50	9,33	8,83	4,05	8,13	7,55	9,57	16,62	14,47
Клема №1 (зовнішня сторона вузол-I), датчик №1										
Електрово зи ЧС7	1	72,24	83,5	78,26	53,51	62,06	59,68	69,16	94,14	83,93
	2	43,29	53,17	49,91	38,90	47,90	46,59	71,34	101,1	89,60
Вагон моделі 19-7053	9	59,41	65,3	61,77	48,25	61,27	56,97	76,30	102,4	90,21
	10	45,94	54,55	49,38	48,79	74,11	64,30	85,02	113,4	99,20
Вагон моделі 19-7053	13	65,74	76,32	69,97	49,76	60,25	59,59	72,82	101,2	86,64
	14	50,78	54,49	52,26	49,51	60,22	58,98	82,67	115,6	98,76
Клема №2 (внутрішня сторона вузол-I), датчик №3										
Електрово зи ЧС7	1	46,25	97,65	87,17	112,1	156,7	147,0	195,8	281,0	257,4
	2	176,5	206,1	195,1	190,4	214,2	209,7	194,4	291,5	259,0
Вагон моделі 19-7053	9	151,4	194,4	182,2	186,0	219,8	207,7	179,6	290,4	245,0
	10	195,4	226,6	214,6	217,7	240,4	235,8	199,1	283,8	253,7

продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вагон моделі 19-7053	13	87,86	198,0	130,0	152,6	182,3	172,8	144,8	214,3	205,2
	14	175,3	199,9	186,9	186,0	213,5	211,6	180,7	254,9	229,5
Клема №2 (внутрішня сторона вузол-I), датчик №7										
Електрово зи ЧС7	1	63,99	140,7	130,3	186,2	266,2	256,3	330,8	473,8	429,5
	2	255,1	311,7	301,1	303,3	340,0	339,1	331,0	483,7	425,4
Вагон моделі 19-7053	9	238,2	297,7	279,9	310,0	364,6	351,9	303,5	483,8	401,5
	10	280,2	350,1	327,4	337,2	390,2	374,7	323,6	467,5	415,7
Вагон моделі 19-7053	13	125,8	293,4	187,3	248,2	300,6	297,3	242,5	357,0	322,5
	14	242,3	293,5	268,8	284,8	329,6	321,5	290,0	409,0	374,4
Клема №2 (внутрішня сторона вузол-I), датчик №2										
Електрово зи ЧС7	1	64,71	99,82	84,69	44,39	75,09	75,20	34,72	81,23	74,92
	2	50,86	63,87	57,76	46,37	60,74	61,25	33,22	69,47	55,11
Вагон моделі 19-7053	9	37,04	76,58	52,6	31,47	74,69	54,69	28,25	66,30	59,58
	10	64,69	71,86	68,64	63,48	83,62	75,20	45,52	90,86	72,69
Вагон моделі 19-7053	13	32,69	84,63	72,55	27,25	67,74	66,55	30,80	62,12	51,62
	14	53,55	60,04	57,76	47,68	68,91	63,48	34,83	73,89	61,11
Клема №2 (внутрішня сторона вузол-I), датчик №6										
Електрово зи ЧС7	1	31,33	60,96	51,19	22,55	44,73	42,54	43,89	87,06	67,09
	2	45,34	59,74	56,63	49,48	57,87	56,77	42,27	79,78	63,60

продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вагон моделі 19-7053	9	32,8	68,85	44,36	38,51	85,24	54,96	35,18	74,71	56,07
	10	51,31	67,2	58,3	59,82	67,62	64,58	44,27	69,65	59,14
Вагон моделі 19-7053	13	23,74	47,34	34,17	32,30	65,15	49,79	30,83	54,71	47,98
	14	43,75	57,91	48,54	49,02	57,50	56,77	38,99	59,56	55,37
Клема №3 (зовнішня сторона вузол-II), датчик №100										
Електрово зи ЧС7	1	62,34	72,73	69,22	65,14	75,26	73,59	74,60	111,5	99,43
	2	35,3	46,99	44,87	47,59	58,38	59,00	82,66	117,5	103,7
Вагон моделі 19-7053	9	47,57	57,67	55,18	52,89	62,80	63,21	88,63	124,3	105,6
	10	37,41	45,26	41,13	49,50	62,24	60,95	98,04	138,6	120,1
Вагон моделі 19-7053	13	56,23	67,83	63,61	57,28	73,37	73,52	86,95	136,3	116,0
	14	42,43	46,97	45,26	53,28	68,57	71,18	96,25	142,6	120,7
Клема №3 (зовнішня сторона вузол-II), датчик №29										
Електрово зи ЧС7	1	62,23	71,82	68,15	65,75	73,56	73,32	76,05	110,3	92,97
	2	38,81	48,53	46,46	50,05	57,81	57,35	79,73	112,7	96,14
Вагон моделі 19-7053	9	49,39	57,89	55,76	55,30	64,23	62,70	85,34	117,2	97,50
	10	41,64	47,39	45,55	53,64	64,16	61,25	90,32	125,2	105,1
Вагон моделі 19-7053	13	56,71	66,49	63,29	58,41	70,56	70,87	83,54	125,8	105,9
	14	44,31	48,66	47,1	55,1	67,68	69,10	88,32	127,7	104,7

Клема №3 (зовнішня сторона вузол-II), датчик №99										
Електро зи ЧС7	1	62,3	72,0	69,22	64,21	72,14	71,40	72,63	105,1	91,21
	2	40,18	50,83	49,21	50,28	58,42	57,77	78,00	108,7	93,94
Вагон моделі 19-7053	9	50,25	58,43	55,51	55,02	62,72	61,94	84,32	115,8	99,15
	10	44,67	50,85	49,05	55,81	67,17	64,39	90,97	125,0	107,2
Вагон моделі 19-7053	13	57,9	68,12	65,4	58,54	72,23	72,49	82,05	125,5	107,6
	14	47,42	52,58	50,53	58,08	71,17	72,1	88,65	127,1	106,3
Клема №3 (зовнішня сторона вузол-II), датчик №31										
Електро зи ЧС7	1	0,52	0,87	0,87	0,46	0,59	0,53	0,26	0,34	0,31
	2	0,30	0,70	0,70	0,31	0,42	0,37	0,28	0,34	0,32
Вагон моделі 19-7053	9	0,48	0,96	0,69	0,31	0,33	0,32	0,31	0,34	0,32
	10	0,38	0,85	0,59	0,29	0,35	0,33	0,30	0,33	0,31
Вагон моделі 19-7053	13	0,50	0,90	0,71	0,41	0,48	0,45	0,28	0,34	0,30
	14	0,37	0,72	0,53	0,35	0,39	0,37	0,29	0,36	0,32
Клема №4 (внутрішня сторона вузол-II), датчик №111										
Електро зи ЧС7	1	67,55	111,2	99,84	40,59	68,33	62,15	23,53	47,51	49,76
	2	14,91	21,39	19,53	15,53	22,51	21,21	14,52	36,23	34,64
Вагон моделі 19-7053	9	9,87	18,27	15,01	6,39	18,61	18,27	18,44	45,06	45,67
	10	21,15	27,25	25,51	22,33	29,75	27,82	10,72	42,51	39,79

продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вагон моделі 19-7053	13	31,44	54,36	49,66	18,12	31,07	36,22	29,67	58,96	51,13
	14	13,46	18,57	16,90	14,07	25,50	21,42	17,42	45,36	37,48
Клема №4 (внутрішня сторона вузол-II), датчик №5										
Електровози ЧС7	1	74,96	151,6	134,6	34,42	71,14	63,93	36,37	72,35	75,97
	2	57,03	70,02	65,87	55,83	65,46	64,48	38,56	76,54	64,48
Вагон моделі 19-7053	9	40,5	65,4	58,67	39,22	90,78	70,99	34,49	63,46	60,89
	10	65,96	78,79	75,42	67,57	78,74	76,11	36,13	56,14	48,16
Вагон моделі 19-7053	13	19,12	65,48	54,11	22,78	53,12	52,45	22,79	53,71	54,66
	14	53,71	64,61	60,06	54,05	67,88	61,58	28,73	62,54	48,71
Клема №4 (внутрішня сторона вузол-II), датчик №16										
Електровози ЧС7	1	67,97	105,9	98,37	45,07	70,35	64,55	33,44	65,00	52,84
	2	11,66	28,43	24,55	10,69	24,67	19,27	22,06	40,86	38,29
Вагон моделі 19-7053	9	17,56	23,66	21,54	9,44	20,21	17,15	29,29	47,63	51,70
	10	19,46	36,22	30,73	16,42	30,38	23,74	20,73	51,96	55,85
Вагон моделі 19-7053	13	37,04	57,57	46,58	23,02	45,04	37,88	36,93	71,89	62,35
	14	11,68	27,11	20,97	9,70	27,11	19,19	24,08	62,86	50,65
Клема №4 (внутрішня сторона вузол-II), датчик №25										
Електровози ЧС7	1	71,6	136,6	124,1	33,49	69,00	60,66	41,88	90,61	87,70
	2	43,74	57,89	53,33	50,62	66,74	62,92	45,65	67,14	63,78

продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вагон моделі 19-7053	9	27,67	52,05	41,16	39,33	86,51	73,48	40,34	72,03	66,26
	10	51,34	75,29	67,88	59,76	86,72	76,28	43,97	72,63	58,50
Вагон моделі 19-7053	13	20,27	71,67	55,27	20,64	51,8	54,30	26,48	59,38	49,88
	14	37,62	56,02	49,02	45,39	71,67	59,15	40,32	77,14	61,41

Аналізуючи експериментально-отримані дані, які приведені у таблиці 3.6, видно, що значення напружень у верхній та нижній частині прутка двох клем по внутрішній стороні рейкової нитки відрізняються на 5 % - під локомотивами, 8 %- під вагонами, та 7 % - під локомотивами, 6,5 % - під вагонами.

Значення напружень у верхній та нижній частині прутка двох клем по зовнішній стороні рейкової нитки відрізняються на 20,6 % - під локомотивами, 11,4 % - під вагонами, та 12 % - під локомотивами, 4,3 % - під вагонами. Спостерігаються практично незмінні значення напружень, які виникають в двох клемах по зовнішній та в двох клемах по внутрішній стороні рейкової нитки у вузлі проміжного рейкового скріплення типу КПП-5. Згідно з цим експериментально-отримані значення напружень, що виникають в прутках клем, об'єднані в чотири вибірки, які характеризують напруження в верхній та нижній частині прутка клем по внутрішній стороні та у верхній та нижній частині прутка клеми по зовнішній стороні рейкової нитки.

Результати групування зображені у таблиці 3.7

Таблиця 3.7 Згруповані середні ($\bar{\sigma}$), максимальні імовірні (σ_{max}^B), максимальні спостережу вальні (σ_{max}^H), напруження в клемах (МПа)

Тип рухомого складу	Вісі	Значення напружень в клемах (МПа) при швидкості, км/год								
		5			40			90		
		$\bar{\sigma}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\bar{\sigma}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\bar{\sigma}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H
Група точок (5, 99, 5, 26) I-II вузол внутрішня сторона рейкової нитки										
ЧС7	1	57,89	111,2	99,84	38,15	73,31	75,2	33,9	75,4	74,9
	2	30,69	76,52	57,76	30,52	75,8	61,25	28,02	67,5	63,6
Вагон 19-7053	9	24,32	63,12	52,6	21,36	68,91	54,96	27,54	62,8	59,6
	10	39,15	89,33	68,64	40,51	95,37	75,2	30,31	81,1	72,7
Вагон 19-7016	13	31,23	65,79	72,55	25,17	57,02	66,5	32,06	63,0	62,5
	14	30,61	77,92	57,76	30,12	78,42	63,48	28,83	67,7	61,1
Група точок (100, 16, 111, 16) I-II вузол внутрішня сторона рейкової нитки										
ЧС7	1	64,2	137,9	134,6	91,54	258,2	256,3	151,2	468,5	429,5
	2	133,1	354,1	301,1	150,0	412,9	339,1	152,4	467,5	425,4
Вагон 19-7053	9	114,4	333,6	279,9	143,7	430,6	351,9	139,5	437,5	401,5
	10	148,2	388,2	327,4	170,5	459,7	374,7	150,7	460,4	415,7
Вагон 19-7016	13	63,26	218,9	187,3	111,1	352,8	297,3	109,1	348,1	322,5
	14	127,2	342,2	268,8	142,6	392,5	321,5	134,9	414,2	374,4
Група точок (2, 6, 11, 6) I-II вузол зовнішня сторона рейкової нитки										
ЧС7	1	31,49	100,1	69,22	25,05	95,7	73,59	28,85	112	99,43
	2	17,76	57,24	44,87	17,85	70,35	59	32,27	122,9	103,7
Вагон 19-7053	9	23,63	76,96	55,18	20,27	77,86	63,21	33,96	132,1	105,6
	10	17,48	61,29	41,13	19,97	72,46	60,95	38,96	145,3	120,1
Вагон 19-7016	13	28,01	90,99	63,61	21,73	84,82	73,52	33,5	131,5	116
	14	20,47	68,69	45,26	20,7	78,55	71,18	38,74	143,2	120,7
Група точок (3, 7, 8, 1) I-II вузол зовнішня сторона рейкової нитки										
ЧС7	1	60,65	84,38	78,26	51,82	95,65	73,32	60,38	120,3	92,57
	2	37,58	56,53	49,91	38,8	75,38	57,77	63,99	124,8	96,14
Вагон 19-7053	9	48,59	68,97	61,77	44,52	83,24	62,7	68,15	134,7	99,15
	10	40,81	60,34	49,38	44,68	83,98	64,39	75,32	140,5	107,2
Вагон 19-7016	13	55,61	78,2	69,97	47,06	87,41	72,49	66,28	133,9	107,6
	14	43,89	62,85	52,26	46,38	84,57	72,1	73,51	139,1	106,3

Згідно із вище отриманими експериментальними даними, що об'єднані по осях та точках можна зробити висновок, що середнє значення величини напружень у верхній частині прутка клеми по внутрішній стороні рейкової нитки в залежності від швидкості руху (група точок 5, 99, 5, 26)

розподіляються в діапазоні від 28,02 МПа до 57,8 МПа – під локомотивами, від 21,36 МПа до 40,51 МПа – під вагонами. Максимальні спотережувальні значення 58-100 МПа – під локомотивами, 53-75 МПа – під вагонами.

Значення напружень в нижній частині прутка клеми по внутрішній стороні рейкової нитки (група точок 100, 16, 111, 16) розподіляються від 64,2 МПа до 152,4 МПа – під локомотивами та від 114 МПа до 144 МПа – під вагонами. Максимальні спостережувальні 135-426 МПа – під локомотивами, та 187-416 – під вагонами. Встановлено, що експериментально-отримані значення напружень в прутках клеми по внутрішній стороні рейкової нитки у верхній частині прутка клеми на 62 % менші ніж напруження у нижній частині прутка клеми – під локомотивами, та на 72 % - під вагонами.

Значення напружень в верхній частині прутка клеми по зовнішній стороні рейкової нитки (група точок 2, 6, 11, 6) розподіляються в діапазоні від 18 МПа до 32 МПа – під локомотивами, від 17 МПа до 39 МПа – під вагонами. Максимальні спостережувальні значення напружень 45-104 МПа – під локомотивами, та 41-121 МПа під вагонами.

Значення напружень в нижній частині прутка клеми по зовнішній стороні рейкової нитки (група точок 3, 7, 8, 1) розподіляються в діапазоні від 38 МПа до 64 МПа – під локомотивами, від 41 МПа до 75 МПа – під вагонами. Максимальні спостережувальні значення 50-96 МПа – під локомотивами, та 49-108 МПа – під вагонами. Досліджено, що експериментально-отримані напруження в прутках клеми по зовнішній стороні рейкової нитки у верхній частині прутка клеми на 50 % менші ніж величина напружень у нижній частині прутка клеми – під локомотивами, та на 48 % - під вагонами.

Аналізуючи опрацьовані експериментальні дані, можна зробити висновок, що середні значення напружень у верхній частині прутка клеми по внутрішній стороні рейкової нитки на 45 % більше, ніж по зовнішній частині рейкової нитки – під локомотивами та на 4 % більше – під вагонами. Середні значення напружень у нижній частині прутка клеми по внутрішній стороні

рейкової нитки на 58 % більше чим по зовнішній стороні – під локомотивами та на 50 % більше – під вагонами.

Для наочного зображення величини зміни напружень в прутках клеми по зовнішній та внутрішній стороні рейкової нитки в залежності від швидкості руху, представлені графічно на рис.3.11-3.12.

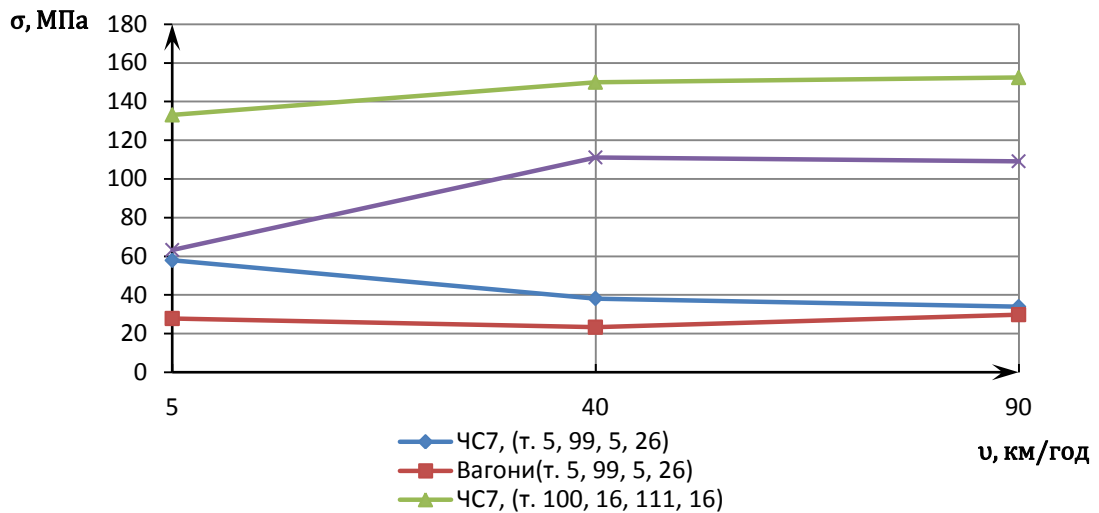


Рис. 3.11 Залежність величини напружень в прутках клеми від швидкості руху (внутрішня сторона рейкової нитки)

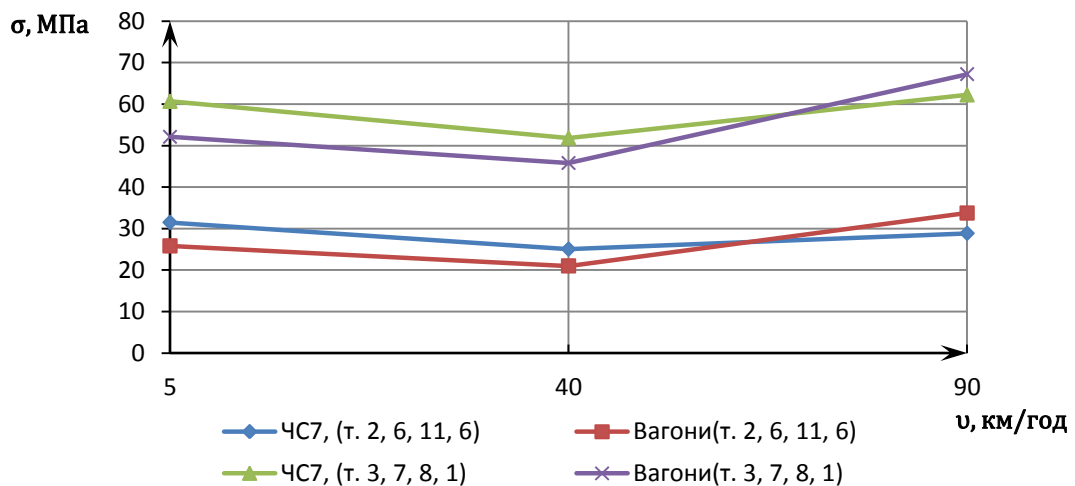


Рис. 3.12 Залежність величини напружень в прутках клеми від швидкості руху (зовнішня. сторона рейкової нитки)

Із рис. 3.11-3.12 було встановлено, що напруження які виникають в нижній частині прутка клеми по внутрішній стороні значно перевищують напруження в нижній частині прутка клеми по зовнішній стороні рейкової нитки. Це пояснюється тим, що клема по внутрішній стороні рейкової нитки більше працює на згин, оскільки розташована зі сторони дії бічної сили.

3.4 Порівняльна характеристика результатів розрахунку напруженого стану колії та елементів проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 за розробленою моделлю та по експерименту

Для перевірки адекватності математичної моделі, розробленої на основі моделювання МКЕ, було виконано розрахунки у відповідності з конструкцією дослідної ділянки. Для цього була створена математична модель залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5, яка враховувала особливості її роботи при використанні МКЕ. Геометричні розміри проміжних елементів ділянки залізничної колії, що закладались в модель як вихідні дані для розрахунку, приймали згідно нормативних креслень, що представлені відповідно у [89].

Досліджувалась зміна НДС у елементах проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, а точніше для пружинної клеми типу КП-5.2: проведена чисельна оцінка параметрів пружної клеми, визначені її геометричні характеристики. Частина вихідних параметрів, якими задавалися при дискретизації КЕ моделі приймалися із попереднього розділу даної дисертаційної роботи. А саме, врахували монтажний режим навантаження, середнє значення якого згідно [58, 64] становить 7,5 кН.

Характеристики полімерної підрейкової прокладки типу ПРП проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 були взяті із попередньо-виконаних досліджень [5, 58]. Особливістю розрахунку при моделюванні являється врахування фізичних величин кожного проміжного елемента, що входить в дану експериментальну конструкцію колії. Тому для подальшого

розрахунку НДС елементів були попередньо розглянуті приведені вище величини.

Ділянка – одноколійна, представляє собою рейкошпальну решітку розміщену на рівнопружній основі. Шпали залізобетонні, бетон, який використовується при виготовленні марки М 500, арматура із високоміцної сталі [89]. Характеристики рейкової сталі були використані згідно із [16, 89].

За створеною математичною КЕ моделлю було проведено розрахунки з врахуванням розкиду геометричних характеристик всіх елементів конструкції. Контактуючі поверхні всіх проміжних складових даної конструкції частково - «склеєні» між собою. Значення бічних горизонтальних сил приймалися до уваги підчас розрахунку по результатах експерименту. Після проведення розрахунків отримано теоретичні результати НДС елементів проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 та всієї моделі конструкції колії вцілому.

Таблиця 3.8 Значення НС в прутках клеми за результатами розрахунку та експерименту

Тип рухомого складу	Сила, F, кН	Значення напружень (МПа) в прутках клеми			
		Клема №1		Клема №2	
		Нижня част. прутка	Верхня част. прутка	Нижня част. прутка	Верхня част. прутка
Дослідження з допомогою МКЕ					
Електровози	61,94	135,066	32,819	58,703	26,315
Вагони	47,11	106,79	28,093	45,856	21,633
Експеримент					
Електровози	61,94	150	33,90	60,38	25,05
Вагони	47,11	109,1	27,54	44,52	20,27

В таблиці 3.8 представлена порівняльна характеристика результатів розрахунку НДС клем у вузлі скріплення типу КПП-5 від дії сил, що виникають під локомотивами та вагонами при швидкості руху 40 км/год з експериментально отриманими.

На рисунках 3.13-3.16 наочно представлені результати розрахунків відповідно за МКЕ та експерименту і їх порівняння.

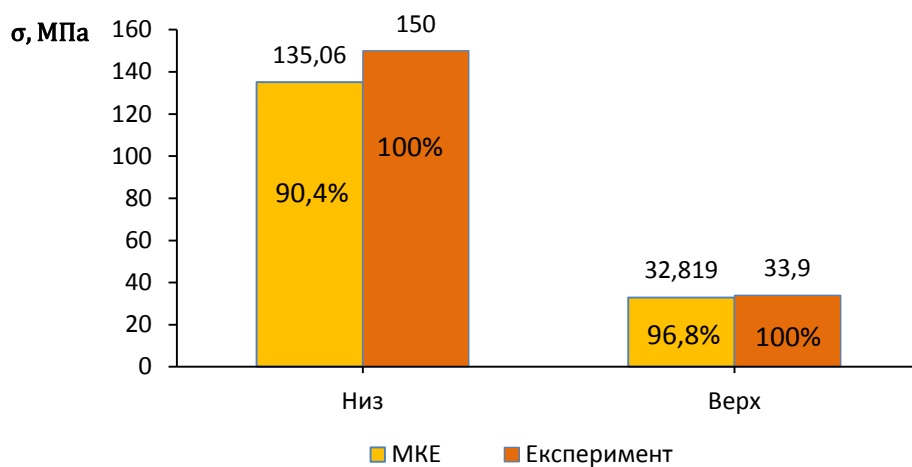


Рис 3.13 Порівняльна значення напружень в клемі №1 при різних методиках для локомотивів

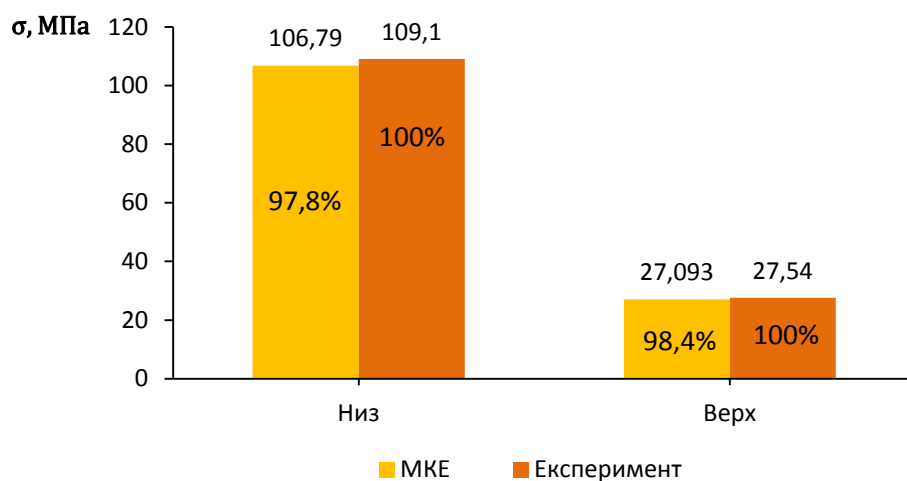


Рис 3.14 Порівняльна значення напружень в клемі №1 при різних методиках для вагонів

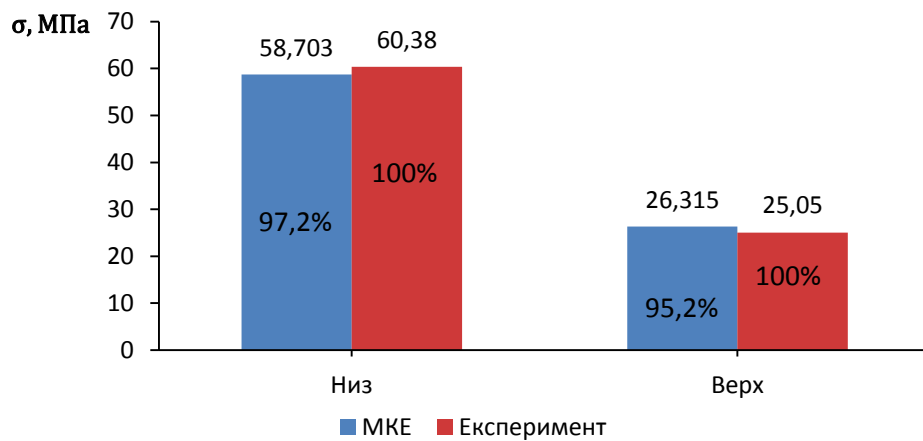


Рис 3.15 Порівняльна значення напружень в клемі №2 при різних методиках для локомотивів

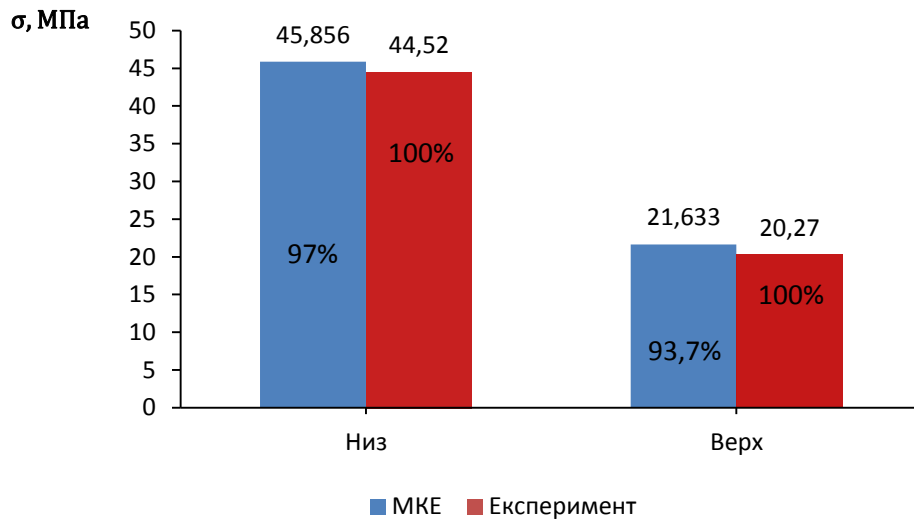


Рис. 3.16 Порівняльні значення напружень в клемі №2 при різних методиках для вагонів

Згідно з вище отриманими значеннями можна зробити висновок, що в місцях технологічних згинів прутка клемі, де виникають максимальні напруження від кручення, під час експлуатації будуть виникати концентратори напружень в металі клемі, що в подальшому до втрат клемою своїх пружних властивостей з одночасною появою релаксації.

3.5 Висновки до розділу 3

З метою отримання експлуатаційних даних у 2013 р. було проведено експериментальні дослідження взаємодії рухомого складу та залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5. Дослідження проводились галузевою Колієвипробувальною науково-дослідною лабораторією Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, (КГНДЛ ДНУЗТу) при участі автора та кафедри «Колія та колійне господарство».

Дослідження проводились на ділянці Нижньодніпровськ-Вузол - Самарівка Придніпровської залізниці в кривій радіусом 400 м. Дослідна ділянка розміщувалась в зоні кругової кривої.

Ділянка: план лінії: крива, радіусом 400 м; конструкція колії – ланкова колія із рейками типу Р65, шпали залізобетонні, баласт двошаровий, товщиною 35/20 см; епюра шпал 2000 шт/км; скріплення типу КБ-65.

На ділянці виконується оборот в основному вантажних поїздів. Вантажонапруженість на ділянці становить 50 млн. т. км. *брутто* / км. за рік. В процесі виконання експерименту на дослідній ділянці колії, отримані значення сил, деформацій, та напружень в елементах верхньої будови колії не перевищували максимально допустимих. Максимальні значення бічних сил не перевищують 81,3 кН, вертикальні – 170,7 кН.

Середні значення напружень в рейках розподіляються в діапазоні 130-172 МПа – під локомотивами, та 95,8-162 МПа – під вагонами.

Діапазон середніх значень вертикальних осьових прогинів рейки коливається в межах 1,2 – 1,7 мм, горизонтальних віджимань в діапазоні 0,7-1,9 мм.

Згідно з рис. 3.13-3.16 встановлено, середні значення напружень в прутках клем по зовнішній стороні рейкової нитки на 48-50 % менше чим напруження, які виникають в прутках клеми по внутрішній стороні рейкової нитки.

В загальному, аналізуючи та порівнюючи теоретично отримані дані з експериментальними, що наведені у таблиці 3.8, можна зробити висновки, що:

1. Запропонована методика теоретичних досліджень роботи вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 з детальним врахуванням конструктивних, геометричних параметрів його елементів, а також їх фізичних характеристик дозволяє отримати результати, які близько збігаються з експериментальними.

2. Інтервал розрахункових значень напруженого стану в прутках клеми по внутрішній стороні рейкової нитки (Клема № 1) в нижній частині прутка клеми відрізняється від значень, отриманих експериментально на 9,96 % - для локомотивів, та на 2,12 % - для вагонів.

3. Інтервал розрахункових значень напруженого стану в прутках клеми по внутрішній стороні рейкової нитки (Клема № 1) у верхній частині прутка клеми відрізняється від значень, отриманих експериментально на 3,19 % - для локомотивів, та на 1,62 % - для вагонів.

4. Інтервал розрахункових значень напруженого стану в прутках клеми по зовнішній стороні рейкової нитки (Клема № 1) у нижній частині прутка клеми відрізняється від значень, отриманих експериментально на 2,78 % - для локомотивів, та на 2,9 % - для вагонів.

5. Інтервал розрахункових значень напруженого стану в прутках клеми по зовнішній стороні рейкової нитки (Клема № 1) у верхній частині прутка клеми відрізняється від значень, отриманих експериментально на 4,8 % - для локомотивів, та на 6,3 % - для вагонів.

Порівняльна характеристика отриманих експериментальних даних з теоретичними підтверджує достовірність результатів, отриманих за розробленою кінцево-елементною моделлю. А саме, в місцях технологічних згинів прутка клеми, де виникають максимальні напруження від кручення, підчас експлуатації будуть виникати концентратори напружень в металі клеми, що в подальшому можуть призвести до втрат клемою своїх пружних

властивостей з одночасною появою релаксації. Одночасно це являється одним із факторів зменшення силового ланцюжка – «рейка-клема-прокладка», що може призвести до втрати стійкості рейкової колії в поздовжній площині та появи уgonу плітей безстикової колії.

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОМІЖНОГО РЕЙКОВОГО СКРІПЛЕННЯ ТИПУ КПП-5

4.1 Проектування конструкції колійного пристрою по вимірюванню пружних властивостей елементів проміжного рейкового скріплення типу КПП-5

Як відомо, опір поздовжньому переміщенню рейки, в основному, залежить від стабільного забезпечення сили притискання рейки до підрейкової основи клемою КПП-5 протягом всього міжремонтного терміну, а також від матеріалу і якості підрейкових амортизуючих прокладок [114].

Для попередження можливого виникнення угону плітей безстикової колії, при скріпленні типу КПП-5, а також прискореного подальшого руйнування окремих елементів вузла проміжного рейкового скріплення, що частково пов'язаного з недостатнім притисканням рейки до підрейкової основи клемою типу КПП-5, кафедрою «Колія та колійне господарство» ДНУЗТу у 2014 році розроблена конструкція колійного пристрою, призначеного для визначення пружних властивостей клеми КПП-5 проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 та її сили притискання до рейки [92-93].

Конструкція даного пристрою складається з двох частин: захвату та опорної балки (ручка колійного ключа), що зображено на рис. 4.1.

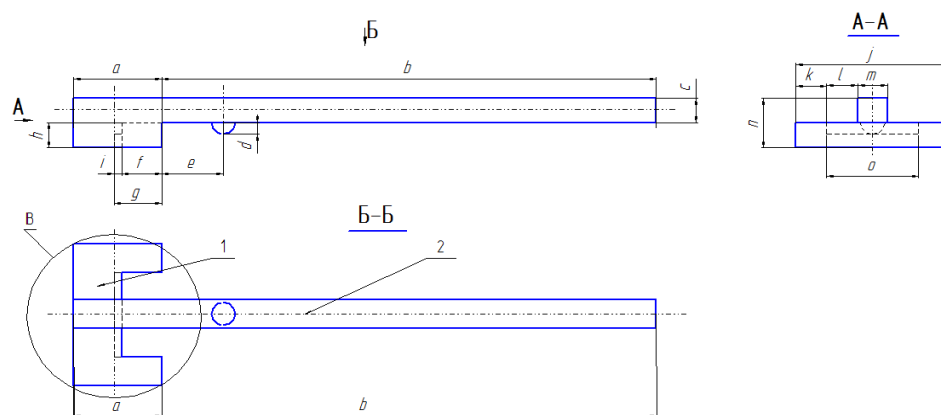


Рис. 4.1 Конструкція колійного пристрою по вимірюванню пружних властивостей клеми КПП-5 проміжного рейкового скріплення типу КПП-5:

1 – захват; 2 – опорна балка (ручка колійного пристрою).

Захват колійного пристрою (1), необхідний для жорсткого захвату в двох точках носика клеми проектувався з умови розмірів а також розташування ізолюючого вкладиша типу ВІП відносно клеми, та з врахуванням зовнішнього розміру між прутками клеми КП-5.(розмір – «О»). Виступаючі вусика (1) довжиною - «а» і товщиною – «k» при використанні пристрою повинні виконувати саму функцію захвату носика клеми. В середині захвату є виточка (2) глибиною «І», довжиною «О», яка призначена для компенсації виступаючої частини ізолюючого вкладиша типу ВІП з метою кращого встановлення захвату під носик клеми. Дана конструкція захвату зображена на рис. 4.2.

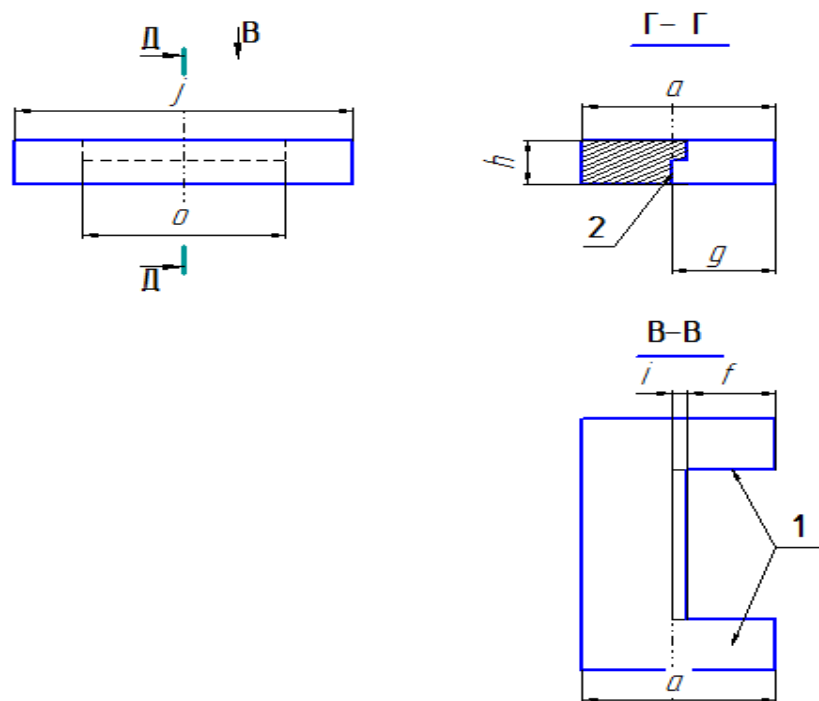


Рис. 4.2 Конструкція захвату колійного пристрою:

1 – вусика захвату; 2 – виточка.

Оскільки, ключ призначений для перевірки та визначення пружних властивостей клеми КП-5, а також сили притискання клемою рейки до підрейкової основи, необхідною умовою є прикладання певного зусилля до конструкції колійного пристрою, щоб добитись віджимання носика клеми. У зв'язку з цим було запроектовано балку (2), до одного кінця якої прикладається зусилля, яке через плече довжиною - «е» (див. рис. 4.1)

передається в точку контакту захвату з носиком клеми КП-5.

Згідно з [6], клема КП-5 проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 повинна забезпечувати притискання рейок до підрейкової основи із зусиллям не менше 10 кН . Необхідно визначити таке зусилля, прикладання якого до одного кінця балки створювало б силу реакції в 10 кН на другому кінці балки (точка контакту захвату пристрою з носиком клеми КП-5). Дану задачу можна вирішити, розглядаючи пристрій як статично визначеної балки з двома видами опор, до якої прикладається відповідне зусилля P_T в кН , (рис. 4.3). В ході роботи над проектуванням конструкції колійного пристрою розрахунку застосовувалась така методика:

1. визначення опорних реакцій в точках А та В, а також знаходження оптимальної сили F для створення нормативної сили реакції - 10 кН в точці - «А», так як вона відповідає за місце в якому захват колійного пристрою жорстко закріплюється з носиком клеми (рис. 4.3а).

2. побудова епюр поперечних сил та згинальних моментів (рис. 4.3в).

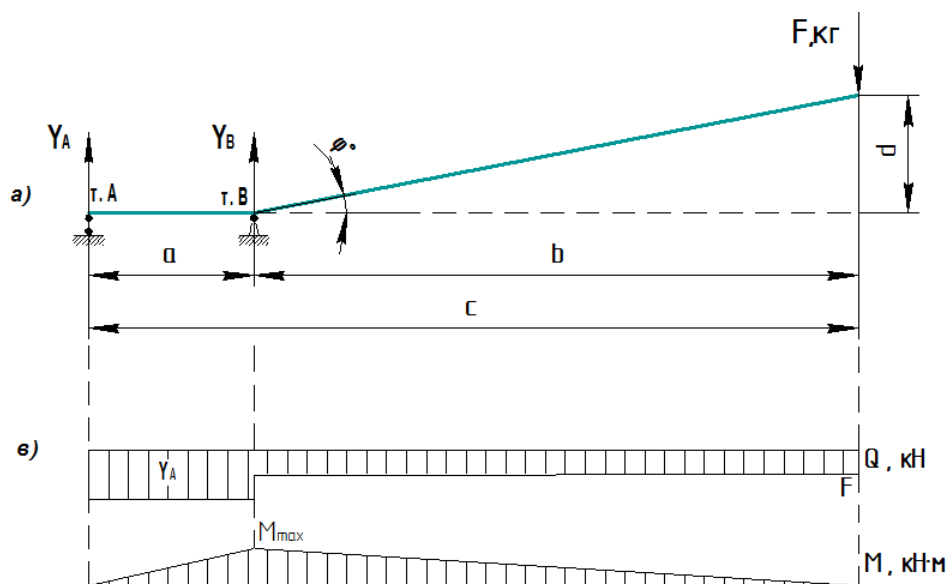


Рис. 4.3 Розрахункова схема колійного пристрою як балки розміщеної на двох опорах

а) розрахункова схема;

в) епюри поперечних сил та згинальних моментів.

Для зручності використання пристрою під час експлуатації при проектуванні враховувався підбір його оптимальних геометричних осьових розмірів. Це в свою чергу впливає на величину вантажу, який необхідно буде прикласти до одного кінця балки, щоб створити силу реакції 10 кН на другому кінці балки пристрою. Величина вантажу одночасно залежить від розмірності опорного плеча " a ", та від кута " φ " (див рис. 4.3а), який необхідний для використання пристрою при вимірюванні сили притискання клеми до рейки по внутрішній стороні рейкової нитки.

Обчисливши колійний пристрій як балку розміщену на двох опорах згідно рівнянь рівноваги [94] та полігонних промірів, було визначено основні його осьові розміри (див. рис. 4.3а): плече $a = 16$ мм; плече $b = 1947$ мм; та $d = 474$ мм; кут вигину балки пристрою $\varphi = 14^\circ$; загальне плече пристрою $c = 1963$ мм. При даних розмірах конструкція пристрою запроектована таким чином, що коефіцієнт передачі навантаження становить в 122 рази. Тобто, якщо до одного кінця балки пристрою прикласти вантаж масою 8,2 кг то на другому кінці балки пристрою (т. А - контакт захвату пристрою з носиком клеми КП-5 (рис. 4.3а)) сила реакції становитиме 10 кН. При виготовленні кожного окремого пристрою необхідно для нього визначати своє значення коефіцієнта передачі навантаження, яке залежить від конструкції окремих його елементів.

Для зменшення величини навантаження " F ", кг (рис. 4.3а) в процесі виготовлення конструкції пристрою при одному і тому самому куті вигину балки " φ " можна збільшити величину плеча " b ". Це можливо у випадку шарнірного з'єднання в середній частині плеча " b ". В кінцевому результаті, якщо збільшувати плече пристрою " b " на 0,5 м коефіцієнт передачі навантаження буде збільшуватись в 35,7 раз.

3. побудова епюр поперечних сил та згинальних моментів.

Після визначення опорних реакцій " Y_A " та " Y_B " в точках "А" та "В", зображених на рис. 4.3а можна зробити висновок, що максимальний

згинальний момент виникає у точці "В" (опорна точка місця контакту пристрою з головкою анкера). Для перевірки на міцність поперечного перерізу балки колійного ключа, яка буде витримувати під час експлуатації дане навантаження, використовували умову міцності [94] яка описується виразом:

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W} \leq [\sigma] \quad , \quad (4.1)$$

де M_{max} - максимальний момент згинальний момент, кН·см;

W - осьовий момент опору.

Під час проектування конструкції колійного пристрою попередньо був прийнятий поперечний переріз балки-ключа прямокутної форми, що зображена на рис. 4.5. Для цієї марки сталі допустимі напруження на згин σ (МПа) згідно [94], становлять –160 МПа.

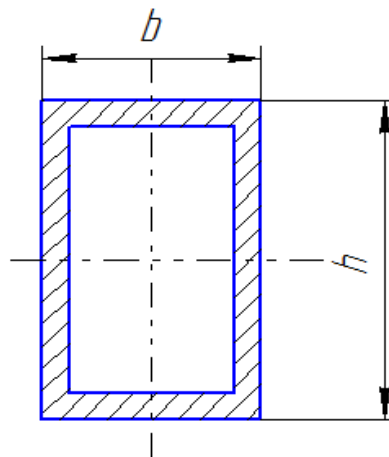


Рис. 4.5 Поперечний переріз балки колійного пристрою

Після проведення розрахунків за вище вказаними формулами було встановлено, що максимальні дотичні напруження, які виникатимуть у поперечному перерізі балки колійного пристрою становлять $\sigma_{роз} = 4,1 \text{ МПа}$, що не перевищує максимальних напружень ($\sigma_{роз} = 4,1 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 160 \text{ МПа}$).

Отже, на основі проведених розрахунків можна зробити висновок, що поперечний переріз балки колійного ключа запроектований вірно, за умови міцності найбільших нормальних напружень на згин. Таким чином, балка колійного пристрою є достатньо міцною для використання його в експлуатації.

4.2 Технологія використання конструкції колійного пристрою по вимірюванню пружних властивостей елементів проміжного рейкового скріплення типу КПП-5

Для виконання перевірки сили притискання клеми до рейки у вузлі проміжного рейкового скріплення підчас експлуатації колії принципи використання колійного пристрою підчас експлуатації, складається з декількох етапів. Перший етап - тримаючи пристрій в горизонтальній площині розміщуємо балку пристрою між прутками клеми КПП-5 проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, що зображено на рис. 4.6.

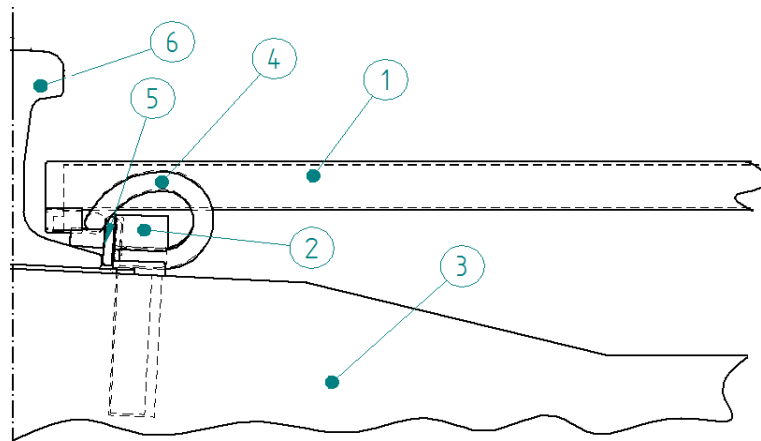


Рис. 4.6 Схема установки колійного пристрою у створі між прутками клеми у вузлі проміжного рейкового скріплення типу КПП-5:

- 1 – пристрій; 2 – монолітний анкер; 3 – шпала; 4 – клема;
5 – ізолюючий вкладиш; 6 – рейка.

Наступним завершальним етапом при піднятій балці пристрою на певний кут захват пристрою (1) підводиться на ізолюючий вкладиш (5), тим

самим забезпечуючи жорсткий захват вусиками пристрою носика клеми (4) проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, що зображено на рис. 4.7.

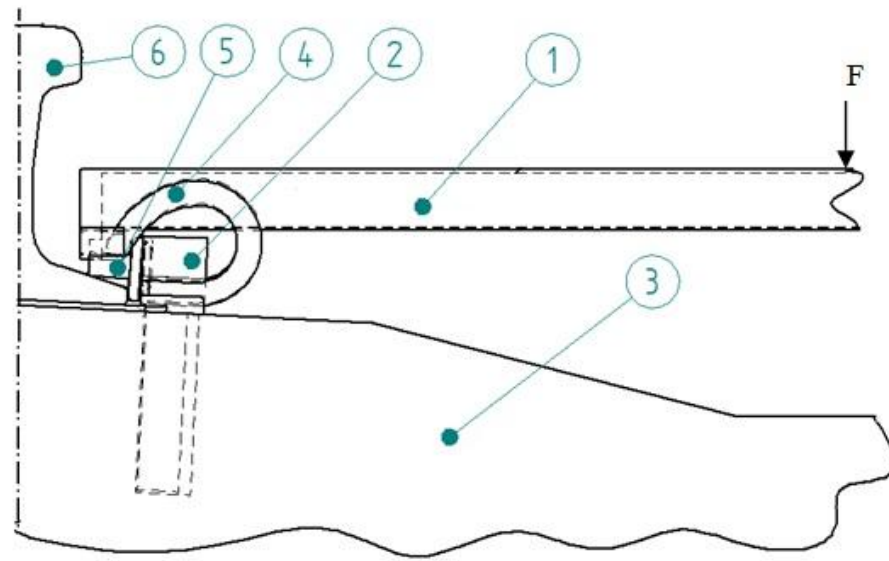


Рис. 4.7 Схема завершального етапу установки колійного пристрою і приведення його в робочий стан:

1 – пристрій; 2 – монолітний анкер; 3 – шпала; 4 – клема;
5 – ізолюючий вкладиш; 6 – рейка.

Коли колійний пристрій повністю встановлений у робоче положення, до протилежного кінця балки прикладається відповідне зусилля, яке створює пружне віджимання носика клеми. При пружно-віджатому носику клеми появляється одночасно можливість визначити пружний хід клеми КПП-5 проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 а також і пружні її характеристики [92, 95, 96].

Роботи по визначенню сили притискання клеми до рейки можна виконувати за допомогою двох працівників. Один монтер колії встановлює колійний пристрій у робоче положення, одночасно прикладаючи до кінця балки відповідне зусилля, а інший при пружно-віджатому носику клеми щупом вимірює зазор між ізолюючим вкладишем та рейкою. Також для огороження місця виконання даної колійної роботи повинні бути задіяні два сигналісти за вимогами охорони праці та безпеки руху поїздів.

4.3 Оцінка величини пружного ходу нової клеми проміжного рейкового скріплення типу КПП-5

З метою підвищення працездатності конструкції проміжних рейкових скріплень типу КПП-5 у 2014 році проведені дослідження роботи пружних клем, що супроводжувались встановленням залежності між пружним ходом клеми при різних зусиллях притиснення рейки, F в κH . Під робочим ходом клеми маємо на увазі примусове вертикальне переміщення крайнього перерізу носика клеми, тобто «заневолювання» клеми, при якому клема, намагаючись повернутись у первинне положення, створюватиме необхідне зусилля притискання рейки.

Для встановлення залежності між пружним (робочим) ходом клеми при різних зусиллях притискання рейки підчас експерименту із вибірки клем було досліджено клеми проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 із найбільш імовірними діаметрами прутка який становить - 16 мм, 16,5 мм та 17 мм, що було отримано підчас вимірів. Перед початком проведення експерименту нову клеми на ланко збиральній базі КМС було вмонтовано спеціальним колійним ключем в пази закладного анкера, що замонолічений у шпалу типу СБЗ-0. Для того, щоб забезпечити частоту та точність експериментальних даних, пов'язану із примусовими вертикальними деформаціями клеми, клема вмонтовувалась в пази анкера без сформованих елементів у вузлі скріплення, що зображено на рисунку 4.8.

Перед початком прикладання зусилля до клеми після її монтажу в пази анкера замірявся початковий зазор h_0 (відстань від крайньої консолі клеми (носика клеми) до тіла шпали. Експеримент проводився при різних приростах зусиль (2.5; 3.75; 4.0; 5.0; 6.25; 7.5; 8.0; 8.75; 10.0) в κH , що прикладались до пристрою, який призначається для контролю сили притискання клеми до рейки. Після прикладання кожного зусилля до конструкції пристрою (2), одночасно вимірювали зазори h_1 та h_2 , мм між крайньою консолю клеми (3).

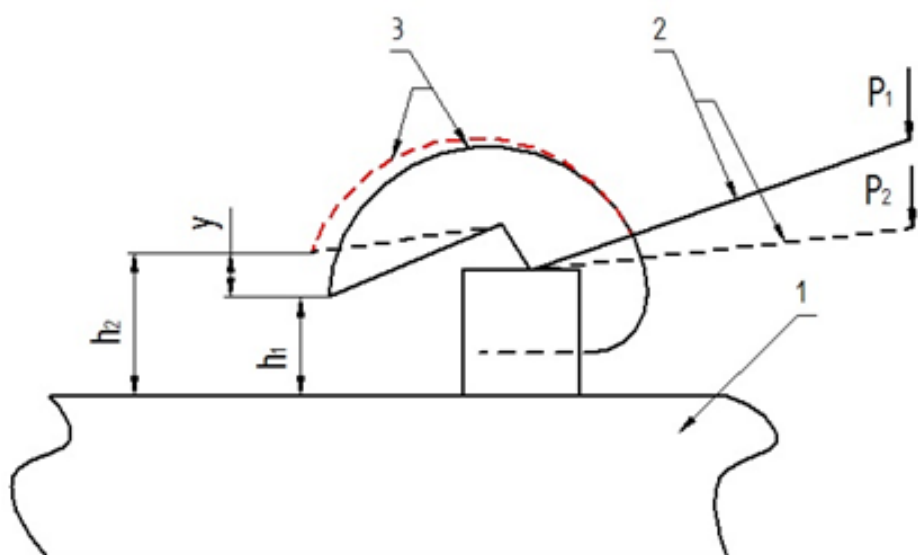


Рис. 4.8 Експериментальна схема для встановлення залежності між пружним ходом клеми та силою притискання:

1 - нерухома основа (опора); 2 – пристрій; 3 – пружна клема.

Величини отриманих експериментальних результатів прирізних приростах зусиль зображено у таблиці 4.1

На основі проведеного аналізу експериментальних даних, зображених у таблиці 4.1, можна зробити висновок, що величина деформації крайньої консолі (h , мм) та пружний хід клеми (δ , мм) при відповідних значеннях зусилля притискання клеми (F , кН) матиме не конкретне значення, а діапазон можливих значень, що залежить від багатьох факторів.

Таблиця 4.1 Експериментальна залежність між пружним ходом клеми та прикладеним зусиллям

Величина зусилля F , кН	Величина деформацій крайньої консолі клеми h , мм	Пружний хід клеми δ , мм
1	2	3
0	22,0	0
2,5	26,1	4,1
3,75	27,0	5,0
4,0	27,6	5,6
5,0	28,0	6,0
6,25	28,9	6,9
7,5	29,9	7,9
8,0	30,5	8,5

продовження таблиці 4.1

1	2	3
8,75	30,9	8,9
10,0	31,7	9,7
0	22,0	0
2,5	25,5	3,5
3,75	26,3	4,3
4,0	26,8	4,8
5,0	27,2	5,2
6,25	27,9	5,9
7,5	28,8	6,8
8,0	29,5	7,5
8,75	29,8	7,8
10,0	30,5	8,5
0	22,0	0
2,5	24,9	2,9
3,75	25,6	3,6
4,0	25,9	3,9
5,0	26,3	4,3
6,25	27,0	5,0
7,5	27,7	5,7
8,0	28,3	6,3
8,75	28,6	6,6
10,0	29,3	7,3

Якісна оцінка зміни величини деформації крайньої консолі (носіка) клеми (h , мм) та її пружного ходу (δ , мм), що виникають при різних приростах зусиль, зображено на рис. 4.9-4.10.

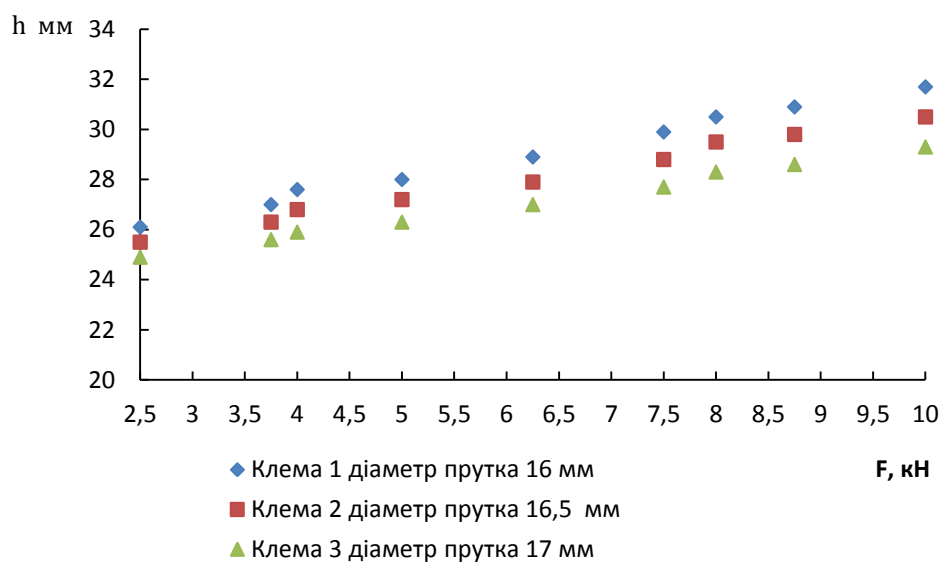


Рис. 4.9 Залежність величини деформації крайньої консолі клеми від приросту зусилля

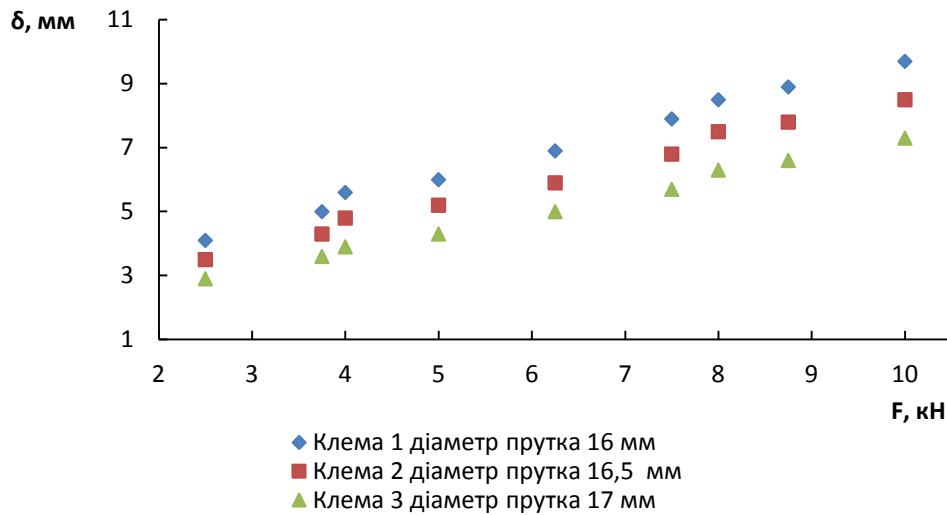


Рис. 4.10 Залежність величини пружного ходу клеми від приросту зусилля

Результати спостережень залежності деформації носика клеми (h , мм) та пружного ходу клеми (δ , мм) від величини прикладеного зусилля, які зображені як пара координат – « x » та « y » (рис. 4.11-4.12), було апроксимовано (з метою знаходження математичного рівняння), яке б описувало ті ж самі значення « x » відносно « y ». Результати апроксимування величини деформації крайньої консолі клеми (h , мм) та її пружного ходу (δ , мм) в залежності від прикладеного зусилля зображено на рис. 4.11-4.12.

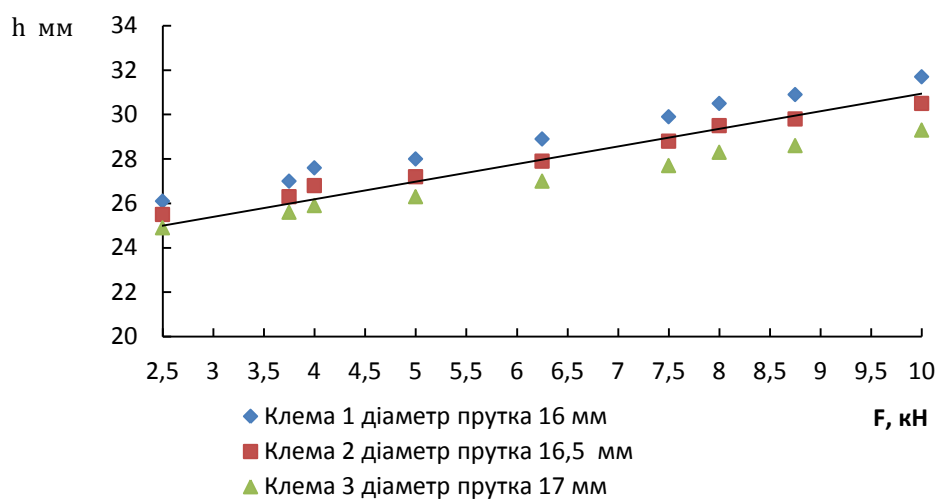


Рис. 4.11 Апроксимація результатів величини деформації крайньої консолі клеми (h , мм) в залежності від прикладеного зусилля (F , кН)

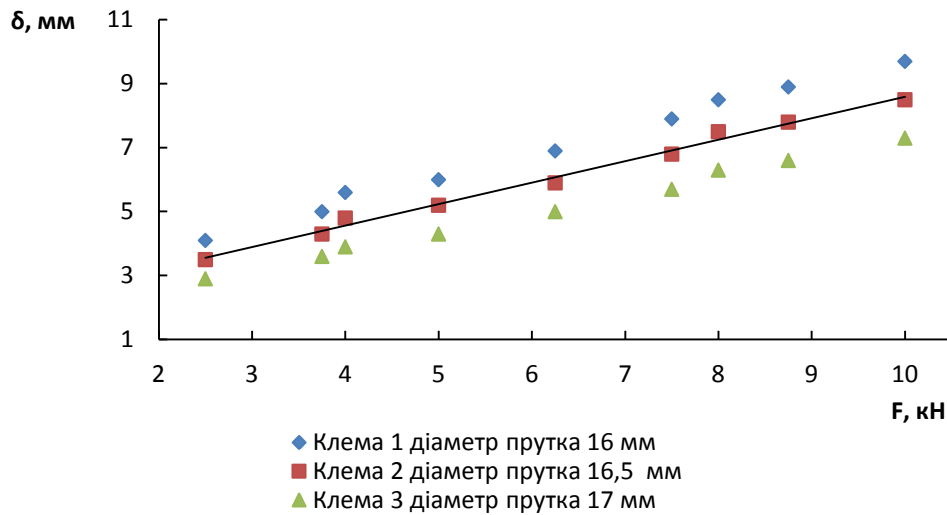


Рис. 4.12 Апроксимація результатів величини пружного ходу клеми (δ , мм) в залежності від прикладеного зусилля (F , кН)

Із рис. 4.11-4.12 випливає, що характер зміни деформації носика клеми (h , мм) та її пружного ходу (δ , мм) (в залежності від прикладеного зусилля) носить лінійний характер та може описуватись функцією:

$$y = ax + b. \quad (4.2)$$

де « a » та « b » - постійні параметри.

Параметри апроксимуючої функції (4.2) по методу найменших квадратів [91] можна описати наступною системою рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i, \\ a \sum_{i=1}^n x_i + nb = \sum_{i=1}^n y_i. \end{array} \right. \quad (4.3)$$

де « n » – кількість точок з виміряними координатами;

« x_i » та « y_i » - виміряні координати i - ої точки.

Розрахунок складових, які входять до системи рівнянь (4.3) наведено в таблицях 4.2 та 4.3 відповідно.

Таблиця 4.2 Розрахунок складових системи рівнянь для апроксимації
результатів деформації крайньої консолі клеми

№ п/п	y_i	x_i	x_i^2	$x_i \cdot y_i$
1	2	3	4	5
1	0	22	484	0
2	2,5	26,1	681,21	65,25
3	3,75	27	729	101,25
4	4	27,6	761,76	110,4
5	5	28	784	140
6	6,25	28,9	835,21	180,625
7	7,5	29,9	894,01	224,25
8	8	30,5	930,25	244
9	8,75	30,9	954,81	270,375
10	10	31,7	1004,89	317
11	0	22	484	0
12	2,5	25,5	650,25	63,75
13	3,75	26,3	691,69	98,625
14	4	26,8	718,24	107,2
15	5	27,2	739,84	136
16	6,25	27,9	778,41	174,375
17	7,5	28,8	829,44	216
18	8	29,5	870,25	236
19	8,75	29,8	888,04	260,75
20	10	30,5	930,25	305
21	0	22	484	0
22	2,5	24,9	620,01	62,25
23	3,75	25,6	655,36	96
24	4	25,9	670,81	103,6
25	5	26,3	691,69	131,5
26	6,25	27	729	168,75
27	7,5	27,7	767,29	207,75
28	8	28,3	800,89	226,4
29	8,75	28,6	817,96	250,25
30	10	29,3	858,49	293
$\sum_{i=1}^n y_i, x_i, x_i^2, x_i y_i$	167,25	822,5	22735,1	4790,35

Таблиця 4.3 Розрахунок складових системи рівнянь для апроксимації результатів пружного ходу клеми

№ п/п	y_i	x_i	x_i^2	$x_i \cdot y_i$
1	2	3	4	5
1	2,5	4,1	16,81	10,25
2	3,75	5	25	18,75
3	4	5,6	31,36	22,4
4	5	6	36	30
5	6,25	6,9	47,61	43,125
6	7,5	7,9	62,41	59,25
7	8	8,5	72,25	68
8	8,75	8,9	79,21	77,875
9	10	9,7	94,09	97
10	2,5	3,5	12,25	8,75
11	3,75	4,3	18,49	16,125
12	4	4,8	23,04	19,2
13	5	5,2	27,04	26
14	6,25	5,9	34,81	36,875
15	7,5	6,8	46,24	51
16	8	7,5	56,25	60
17	8,75	7,8	60,84	68,25
18	10	8,5	72,25	85
19	2,5	2,9	8,41	7,25
20	3,75	3,6	12,96	13,5
21	4	3,9	15,21	15,6
22	5	4,3	18,49	21,5
23	6,25	5	25	31,25
24	7,5	5,7	32,49	42,75
25	8	6,3	39,69	50,4
26	8,75	6,6	43,56	57,75
27	10	7,3	53,29	73
$\sum_{i=1}^n y_i, x_i, x_i^2, x_i y_i$	167,25	162,5	1065,05	1110,85

Розв'язавши систему рівнянь (4.3), отримаємо значення параметрів « a » і « b ». Таким чином, рівняння прямої, яка апроксимує отримані експериментальні дані результатів величини деформації крайньої консолі клеми (h , мм) в залежності від прикладеного зусилля (F , кН) є:

$$y = 1,108 \cdot (22 + x) + (-24,81) . \quad (4.4)$$

Рівняння прямої, яка апроксимує отримані експериментальні дані результатів величини пружного ходу клеми (δ , мм) в залежності від прикладеного зусилля (F , кН) є:

$$y = 0,672 \cdot x + 1,871. \quad (4.5)$$

Оскільки клема повинна працювати в пружній стадії, за результатами апроксимування на рис. 4.11-4.12 можна зробити висновок, що залежність між навантаженням та пружною деформацією носика клеми лінійна.

4.4 Визначення пружних характеристик нової клеми проміжного рейкового скріплення типу КПП-5

Пружні елементи, пружинні клеми і гумові прокладки, стали використовуватись в конструкціях проміжних рейкових скріплень приблизно в один і той же час: в 50-их роках XX століття. Пружинні клеми відносяться до найбільш відповідальних елементів у вузлі рейкового скріплення типу КПП-5, так як вони визначають надійність вузла скріплення в цілому [1-4, 7-9, 13-14, 58, 62-63, 71-72].

Для залізниць в багатьох країнах світу створюють конструкції проміжних рейкових скріплень з пружинними клемами, що дозволяють пружно перетворювати динамічну дію коліс рухомого складу на колію без суттєвого зниження сили притискання клеми до підшви рейки. Для залізниць в країнах СНД згідно [58] пружинні клеми повинні забезпечувати нормативне монтажне притискання клеми до підшви рейки в діапазоні 8-12,5 кН. В свою чергу, нормативна сила притискання клеми до підшви рейки в основному залежить від її жорсткісної характеристики, що може бути визначена з виразу:

$$J_k = \frac{P_k}{\Delta \delta_k}, \quad (4.6)$$

де P_k - монтажна сила притискання, кН;

$\Delta\delta_k$ - деформація (пружний хід) клеми, мм.

Відповідно до [58] для подальших розрахунків за основу в дослідженнях було взято середнє значення нормативного монтажного притискання клеми до підшви рейки, що складає – 10 кН. Згідно з цим за експериментальними дослідженнями, що наведені у підрозділі 4.3 даної роботи було визначено значення вертикальної жорсткості досліджуваних клем і з діаметром прутка відповідно 16, 16,5 та 17 мм. Результати розрахунків наведені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 Значення вертикальної жорсткості клем проміжного рейкового скріплення типу КПП-5

Тип скріплення	Діаметр прутка клеми (d), мм	Пружний хід клеми ($\Delta\delta_k$), мм	Жорсткість клеми (J_k), кН/мм
1	2	3	4
КПП-5	16,0	9,7	1,031
	16,5	8,5	1,176
	17,0	7,3	1,370

Із таблиці 4.4 встановлено, що середнє значення жорсткості та пружного ходу нової клеми проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 до експлуатації становить відповідно $J_k = 1,192$ кН/мм, та $\Delta\delta_k = 8.5$ мм, що входить в діапазон допусків згідно досліджень [58, 98, 116].

4.5 Полігонні дослідження впливу різних факторів на величину розмикання силового ланцюжка «рейка-клема-прокладка» у вузлі рейкового скріплення типу КПП-5

Проведені ВНИИЖТом дослідження [64] показали, що загальним недоліком нероздільних безболтових проміжних рейкових скріплень в тому числі і рейкових скріплень типу КПП-5, являється їх мала надійність на сприйняття бокових сил від рейки.

Як виявилось, після довготривалих експлуатаційних спостережень за

роботою даного типу рейкового скріплення під час експлуатації, після опитування дорожніх майстрів Одеської, Львівської, Придніпровської, Південно-Західної, та Південної залізниць, було виявлено присутність угону рейкових плітей безстикової колії, особливо на затяжних спусках та підйомах із рекуперативним гальмуванням. Одним із основних факторів, що суттєво впливає як на поздовжню стійкість рейкової колії, так і на її стійкість в поперечно-горизонтальній площині, являється сила притискання клеми рейки до підрейкової основи, що на сьогоднішній час при проміжному рейковому скріпленні типу КПП-5 не контролюється. Тому логічно під час експлуатації очікувати певного зниження сили притискання клеми до рейки.

Значення пружного ходу пружинної клеми проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 носить випадковий характер [59], що також залежить від відстані осі отвору анкера відносно підрейкової площадки залізобетонної шпали після замонолічення його в шпалу. Схема вимірів розташування отвору монолітного анкера відносно конструкції шпали типу СБЗ-0, зображено на рис. 4.13.

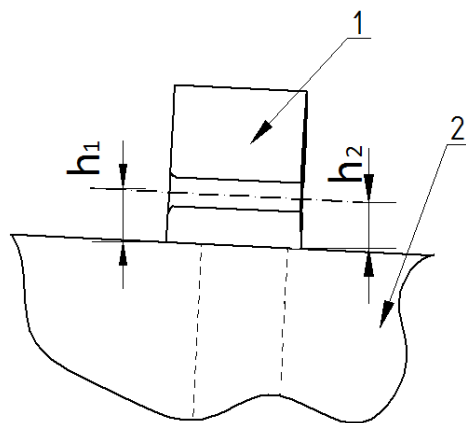


Рис. 4.13 Схема заміру пружної залишкової деформації клеми у рейковому скріпленні типу КПП-5:

1 – залізобетонна шпала; 2 – монолітний анкер.

Схема вимірів розташування отвору монолітного анкера відносно конструкції шпали типу СБЗ-0 зображено на рис. 4.13. Дослідження по вимірюванню конструктивних параметрів розташування осей отворів анкера

відносно залізобетонної шпали типу СБЗ-0 зображено на у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 Статистичні дослідження по вимірюванню відстані осі отвору анкера відносно підрейкової площадки залізобетонної шпали

№ вимірювання	Відстань h_1 , мм	№ вимірювання	Відстань h_2 , мм
1	2	3	4
1	18,5	1	16,6
2	15,8	2	17,8
3	16,5	3	17
4	15	4	17,2
5	17,5	5	17,8
6	16,5	6	17
7	16	7	16,5
8	16	8	16,1
9	16,5	9	16
10	16	10	15,9
11	15,5	11	15,5
12	16,5	12	15,6
13	15,6	13	15,6
14	14,5	14	16,1
15	16,6	15	16,2
16	16,4	16	17
17	17,5	17	16,5
18	17,3	18	16,8
19	16	19	18
20	17,8	20	16
21	17	21	17
22	18	22	17
23	16,6	23	16,1
24	17,1	24	17,1
25	16	25	16,5
26	16	26	16,5
27	16,7	27	17,2
28	18	28	17
29	17,2	29	17,2
30	17,1	30	17,1
31	16,9	31	17
32	16,7	32	17,6
33	18,6	33	19
34	17,6	34	17,1
35	17,5	35	17
36	17,1	36	17,1
37	19	37	18,6
38	17,5	38	18
39	18,1	39	19
40	14,9	40	14,9
41	17,1	41	17,1

продовження таблиці 4.5

1	2	3	4
42	18,9	42	18,9
43	17,1	43	17,1
44	19	44	18,1
45	17	45	17
46	18	46	18
47	17	47	17,4
48	15,8	48	16,3
49	16,7	49	16,3
50	17,1	50	16,6

Скориставшись апроксимуючою функцією, було визначено значення силової взаємодії ланцюжка – «рейка-клема-прокладка», що відповідає силі притискання клемою рейки до підрейкової основи. При зібраному вузлі проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 змінювались параметри розташування осей отворів монолітного анкера відносно підрейкової площадки залізобетонної шпали. Отримані дані наведені у таблиці 4.6 відповідно.

Таблиця 4.6 Значення зміни величини сили притискання в залежності від розташування осей отворів анкера відносно підрейкової площадки залізобетонної шпали

№ п/п	Відстань h'_1 , мм	Відстань h'_2 , мм	Величина ходу клеми при монтажі δ , мм	Сила притискання P_m , кН
1	2	3	4	5
1	10,50	8,60	8,50	8,984
2	7,80	9,80	14,00	15,078
3	8,50	9,00	14,00	15,078
4	7,00	9,20	16,00	17,294
5	9,50	9,80	12,50	13,416
6	8,50	9,00	14,00	15,078
7	8,00	8,50	14,00	15,078
8	8,00	8,10	14,00	15,078
9	8,50	8,00	13,00	13,970
10	8,00	7,90	14,00	15,078
11	7,50	7,50	14,30	15,4104
12	8,50	7,60	12,50	13,416
13	7,60	7,60	14,30	15,4104
14	6,50	8,10	16,00	17,294

продовження таблиці 4.6

1	2	3	4	5
15	8,60	8,20	12,50	13,416
16	8,40	9,00	14,00	15,078
17	9,50	8,50	11,50	12,308
18	9,30	8,80	13,00	13,970
19	8,00	10,00	15,00	16,186
20	9,80	8,00	8,50	8,984
21	9,00	9,00	13,00	13,970
22	10,00	9,00	11,50	12,308
23	8,60	8,10	13,00	13,970
24	9,10	9,10	13,00	13,970
25	8,00	8,50	14,00	15,078
26	8,00	8,50	14,00	15,078
27	8,70	9,20	14,00	15,078
28	10,00	9,00	11,50	12,308
29	9,20	9,20	13,00	13,970
30	9,10	9,10	13,00	13,970
31	8,90	9,00	14,00	15,078
32	8,70	9,60	13,80	14,8564
33	10,60	11,00	11,50	12,308
34	9,60	9,10	13,00	13,970
35	9,50	9,00	13,00	13,970
36	9,10	9,10	13,00	13,970
37	11,00	10,60	11,00	11,754
38	9,50	10,00	14,00	15,078
39	10,10	11,00	11,50	12,308
40	6,90	6,90	15,00	16,186
41	9,10	9,10	13,00	13,970
42	10,90	10,90	11,00	11,754
43	9,10	9,10	13,00	13,970
44	11,00	10,10	10,50	11,20
45	9,00	9,00	13,00	13,970
46	10,00	10,00	12,00	12,862
47	9,00	9,40	13,00	13,970
48	7,80	8,30	14,00	15,078
49	8,70	8,30	12,50	13,416
50	9,10	8,60	13,00	13,970

Проаналізувавши зібрані дані, що подані в таблицях 4.5-4.6, можна зробити висновок, що вірогідна оцінка очікуваного значення величини пружного ходу клеми при її монтажі в робоче положення, коливається в межах від $\delta = 11 \dots 15$ мм. Середнє значення пружного ходу клеми при її монтажі в робоче положення становить відповідно - $\delta_{\text{сер}} = 13$ мм. При цьому вірогідна оцінка очікуваного значення величини сили притискання

(у відповідності до діапазону значень δ) становитиме $P_T = 13,58 \dots 19,54$ кН. Монтажне середнє значення сили притискання клемою рейки до підрейкової основи становитиме - $P_T^{\text{сер}} = 16,56$ кН.

Для більш детальної оцінки роботи пружних клем і рейкового скріплення типу КПП-5 вцілому у 2014 році кафедрою «Колія та колійне господарство» ДНУЗТу були проведені експериментальні полігонні дослідження по визначенню сили притискання клеми проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 до рейки під час експлуатації. Полігонні дослідження проводились на території Львівської залізниці на ділянках з пропущеним тоннажем: 147, 160, 173 та 185 *млн. т. бр.*, та Придніпровської залізниці з пропущеним тоннажем 277,9 та 447,3 *млн. т. бр.* Дослідження виконувались з допомогою розробленої на кафедрі «Колія та колійне господарство» ДНУЗТу конструкції пристрою (попередньо описано у підрозділі 4.1), призначеного для контролю сили притискання клеми до рейки в проміжному рейковому скріпленні типу КПП-5.

Методика даних досліджень заключалась у замірюванні пружних деформацій клем вузла рейкового скріплення типу КПП-5 при експлуатації. Дослідження виконувались при робочому положенні конструкції колійного пристрою, до якої прикладалось відповідне зусилля, яке створювало в зоні контакту з крайньою консоллю (носіком) клеми нормативну віджимну силу 10 кН, що відповідає нормативній силі притискання клеми до рейки. Методика вимірів зображена на рисунку 4.14.

За результатами експериментальних досліджень (див. дод. «Д»), можна зробити висновок, що значення пружної деформації клеми при одному і тому самому пропущеному тоннажі (Т, *млн. т. бр.*) мають не стабільні значення, а діапазон можливих значень.

Експериментально-отримані номінальні середні значення величини пружної деформації клем, (при зношених прокладках на ділянках колії із різним пропущеним тоннажем) приведені відповідно у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 Експериментальне середнє значення величини пружної деформації клеми, та її жорсткісна характеристика при різних пропущених тоннажах

№ п/п	Пропущений тоннаж T , млн. т. бр.	Максимальне значення пружної деформації клеми δ_{max} , мм	Середнє значення пружної деформації клеми після релаксації $\delta_{сер}$, мм	Середньоквад- ратичне відхилення S	Середнє значення жорсткості клеми Жк) кН/мм
1	2	3	4	5	6
1	147	3,45	0,7098	0,3886	1,7855
2	160	2,50	0,7374	0,5237	1,7792
3	173	2,45	0,7474	0,3285	1,7769
4	185	2,00	0,7525	0,3961	1,7757
5	277,9	3,00	0,807	0,7481	1,7633
6	447,3	4,90	1,224	0,9144	1,6677

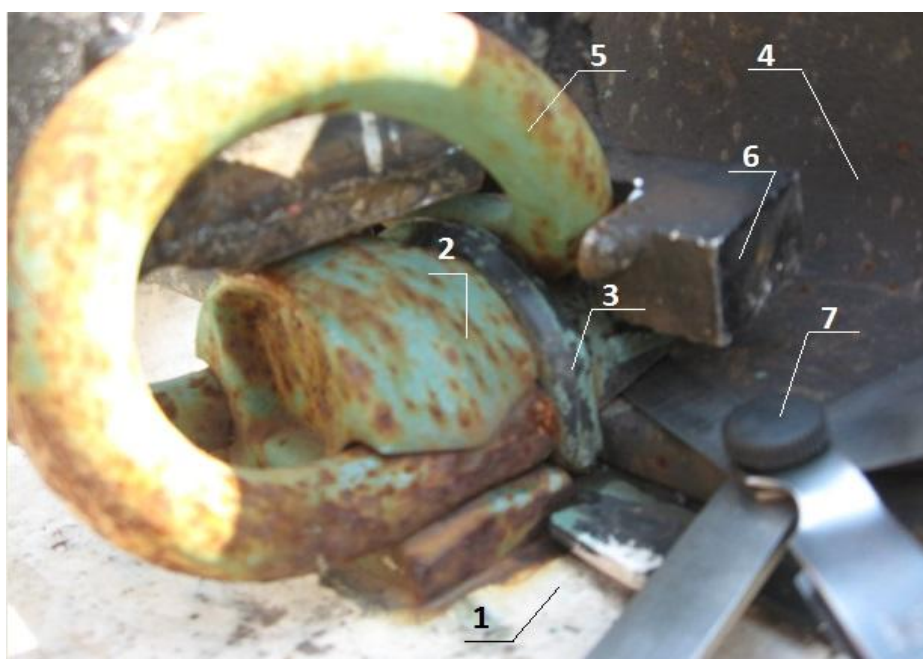


Рис. 4.14 Схема заміру пружної залишкової деформації клеми у рейковому скріпленні типу КПП-5:

- 1 – залізобетонна шпала; 2 – монолітний анкер; 3 – ізолюючий вкладиш;
4 – рейка; 5 – пружна клема; 6 – експериментальний пристрій;
7 – вимірювальний щуп.

Із таблиці 4.7 можна зробити висновок, що середнє значення жорсткості клеми при експлуатації відносно значення жорсткості нової клеми, згідно попередніх розрахунків (підрозділ 4.4), змінюється.

Інтерполюючи експериментальні дані, можна зробити висновок, як змінюється якісна оцінка зміни величини середнього значення жорсткості клеми (J_k , кН/мм), пружної деформації клеми ($\delta_{\text{сер}}$, мм), та сили притискання в залежності від пропущеного тоннажу (T , млн. т. бр.).

Результати наочно зображені на рис. 4.15-4.17.

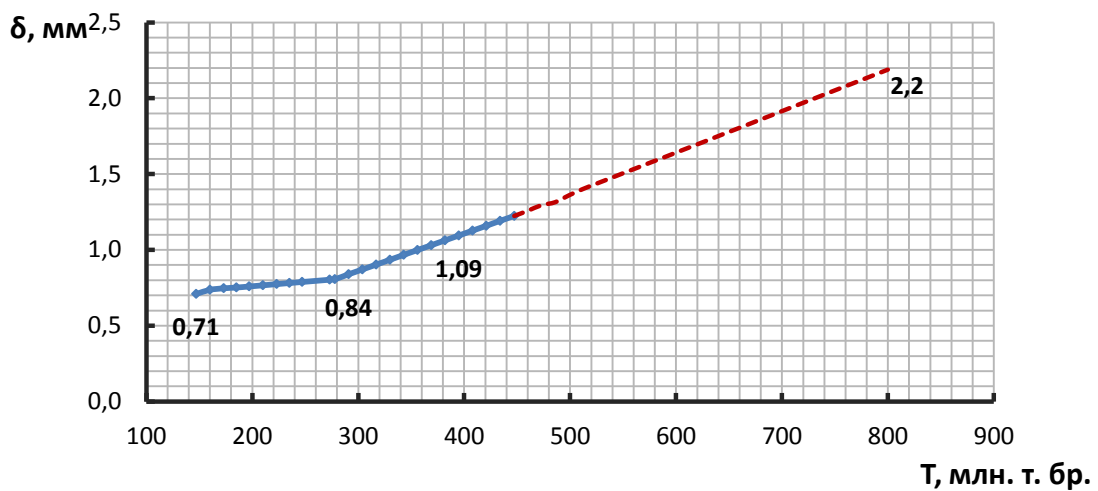


Рис. 4.15 Залежність пружної деформації клеми при експлуатації відносно пропущеного тоннажу

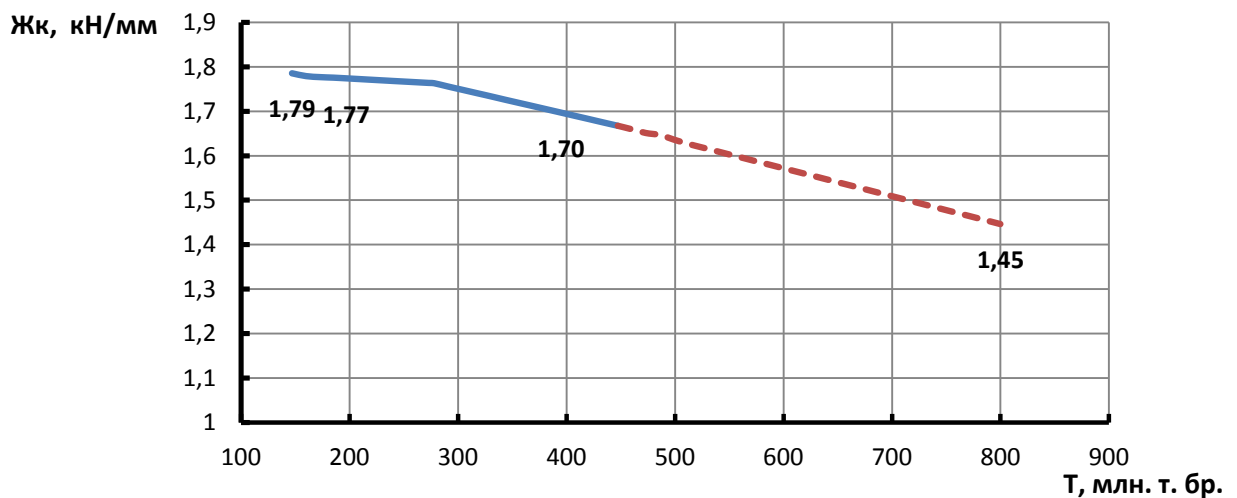


Рис. 4.16 Залежність жорсткості клеми при експлуатації відносно пропущеного тоннажу

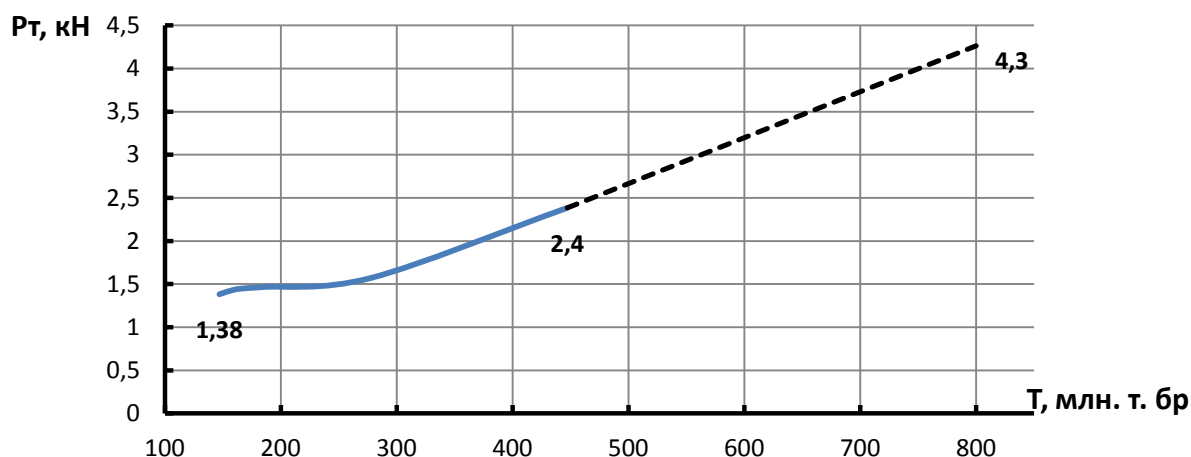


Рис. 4.17 Зміна сили притискання рейки до підрейкової основи в залежності від релаксації клеми

Емпірично було встановлено, що зменшення сили притискання (в залежності від пропущеного тоннажу) можна описати за такою емпіричною залежністю:

$$P_T = P_0 - \beta T, \quad (4.7)$$

де P_T - сила притискання клеми до рейки після пропуску T , млн. т. бр;

P_0 - монтажна сила притискання клеми до рейки в початковий момент експлуатації;

β - середня інтенсивність зниження сили притискання клеми.

Скориставшись виразом (4.7) та знаючи значення монтажної сили притискання клеми до рейки (P_0 , кН), та сили (P_T , кН) після певного пропущеного тоннажу, можна визначити середню інтенсивність зменшення сили притискання клеми (β) на 1 млн. т. вантажу, що зображено на рисунку 4.18. Клема сприймає монтажне зусилля притискання (P_T , кН) протягом усього терміну експлуатації обмежену кількість разів. Пов'язано це також із примусовою горизонтальною деформацією «лапки» клеми під час її монтажу у вузлі рейкового скріплення типу КПП-5. Клеми досягають розширення до 16,5 мм переходячи не пружну стадію, що відповідно призводить до залишкових деформацій при відносному розширенні клеми.

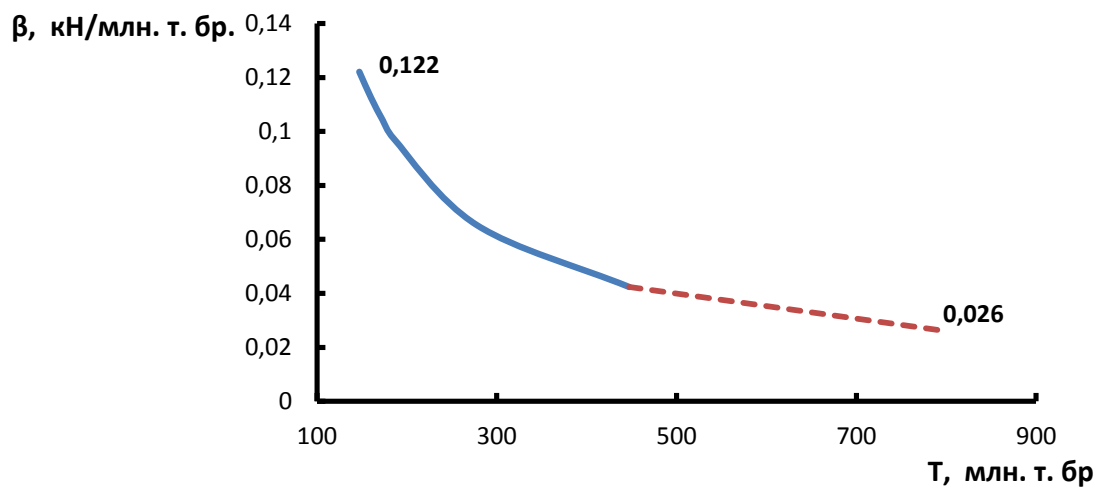


Рис. 4.18 Інтенсивність зменшення сили притискування клеми в залежності від пропущеного тоннажу

Для більш детальної оцінки роботи пружних клем в поперечно-горизонтальній площині у 2014 році кафедрою «Коля та колійне господарство» ДНУЗТу були проведені експериментальні полігонні дослідження по визначенню пружної деформації клеми в залежності від технологічного процесу – «монтаж-демонтаж». Методика заключалась у вимірюванні пружної деформації клем між ізолюючим вкладишем типу ВІП, та підшовою рейки в зоні їх контакту при робочому положенні конструкції колійного пристрою (див. п. 4.1). Дослідження проводились над клемами типу КП при багато-цикловому виконанні – «монтаж-демонтаж». Експериментально отримані середні значення зміни пружної деформації крайньої консолі (носика) клеми в залежності від багато-циклового виконання – «монтаж-демонтаж» зображені відповідно в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 Середні значення величини пружної деформації клем типу

КП-5 при багато-цикловому виконанні – «монтаж-демонтаж»

№ п/п Монтажу демонтажу	Значення величини пружної залишкової деформації клеми Δ , мм
1	2
1	0,00
4	0,55

продовження таблиці 4.8

1	2
7	0,70
10	0,95
12	1,10

Згідно з експериментальними даними, що наведені у таблиці 4.8, спостерігається зменшення зусилля притискання клеми у проміжному рейковому скріпленні типу КПП-5 до підшви рейки уже після четвертого процесу «монтаж-демонтаж». Виконані експериментальні дані наочно зображені графічно на рис. 4.19.

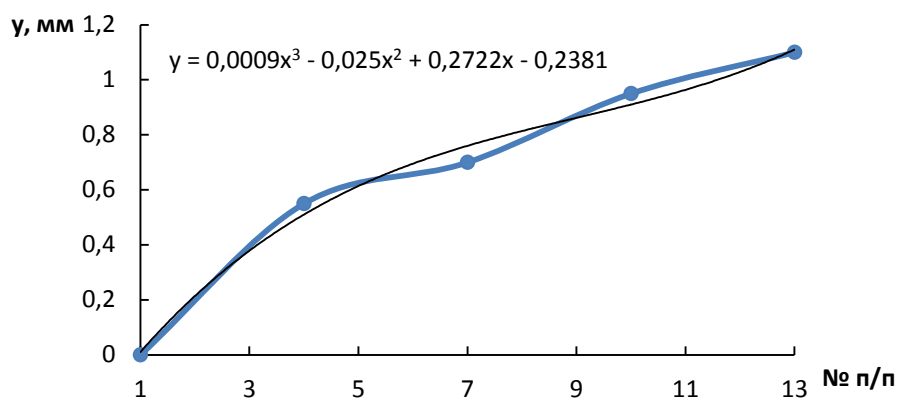


Рис. 4.19 Залежність величини пружної деформації клеми від виконання технологічного процесу «монтаж-демонтаж»

Результати спостережень залежності величини пружної деформації клеми від виконання технологічного процесу «монтаж-демонтаж» (див. табл. 4.8), було апроксимовано (рис. 4.19).

Характер зміни величини пружного ходу крайньої консолі (носіка) клеми носить нелінійний характер та описується функцією:

$$y_i = 0.0009x_i^3 - 0.025x_i^2 + 0.2722x_i - 0.2381, \quad (4.8)$$

де y_i та x_i – координати виміряної i -ої точки (порядковий номер виконання «монтажу-демонтажу»).

Підставивши значення порядкового номеру виконання – «монтаж-

демонтаж» в функцію 4.8, отримаємо значення координати y_i (величини пружної деформації клеми). Із формули 4.8 встановлено, що уже після першого виконання «монтаж-демонтаж» величина пружної деформації клеми становитиме $y=0,01$ мм.

В сучасній практиці для зниження динамічної дії колії та рухомого складу, а також для зменшення випадків розладу рейкової колії одним із головних пружних елементів у вузлі скріплення типу КПП-5 являються підрейкові прокладки. З метою дослідження роботи підрейкових прокладок, по впливу на величину сили притискання були виконані заміри їх залишкових деформацій при експлуатації у вузлі рейкового скріплення типу КПП-5. Експериментально отримані номінальні середні значення величини залишкової деформації (див. дод. Д, табл. Д.2; Д.7; Д.9; Д.11) підрейкової прокладки зображені відповідно у таблиці 4.9 та графічно на рис. 4.20.

Таблиця 4.9 Експериментальні номінальні значення величини залишкової деформації клеми при різних пропущених тоннажах

№ п/п	Тип прокладки	Проп. тоннаж Т, млн. т. бр.	Макс. знач. зал. деформ. h_{max} , мм	Сер. знач. зал. деформ. $h_{сер}$, мм	Сер. кв. відхилення S
1	2	3	4	5	6
1	ПРП-2.1	147,00	7,00	7,69	0,3639
2	ПРП-2.1	277,90	4,45	5,84	0,4041
3	ПРП-2.1	447,30	4,38	4,38	0,5878

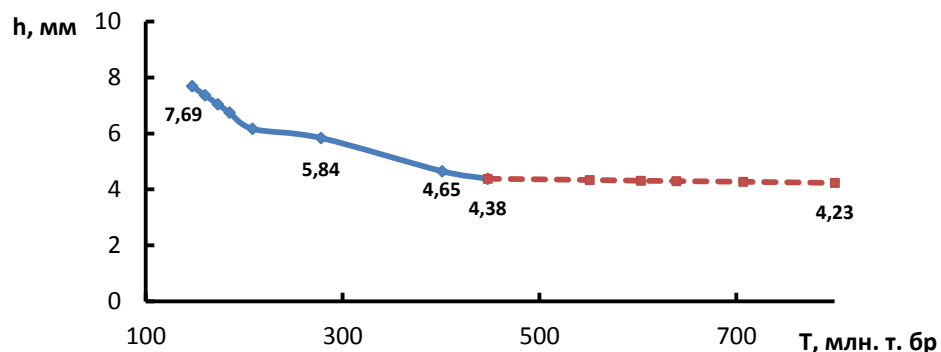


Рис. 4.20 Зміна товщини підрейкової прокладки в залежності від пропущеного тоннажу

Згідно даних, зображених у таблиці 4.9 спостерігається зменшення товщини підрейкової прокладки рейкового скріплення типу КПП-5.

Із рисунка 4.20 можна зробити висновок, що товщина підрейкової прокладки під час експлуатації при пропущеному тоннажі від $T = 400$ млн. т. бр. до $T = 800$ млн. т. бр. практично не змінюється, що становить 9 %. Доцільно можна припустити, що поліуретанові прокладки типу ПРП-2.1 мають високу жорсткість, при якій не виконується оптимальна пружна передача динамічної коліс рухомого складу на колію. Виникає зношення (стирання) рифлів (випуклостей) на поверхні прокладки, тим самим призводячи до зменшення сили притискання рейки до підрейкових основи. За теоретичними дослідженнями [85] визначено, середню жорсткість підрейкових прокладок типу ПРП-2.1, яка становить в межах 33...35 кН/мм.

Проаналізувавши та дослідивши як теоретичним, так і експериментальним шляхом особливості силової роботи вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, було встановлено, що на величину розмикання силового ланцюжка «рейка-клема-прокладка» впливає множина факторів. Основними з яких є: конструкція, матеріал, товщина та жорсткість підрейкової прокладки; розташування осей отворів анкера відносно підрейкової площадки, після замонолічення його в тіло залізобетонної шпали; релаксація клеми, конструкція, розміри прутка клеми; технологічний процес «монтаж-демонтаж» клеми. Даний вплив зображено схематично на рис. 4.21.

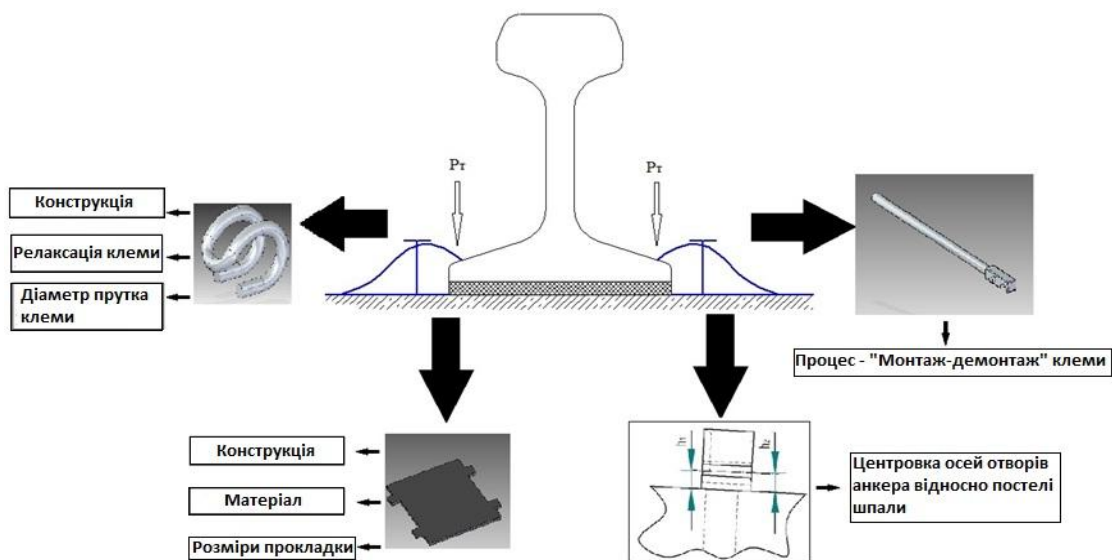


Рис. 4.21 Конструктивна схема силового ланцюжка
«рейка-клема-прокладка»

Враховуючи залежність значення величини сили притиснення рейки до підрейкової основи у вузлі проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 від різних факторів, що розглядались та досліджувались вище, було встановлено їх вплив у процентному співвідношенні. Значення процентного впливу різних факторів зображено на рис. 4.22.

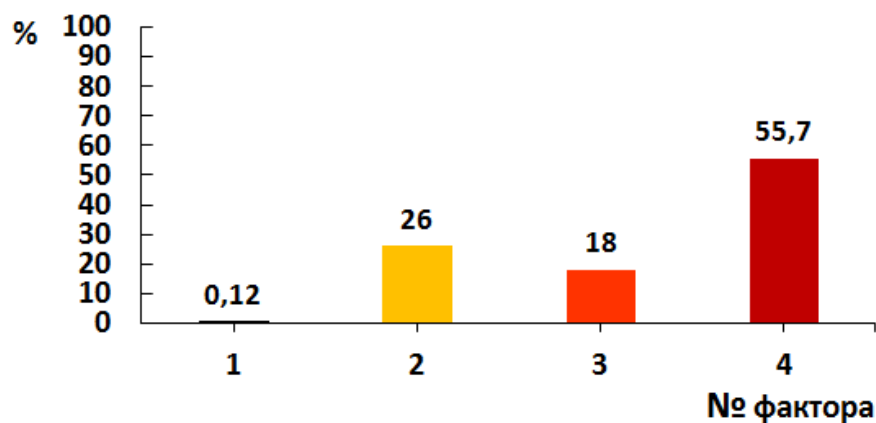


Рис. 4.22 Вплив факторів на силу притиснення рейки до підрейкової основи в рейковому скріпленні типу КПП-5:

- 1-«монтаж-демонтаж клеми»; 2-релаксація клеми;
3-розташування осей анкера; 4-знос прокладки.

Приймаючи до уваги вплив кожного із факторів на силову взаємодію

ланцюжка – «рейка-клема-прокладка» у проміжному рейковому скріпленні типу КПП-5, встановлено загальне значення зміни величини сили притискання рейки до підрейкової основи протягом $T = 0 \dots 800$ млн. т. бр.

Загальне значення зміни сили притискання ($P_T, \text{кН}$) протягом пропущеного тоннажу ($T = 0 \dots 800$ млн. т. бр.) зображено на рис. 4.23.

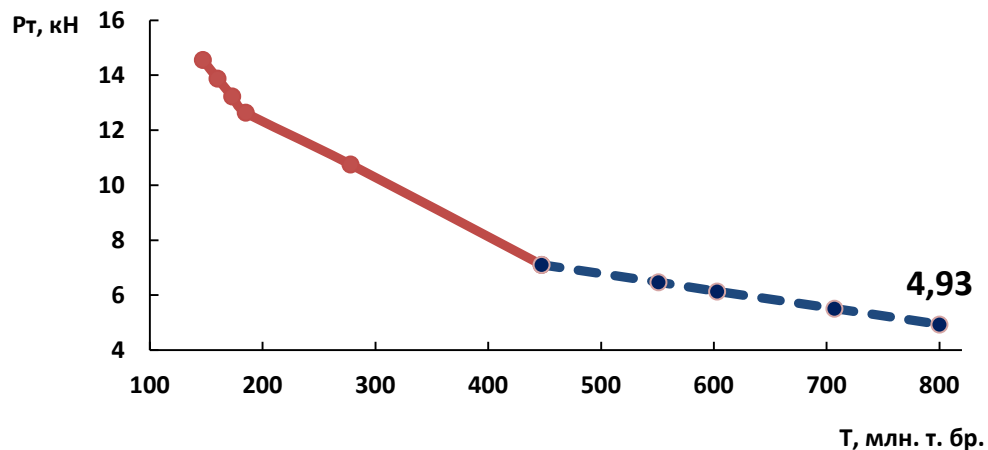


Рис. 4.23 Графік загальної зміни сили притискання із врахуванням всіх факторів

Із графіка, що зображений на рис. 4.23 встановлено, що в залежності від пропущеного тоннажу значення зміни сили притискання рейки до підрейкової основи в основному змінюється за лінійним законом. Стрибко-подібне загальне значення зменшення сили притискання починаючи з $T = 147$ млн. т. бр. до $T = 400$ млн. т. бр. спричинене нерівномірним зношенням підрейкової прокладки, товщина якої починаючи з $T = 400$ млн. т. бр. до $T = 800$ млн. т. бр. практично не змінюється.

4.6 Висновки до розділу 4

Для попередження можливого виникнення угону плітей безстикової колії, при скріпленні типу КПП-5, а також прискореного подальшого руйнування окремих елементів вузла проміжного рейкового скріплення, що частково пов'язаного з недостатнім притисканням рейки до підрейкової

основи клемою типу КП-5 кафедрою «Колія та колійне господарство» ДНУЗТу у 2014 році розроблена конструкція колійного пристрою, призначеного для визначення пружних властивостей клеми КП-5 проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 та її сили притискання до рейки.

Конструкція колійного пристрою прийнята до попереднього використання у вигляді акту впровадження в колійному господарстві Придніпровської залізниці (дод. Г.2).

У 2014 р. з допомогою даної конструкції колійного пристрою були проведені дослідження роботи пружних клем, що супроводжувались встановленням залежності пружної деформації (h , мм) та пружного ходу (δ , мм) крайньої консолі (носика клеми) при різних зусиллях притискання рейки. На основі проведеного аналізу експериментальних даних встановлено, що величини (δ , мм) та (h , мм) при відповідних значеннях зусилля притискання згідно апроксимування математичною функцією носить лінійну залежність (рис. 4.11-4.12).

За експериментальними дослідженнями встановило значення вертикальної жорсткості (J_k , кН/мм) нової клеми. Результати досліджень показали, що середнє значення жорсткості та пружного ходу нових клем проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 до експлуатації становить відповідно $J_k = 1,192$ кН/мм та $\Delta\delta_k = 8,5$ мм, що входить в діапазон допусків згідно досліджень [59, 98].

На мережі колій Придніпровської та Львівської залізниць були проведені полігонні експериментальні дослідження, у визначенні пружного ходу та сили притискання клеми до рейки у вузлі рейкового скріплення типу КПП-5 на ділянках колії із пропущеним тоннажем 147, 160, 173, 185, 277,9 та 447,3 млн. т. бр. За результатами полігонних досліджень встановлено, що значення пружного ходу носика клеми при одному і тому ж самому пропущеному тоннажі (T , млн. т. бр.) мають не стабільні значення а різні по величині. Під час експлуатації середнє значення пружного ходу та жорсткості клем становить:

- при пропущеному тоннажі 147 млн. т. бр., $\delta_{сер} = 0,7098$ мм,
 $\mathcal{J}_k = 1,7855$ кН/мм;
- при пропущеному тоннажі 160 млн. т. бр., $\delta_{сер} = 0,7374$ мм,
 $\mathcal{J}_k = 1,7792$ кН/мм;
- при пропущеному тоннажі 173 млн. т. бр., $\delta_{сер} = 0,7474$ мм,
 $\mathcal{J}_k = 1,7769$ кН/мм;
- при пропущеному тоннажі 185 млн. т. бр., $\delta_{сер} = 0,7525$ мм,
 $\mathcal{J}_k = 1,7757$ кН/мм;
- при пропущеному тоннажі 277,9 млн. т. бр., $\delta_{сер} = 0,807$ мм,
 $\mathcal{J}_k = 1,7633$ кН/мм;
- при пропущеному тоннажі 447,3 млн. т. бр., $\delta_{сер} = 1,224$ мм,
 $\mathcal{J}_k = 1,6677$ кН/мм.

Під час проведення полігонних досліджень по визначенню пружної деформації в залежності від технологічного процесу виконання «монтаж-демонтаж» встановлено, що її величина уже після першого монтування та демонтування становить $y = 0,01$ мм.

При вимірах величини залишкової деформації підрейкових прокладок під час експлуатації у вузлі проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 встановлено, що середнє значення їхньої товщини при пропущеному тоннажі від $T = 400$ млн. т. бр. до $T = 800$ млн. т. бр., практично не змінюється і становить 9 %. Доцільним можна припустити, що поліуретанові прокладки типу ПРП-2.1 мають високу жорсткість, при якій не виконується пружна передача динамічної дії коліс рухомого складу на колію. Виникає зношення (змінання) рифлів (випуклостей) на поверхні прокладки.

Дослідження по вимірюванню конструктивних параметрів розташування осей отворів анкерів відносно підрейкової площадки залізобетонної шпали типу СБЗ-0 після його замонолічення показали, що середнє значення величини пружного ходу клеми при її монтажі у робоче положення становить $\delta_{сер} = 13$ мм, при цьому середнє значення величини

монтажної сили притискання становить $P_T^{сер} = 16,56 \text{ кН}$. Проаналізувавши та дослідивши особливості роботи вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, встановлено, що на величину розмикання силового ланцюжка «рейка-клема-прокладка» впливають такі фактори, як:

підрейкова прокладка (конструкція, матеріал, товщина, жорсткість); розташування осей отворів анкера відносно підрейкової площадки залізобетонної шпали після його замонолічення; клема (розміри прутка, релаксація клеми); виконання технологічного процесу – «монтаж-демонтаж» із встановленням клеми у робоче положення.

Із врахуванням вище зазначених факторів було встановлено їх відсотковий вплив на величину сили притискання, що становить:

- виконання технологічно процесу «монтаж-демонтаж» клеми – 0,12 %;
- релаксація напружень в металі клеми – 26 %;
- вплив розташування осей отворів анкера відносно підрейкової площадки залізобетонної шпали після його замонолічення – 18 %;
- знос підрейкової прокладки – 55,7 %.

Під час досліджень по впливу різних факторів на процес зменшення сили притискання клемою рейки до підрейкової основи у вузлі проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, ізолюючий вкладиш типу ВІП не приймали до уваги, так як вертикального зношення опорної його поверхні, що примикає до підшви рейки не спостерігалось (відсутнє). Відбувається злам або тріщина втомного характеру в частині, яка розміщена в жолобі між кромкою підшви рейки та монолітним анкером, яка є наслідком дії значної долі бічної-горизонтальної сили, що передається від коліс рухомого складу на елементи верхньої будови колії [98]. Встановлено загальне значення зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи протягом $T = 0 - 800 \text{ млн. т. бр.}$, що становить $P_T = 4,93 \text{ кН}$.

5. РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПЕРІОДИЧНОСТІ КОНТРОЛЮ ТА УТРИМАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ІЗ СКРІПЛЕННЯМ ТИПУ КПП-5

5.1 Розробка конструкції регулювального елемента з метою роботи вузла скріплення типу КПП-5 під час експлуатації

Як зазначалося вище, опір поздовжньому переміщенню рейкової нитки, в основному, залежить від стабільного притискання рейки до підрейкової основи пружною клемою типу КП на протязі всього міжремонтного терміну експлуатації, а також від матеріалу і якості підрейкових амортизуючих прокладок [99-100]. Згідно з [99], у безстиковій колії рейкові пліти та рейки зрівнювальних прольотів до залізобетонних шпал дозволяється прикріплювати проміжними рейковими скріпленнями, що забезпечують достатній опір поздовжньому переміщенню рейкових плітей, який становить 25-30 кН/м.

Згідно вище отриманих даних, визначивши загальне зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи, було емпірично визначено можливе зменшення величини погонного опору рейкової нитки поздовжньому переміщенню в залежності від зміни сили притискання при проміжному рейковому скріпленні типу КПП-5. Результати розрахунку графічно представлені на рис. 5.1.

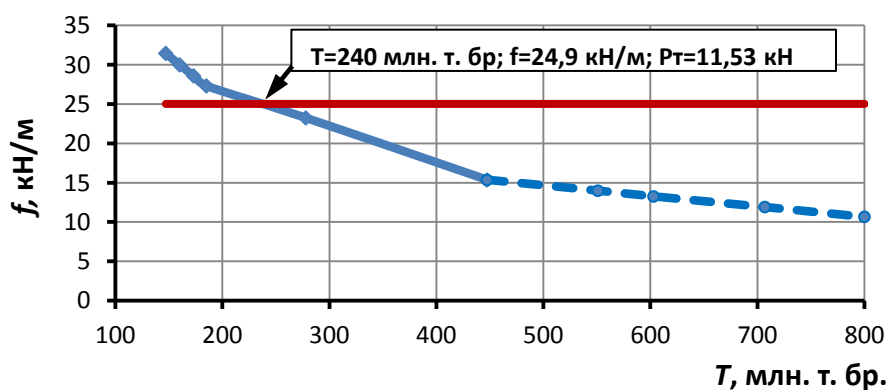


Рис. 5.1 Залежність зміни опору поздовжньому переміщенню рейкової нитки від пропущеного тоннажу

Отримані дані дозволяють зробити висновок про те, що мінімальна необхідна сила притискання рейки до шпали клемою типу КП-5 проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 повинна бути не менше ніж 11,5 кН. Така мінімально-допустима сила притискання забезпечується скріпленням типу КПП-5 при пропущеному тоннажі 240 млн. т. бр.

Для попередження можливого виникнення уgonу плітей безстикової колії [101-105] при скріпленні типу КПП-5, а також прискореного подальшого руйнування окремих елементів вузла, що частково пов'язано із недостатнім притисканням рейки до підрейкової основи, кафедрою «Колія та колійне господарство» ДНУЗТу у 2014 році було розроблено конструкцію регулювальної пластини. Метою даної конструкції розробленої пластини є підсилення та продовження роботи вузла проміжного рейкового кріплення типу КПП-5 під час експлуатації. Конструкція регулювальної пластини зображена на рис. 5.2.

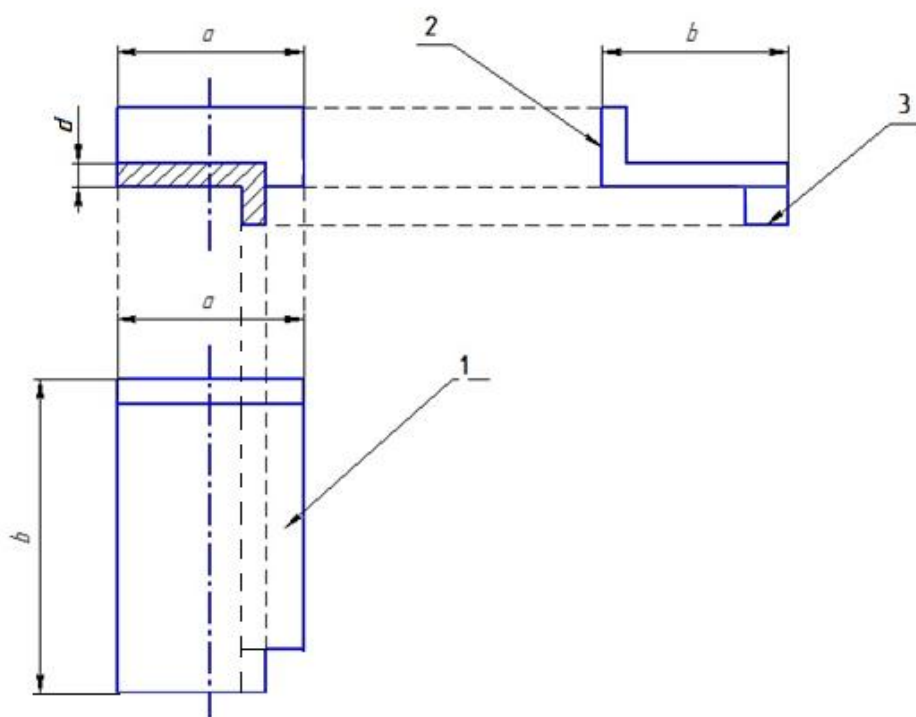


Рис. 5.2 Конструкція регулювальної пластини:

- 1 – регулювальна пластина; 2 – згинальна частина 1;
3 – опорна частина 2.

Із рис. 5.2 можна зробити висновок, що конструкція пластини складається з двох частин, які необхідні для запобігання поздовжнього та поперечного переміщення її по підшві рейки. Згинальна частина (2) призначена для попередження переміщення по підшві рейки в поздовжній площині. Згинальна частина (3) призначена для попередження поперечного переміщення по підшві в сторону шейки рейки. В основному, проектування регулюючої пластини виконувалось з метою ліквідації як поперечного, так і поздовжнього переміщення рейкової нитки, а також для збільшення терміну експлуатації вузла проміжного рейкового кріплення типу КПП-5 з одночасним збереженням нормативної сили притискання рейки до підрейкової основи.

З метою підвищення надійної силової роботи вузла скріплення типу КПП-5 протягом усього міжремонтного періоду $T=0-800$ млн. т. бр товщина регулюючої пластини згідно попередніх теоретичних та експериментальних досліджень проектувалась товщиною 4 мм.

5.2 Розробка технології «монтажу-демонтажу» регулюючої пластини під час експлуатації вузла скріплення типу КПП-5

Якщо під час робочого положення конструкції колійного пристрою було виявлено пружну деформацію, наступним етапом є підведення регулюючої пластини зі сторони рейки до торця ізолюючого вкладиша. Надалі регулююча пластина розміщується між ізолюючим вкладишем та підшвою рейки, що зображено на рис. 5.3.

З метою попередження її поперечного та поздовжнього переміщення по підшві рейки, коли регулююча пластина остаточно вмонтована у вузол проміжного рейкового скріплення її крайні частини, праву – загинають колійним молотком в сторону ізолюючого вкладиша, ліву – до торця бічної грані підшви рейки, що зображено на рис. 5.4.

Схеми монтажу регулювальної пластини зображено на рис. 5.3-5.4.

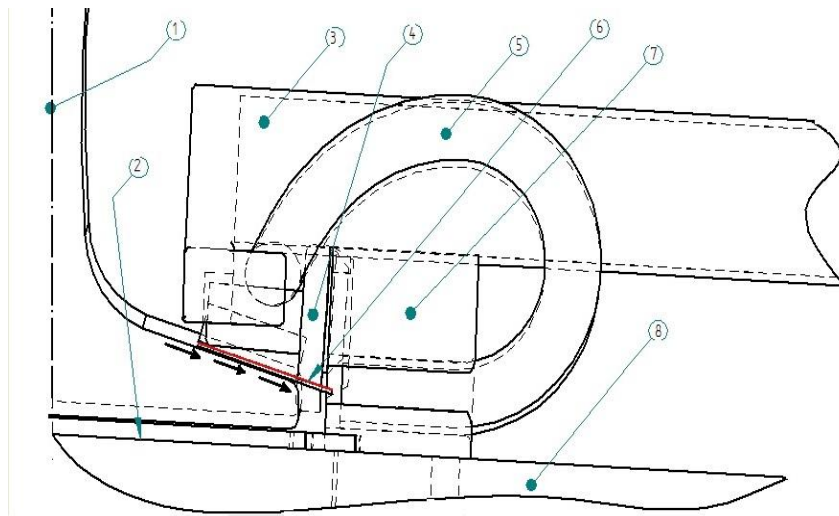


Рис. 5.3 Схема улаштування регулюючої пластини на підшві рейки перед остаточним монтажем:

- 1 – рейка; 2 – підрейкова прокладка; 3 – колійний пристрій;
4 – ізолюючий вкладиш; 5 – клема; 6 – регулювальна пластина;
7 – монолітний анкер; 8 – залізобетонна шпала.

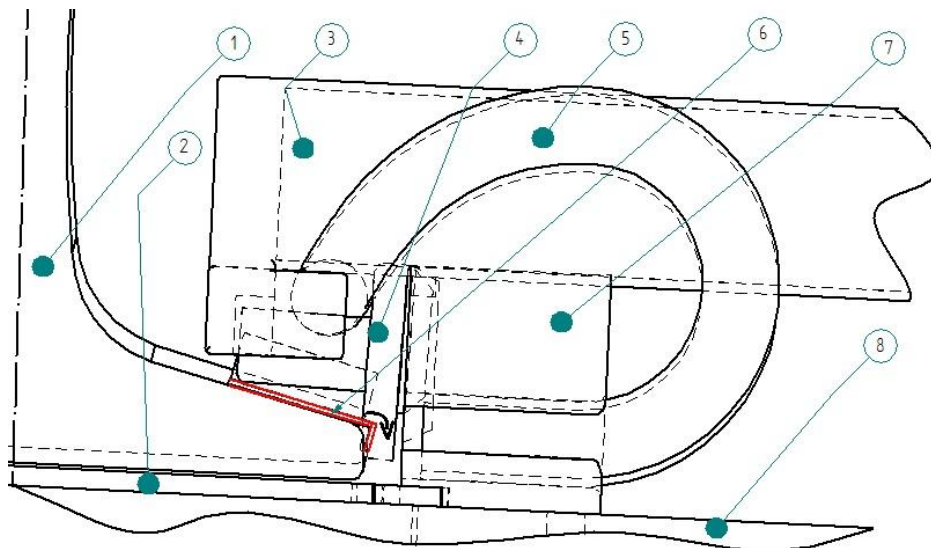


Рис. 5.4 Остаточна схема монтажу регулювальної пластини у скріпленні типу КПП-5:

- 1 – рейка; 2 – підрейкова прокладка; 3 – колійний пристрій;
4 – ізолюючий вкладиш; 5 – клема; 6 – регулювальна пластина;
7 – монолітний анкер; 8 – залізобетонна шпала.

Після установки регулюючої пластини у вузол проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 конструкція колійного пристрою може бути демонтована. Згідно з опитування працівників колійного господарства Укрзалізниці, було встановлено, що явище уgonу плітей безстикової колії відбувається, в основному, на кінцевих її ділянках, а точніше у зоні зрівнювальних прольотів. Тому вище розроблену кафедраю «Колія та колійне господарство» ДНУЗТу конструкцію пластини пропонується встановлювати по всій довжині пліті безстикової колії.

5.3 Дослідження підвищення стабільності роботи вузла скріплення типу КПП-5 із використанням регулюючої пластини

Як уже згадувалось вище, примусова горизонтальна деформація, що виникає при віджиманні вільного прутка клеми типу КПП-5 під час її монтажу на анкер колійним пристроєм, створює послаблення її жорсткісних характеристик в поперечно-горизонтальній площині, що суттєво впливає на процес силового ланцюжка – «рейка–клема–прокладка». З метою збільшення кількості разів виконання технологічного процесі «монтаж-демонтаж» пружної клеми проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 були проведені експлуатаційні експериментальні дослідження із використанням регулюючої пластини.

Для реалізації експерименту проводились дослідження з виконанням багаторазових процесів монтажу-демонтажу клем з одночасним визначенням її пружних деформацій (див. рис. 4.19). Другим етапом було встановлення регулюючої пластини у вузол скріплення типу КПП-5, яка розташовувалась між ізолюючим вкладишем та підшоною рейки згідно технології установки (див. рис. 5.3-5.4), та проведення такої ж самої кількості монтажу-демонтажу клеми у вузлі скріплення.

Дані експериментальних досліджень приведені у таблиці 5.1

Таблиця 5.1 Значення величини залишкової деформації клем типу КП при багато-цикловому виконанні «монтаж-демонтаж».

№ п/п	Величина пружної залишкової деформації клеми δ , мм
1	2
Без монтажу регулювальної пластини	
1	0
4	0,55
7	0,7
10	0,95
13	1,1
З використанням регулювальної пластини	
13	0
16	0,5
19	0,74
22	1,0
25	1,2

Оцінка величини пружної деформації клеми проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 в залежності від кількості монтажу-демонтажу зображена на рис. 5.5.

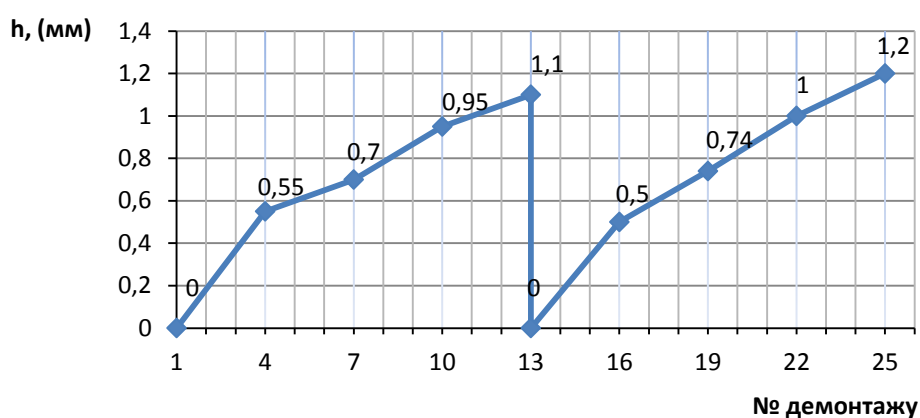


Рис. 5.5 Зміна пружної деформації клеми в залежності від кількості демонтажу з використанням регулювальних пластин

Згідно з проведеними експериментальними даними, можна зробити висновок, що з використанням регулюючої пластини кількість процесів

демонтажу пружної клеми збільшується в двічі, що суттєво продовжує її використання під час експлуатації в колії.

У випадку використання регулюючої пластини було визначено підвищення величини сили притискання рейки до підрейкової основи та погонного опору переміщенню рейкової нитки при проміжному рейковому скріпленні типу КПП-5. Дані розрахунків наочно зображені на рис. 5.6-5.7.

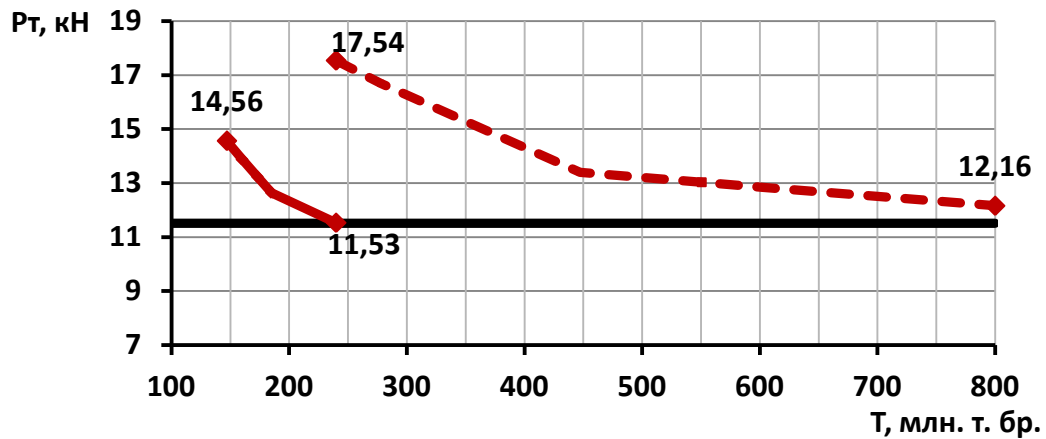


Рис. 5.6 Значення величини підвищення сили притискання клеми до підшви рейки з використанням регулюючих пластин

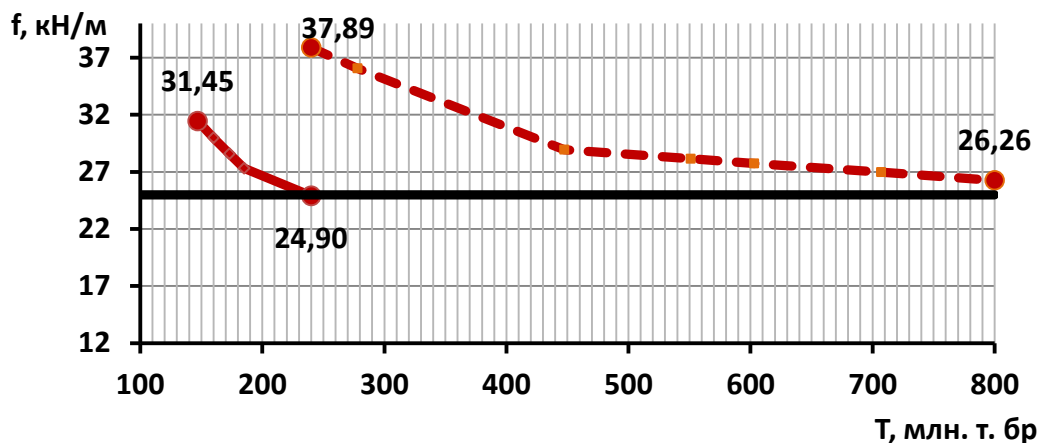


Рис. 5.7 Значення підвищення величини погонного опору зміщенню рейкової нитки з використанням регулюючих пластин

Із графіків 5.6 та 5.7, можна зробити висновок, що притискання рейки до підрейкової основи з $T=240$ млн. т. бр. при застосуванні регулюючих пластин підвищується на 34,26 %, а величина погонного опору зміщенню

рейкової нитки на 34,28 %. Одночасно з цим, збільшується і термін експлуатації вузла скріплення типу КПП-5 із одночасним забезпеченням оптимального рівня силового ланцюжка – «рейка-клема-прокладка» з $T=240$ млн. т. бр. до $T=800$ млн. т. бр. Тобто можна сказати, що забезпечується надійна робота всього вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 протягом усього терміну експлуатації.

Згідно [9], проміжне рейкове скріплення типу КПП-5 можна укладати на ділянках колії з вантажонапруженістю до 30 млн. т. км. бруто на км. за рік. Згідно з нормативною документацією, в залежності від швидкості руху вантажних та пасажирських поїздів буде виконуватись модернізація колії з міжремонтними періодами пропущеного тоннажу – 650 та 800 млн. т. бр.

На основі вище представлених досліджень та теоретичних розрахунків, автором даної роботи було запропоновано рекомендації щодо технології контролю та утримання залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 протягом всього міжремонтного терміну експлуатації [106]. Рекомендації щодо технології контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5 зображені на рис. 5.8-5.9.

Отримані в дисертації висновки та рекомендації щодо технології контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5 використовуються у навчальному процесі при підвищенні кваліфікації фахівців колійного господарства Укрзалізниці в Дніпропетровському національному університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (дод. Г.2).

В основному можна зробити висновок, що конструкція регулювальної пластини проста в експлуатації з точки зору монтажу та демонтажу, одночасно експлуатаційний ефект її дозволяє використовувати елементи проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 навіть тоді, коли вони уже втратили свої пружні властивості та силові характеристики під час експлуатації. Це одночасно зменшить витрати на закупку нових елементів вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5.

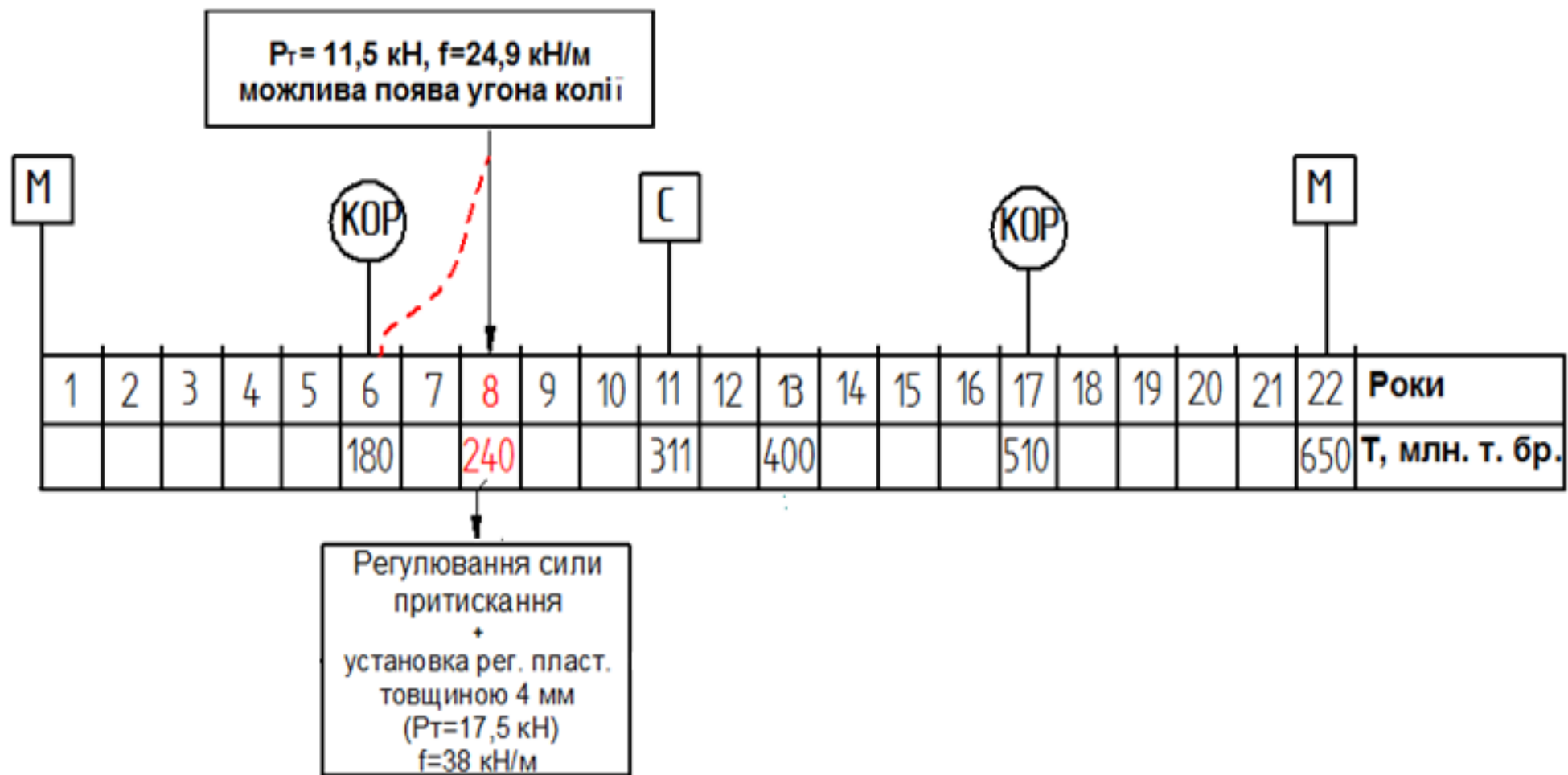


Рис. 5.8 Технологія контролю та утримання залізничної колії із рейковим скріпленням типу КПП-5 з використанням регулювальних пластин, товщиною – **4 мм** при міжремонтному періоді 650 млн. т. бр.

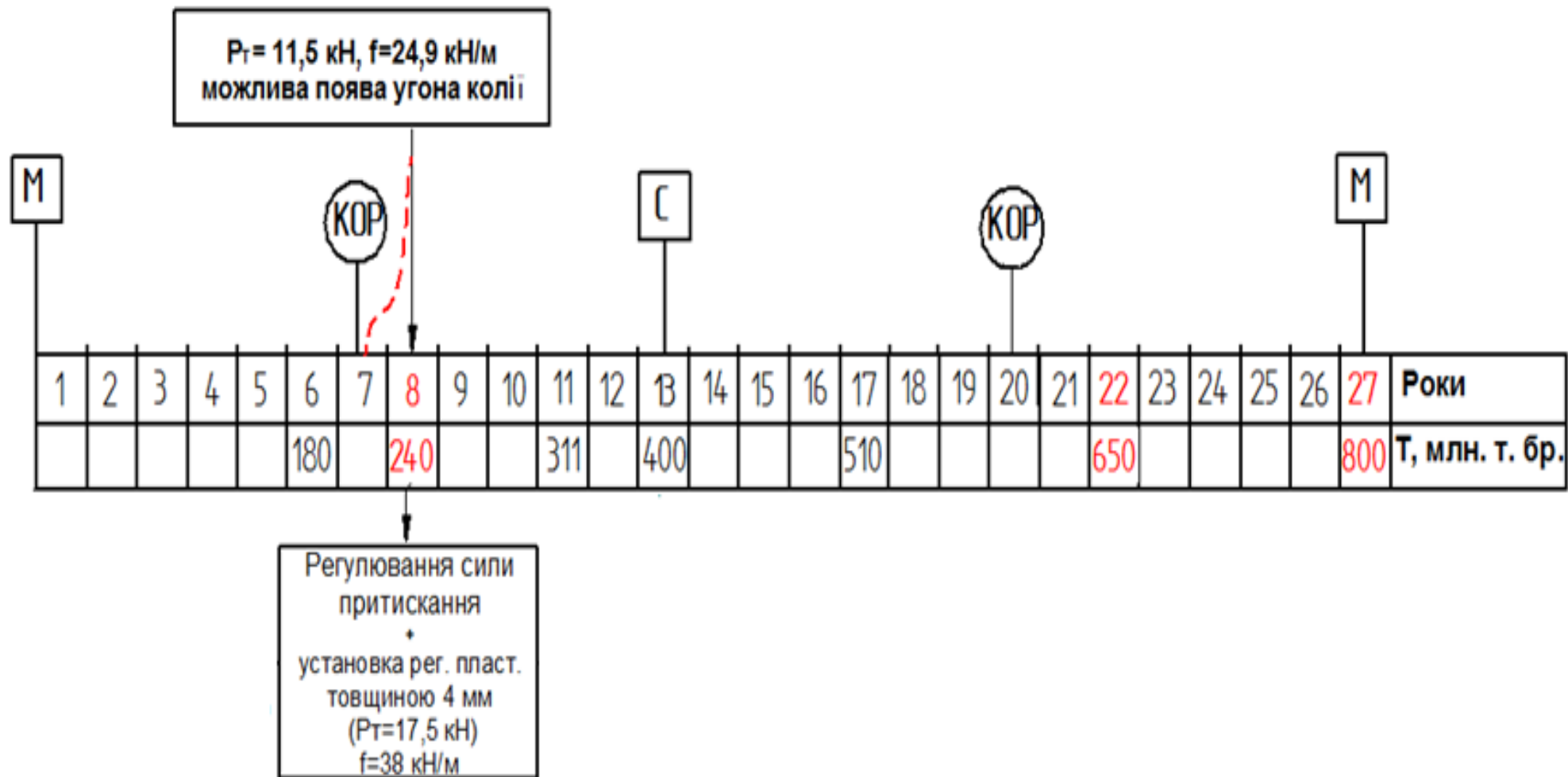


Рис. 5.9 Технологія контролю та утримання залізничної колії із рейковим скріпленням типу КПП-5 з використанням регулювальних пластин, товщиною – **4 мм** при міжремонтному періоді 800 млн. т. бр.

Відповідно схемам, зображених на рис. 5.8-5.9 необхідно виконувати регулювання сили притискання та підсилювати вузол проміжного рейкового скріплення регулювальними пластинами товщиною 4 мм уже після пропуску 240 млн. т. бр. вантажу.

За результатами опитування працівників колійного господарства: Львівської, Придніпровської, Одеської, Південно-Західної, Донецької та Південної залізниць було виявлено, що можливі випадки виникнення уgonу плітей безстикової колії найчастіше виникають в зоні зрівнювальних прольотів 3 метою можливого передбачення уgonу плітей безстикової колії температурно-напруженого типу пропонується підсилювати конструкцію колії із скріпленням типу КПП-5 по всій довжині рейкової пліті.

Згідно з [9, 99], вузол рейкового скріплення повинен забезпечувати значення погонного опору переміщенню рейкової нитки на величину не менше 25-30 кН/м.

5.4 Висновки до розділу 5

За нормативно-технічною документацією у безстиковій колії рейковій пліті та рейки зрівнювальних прольотів до залізобетонних шпал, дозволяється прикріплювати проміжними рейковими скріпленнями, що забезпечують достатній опір поздовжньому переміщенню рейкових плітей, який становить 25-30 кН/м. Згідно з цим досліджено, що мінімальне значення сили, при якій стабільно буде рейка притискатись до підрейкової основи із одночасним збереженням оптимальної величини опору поздовжньому переміщенню рейкової нитки, має бути $P_{\min} = 11,53$ кН при $T=240$ млн. т. бр. (див рис. 5.1).

Для попередження можливого виникнення уgonу плітей безстикової колії, при скріпленні типу КПП-5, а також прискореного подальшого руйнування окремих елементів вузла проміжного рейкового скріплення, що частково пов'язаного з недостатнім притисканням рейки до підрейкової

основи клемою типу КП-5 кафедрою «Колія та колійне господарство» ДНУЗТу у 2014 році розроблена конструкція регулювальної пластини (див. рис. 5.2), що призначені для підсилення та силової роботи вузла проміжного рейкового скріплення КПП-5 на протязі всього строку експлуатації. З метою підвищення надійної силової роботи вузла скріплення типу КПП-5 протягом усього міжремонтного періоду товщина регулюючої пластини згідно попередніх теоретичних та експериментальних досліджень, проектувалась товщиною 4 мм.

У 2014 році були проведені експериментальні полігонні дослідження із використанням регулюючої пластини. Методика експерименту проводилась на дослідженні зміни величини пружної деформації носика клеми в залежності від виконання багаторазових процесів монтажу та демонтажу клеми. Встановлено, що уже після першого виконання технологічного процесу «монтаж-демонтаж» клеми величина пружної деформації клеми становить 0,01 мм. Після встановлення регулювальної пластини у вузол проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, згідно технології встановлення (див, рис. 5.3.-5.4), кількість процесів демонтажу пружної клеми збільшується в двічі, що суттєво продовжує її використання під час зборки нових чи старопридатних рейко-шпальних решіток на ланко-збиральних базах КМС.

З метою підсилення силової роботи вузла рейкового скріплення типу КПП-5 у випадку використання регулюючої пластини під час експлуатації у колії згідно з графіків 5.6 та 5.7 встановлено, що сила притискання клеми до підшви рейки, починаючи з $T=240$ млн. т. бр., підвищується на 34,26 %, а величина погонного опору зміщенню рейкової нитки на 34,28 %. Одночасно забезпечується оптимальна робота силового ланцюжка – «рейка-клема-прокладка» протягом з $T=240$ млн. т. бр. до $T=800$ млн. т. бр.

З метою підсилення надійної силової роботи конструкції, та запобігання можливого уgonу плітей безстикової колії встановлено, що використання регулюючих пластин доцільно застосовувати під час

експлуатації проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 в колії. Дана регулююча пластина проста по конструктивним параметрам так, як не потребує багато витрат матеріалу на виготовлення.

Експлуатаційним ефектом являється те, що після встановлення регулюючої пластини вперше появляється можливість використовувати проміжні елементи рейкового скріплення типу КПП-5 навіть тоді, коли вони уже втратили свої пружні властивості та силові характеристики під час експлуатації, що одночасно зменшить витрати на закупку нових елементів вузла рейкового скріплення.

6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ЗАПРОПОНОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО УТРИМАННЮ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ІЗ СКРІПЛЕННЯМ ТИПУ КПП-5

6.1 Обґрунтування методики розрахунку

Техніко-економічні розрахунки є заключним етапом при виборі конструкції верхньої будови колії (далі ВБК). Саме ці розрахунки дозволяють вибрати раціональну конструкцію ВБК для заданих умов експлуатації. Окремою задачею даних досліджень був вибір методики техніко-економічного порівняння варіанта ВБК при існуючих нормах, та з використанням регулюючих пластин при утриманні залізничної колії із скріпленням типу КПП-5. Для цього було проаналізовано дослідження [16, 107-109, 110, 111] видатних вчених колійників, які одночасно займались питаннями методології техніко-економічних розрахунків у колійному господарстві.

Аналіз вище зазначених досліджень дав змогу зробити наступний висновок: найбільш поширеною, апробованою та такою, що дозволяє проаналізувати економічну ефективність роботи даного варіанту ВБК на протязі всього міжремонтного терміну експлуатації, є методика, що базується на аналізі сумарних приведених витрат

$$П_i = K_i + \sum_{t=1}^{t_{kp}} E_{ti} \eta_i + \sum_{t=0}^{t_{kp}} C_{ti} \eta_t, \quad (6.1)$$

де K_i – капітальні вкладення на укладку i -того варіанту конструкції колії, *грн./км* (витрати на капітальні ремонти колії);

E_{ti} – річні експлуатаційні витрати по i -му варіанту, *грн./км за рік*;

C_i – одночасні витрати (на комплексно-оздоровчі, середні та інші ремонти) по i -му в кожному конкретному році t_i , *грн./км*;

t_i – рік, в котрому визначають витрати;

$t_{кр}$ – строк служби найбільш довгострокового варіанту конструкції колії років;

η_t – коефіцієнт віддалення витрат (коефіцієнт дисконтування).

Коефіцієнт віддалення витрат визначається за наступною формулою:

$$\eta_t = \frac{1}{(1 + E_{nn})^t}, \quad (6.2)$$

де E_{nn} – норматив для приведення різночасних витрат (нормативний коефіцієнт ефективності) $E_{nn} = 0,08$, приймається таким для об'єктів залізничного транспорту при нормативному строку окупності $t_n = 10-12$ років.

Обрана методика розрахунків дозволяє врахувати те, що терміни служби елементів ВБК та проведення ремонтів конструкцій, що розглядаються, неоднакові. Відмінності в експлуатаційних витратах виникають не одразу, а самі витрати нерівномірно розподілені по роках. Тобто, при вирішенні задач вибору варіанта, типу і конструкції колії обрана методика дозволяє врахувати нерівномірність експлуатаційних витрат, багатоетапність капітальних вкладень і одночасних витрат. Саме тому для практичних інженерних розрахунків по техніко-економічному порівнянню варіантів конструкції залізничної колії слід рекомендувати методику, що базується на аналізі сумарних приведених витрат. Обрана методика потребує даних щодо виходу елементів колії з ладу, інших параметрів залежно від строку служби (тоннажу), що нормативами не завжди враховуються, але цей метод дозволяє найбільш обґрунтовано прийняти раціональну конструкцію колії порівняно з іншими.

Для проведення техніко-економічних розрахунків треба знати параметри й етапність капітальних вкладень та одночасних витрат, як і експлуатаційних витрат, враховуючи амортизаційні відрахування. При визначенні цих параметрів необхідно знати види ремонтів, які

застосовуються до ВБК, а також вартості цих ремонтів і поточного утримання колії. Для призначення ремонтів необхідно, насамперед, вміти визначити терміни служби елементів ВБК (рейок, скріплень, шпал і баласту). Вихідні дані для розрахунків слід обирати з наступних джерел:

- види, періодичність та критерії призначення ремонту, а також міжремонтні схеми згідно з [112];
- вартості ремонтів – фактичні середні витрати по службі колії даної залізниці;
- вихід елементів ВБК – за розрахунками, з врахуванням експлуатаційних умов (вантажонапруженість, середні осьові навантаження, швидкість, тощо);
- витрати на оплату праці при поточну утриманні, та виконанні проміжних ремонтів колії.

6.2 Визначення експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати обумовлені необхідністю утримання колії у стані, що дозволяє попередити залишкові деформації (ступені несправностей), які вимагають обмеження швидкості руху. Експлуатаційні витрати на поточне утримання колії залежать від багатьох факторів, що впливають на накопичення залишкових деформацій колії та дефектів елементів ВБК. Представлена нижче методика враховує всі фактори, що впливають на експлуатаційні витрат на поточне утримання.

6.2.1 Визначення термінів служби рейок по зносу

За термін служби рейок приймається період від їх укладання до суцільної заміни на одній ділянці. При досягненні гранично допустимого зносу проводиться суцільна заміна рейок. Пропущений тоннаж, який відповідає гранично допустимій площі зносу головки, визначається за формулою:

$$T_p = \frac{\omega_0}{\beta_0}, \quad (6.3)$$

де ω_0 – гранично допустима площа зносу головки, мм^2 ;

β_0 – питомий знос.

Допустима площа зносу визначається за допустимої глибини зносу h_0 , мм з виразу:

$$\omega_0 = b \cdot h_0 - \varepsilon, \quad (6.4)$$

де b – ширина головки рейки по верху, мм , (для Р65 $b=75 \text{ мм}$), $h_0=9 \text{ мм}$ та 8 мм , що залежить від швидкості руху на ділянці та категорії колії;

$\varepsilon=70 \text{ мм}^2$ – зменшення допустимої площі за рахунок спотворення обрису головки при зносі.

Інтенсивність зносу, віднесена до 1 млн. т пропущеного вантажу, можна представити у вигляді:

$$\beta_0 = \beta_{cp} \cdot c \cdot K \cdot \lambda, \quad (6.5)$$

де β_{cp} – середньозважене по типах рухомого складу та режимах руху поїздів значення питомого зносу для початкової конструкції колії;

c – параметр впливу типу рейок, для Р65 $c=0,9$;

K – коефіцієнт якості рейкової сталі, для нетермозміцнених $K=1.0$, а для термозміцнених $K=0.7$ [110-111];

λ – параметр впливу плану лінії в кривих.

Параметр впливу плану лінії в кривих визначається з виразу:

$$\lambda_R = \frac{900}{R} + \frac{100000}{R^2}. \quad (6.6)$$

Середньозважене значення для прямих і кривих різних радіусів протяжністю l_i знаходиться за формулою:

$$\lambda_{cp} = \frac{\sum \lambda_i \cdot l_i}{\sum l_i}. \quad (6.7)$$

Щоб визначити середньозважене значення β_{cp} :

- за табличними даними приймаються значення питомого зносу для різних режимів руху заданого рухомого складу ($\beta_{л}$ і $\beta_{в}$);
- визначається питомий знос для поїзда заданої маси в кожному режимі руху:
- розраховується середньоквадратичне по всій ділянці:

$$\beta_n = \frac{\beta_{л} \cdot Q_{л} + \beta_{в} \cdot Q_{в}}{Q_{л} + Q_{в}}, \quad (6.8)$$

де $Q_{л}$, та $Q_{в}$ - відповідно маса рухомого складу, локомотива та вагона

- розраховується середньоквадратичне по типах рухомого складу та режимах руху поїздів значення питомого зносу для початкової конструкції колії по всій ділянці за формулою:

$$\beta_{cp} = \frac{\beta_n^{TB} \cdot l_{TB} + \beta_n^{TC} \cdot l_{TC} + \beta_n^{DB} \cdot l_{DB} + \beta_n^{TOP} \cdot l_{TOP}}{l_{TB} + l_{TC} + l_{DB} + l_{TOP}}. \quad (6.9)$$

Термін служби рейок в роках визначається за формулою:

$$t_p = \frac{T_p}{\Gamma}, \quad (6.10)$$

де Γ – вантажонапруженість на ділянці.

Розрахунки інтенсивності зносу для окремих рухомих складів і для поїздів було розраховано у табличному вигляді (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 Розрахунок інтенсивності зносу головки рейки

Напрямок і режим руху поїзда	Протяжність ділянок в % від всієї довжини	Інтенсивність зносу, мм ² /млн.т.бр			
		Для екіпажів		Для поїзда $\beta_{\text{п}}$	Середня по всій довжині ділянки $\beta_{\text{ср}}$
		$\beta_{\text{л}}$	$\beta_{\text{в}}$		
ТБ	33,3	20	0,35	1,25	0,95
ТС	33,3	12	0,35	0,88	
ДБ	16,7	0,7	0,35	0,37	
Т _{ор}	16,7	1,05	1,05	1,05	

Порівнюємо отримані результати із нормативними і приймаємо менші. Призначення по пропущеному тоннажу, виходячи з допустимої площі зносу головки рейки, рівні: 650 та 800 *млн. т. бр.* – для рейок типу Р65.

Термін служби рейок у роках складатиме:

- при $T=650$ *млн. т. бр.* та $\Gamma=30$ *млн. т. км. бр. на км за рік* – 22 роки;
- при $T=800$ *млн. т. бр.* та $\Gamma=30$ *млн. т. км. бр. на км за рік* – 27 років.

6.2.2 Визначення витрат на заміну шпал

Оскільки у даній роботі розглядається економічне порівняння варіанта ВБК при існуючих нормах та з використанням регулюючих пластин при утриманні залізничної колії із скріпленням типу КПП-5, в основу входила методика розрахунку строку служби залізобетонних шпал.

Терміни служби залізобетонних шпал значно вищі, ніж дерев'яних при різних умовах експлуатації. Це обумовлено, насамперед, відсутністю деформації зминання під підкладкою і гниття матеріалу від природних впливів, що властиве дерев'яним шпалам. Для визначення сумарного виходу залізобетонних шпала сучасного виробництва рекомендується користуватись наступними формулами на основі досліджень проф. Г. Е Андреева (при рейках Р65 та осьових навантаженнях $P_{\text{ос}}^{\text{ср}} = 135 - 150$ *кН/вісь*).

Сумарний вихід шпал за загальною дефектністю визначається за формулою:

$$\gamma = 0,274 \cdot 10^{-6} \cdot N \cdot T^2, \quad (6.11)$$

де N - кількість шпал на 1 км;

T – пропущений тоннаж, *млн. т. брутто*.

При безпідкладочних скріпленнях термін служби залізобетонних шпал суттєво зменшується через значно більші напруження, що виникають у зоні обпирання рейки в середньому через переріз шпал. У першому наближенні (до отримання більш досконалих даних) можна рекомендувати у прогностичних розрахунках зменшувати термін служби залізобетонних шпал порівняно з підкладочними у 1,8-2 рази, тобто пропорційно зменшенню площі обпирання рейок на шпали порівняно з площею обпирання підкладок.

Поодинокий річний вихід для сучасних конструкцій залізобетонних шпал у i -ому році в *шт/км на рік* пропонується визначити за формулою:

$$\gamma_{1-i} = \frac{\gamma(T_i^2 - T_{i-1}^2)}{T_i^2}, \quad (6.12)$$

де γ - сумарний вихід шпал на 1 км, *шт./км*;

T_i - пропущений тоннаж на поточний рік, *млн. т. брутто*;

T_{i-1} - пропущений тоннаж на рік перед розрахунковим, *млн. т. брутто*.

Якщо позначити питомий вихід залізобетонних шпал, віднесений до 1 км колії за час проходження 1 млн. т. вантажу через $\beta_{ш}$ (*шт/км на 1 млн. т. брутто*), то при постійній вантажонапруженості можна записати, що:

$$\beta_{ш} = \frac{\gamma}{T}. \quad (6.13)$$

При постійній вантажонапруженості розрахунковий строк служби шпал t (у роках) можна визначити за наступною залежністю:

$$t = \frac{\gamma}{\beta_{ш}}. \quad (6.14)$$

6.2.3 Визначення витрат на заміну проміжних рейкових скріплень

Кількість проміжних рейкових скріплень $n_{скр}$, що виходять з ладу між капітальними ремонтами, слід приймати за табл. Д.10.1 [9] для відповідного виду ремонту, але пропорційно пропущеному тоннажу.

Витрати з одиночної заміни проміжних рейкових скріплень можна визначати за формулою:

$$E_{скр} = k_M \cdot n_{скр} \cdot C_{скр}, \quad (6.15)$$

де $C_{скр}$ - вартість одного комплексу скріплень, грн.

6.2.4 Визначення витрат на поповнення баласту

Витрати на заміну баласту та його вартість, що пов'язана з об'ємами виправних робіт і витратами праці на поточне утримання колії, визначається за формулою:

$$E_B = H_{розр}^{ПУ} \cdot n \cdot k \cdot m \cdot k_{ДР}^B \cdot C_B, \quad (6.16)$$

де $H_{розр}^{ПУ}$ - витрати праці на поточне утримання колії, *чол./км в рік* (формула 6.18);

n - кількість робочих днів у році;

k - частка робіт із виправки колії від усіх робіт з поточного утримання ($k = 0,45$ - для залізобетонних шпал);

m - витрати баласту, $м^3 / \text{чол.}$ - день (для щебеню $m = 0,10$ при залізобетонних шпалах);

$k_{др}^Б$ - коефіцієнт, що враховує довжину рейки ($k_{др}^Б = 0,95$ при рейках довжиною 25 м, $k_{др}^Б = 0,8$ при безстиковій колії на залізобетонних шпалах);

C_B - вартість 1 $м^3$ баласту, *грн.*

6.2.5 Визначення витрат на оплату праці при поточному утриманні колії

Витрати на оплату праці при поточному утриманні колії визначають за формулою:

$$E_{PC}^{ПУ} = 12 \cdot P_{CP} \cdot k_n \cdot k_p \cdot H_{розр}^{ПУ}, \quad (6.17)$$

де 12 - кількість місяців у році;

P_{CP} - середньомісячна заробітна плата одного монтера колії, *грн./міс*;

k_n - розрахункова до фонду заробітної плати ($k_n = 1,3 - 1,4$);

k_p - поясний (районний) коефіцієнт нарахування заробітної плати;

$H_{розр}^{ПУ}$ - розрахункова норма витрат праці на поточне утримання колії

1 км колії *чол./рік*, визначається за формулою:

$$H_{розр}^{ПУ} = H_{ТАБЛ} \cdot \prod_{i=1}^{i=n} k^i + \sum_{\gamma=1}^{\gamma=m} D_{\gamma}, \quad (6.18)$$

де $H_{ТАБЛ}$ - норма витрат праці (чол.) на 1 км розгорнутої довжини колії, що визначається за таблицею залежно від типу ВБК та вантажонапруженості (див. дод. В [73], таблиця В.7-В.9);

$$\prod_{i=1}^{i=n} k^i = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot k_7 - \text{добуток поправочних коефіцієнтів}$$

($i=1,2,\dots,7$)), які залежать від: конструкції колії k_1 ; плану лінії k_2 ; швидкості руху поїздів k_3 ; наявності штучних споруд k_4 ; ділянок з інтенсивним приміським рухом k_5 ; умов механізації робіт по поточному утриманню k_6 ; планового коефіцієнту зниження $H_{ТАБЛ}$, $k_7 = 0,91$ (див. В.10 [73]);

$$\sum_{\gamma=1}^n D_{\gamma} (\gamma=1,2,3) - \text{сума додаткових витрат праці (чол. на рік на 1 км.}$$

колії), залежно від умов експлуатації $\sum_{\gamma=1}^n D_{\gamma} = D_{\gamma 1} + D_{\gamma 2} + D_{\gamma 3}$ (приймається по табл. В.11 згідно додатку В [73]).

6.2.6 Визначення витрат на поточне утримання колії

Експлуатаційні витрати визначають за формулою:

$$E = E_{PC}^{IV} + E_{3AM} + \alpha_p, \quad (6.19)$$

де E_{PC}^{IV} - витрати на оплату праці (на робочу силу) при поточному утриманні, грн./км в рік;

E_{3AM} - витрати на заміну елементів ВБК при поточному утриманні, грн./км в рік;

α_p - амортизаційні відрахування на реновацію (відновлення вартості верхньої будови колії), (амортизаційні відрахування на реновацію верхньої будови колії беруться в розмірі 0,2 % від вартості модернізації колії, тобто $\alpha_p = 0,002 \cdot K_i$).

Витрати на одиночну заміну елементів верхньої будови колії визначаються за формулою:

$$E_{\text{зам}} = E_P + E_{\text{СК}} + E_{\text{Ш}}^{\text{зб}} + E_B, \quad (6.20)$$

де E_P - витрати на одиночну заміну рейок, грн./км. за рік;

$E_{\text{СК}}$ - витрати на одиночну заміну скріплень, грн./км. за рік;

$E_{\text{Ш}}^{\text{зб}}$ - витрати на заміну шпал, грн./км. за рік;

E_B - витрати на поповнення баласту при поточному утриманні, грн./км. за рік.

Вартість матеріалів визначається за середньо мережевими калькуляціями, а кількість матеріалів, що замінюється при поточному утриманні колії, визначається за нормами річного виходу матеріалів з урахуванням фактичних експлуатаційних умов. Згідно вище представлених розрахункових формул сумарні приведені витрати зводяться в таблицю 6.2.

6.3 Встановлення періодичності ремонту колії

По термінам служби основних елементів верхньої будови колії намічаються періодичності ремонтів. Розрахунковий термін служби рейок приймається за період між модернізаціями, термін служби шпал по всім варіантам більший за термін служби рейок, а період між очищеннями баласту – половину терміну між модернізаціями. Тому в період між двома модернізаціями достатньо передбачити один середній ремонт. Комплексно-оздоровчий ремонт плануємо між модернізаціями і середніми ремонтами так, щоб по мірі збільшення пропущеного тоннажу період між ремонтами зменшився. За отриманими даними побудуємо графік періодичності ремонтів, що зображений на рисунку 6.1. Графік сумарних приведених витрат, що дозволяє визначити термін окупності і техніко-економічний ефект від впровадження нових, запропонованих автором рекомендацій зображено на рис. 6.2.

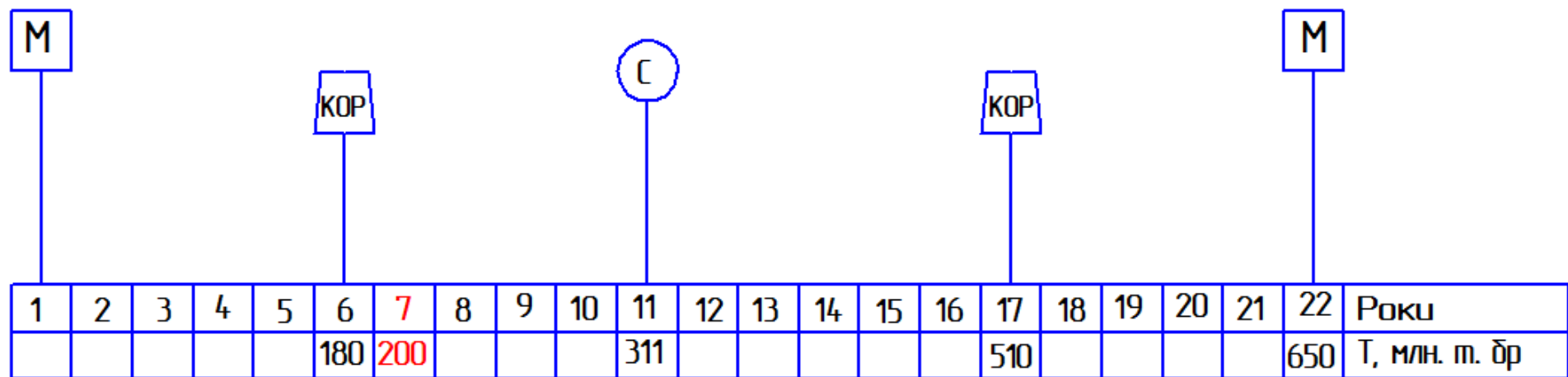


Рис. 6.1 Графік періодичності проведення ремонтів залізничної колії із використанням проміжного рейкового скріплення типу КПП-5

Таблиця 6.2 Сумарні приведені витрати

		Роки													
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1) Коефіцієнт дисконтування		0,9259	0,8573	0,7938	0,7350	0,6806	0,6302	0,5835	0,5403	0,5002	0,4632	0,4289	0,3971	0,3677	0,9259
I варіант	2) Витрати на ремонти	2393798						35000					190000		
	3) Витрати на Вікна	5565						2357,5					4017,5		
	4) Витрати на ПУ		56451,20	56451,20	56451,20	56451,20	56451,20	549645,33	549197,31	549197,3	549197,31	549197,31	554155,41	549197,31	549197,31
	5) Сумарні річні витрати	2399363	56451,20	56451,20	56451,20	56451,20	56451,20	587002,83	56451,20	56451,20	56451,20	56451,20	748172,91	56451,20	56451,20
	6) Приведені річні витрати	2399363	52269,63	48397,81	44812,78	41493,32	38419,74	369911,35	32938,733	30498,827	28239,654	26147,828	320878,54	22417,548	20756,989
	7) Накопичувальні витрати	2399363	2451633	2500030	2544843	2586337	2624756	2994667,6	3027606,4	3058105,2	3086344,8	3112492,7	3433371,2	3455788,8	3476545,7
II варіант	2) Витрати на ремонти	2393798						35000					185385,64		
	3) Витрати на Вікна							2357,5					4017,5		
	4) Витрати на ПУ		56451,20	56451,20	56451,20	56451,20	56451,20	56899,22	52923,20	52923,20	52923,20	52923,20	75902,77	52923,20	52923,20
	5) Сумарні річні витрати	2399363	56451,20	56451,20	56451,20	56451,20	56451,20	94256,72	52923,20	52923,20	52923,20	52923,20	265305,91	52923,20	52923,20
	6) Приведені річні витрати	2399363	52269,3	48397,8	44812,7	41493,2	38419,7	59397,7	30880,1	28592,7	26474,8	24513,7	113785,2	21016,5	19459,7
	7) Накопичувальні витрати	2399363	2451632	2500030	2544843	2586336	2624756	2684153	2715034	2743626	2770101	2794615	2908400	2929417	2948876
		Роки													
		14	15	16	17	18	19	20	21	22					
1) Коефіцієнт дисконтування		0,3405	0,3152	0,2919	0,2703	0,2502	0,2317	0,2145	0,1987	0,1839					
I варіант	2) Витрати на ремонти				35000					2393798					
	3) Витрати на Вікна				2357,5					498311,11					
	4) Витрати на ПУ	549197,31	549197,31	549197,31	549645,33	549197,31	549197,31	549197,31	549197,31						
	5) Сумарні річні витрати	56451,20	56451,20	56451,20	587002,83	56451,20	56451,20	56451,20	56451,20	1523583,23					
	6) Приведені річні витрати	19219,434	17795,773	16477,567	158648,64	14126,858	13080,424	12111,504	11214,355	280248,672					
	7) Накопичувальні витрати	3495765,2	3513561	3530038,5	3688687,2	3702814	3715894,4	3728005,9	3739220,3	4019469					
II варіант	2) Витрати на ремонти				30385,64					2393798					
	3) Витрати на Вікна				2357,5					5565					
	4) Витрати на ПУ	52923,20	52923,20	52923,20	71392,69	74976,67	52923,20	52923,20	52923,20						
	5) Сумарні річні витрати	52923,20	52923,20	52923,20	104135,83	52923,20	52923,20	52923,20	52923,20	1523583,23					
	6) Приведені річні витрати	18018,29	16683,60	15447,78	28144,68	13243,98	12262,94	11354,58	10513,50	280248,67					
	7) Накопичувальні витрати	2966895	2983578	2999026	3027171	3040415	3052678	3064032	3074546	3294238					

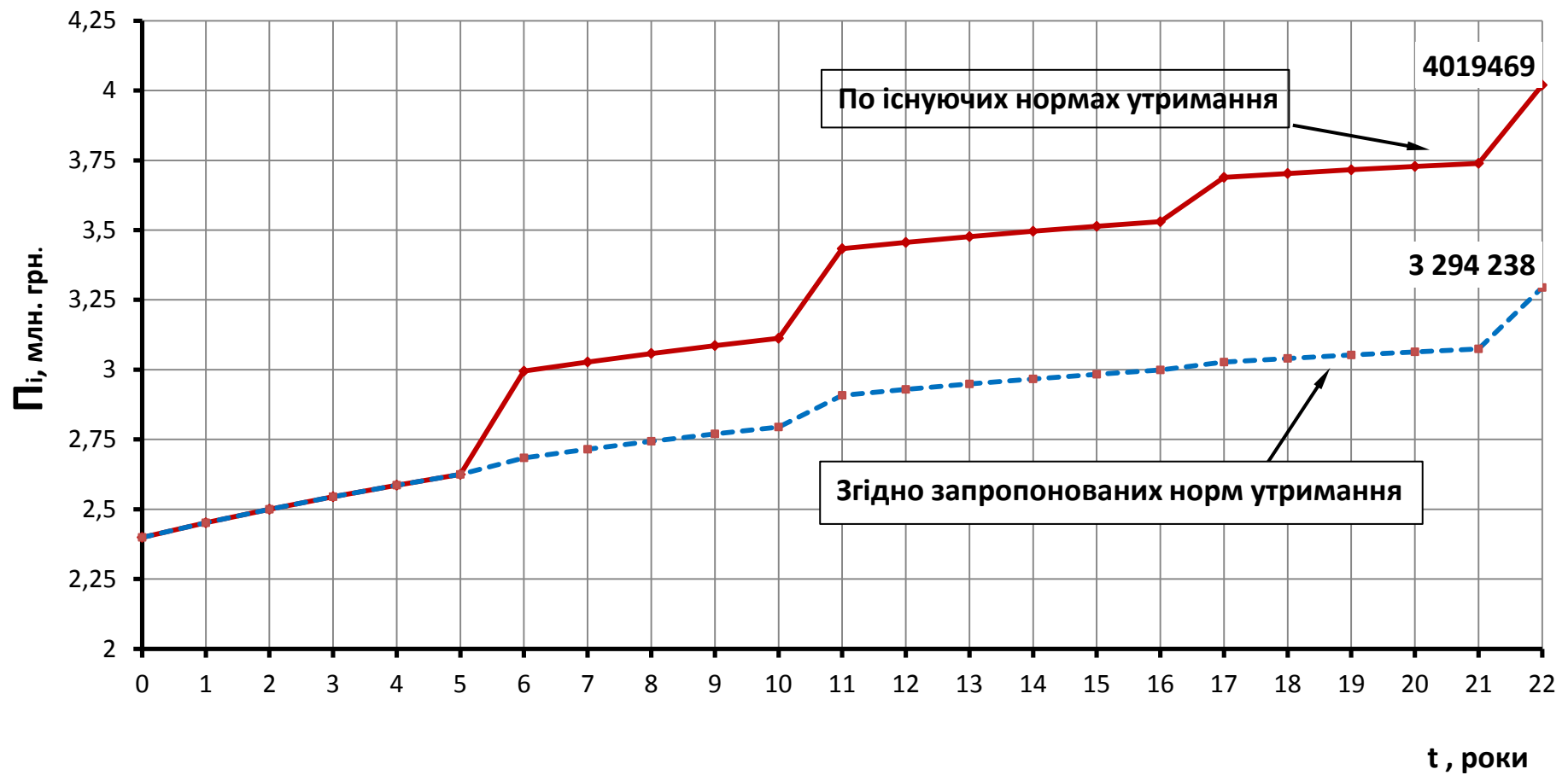


Рис. 6.2 Порівняльний графік сумарних приведених витрат на утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5 по існуючих нормативах та по запропонованій технології контролю та утримання

Із таблиці сумарних приведених затрат (див табл.6.2) встановлено, що використання запропонованої технології контролю та регулювальних пластин з метою підсилення конструкції вузла проміжного рейкового кріплення типу КПП-5 протягом усього міжремонтного терміну дозволяє економити практично по всіх видах проміжних ремонтів та поточного утримання. Звітні дані по процентному співвідношенню існуючих нормативів утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5 та запропонованих зображено графічно на рис. 6.3.

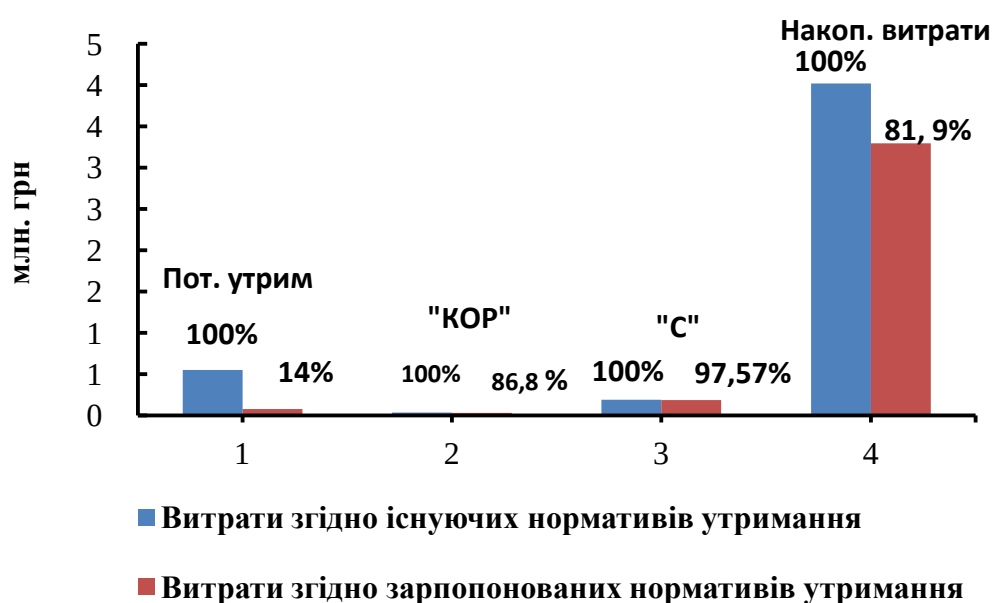


Рис. 6.3 Економічний ефект від впровадження запропонованої технології контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5

За результатами розрахунків техніко-економічного ефекту встановлено, що при застосуванні запропонованої технології контролю та утримання економія коштів 1 км залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 складає 725231,00 тис. грн. Це в основному за рахунок зменшення витрати часу на заміну елементів вузла скріплення, та економії матеріалів ВБК. Одночасно це дає можливість збільшити термін служби проміжних елементів вузла скріплення типу КПП-5 до кінця міжремонтного терміну експлуатації.

При поточному утриманні одного кілометра залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 річна економія складає 470692,64 тис. грн., що становить 86 % від витрат при існуючих нормативах.

6.4 Висновки до розділу 6

Результати досліджень, викладених у даному розділі дають зробити наступні висновки.

1. З метою передчасного виходу елементів вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 з ладу, необхідно врахувати використання конструкції колійного пристрою для визначення пружних характеристик клеми та визначення її сили притискання до рейки з метою перевірки силового ланцюжка «рейка-клема-прокладка».

2. Економічний ефект від використання регулювальних пластин під час утримання 1 км залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 за весь міжремонтний термін дозволить зменшити витрати на 725231,00 тис. грн., в основному, за рахунок зменшення витрати часу на заміну елементів вузла скріплення, та економії матеріалів ВБК.

3. Щорічний економічний ефект від впровадження запропонованої технології контролю та практичних засобів при поточному утриманні складає 470692,64 тис. грн., що становить 86 % від витрат при існуючих нормативах.

4. Економія коштів на проведення комплексно-оздоровчого ремонту (КОР) від впровадження запропонованої технології контролю та практичних засобів складає 13 % від витрат при існуючих нормативах.

5. Економія коштів на проведення середнього ремонту колії від впровадження запропонованої технології контролю та практичних засобів складає 2,5 % від витрат при існуючих нормативах утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень вирішена важлива науково-практична задача розробки технології контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5. Отримані результати у сукупності мають суттєве значення для колійного господарства залізничного транспорту України.

Основні наукові результати, висновки та практичні рекомендації полягають в наступному.

1. Аналіз розвитку існуючих досліджень показав, що підчас тривалої експлуатації у скріпленні типу КПП-5 виявляється ряд недоліків, пов'язаних із передчасним виходом його елементів з ладу. Причиною цього є недостатньо вивчена силова робота в колії пружних елементів вузла скріплення. Згідно існуючої нормативно-технічної документації, елементи скріплення ремонту не підлягають, а замінюються на нові. Отже, існує проблема, пов'язана з відсутністю методики та технології контролю і утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5.

2. Застосування розробленої математичної моделі взаємодії рухомого складу та залізничної колії із скріпленням типу КПП-5, що базується на базі «МКЕ», дозволяє підвищити точність теоретичних розрахунків з дослідженням найбільш імовірних місць появи напруженого стану в елементах вузла скріплення, за рахунок якісного збігу результатів моделювання з експериментальними. Середні значення НС в прутках клеми відрізняються від експериментальних: для локомотивів – на 5,2 %; для вагонів – на 3,3 %.

3. Доведено, що в місцях технологічних згинів прутка клеми середні значення напружень згину по зовнішній стороні рейкової нитки на 48-50 % менше, ніж напруження, які виникають в прутках клеми по внутрішній стороні рейкової нитки.

4. З метою контролю силової роботи вузла рейкового скріплення типу КПП-5 розроблена конструкція колійного пристрою, для визначення пружності

та сили притискання клеми при скріпленні типу КПП-5.

5. Дослідження по впливу різних факторів на процес зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи при скріпленні типу КПП-5 у %-му співвідношенні показують, що за рахунок релаксації клеми 26 %, зношення підрейкової прокладки -55,7 %, центрування отворів анкерів 18 %, виконання технологічного процесу – «монтаж-демонтаж» 0,12 %. Ізолюючий вкладиш типу ВПІ не приймали до уваги, так як зношення опорної його поверхні, що примикає до підшви рейки підчас полігонних досліджень не спостерігалось. Передбачуване значення зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи протягом 0-800 *млн. т. бр.* з врахуванням впливу вище приведених факторів може досягати $4,9 \approx 5$ *кН*. Мінімальне значення сили, при якій стабільно буде притискатись рейка до підрейкової основи із одночасним збереженням оптимальної величини опору поздовжньому переміщенню рейкової нитки має бути 11,5 *кН* при 240 *млн. т. бр.*

6. Розроблена технологія контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5. Із використанням регулювальних пластин (товщина 4 *мм*) при пропущеному тоннажі 240 *млн. т. бр.*, сила притискання клеми до підшви рейки починаючи з 240 *млн. т. бр.* підвищується на 34,2 % а величина погонного опору зміщенню рейкової нитки на 34,3 %. Одночасно забезпечується оптимальна робота силового ланцюжка – «рейка-клема-прокладка» протягом з 240 *млн. т. бр.* до 800 *млн. т. бр.*

Економічний ефект від впровадження розробленої технології контролю та утримання на 1 *км* залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 при поточному утриманні складає що становить – 86 %, при комплексно-оздоровчого ремонті 13 %; при середньому ремонті колії 2,5 %. За весь міжремонтний термін дозволить зменшити витрати на 18,04 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Афанасьев В. Ф. Упругие скрепления для деревянных и железобетонных шпал //Путь и путевое хозяйство. – М.:, 2000. № 3. – С. 23-25.
2. Бесстыковой путь / Под ред. В. Г. Альбрехта и А. Я. Когана. – М.: Транспорт, 2000. – 408 с.
3. Вериги М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава. / М. Ф. Вериги, А. Я. Коган. М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
4. Говоруха В. В. Современные конструкции промежуточных рельсовых скреплений // Геотехническая механика. – Вып. 31. – Днепропетровск, 2002. – С. 49-77.
5. Говоруха В. В. Упругие элементы промежуточных рельсовых скреплений // Геотехническая механика. – Вып. 31. – Днепропетровск, 2002. – С. 78-94.
6. Ермаков В. М. Оценка качества и совершенствование элементов верхнего строения //В. М. Ермаков, В. М. Федин, А. И. Борц // Путь и путевое хозяйство. – М., 2000. - № 3. – С. 20-23.
7. Железнодорожные шпалы для рельсового пути / А. Ф. Золотарский, Б. А. Евдокимов, Н. М. Исаев и др.; Под ред. А. Ф. Золотарского. – М.: Транспорт, 1980. – 270 с.
8. Иванов И. А. Новый тип скрепления рельсов к стабильному основанию // И. А. Иванов, И. В. Амеличев // Применение железобетона в верхнем строении железнодорожного пути: Сб. науч. тр. / Под ред. И. В. Амеличева. М.: Транспорт, 1984. – 120 с.
9. Інструкція з улаштування та утримання колій залізниць України.(ЦП0269) / Е. І. Даниленко, А. М. Орловський, М. І. Карпов, В. О. Яковлев, В. В. Рибкін, О. М. Патласов та ін./ – К.: Транспорт України, 2012. – 358 с.

10. Карпущенко Н. И. Совершенствование рельсовых креплений / Н. И. Карпущенко, Н. И. Антонов. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2003. – 300 с.
11. Купцов В. В. Современные конструкции и параметры промежуточных рельсовых креплений для железобетонных шпал // Повышение надежности работы верхнего строения пути. – М.: Интекст, 2000. – С. 100-129.
12. Управление надежностью бесстыкового пути / Под ред. В. С. Лысюка. – М.: Транспорт, 1999. – 373 с.
13. Хвостик Г. С. Крепление рельсов к безбалластному эстакадному основанию // Применение железобетона в верхнем строении железнодорожного пути: Сб. науч. тр.; Под ред. И. В. Амеличева. – М.: Транспорт, 1984. – 120 с.
14. Твердомед В.М. Проміжні рейкові скріплення / В.М. Твердомед // Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту. – Вип. 1-2. – Київ: КУЕТТ. – 2003. – С. 36-41. Шахунянц Г. М. Железнодорожный путь. – М.: Транспорт, 1969. 536 с.
15. Шахунянц Г. М. Железнодорожный путь: Учебник для вузов ж.-д. трансп.- 3-е изд. пераб. и доп. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.
16. Твердомед В.М. Вимоги, що висуваються до конструкції проміжного рейкового скріплення і вибір раціональної конструкції скріплення /В.М. Твердомед // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління : тези 1-ої междунар. наук-прак. конф., 4-6 груд. 2003 р. – Київ: КУЕТТ, 2003. – С. 72-73.
17. Амелин С. В., Андреев Г. Е. Работа креплений с железобетонными шпалами в пути. В. кн. «Вопросы пути и путевого хозяйства». Труды ЛИИЖТа, вып. 328. – Л.: Транспорт, 1971. – С. 3-22.
18. Амелин С. В., Андреев Г. Е., Лapidус Т. А. Исследование напряженного состояния креплений КБ-65. В підр.: «Вопросы взаимодействия пути и

подвижного состава». Труды ЛИИЖТа, вып. 344. - Л.: Транспорт, 1972. – С. 3-25.

19. Амелин С. В. и др. Работа скреплений КБ-65 на участках скоростного движения поездов // Амелин С. В. и др // Путь и путевое хозяйство. – М., 1970. - № 6. – С. 61-64.
20. Андреев Г. Е. Совершенствовать промежуточные скрепления // Андреев Г. Е. // Путь и путевое хозяйство. – М., 1966. - № 3. – С. 18-19.
21. Андреев Г. Е. Экспериментальные наблюдения за работой в пути скреплений на железобетонных шпалах. Труды ЛИИЖТа, вып. 282. - Л.: Транспорт, 1971. – С. 11-27.
22. Андреев Г. Е., Лapidус Т. А. Продлить срок службы скреплений // Андреев Г. Е., Лapidус Т. А. // Путь и путевое хозяйство. – М., 1975. - № 7. – С. 26-27.
23. Андреев Г. Е. Совершенствовать конструкцию скреплений // Андреев Г. Е. // Путь и путевое хозяйство. – М., 1978. - № 1. – С. 22-24.
24. Шахунянц Г. М., Кондратьев А. А. Работа болтов в скреплениях. В підр.: «Исследования новых конструкций железнодорожного пути». Труды МИИТа, вып. 382. - М.: Транспорт, 1973.– С. 96-149.
25. Шахунянц Г. М. Совершенствовать промежуточные скрепления // Шахунянц Г. М. // Путь и путевое хозяйство. – М., 1960. - № 3. – С. 16-18.
26. Шахунянц Г. М. Как обеспечить необходимую упругость пути с железобетонными шпалами // Шахунянц Г. М. // Путь и путевое хозяйство. - М., 1965. № 4.
27. Шахунянц Г. М., Гасанов А. И., Демидов А. А. Прокладки повышенной упругости // Шахунянц Г. М., М., Гасанов А. И., Демидов А. А // Путь и путевое хозяйство. - М., 1975. № 4. – С. 27-29.

28. Шахунянц Г. М., Демидов А. А., Гасанов А. И. Нужны пружинные элементы // Шахунянц Г. М., Демидов А. А., Гасанов А. И. // Путь и путевое хозяйство. - М., 1978. № 3. – С. 35-37.
29. Шахунянц Г. М., Демидов А. А. К расчету необходимой упругой характеристики пружинных элементов крепежителей в рельсовых скреплениях. В кн.: «Исследования новых конструкций железнодорожного пути». Труды МИИТа, вып. 382. - М.: Транспорт, 1973.– С. 149-163.
30. Шульга В. Я., Лаптев В. А., Жарков В. М. В какие сроки затягивать гайки болтов. // Шульга В. Я., Лаптев В. А., Жарков В. М. // Путь и путевое хозяйство. - М., 1972. № 1. – С. 8-9.
31. Шульга В. Я., Лаптев В. А., Жарков В. М. О целесообразных сроках затяжки гаек клеммных и закладных болтов на участках бесстыкового пути. В кн.: «Вопросы организации путевого хозяйства». Труды МИИТа, вып. 383. - М.: Транспорт, 1972.– С. 24-43.
32. Шульга В. Я., Лаптев В. А. Износ и выход в дефектные скреплений бесстыкового пути с железобетонными шпалами. В кн.: «Повышение эффективности бесстыкового пути с железобетонными шпалами». Труды МИИТа, вып. 446. - М.: Транспорт, 1973.– С. 41-69.
33. Шульга В. Я., Лаптев В. А. Эксплуатационный выход элементов на бесстыковом пути с железобетонными шпалами. В кн.: «Эксплуатационный выход элементов на бесстыковом пути с железобетонными шпалами и нормы их расхода». Труды МИИТа, вып. 505. - М.: Транспорт, 1975.– С. 16-30.
34. Шульга В. Я., Болотин А. В. Влияние прокладок повышенной упругости на эксплуатационный выход элементов бесстыкового пути с железобетонными шпалами. В підр.: «Эксплуатационный выход элементов на бесстыковом пути с железобетонными шпалами и нормы их расхода». Труды МИИТа, вып. 505. - М.: Транспорт, 1975.– С. 57-69.

35. Золотарский А. Ф., Цепушелов А. Л., Шахунянц Г. М. Новые конструкции скреплений и пути их усовершенствования. // Золотарский А. Ф., Цепушелов А. Л., Шахунянц Г. М. // Путь и путевое хозяйство. - М., 1972. № 10. – С. 1-5.
36. Ангелейко В. И., Белоусов Н. В., Несвит В. А. Когда нужно закреплять болты. // Ангелейко В. И., Белоусов Н. В., Несвит В. А // Путь и путевое хозяйство. - М., 1976. № 9. – С. 24-26.
37. Мелентьев Л. П. Об оптимальном соотношении механических свойств элементов верхнего строения пути. Труды ЦНИИ МПС, вып. 501. – М.: Транспорт, 1973.
38. Даренський О. М. Математична модель просторової жорсткості скріплення типу КБ [Текст] / О. М. Даренський // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2007. - № 80. – С. 166-176.
39. Твердомед В. М. Дослідження жорсткості проміжних рейкових скріплень / В.М. Твердомед // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління : тези 3-ої міжнарод. наук-прак. конф., 24-25 лист. 2005 р. – Київ: КУЕТТ, 2005. – С. 73-74.
40. Лысюк В. С., Кравченко Н. Д. Боковая жесткость пути с железобетонными шпалами. // Лысюк В. С., Кравченко Н. Д. // Путь и путевое хозяйство. М., 1965. № 5. – С. 36-37.
41. Фришман М. А., Волошко Ю. Д., Настечик Н. П. Регулировка пути по уровню прокладками. // Фришман М. А., Волошко Ю. Д., Настечик Н. П. // Путь и путевое хозяйство. - М., 1976. № 9. – С. 24-26.
42. Климов В. И., Настечик Н. П. Исследования характеристик жесткости скреплений для пути с железобетонным подрельсовым основанием. В підр.: «Исследования взаимодействия пути и подвижного состава». Труды ДИИТа, вып. 188/18. - Днепропетровск, 1977.– С. 48-53.
43. Влияние жесткости и неровностей пути на деформации и силы взаимодействия его элементов. / Лысюк В. С. / Под ред. В. С. Лысюка. – Труды ВНИИЖТа, вып. 370. М.: Транспорт, 1969. – 161 с.

44. Лысюк В. С., Барабошин В. Ф., Евдокимов Б. А. Влияние упругих прокладок на напряженно деформированное состояние элементов пути. Вестник ВНИИЖТа 1968 № 6, С. 44-48.
45. Барабошин В. Ф., Ананьев Н. И. Колебания рельса и железобетонной шпалы в зоне стыка. Вестник ВНИИЖТа 1970 № 1, С. 1-4.
46. Кузнецов В. В., Еремушкин А. А. Испытание креплений продолжаются // Кузнецов В. В., Еремушкин А. А. // Путь и путевое хозяйство. - М., 1980. № 4. – С. 14-19.
47. Лысюк В. С. Напряженное состояние крепежителей рельсов к опорам при железобетонных шпалах и блоках. В підр.: «Влияние жесткости и неровностей пути на деформации, вибрации и силы взаимодействия его элементов». / Лысюк В. С. / Под ред. В. С. Лысюка. – Труды ВНИИЖТа, вып. 370. М.: Транспорт, 1969. – 161 с.
48. Андреев Г. Е., Лapidус Т. А. Некоторые результаты эксплуатационных испытаний новых промежуточных креплений для железобетонных шпал. Труды ЛИИЖТа, вып. 164. - Л.: Транспорт, 1971. – С. 30-39.
49. Евдокимов Б. А., Демидов А. А. Амортизирующие подкладки в креплении типа КБ. // Евдокимов Б. А., Демидов А. А. // Путь и путевое хозяйство. - М., 1970. № 10. – С. 14.
50. Евдокимов Б. А. Эффективное средство улучшения работы креплений. // Евдокимов Б. А // Путь и путевое хозяйство. - М., 1972. № 4. – С. 8 - 10.
51. Лapidус Т. А. Крепления для высокоскоростных линий. // Лapidус Т. А. // Путь и путевое хозяйство. - М., 1978. № 12. – С. 30 - 31.
52. Шахунянц Г. М. Работа пути с блочными железобетонными подрельсовыми основаниями. В підр.: «Исследование работы пути с блочным железобетонным подрельсовым основанием». Труды МИИТа и ДИИТа, вып. 249 М.: Транспорт, 1967. – С. 5-84.

53. Евдокимов Б. А., Куликовский Б. С. Исследование вертикальной жесткости промежуточных креплений типа КБ. Вестник ВНИИЖТа, 1972, № 2. – С. 32-35.
54. Евдокимов Б. А., Куликовский Б. С. Гистерезисные характеристики промежуточных рельсовых креплений. Вестник ВНИИЖТа, 1972, № 5, - С. 37-39.
55. Евдокимов Б. А. Крепления на промтранспорте. // Евдокимов Б. А. // Путь и путевое хозяйство. - М., 1978. № 10. – С. 31 - 32.
56. Хвостик Г. С., Грановский А. Н. Вертикальные силы и жесткость креплений. // Хвостик Г. С., Грановский А. Н. // Путь и путевое хозяйство. - М., 1976. № 3. – С. 46 - 47.
57. Настечик Н. П. Исследование в пути с железобетонными шпалами при применении путевых прокладок различных типов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (специальность 05. 22. 06 – железнодорожный путь). - Днепропетровск, 1980.– 214 с.
58. В. В. Говоруха Механика деформирования и разрушения упругих элементов промежуточных рельсовых креплений: Монография. – Д.: Изд-во «Лири ЛТД», 2005. – 388 с.
59. Ю. П. Нехорошев., В. И. Матвеев. Результаты испытаний крепления СБ-3 // Нехорошев Ю. П., Матвеев В. И. // Путь и путевое хозяйство. - М., 2005. № 6. – С. 26 – 27.
60. В. В. Рибкін., А. М. Орловський., М. І. Уманов., Р. В. Маркуль., П. В. Панченко. Звіт № 482 про науково-дослідну роботу. Перегляд «Класифікації і каталогу дефектів і пошкоджень рейок на залізницях України». – Дніпропетровськ, - 2012. – 61 с.
61. Класифікація і каталог дефектів і пошкоджень рейок на залізницях України. / В. В. Рибкін., А. М. Орловський., М. І. Уманов., Р. В. Маркуль., П. В. Панченко. – К.: Транспорт України, 2013. – 198 с.
62. В. С. Лысюк., Н. Д. Кравченко. Рост скорости движения и силы взаимодействия между колесом и рельсом // Лысюк В. С.,

- Кравченко Н. Д. // Путь и путевое хозяйство. - М., 1970. № 2. – С. 34 - 36.
63. А. А. Бондаренко., Д. А. Зяблов., Г. Р. Маёров. Повышение работоспособности промежуточных рельсовых креплений. // Бондаренко А. А., Зяблов Д. А., Маёров Г. Р. // Путь и путевое хозяйство. - М., 2011. № 8. – С. 28 - 30.
64. М. Д. Костюк., В. В. Рибкін., І. О. Бондаренко., Н. М. Івченко. Оцінка параметрів пружної клеми марки КП.-5.2. Вісник ДНУЗТу. – Д.: 2003. № 2. – С. 11-17.
65. Н. В. Шляпина. Повышение долговечности прокладок-амортизаторов на пути с железобетонными шпалами. // Шляпина Н. В., Купцов В. В., Винницкий Л. Е. // Полимерные материалы в железнодорожной технике: Сб. науч. тр. / Под. ред. И. П. Ситковского /. – М.: 1984., - 90 с.
66. Р. 745. Рекомендации по уточнению технических требований на проектирование упругих рельсовых креплений // Организация сотрудничества железных дорог (ОСЖД). Разработано IX Комиссией на совещании с 11 по 16 мая 1987 г. в г. Печ. Дата вступления в силу – 10 сент. 1987 г.
67. Р. 745/1. Упругие крепления рельсов с клеммами типа SKL 12 (с подкладками), SKL 14 (без подкладок) // Организация сотрудничества железных дорог (ОСЖД). Разработано совещанием экспертов V Комиссии ОСЖД Штреба, 7-9 пар. 1999 г. Дата вступления в силу: 08 окт. 1999 г.
68. ТУ 21483238-001-95. Анкер закладной. Технические условия. – Киев, 1995. – 17 с.
69. ТУ У 32. 30268559. 039-2001. Клема пружна типу КП-5 проміжного скріплення КПП-5. На дослідну партію. Технічні умови. Введ. 2001. – Д., 2001. – 18 с.

70. В. В. Купцов Современные конструкции и параметры промежуточных рельсовых креплений для железобетонных шпал. Сб. тр. ВНИИЖТ / Повышение надежности работы верхнего строения пути М.: 2000. – С. 100-129.
71. АКТ обстеження ділянки колії зі скріпленням типу КПП-5 на Львівській залізниці по Мукачівській дистанції колії. Ст. Воловець. Комісія у складі: Ю. О. Макаров., В. П. Третьяков., Д. О. Дроздов., В. В. Грубов., Д.: - 2011. – 5 с.
72. F. Rezaie., M. R. Shiri., S. M. Farnam. Experimental and numerical studies of longitudinal crack control for pre-stressed concrete sleepers. "Engineering Failure Analysis" № 26 (2012) 21-30. Journal homepage: www.elsevier.com/locate/engfailanal.
73. Е. І. Даниленко Залізнична колія. / Улаштування , проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом / Підручник для вищих навчальних закладів (у 2-ох томах). К.: Інпрес, 2010. – Том. 2 – 456 с.
74. М. Ф. Вериги, О. Л. Грачева, А. К. Шафрановский., и др. Боковые силы в прямых участках пути. Сб. тр. ВЗИИТ / Экспериментальные исследования боковых сил в прямых и кривых участках железнодорожного пути. / № 42., М.: 1969, С. 7-30.
75. В. П. Гнатенко, В. В, Рибкін, А. П. Татуревич Испытания электровоза ЭПЛ-01 по критерию воздействия на путь и стрелочные переводы. / Отчет о научно-исследовательской работе № 417 / Д.: 2002, - 63 с.
76. В. П. Гнатенко, В. В, Рибкін, А. П. Татуревич Испытания электровоза ЭПЛ9Т-001 по критерию воздействия на путь и стрелочные переводы. / Отчет о научно-исследовательской работе № 424 / Д.: 2002, - 158 с.
77. Е. П. Блохин, В. В. Рыбкин Комплексные ходовые и динамические и прочностные по воздействию на путь, стендовые статистические на действие продольной силы, ударно-определяющие испытания электровоза ДСЗ-001 / Отчет о научно-исследовательской работе № 442 / Д.: 2004, - 196 с.

78. В. П. Гнатенко, В. В. Рибкін, А. П. Татуревич Условия обращения опытного образца магистрального пассажирского тепловоза ТЭП150-001, разработанные на основании экспериментальных исследований его воздействия на путь и стрелочные переводы. / Отчет о научно-исследовательской работе № 450 / Д.: 2006, - 102 с.
79. В. П. Гнатенко, В. В. Рибкін, В. В. Циганенко Умови дослідного зразка маневрового тепловоза ТЕМ103, розроблені на підставі результатів експериментальних та теоретичних досліджень його впливу на колію та стрілочні переводи. / Звіт про науково-дослідну роботу № 457 / Д.: 2007, - 44 с.
80. В. П. Гнатенко, В. В. Рибкін, К. В. Мойсеєнко Експериментальне дослідження впливу на колію та стрілочні переводи дослідних піввагонів на візках моделі 18-4129 з навантаженням на вісь 25 тс у порівнянні з піввагоном на візках моделі 18-100 з навантаженням на вісь 23,5 тс. / Звіт про науково-дослідну роботу № 460 / Д.: 2008, -56 с.
81. В. П. Гнатенко, В. В. Рибкін, А. П. Татуревич Испытания электропоезда ЭПЛ2Т-01 по критерию воздействия на путь и стрелочные переводы / отчет о научно-исследовательской работе «Испытания дизель-поезда ДЭЛ-01 по критерию воздействия на путь и стрелочные переводы» № 417/ Д.: 2002, - 114 с.
82. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая шк., 1999. – 479 с.
83. Рибкін В. В. Оцінка впливу величини бічної горизонтальної сили, що передається від дії рухомого складу на особливості роботи елементів вузла проміжного рейкового скріплення типу КБ та КПП-5 / В. В. Рибкін, М. П. Настечик, Р. В. Маркуль // Праці Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми взаємодії колії та рухомого складу» ДНУЗТ 2013. – Д., 2013. – С. 38-39.
84. М. И. Уманов, В. В. Ковалев, С. Н. Сова Исследования напряженно-деформированного состояния пути со скреплением КПП. Вісник

ДНУЗТу. – Д.: 2003. № 2. – С. 101-105.

85. В. В. Говоруха Создание и внедрение упругих элементов промежуточного скрепления рельсового пути. Вісник 32 ДНУЗТу. – Д.: 2003. № 2. – С. 162-171.
86. Н. И. Антонов Расчет узла раздельного рельсового скрепления для деревянных шпал. – В кн.: Повышение надежности работы железнодорожного пути на грузонапряженных участках. Новосибирск, 1985., С. 59-65.
87. Н. И. Антонов Расчет путевых подкладок методом конечных элементов. – В кн.: Повышение эффективности работы железнодорожного пути в условиях Сибири и Казастана. Новосибирск, 1983., С. 25-30.
88. Бондаренко И. А. Повышение качества оценки работоспособности железнодорожного пути за счет усовершенствования расчетных параметров подрельсового основания. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (специальность 05.22.06 – железнодорожный путь). – Днепропетровск, 2005. – 244 с.
89. Практичні рекомендації щодо проведення вхідного контролю П69 якості матеріалів верхньої будови колії / В. О. Яковлев, К. В. Мойсеєнко, В. В. Говоруха та ін. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. ак. В. Лазаряна, Арт-Прес, 2003. – 196 с.
90. Программа и методика испытаний нового подвижного состава по воздействию на путь и стрелочные переводы разработка предложений по установлению условий обращения нового подвижного состава на сети железных дорог Украины / В. В. Рыбкин, А. П. Татуревич, К. В. Мойсеєнко Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. ак. В. Лазаряна, Арт-Прес, 2002. – 11 с.
91. Рибкін В. В. Надійність залізничної колії [Текст]: навчальний посібник / В. В. Рибкін, І. О. Бондаренко, Д. М. Курган. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. ак. В. Лазаряна, 2013 154 с.

92. Рибкін В. В. Конструкція пристрою для контролю сили притискання клеми до рейки в проміжному рейковому скріпленні типу КПП-5 / В. В. Рибкін, М. П. Настечик, Р. В. Маркуль, Савицький В. В. // Тези доповіді на 74 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» ДНУЗТ 2014. — Д., 2014. — С. 257-258.
93. Настечик М. П. Вплив пружних деформацій в елементах скріплення типу КПП-5 на величину сили притискання рейки до підрейкової основи / М. П. Настечик, Р. В. Маркуль, В. В. Савицький // Вісник Дніпропетровського національного ун-ту залізн. тр-ту, Д. — 2015 № 4. — С. 110-120.
94. Н. М. Беляев. Сопротивление материалов. М.: 1965 г., 856 с., с илл.
95. Настечик М. П. Дослідження напруженого стану в елементах вузла скріплення типу КПП-5 під дією рухомого складу / М. П. Настечик, І. О. Бондаренко, Р. В. Маркуль // Вісник Дніпропетровського національного ун-ту залізн. тр-ту, Д - 2014. № 2. — С. 146-156.
96. Настечик М. П. Дослідження силової роботи вузла рейкового скріплення типу КПП-5 / М. П. Настечик, Р. В. Маркуль // Тези доповіді на 75 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» ДНУЗТ 2015. - Д., 2015. — С. 250-251.
97. Солдатов А. А. «Влияние конструкции жестких клемм промежуточных скреплений на работу рельсового пути». Вестник ВНИИЖТа вып 2. — М.: Трансжелдориздат, 1985 — С. 46-49.
98. Рибкін В. В. Дослідження параметрів улаштування колії на інтенсивність бічного зношення головки рейки в кривих ділянках / В. В. Рибкін, М. П. Настечик, М. А. Арбузов, К. Л. Каленик, Ю. О. Макаров, Р. В. Маркуль // Збірник наукових праць Донецького ін-ту залізн. тр-ту, - 2013. № 34. - С. 155-162.

99. Технічні вказівки по улаштуванню, укладанню та утриманню безстикової колії на залізницях України / Рибкін В. В., Патласов О. М., Белорусов О. І., Карпов М. І., Курган Д. М., Шраменко В. П., Бабенко А. І., Штойко В. А., Олійник І. О., Лисак В. А., Каленик К. Л. – Транспорт України, 2013. – 158 с.
100. Рибкін В. В. Пристрій для розрядки температурних напружень в плітях безстикової колії / В. В. Рибкін, М. П. Настечик, Р. В. Маркуль // Праці Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми взаємодії колії та рухомого складу» ДНУЗТ 2013. – Д., 2013. С. 47-48.
101. Рибкін В. В. Дослідження питань стійкості і створення конструкції безстикової колії в кривих, радіусом менше 300 м / В. В. Рибкін, М. П. Настечик, Р. В. Маркуль // Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології» ДЕТУТ 2013. – К., 2013.
102. V. V. Rybkin N. P. Nastechik R. V. Marcul Stability issues of the continuous welded rail track on the concrete sleepers on the curves with radius $R \leq 300$ m Sciences in Cold and Arid Regions DOI: 10.3724/SP.J.1226.2013.00654 2013, 5(5): 0654–0658 2013p.
103. В. В. Рыбкин, Н. П. Настечик, Р. В. Маркуль Исследование вопросов внедрения конструкции бесстыкового пути на железобетонных шпалах в кривых радиусом менее 300 м ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») Московский государственный университет путей сообщения (МГУПС (МИИТ)). Труды X-ой научно-технической конференции с международным участием г. Москва. 2013 г. – С. 198-201
104. Настечик М. П. Економічна ефективність укладання безстикової колії в кривих малого радіуса / М. П. Настечик, В. В. Рибкін, Р. В. Маркуль

- М. А. Арбузов, К. Л. Каленик // Збірник наукових праць Донецького ін-ту залізн. тр-ту, - 2013. № 32. - С. 216-226.
105. Пат. 78583 Україна МПК⁵¹ : E01B 9/00, E01B 9/14, E01B 9/30, E01B Дюбельний вузол для анкерного кріпильного вузла рейкового кріплення / Настечик М. П., Рибкін В. В., Рагулін П. В., Маркуль Р. В., Юрковський Є. Ю., Жак В. І.; заявники та власники Настечик М. П., Рибкін В. В., Рагулін П. В., Маркуль Р. В., Юрковський Є. Ю., Жак В. І. - № u201210512 заявл. 05.09.2012, опубл. 25.03.2013, бюл. № 6.
106. Маркуль Р. В. Розробка технології контролю та утримання залізничної колії зі скріпленням типу КПП-5 / Р. В. Маркуль // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту, К. – 2015. № 26. – С. 95-106.
107. Шахунянц Г. М. Работа пути и расходы на его содержание [Текст]/ Труды МИИТа «Вопросы пути и его содержания», № 491 - М.: Транспорт, 1967. - 260 с.
108. Шахунянц Г. М. Влияние срока и вида ремонта на затраты труда по текущему содержанию пути, зависящие от размеров движения поездов [Текст]/ Труды МИИТа «Вопросы пути и его содержания», № 383 - М.: Транспорт, 1972. С. 3 — 23.
109. Т. Г Яковлева. Железнодорожный путь. / Т. Г. Яковлева, Н. И. Карпущенко, С. И. Клинов и др. - М.:Транспорт, 1999. - 405 с.
110. Середні норми витрат матеріалів і виробів на поточне утримання та ремонт колії і інших пристроїв колійного господарства залізниць України / В. В. Циганенко, М. І. Уманов / - К.: Транспорт України, 2005. – 43 с.
111. А. Н. Даренский О некоторых закономерностях выхода элементов скреплений Труды Межвузовский тематический сборник, вып 164. Ростов-на-Дону, РИИЖТ, 1981, с. 81-84.
112. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України, затверджено наказом Укрзалізниці від 10.08.2004 р. №630-ЦЗ. К.: 2004. - С 32.

113. Настечик М. П. Експериментальні дослідження взаємодії рухомого складу та залізничної колії із проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 / М. П. Настечик, Р. В. Маркуль // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту, К - 2014. № 25. – С. 80-91.
114. Даренский А. Н. Экспериментальное определение сопротивлений скреплений КБ и КПП-5 перемещениям рельсов в продольной плоскости [Текст] / А. Н. Даренский, В. Г. Витольберг // ДонНИИЖТ Збірник наукових праць. – 2008. - № 15. – С. 112-124.
115. Рибкін В. В. Удосконалення конструкції колії при застосуванні шурупно-дюбельного кріплення для скріплень типу КБ та СКД / В. В. Рибкін, М. П. Настечик, Р. В. Маркуль // Збірник наукових праць Донецького ін-ту залізн. тр-ту, - 2013. № 34. - С. 162-168
116. Даренський О. М. Експериментальне визначення пружних характеристик проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 [Текст] / О. М. Даренський, В. Г. Вітольберг // ДонНИИЖТ Збірник наукових праць. – 2008. - № 13. – С. 139-143.
117. Пат. 74528 Україна МПК⁵¹ : E01B 3/00 Підрейкова опора / Настечик М. П., Рибкін В.В., Маркуль Р. В., Юрковський Є. Ю; заявники та власники Настечик М. П., Рибкін В.В., Маркуль Р. В., Юрковський Є. Ю - № u201210484 заявл. 05.09.2012, опубл. 25.10.2012, бюл. № 20.
118. Даренський О. М. Експериментальне визначення пружних характеристик прокладок проміжних скріплень КБ [Текст] / О. М. Даренський, В. Г. Вітольберг // Зб. нак. праць УкрДАЗТ. – 2007. - № 87. – С. 172-178.
119. Рибкін В. В. Оцінка втомлено-міцнісних характеристик елементів вузла проміжного рейкового скріплення типу КБ та КПП-5 при повторно-змінних циклах навантаження конструкції / В. В. Рибкін, І. О. Бондаренко, Р. В. Маркуль // Праці Міжнародної науково-практичної

конференції «Проблеми взаємодії колії та рухомого складу» ДНУЗТ 2013. – Д., 2013. – С. 39.

120. Вітольберг В. Г. Особливості опору залізобетонних шпал СБЗ-0 поздовжнім зсувам на коліях промислових залізниць [Текст] / В. Г. Вітольберг // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2012. - № 14 (175). – С. 53-58.

ДОДАТОК А

A.1 Аналітичні основи програмного комплексу.

A.2 Інтерактивний режим роботи. Програма (командний файл)

АНАЛІТИЧНІ ОСНОВИ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ

В даному додатку викладені основні фізичні відношення для матеріалів з лінійними властивостями. Напруження, що пов'язані із деформаціями описуються співвідношенням:

$$\{\sigma\} = [D] \{\varepsilon^{el}\}, \quad (A.1)$$

де $\{\sigma\}$ - вектор напружень;

$[D]$ - матриця жорсткості;

$\{\varepsilon^{el}\}$ - вектор пружної деформації.

Вектор напружень визначається з виразу:

$$\{\sigma\} = [\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \sigma_{xy}, \sigma_{yz}, \sigma_{xz}]^T. \quad (A.2)$$

Вихідний масив, виражений вектором пружної деформації описується виразом:

$$\{\varepsilon^{el}\} = \{\varepsilon\} - \{\varepsilon^{th}\}. \quad (A.3)$$

З точки зору залежності деформативного стану елемента, що входить у вузол проміжного рейкового скріплення від напружень, вираз (A.1) можна описати наступним чином:

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon^{th}\} + [D^{-1}] \{\sigma\}, \quad (A.4)$$

де $\{\varepsilon\}$ - вектор повної деформації;

$\{\varepsilon^{th}\}$ - вектор температурної деформації.

Звідси:

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \varepsilon_{xy}, \varepsilon_{yz}, \varepsilon_{xz}\}. \quad (\text{A.5})$$

Вектор температурної деформації визначається з виразу:

$$\{\varepsilon^{th}\} = \Delta T [\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z, 0, 0, 0]^T, \quad \Delta T = T - T_{REF}, \quad (\text{A.6})$$

де $\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$ - коефіцієнт температурного розширення елемента в напрямку площини x, y, z ;

T - існуюча температура в певній точці;

T_{REF} - температура, при якій деформації відсутні.

Вектори деформацій (ε) в певних точках x, y, z, xy, yz, xz описуються наступними рівняннями:

$$\varepsilon_x = \Delta_x \Delta T + \sigma_x / E_x - \nu_{xy} \sigma_y / E_y - \nu_{xz} \sigma_z / E_z, \quad (\text{A.7})$$

$$\varepsilon_y = \Delta_y \Delta T + \sigma_y / E_y - \nu_{xy} \sigma_x / E_x - \nu_{yz} \sigma_z / E_z, \quad (\text{A.8})$$

$$\varepsilon_z = \Delta_z \Delta T + \sigma_z / E_z - \nu_{xz} \sigma_x / E_x - \nu_{yz} \sigma_y / E_y, \quad (\text{A.9})$$

$$\varepsilon_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{G_{xy}}, \quad (\text{A.10})$$

$$\varepsilon_{zy} = \frac{\sigma_{zy}}{G_{zy}}, \quad (\text{A.11})$$

$$\varepsilon_{zx} = \frac{\sigma_{zx}}{G_{zx}}, \quad (\text{A.12})$$

де $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ - величини деформацій елемента в напрямку осей x, y, z ;

$\varepsilon_{xy}, \varepsilon_{xz}, \varepsilon_{yz}$ - деформації зсуву КЕ точок в площинах xy, xz, yz ;

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ - напруження в елементах по осі x, y, z ;

$\sigma_{xy}, \sigma_{xz}, \sigma_{yz}$ - напруження зсуву в площинах xy, xz, yz .

Згідно з виразу (A.1), обернена матриця описується наступним виразом:

$$[D^{-1}] = \begin{vmatrix} 1/E_x & -v_{yx}/E_y & -v_{zx}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -v_{yx}/E_x & 1/E_y & -v_{zy}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -v_{zx}/E_z & -v_{zy}/E_y & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_z \end{vmatrix}, \quad (\text{A.13})$$

де E – модуль Юнга по осях x, y, z ;

ϑ - коефіцієнт Пуансона;

G – модуль зсуву в площинах xy, xz, yz .

Напруження (σ), що виникають в елементах в напрямку осей x, y, z , та напруження зсуву в площинах xy, xz, yz описуються за наступним виразом:

$$\sigma_x = E_x / h \left[1 - (v_{yx}^2) E_y / E_z \right] (\varepsilon_x - \Delta_x \Delta T) + E_x / h \left[v_{yx} + v_{zx} v_{yz} E_y / E_z \right] \times \\ \times (\varepsilon_y - \Delta_y \Delta T) + E_x / h \left[v_{zx} + v_{yz} v_{zx} \right] (\varepsilon_z - \Delta_z \Delta T), \quad (\text{A.14})$$

$$\sigma_y = E_y / h \left[1 - (v_{zx}^2) E_x / E_z \right] (\varepsilon_y - \Delta_y \Delta T) + E_x / h \left[v_{yx} + v_{zx} v_{yz} E_y / E_z \right] \times \\ \times (\varepsilon_x - \Delta_x \Delta T) + E_y / h \left[v_{yx} + v_{xz} v_{yx} E_x / E_z \right] (\varepsilon_z - \Delta_z \Delta T), \quad (\text{A.15})$$

$$\sigma_z = E_z / h \left[1 - (v_{yx}^2) E_x / E_y \right] (\varepsilon_z - \Delta_z \Delta T) + E_x / h \left[v_{zx} + v_{zy} v_{yx} \right] \times \\ \times (\varepsilon_x - \Delta_x \Delta T) + E_y / h \left[v_{yz} + v_{xz} v_{yx} E_x / E_y \right] (\varepsilon_y - \Delta_y \Delta T), \quad (\text{A.16})$$

$$\sigma_{xy} = G_{xy} \varepsilon_{xy}, \quad (\text{A.17})$$

$$\sigma_{zy} = G_{zy} \varepsilon_{zy}, \quad (\text{A.18})$$

$$\sigma_{zx} = G_{zx} \varepsilon_{zx}, \quad (\text{A.19})$$

де:

$$h = 1 - (v_{xy}^2) E_x / E_y - (v_{zy}^2) E_y / E_z - (v_{xz}^2) E_x / E_z - 2v_{xy} v_{zy} v_{xz} E_x / E_z. \quad (\text{A.20})$$

Звідси:

$$\begin{aligned}
\sigma_x = & E_x / (1 - (v_{xy}^2) E_x / E_y - (v_{zy}^2) E_y / E_z - (v_{xz}^2) E_x / E_z - 2v_{xy} v_{zy} v_{xz} E_x / E_z) \times \\
& \times [1 - (v_{yx}^2) E_y / E_z] (\varepsilon_x - \Delta_x \Delta T) + E_x / (1 - (v_{xy}^2) E_x / E_y - (v_{zy}^2) E_y / E_z - \\
& - (v_{xz}^2) E_x / E_z - 2v_{xy} v_{zy} v_{xz} E_x / E_z) [v_{yx} + v_{zx} v_{yz} E_y / E_z] \times \\
& \times (\varepsilon_y - \Delta_y \Delta T) + E_x / (1 - (v_{xy}^2) E_x / E_y - (v_{zy}^2) E_y / E_z - (v_{xz}^2) E_x / E_z - \\
& - 2v_{xy} v_{zy} v_{xz} E_x / E_z) [v_{zx} + v_{yz} v_{zx}] \times (\varepsilon_z - \Delta_z \Delta T),
\end{aligned} \tag{A.21}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_y = & E_y / (1 - (v_{xy}^2) E_x / E_y - (v_{zy}^2) E_y / E_z - (v_{xz}^2) E_x / E_z - 2v_{xy} v_{zy} v_{xz} E_x / E_z) \times \\
& \times [1 - (v_{zx}^2) E_x / E_z] (\varepsilon_y - \Delta_y \Delta T) + E_y / (1 - (v_{xy}^2) E_x / E_y - (v_{zy}^2) E_y / E_z - \\
& - (v_{xz}^2) E_x / E_z - 2v_{xy} v_{zy} v_{xz} E_x / E_z) [v_{yx} + v_{zx} v_{yz} E_y / E_z] \times \\
& \times (\varepsilon_x - \Delta_x \Delta T) + E_y / (1 - (v_{xy}^2) E_x / E_y - (v_{zy}^2) E_y / E_z - (v_{xz}^2) E_x / E_z - \\
& - 2v_{xy} v_{zy} v_{xz} E_x / E_z) [v_{yx} + v_{xz} v_{yx} E_x / E_z] \times (\varepsilon_z - \Delta_z \Delta T),
\end{aligned} \tag{A.22}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_z = & E_z / (1 - (v_{xy}^2) E_x / E_y - (v_{zy}^2) E_y / E_z - (v_{xz}^2) E_x / E_z - 2v_{xy} v_{zy} v_{xz} E_x / E_z) \times \\
& \times [1 - (v_{yx}^2) E_x / E_z] (\varepsilon_z - \Delta_z \Delta T) + E_z / (1 - (v_{xy}^2) E_x / E_y - (v_{zy}^2) E_y / E_z - \\
& - (v_{xz}^2) E_x / E_z - 2v_{xy} v_{zy} v_{xz} E_x / E_z) [v_{zx} + v_{zy} v_{yx}] \times \\
& \times (\varepsilon_x - \Delta_x \Delta T) + E_z / (1 - (v_{xy}^2) E_x / E_y - (v_{zy}^2) E_y / E_z - (v_{xz}^2) E_x / E_z - \\
& - 2v_{xy} v_{zy} v_{xz} E_x / E_z) [v_{yz} + v_{xz} v_{yx} E_x / E_y] \times (\varepsilon_y - \Delta_y \Delta T).
\end{aligned} \tag{A.23}$$

Модуль зсуву в площинах xy , xz , yz описується наступними виразами:

$$G_{xy} = (E_x E_y) / (E_x + E_y + 2v_{yx} E_x), \tag{A.24}$$

$$G_{zy} = (E_y E_z) / (E_y + E_z + 2v_{yz} E_y), \tag{A.25}$$

$$G_{xz} = (E_x E_z) / (E_x + E_z + 2v_{zx} E_z). \tag{A.26}$$

Напруження та деформації

В точках інтегрування елемента деформації і напруження можуть бути визначені із виразів:

$$\{\varepsilon^{el}\} = [B]\{u\} - \{\varepsilon^{th}\}, \quad (\text{A.27})$$

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon^{el}\}, \quad (\text{A.28})$$

де $\{\varepsilon^{el}\}$ - деформації, що викликають напруження;

$[B]$ - матриця деформації переміщення в точці інтегрування;

$\{u\}$ - вектор вузлових переміщень;

$\{\varepsilon^{th}\}$ - вектор температурних деформацій;

$\{\sigma\}$ - вектор напружень;

$[D]$ - матриця пружності.

Напруження у вузлах і в центрі самого елемента визначаються по значенням напружень в точках інтегрування.

Функції деформацій:

Три значення деформацій ε_0 представляють собою корені рівняння, що визначається компонентами вектора деформацій з виразу:

$$0 = \begin{vmatrix} \varepsilon_x - \varepsilon_0 & 1/2\varepsilon_{xy} & 1/2\varepsilon_{xz} \\ 1/2\varepsilon_{xy} & \varepsilon_y - \varepsilon_0 & 1/2\varepsilon_{zy} \\ 1/2\varepsilon_{xz} & 1/2\varepsilon_{zy} & \varepsilon_z - \varepsilon_0 \end{vmatrix}. \quad (\text{A.29})$$

Інтенсивність деформацій ε_1 являє собою найбільшу величину із трьох різниць:

$$\varepsilon_1 = \text{Max}(|\varepsilon_1 - \varepsilon_2|, |\varepsilon_2 - \varepsilon_3|, |\varepsilon_3 - \varepsilon_1|). \quad (\text{A.30})$$

Із виразу (A.29) головні деформації $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ упорядковані таким чином, що ε_1 - являється найбільшою додатковою деформацією, а ε_3 - найбільшою від'ємною.

Еквівалентні деформації визначаються з виразу:

$$\varepsilon_0 = \left(S \left[(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2 \right] \right)^S, \quad (\text{A.31})$$

де S - степені вільності.

Функції напружень:

Три значення головних напружень σ_0 представляють собою корені кубічного рівняння, що визначаються компонентами вектора напружень із виразу:

$$0 = \begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma_0 & 1/2\sigma_{xy} & 1/2\sigma_{xz} \\ 1/2\sigma_{xy} & \sigma_y - \sigma_0 & 1/2\sigma_{zy} \\ 1/2\sigma_{xz} & 1/2\sigma_{zy} & \sigma_z - \sigma_0 \end{vmatrix}. \quad (\text{A.32})$$

Інтенсивність напружень представляють собою абсолютну величину із найбільших трьох різниць $\sigma_1 - \sigma_2, \sigma_2 - \sigma_3, \sigma_3 - \sigma_1$, тобто:

$$\sigma_1 = \text{Max}(|\sigma_1 - \sigma_2|, |\sigma_2 - \sigma_3|, |\sigma_3 - \sigma_1|). \quad (\text{A.33})$$

Із виразу A.33 головні напруження $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ упорядковані таким чином, що представляють собою σ_1 - найбільш додатні напруження, а σ_3 - найбільш від'ємні значення напружень.

Еквівалентні напруження визначаються з виразу:

$$\sigma_0 = \left(S \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right] \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (\text{A.34})$$

Еквівалентні напруження пов'язані з еквівалентними деформаціями наступним виразом:

$$\sigma_e = 2\varepsilon_e G, \quad (\text{A.35})$$

звідси:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}. \quad (\text{A.36})$$

де: E - модуль Юнга;

ν - коефіцієнт Пуассона.

Напруження на поверхні елемента:

Для визначення напружень на поверхні трьохмірних шестигранних твердотілих елементів необхідно провести такі кроки:

1. Визначаються деформації $\varepsilon'_x, \varepsilon'_y, \varepsilon'_{xy}$ на поверхні і в точках інтегрування Гауса розміром 2×2 з виразу:

$$\{\varepsilon'\} = [B'] \{u'\} - \left\{ \left(\varepsilon^{th} \right) \right\}, \quad (\text{A.37})$$

де $'$ – позначено відповідність деформацій до поверхневої системи координат.

2. Для кожної точки задаються значення напружень:

$$\sigma'_z = P, \quad (\text{A.38})$$

$$\sigma'_{xz} = 0, \quad (\text{A.39})$$

$$\sigma'_{yz} = 0. \quad (\text{A.40})$$

де P – прикладена сила.

3. В кожній точці елемента використовуються шість рівнянь, що задають матеріальні властивості елемента. Звідси величина напружень визначається з виразу:

$$\{\sigma'\} = [D]\{\varepsilon'\}. \quad (\text{A.41})$$

4. Далі виводяться середні значення по всім точкам інтегрування Гауса.

**Таблиця А 2.1 Інтерактивний режим роботи. Програма
(командний файл)**

1	Utility Menu/File/Change Title 1. Static analysis of spatial 2. OK	Назва файла моделі
2	Utility Menu/Parameters/Scalar Parameters	Ввід параметрів моделі
3	Moin Menu/Preprocessor/Element Type/Add Edit/Delet 1. Add 2. Structural Solid (62 проміжні елементи)	Вибір типів КЕ
4	Moin Menu/ Preprocessor/Material Props/Constant – Isotropic	Ввід властивостей матеріалів
5	Utility Menu/Select/Entities/Main Menu/Meshing-Size Cntrl 1. Line 2. Attached to...; 3. Apply 4. Areas 5. OK	Улаштування щільності КЕ сітки
6	Moin Menu/ Preprocessor/ Meshing- Mesh/Areas-Mapped/3 or 4 sided/Global-Size 1. OK	Побудова КЕ сітки
7	Utility Menu/Select/Comp/Assembly/Select/Comp/ Assembly 1. Apply 2. Nodes 3. Lines. All 4. OK	Задавання граничних умов по переміщеннях в моделі
8	Utility Menu/Prof Cntrl/Symbols 1. All Applied 2. Surface Load Symbols/Pressures 3. Show pres and convect/Arrows 4. OK	Зображення граничних умов

1	2	3
9	Utility Menu/Select/Entites 1. Volumes; 2. By Location; 3. X coordinates; 4. BENORAD, L_ED (min, max); 5. Apply\$ 6. OK; 7. Get Scalar Data; 8. Model Data; 9. For select set\$ 10.OK.	Прикладання сил в середній частині моделі
10	Moin Menu/Solution/Solue-From LS Files 1. Solve Load Step Files 2. LS MIN 3. LS MAX 4. Close Main Menu/General Postproc/Read Results – Fsrst Set Main Menu/General Postproc/List Results Reaction Solu 1. OK 2. Status Utility Menu/Plot Crils/Style/Edge/Options 1. Edge only All 2. OK Main Menu/General Postproc/Plot Result/Deformed Shape 1. Def-undeformed 2. OK Main Menu/General Postproc/Plot Result/Contur Plot-Nodal Solu 1. Stress 2. OK 3. Close	Зчитування та огляд отриманих результатів після проведення розрахунку

ДОДАТОК Б

- Б.1** Супровідний лист для укладання в колію 10 залізобетонних шпал типу СБ-3 під скріплення типу КПП-5 для проведення експериментальних досліджень.
- Б.2** Дані натурального стану дослідної ділянки колії після проходження колієвимірювача.

Коблик В. М.



УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ

ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2. Тел. (056) 776-59-47, 3-19-00(залізн.)
Факс: (0562) 47-18-66. E-mail: dnuzt@diit.edu.ua

22.04.13 р.

ПТ, ПЧ-8

*Проректор університету
Д. т. н., професор*

Начальнику служби колії
Придніпровської залізниці
Коблику В. М.

Шановний Валентин Михайлович!

Для проведення випробовувань піввагона моделі 12-7039-01 та вагона для зерна моделі 19-7053, виготовлених ПАТ «КВБЗ», відповідно до наказу начальника Придніпровської залізниці від 19.02.2013 за №87/Н прошу укласти у колію 10 шпал типа СБЗ під скріплення типу КПП-5 в межах кругової кривої, з'єднувальної гілки Нижньодніпровськ вузол - Самарівка (195 км ПК 8).

З повагою:

Проректор університету
Д. т. н., професор

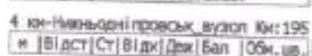
/ Керівник випробовувань
К. т. н., доцент

[Signature]
[Signature]

В. В. Рибкін

О. В. Губар

"СЛУЖБА КОЛІЙ"
ПСОЧ/1069
Вх № 22.04.13



Рівень	Ріхтувальна	Ріхтувальна	Цілоб.	Пр.	Пр.	Кн
--------	-------------	-------------	--------	-----	-----	----

ДОДАТОК В, Д

В Результати експериментальних досліджень дії рухомого складу на колію та елементи проміжного рейкового скріплення типу КПП-5.

Д. Експериментальні полігоні дослідження сили притискання рейки до підрейкової основи у випадку використання скріплення типу КПП-5.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ НА КОЛІЮ ТА ЕЛЕМЕНТИ ПРОМІЖНОГО РЕЙКОВОГО СКРІПЛЕННЯ ТИПУ КПП-5

Таблиця В.1 – Середні ($\bar{P}$), максимальні імовірні (P_{max}^s) і максимальні спостережувані (P_{max}^H) значення вертикальних сил від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м

Тип рухомого складу	Вісі	Значення вертикальних сил (кН) при швидкостях в км/год								
		5			40			90		
		$\bar{P}$	P_{max}^s	P_{max}^H	$\bar{P}$	P_{max}^s	P_{max}^H	$\bar{P}$	P_{max}^s	P_{max}^H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Локомотив ЧС-7	1	96,56	109,5	101,7	88,1	156,8	205,6	101,1	130,6	120,9
	2	96,25	99,97	97,74	89,13	144,6	181,5	130,3	127,6	124,4
	3	90,21	95,78	91,89	91,58	156,1	199,2	105,3	128,7	123,5
	4	89,99	123,0	103,2	89,25	150,6	189,2	102,7	135,9	124,9
	5	89,08	114,5	97,02	90,39	155,2	207,6	103,8	139,1	127,2
	6	97,30	108,8	103,8	85,31	147,5	189,4	110,4	145,5	134,1
	7	84,60	108,5	97,02	79,5	158,0	196,9	98,85	127,0	115,5
	8	85,28	113,0	93,43	84,19	150,4	192,0	100,5	130,0	122,0
Дослідний вагон моделі 19-7053	9	105,9	116,2	111,7	110,3	176,3	217,4	128	152,7	140,7
	10	94,97	124,6	108,1	112,6	169,6	205,3	123,1	157,6	145,6
	11	96,41	104,2	100,5	92,06	157,4	201,4	105,7	146,9	131,4
	12	88,81	111,3	97,43	93,78	157,4	198,0	120,2	151,9	146,2
Вагон-еталон моделі 19-7016	13	100,2	124,6	112,7	99,42	173,5	222,4	108,3	127,6	121,6
	14	97,64	99,11	98,36	100,8	180,2	222,4	114,4	144,1	134,6
	15	87,37	116,9	97,02	83,03	151,1	193,9	92,9	131,4	122,8
	16	100,4	115,0	107,1	83,31	151,1	191,1	114,6	142,9	132,8
Локомотив ЧС-7	17	95,86	109,6	100,8	95,27	146,8	180,8	101,9	134,7	121,4
	18	92,47	126,7	108,4	90,61	149,5	195,1	110,0	137,6	126,1
	19	87,03	116,9	97,54	90,21	152,1	196,4	99,94	120,2	113,9
	20	85,87	113,6	97,02	87,57	160,2	206,8	104,8	131,6	124,4
	21	82,72	106,4	94,05	84,49	139,6	169,8	96,53	118,8	117,0
	22	86,38	117,1	103,7	85,62	150,3	188,9	105,7	138,1	127,5
	23	98,73	111,8	103,5	92,36	157,2	202,1	109,6	131,8	122,4
	24	91,99	121,1	106,5	97,04	157,0	193,9	114,0	139,8	134,0

Примітки: в таблиці наведені об'єднані (парний не парний напрямом) значення величини середніх ($\bar{P}$), максимальних імовірних (P_{max}^s) і максимальних спостережуваних (P_{max}^H) значень вертикальних сил від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії

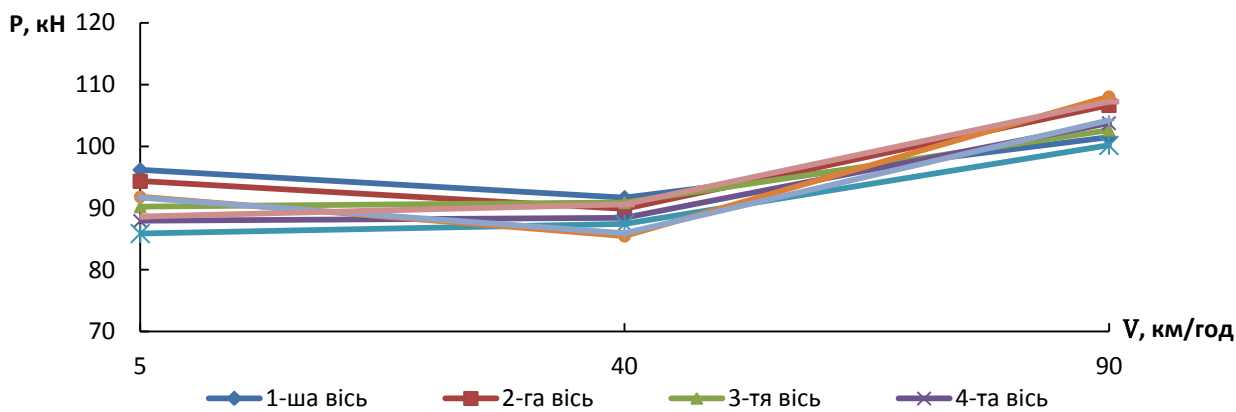


Рис. В.1 Значення вертикальних сил (P , кН) в залежності від швидкості руху (V , км/год), при дії 1-8 ої осей локомотива ЧС7

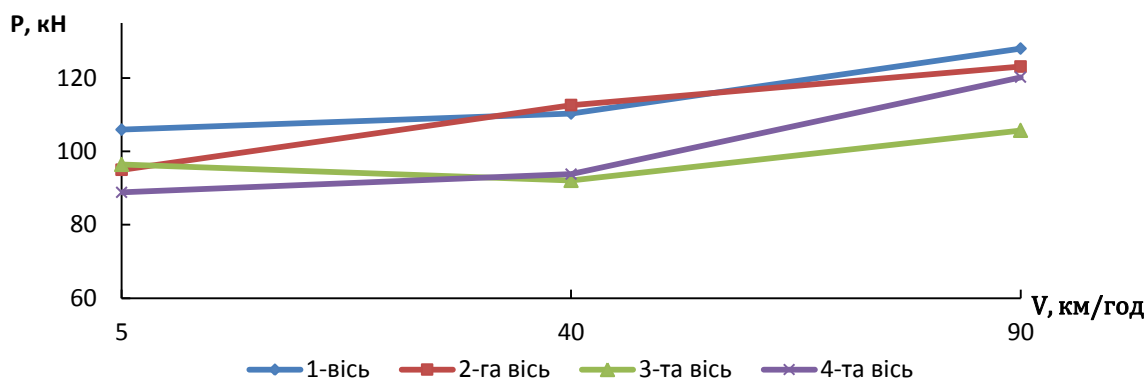


Рис. В.2 Значення вертикальних сил (P , кН) в залежності від швидкості руху (V , км/год), при дії 1-4 ої осей дослідного вагона моделі 19-7053

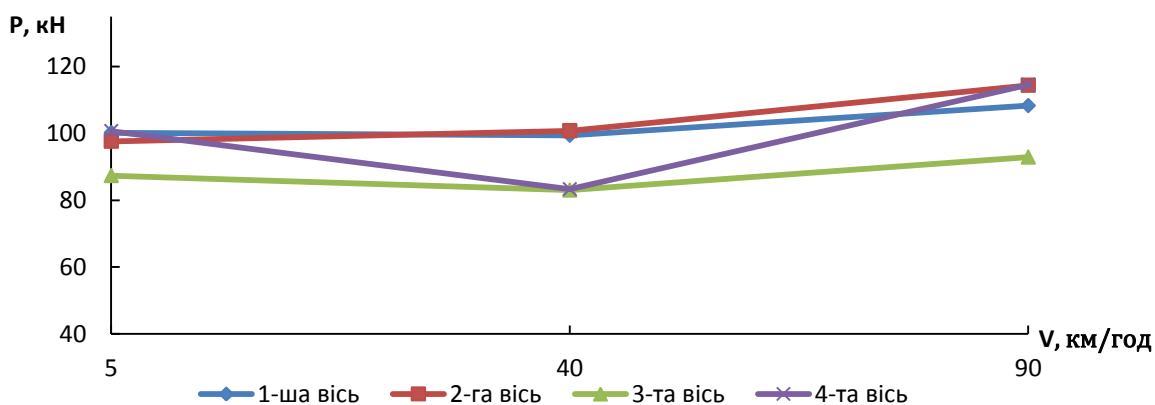


Рис. В.3 Значення вертикальних сил (P , кН) в залежності від швидкості руху (V , км/год), при дії 1-4 ої осей еталонного вагона моделі 19-7016

Таблиця В.2 – Середні ($\bar{H}$), максимальні імовірні (H_{max}^e) і максимальні спостережувані (H_{max}^H) значення бокових горизонтальних сил, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м

Тип рухомого складу	Вісі	Значення горизонтальних сил (кН) при швидкостях в км/год								
		5			40			90		
		$\bar{H}$	H_{max}^B	H_{max}^H	$\bar{H}$	H_{max}^B	H_{max}^H	$\bar{H}$	H_{max}^B	H_{max}^H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Локомотив ЧС-7	1	58.93	62.83	60.49	60.18	66.73	65.96	70.21	85.27	77.91
	2	58.07	59.00	58.44	56.94	65.88	65.05	63.73	85.82	73.22
	3	62.06	67.31	64.89	61.98	70.02	66.39	72.52	91.67	81.15
	4	59.92	61.77	60.66	56.84	63.52	65.02	64.95	83.31	71.85
	5	61.32	65.36	63.57	59.55	65.10	63.91	69.45	91.76	81.27
	6	58.68	59.90	59.34	57.84	67.10	64.21	65.74	84.93	78.68
	7	60.14	68.19	62.48	61.00	65.59	63.93	68.16	86.10	76.88
	8	55.52	58.55	57.22	55.28	60.28	61.14	63.99	81.36	70.63
Дослідний вагон моделі 19-7053	9	53.36	69.00	61.88	59.29	80.05	70.25	64.12	84.17	71.90
	10	53.06	55.26	54.29	55.36	62.35	65.68	56.20	73.77	62.87
	11	45.62	49.98	47.15	45.94	49.19	49.00	52.27	74.12	66.58
	12	45.63	49.35	47.71	45.95	58.95	69.18	50.97	68.99	57.55
Вагон-еталон моделі 19-7016	13	48.48	68.38	59.65	49.18	68.55	60.55	60.86	77.76	72.14
	14	49.00	57.97	53.02	47.37	65.92	62.08	51.24	75.80	63.88
	15	49.09	61.56	56.03	47.69	61.11	54.72	53.02	72.42	59.47
	16	50.56	59.81	53.99	46.85	61.76	61.38	53.51	78.53	66.76
Локомотив ЧС-7	17	61.55	69.06	65.56	60.17	65.77	64.57	68.80	88.30	76.12
	18	58.54	61.42	60.08	58.53	64.49	64.57	66.63	84.54	71.82
	19	63.23	70.83	67.31	62.18	71.51	68.50	68.81	88.16	77.12
	20	56.59	59.33	58.06	56.12	63.69	65.72	63.88	82.57	70.73
	21	63.08	70.75	67.29	60.74	68.2	65.68	67.50	85.89	74.86
	22	56.98	61.37	59.36	56.55	65.49	62.05	64.48	83.51	73.08
	23	64.21	72.84	68.98	63.55	73.26	69.40	71.63	90.84	80.55
	24	58.08	60.59	59.31	57.33	62.76	63.29	65.96	84.74	75.20

Примітки: в таблиці наведені об'єднані (парний не парний напрямки) значення величини середніх ($\bar{H}$), максимальних імовірних (H_{max}^e) і максимальних спостережуваних (H_{max}^H) бокових горизонтальних сил, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м.

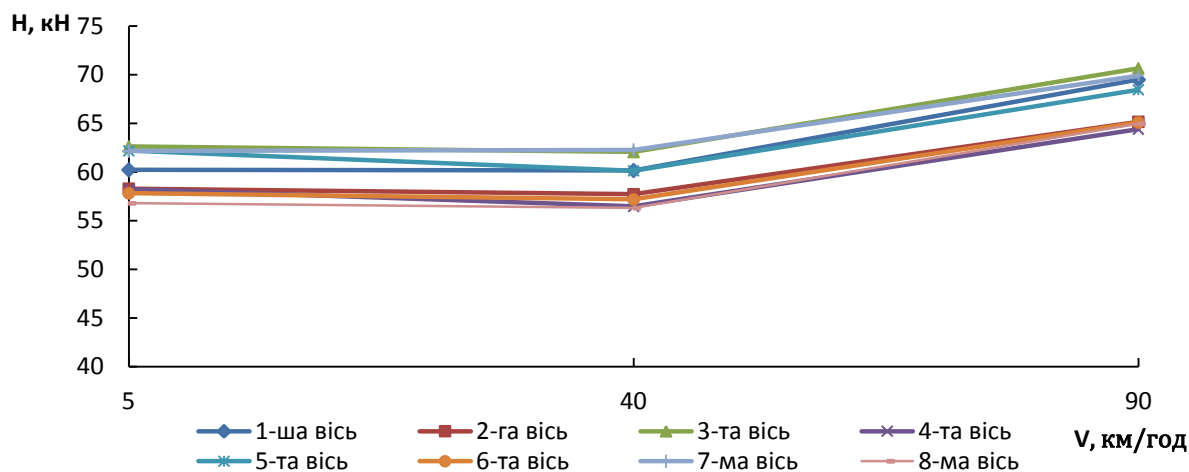


Рис. В.4 Значення горизонтальних сил (Н, кН) в залежності від швидкості руху (V, км/год), при дії 1-8 ої осей локомотива ЧС7

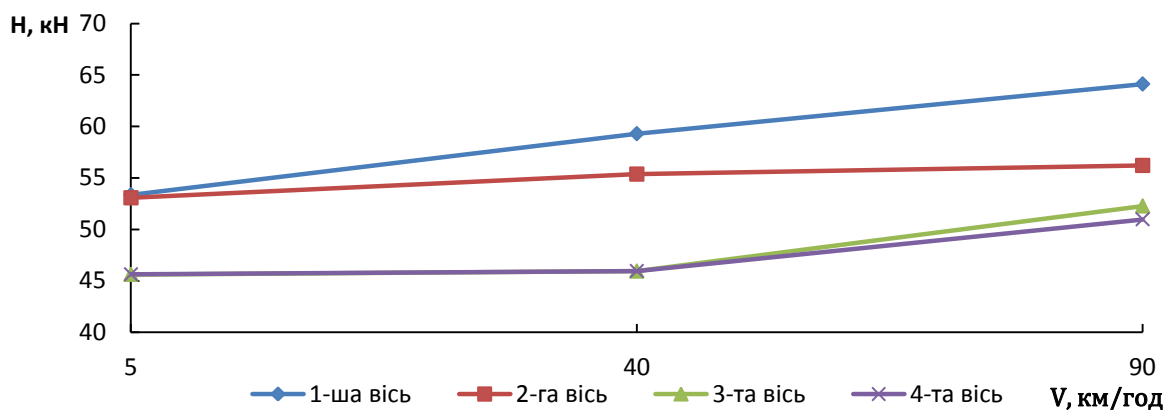


Рис. В.5 Значення горизонтальних сил (Н, кН) в залежності від швидкості руху (V, км/год), при дії 1-4 ої осей дослідного вагона моделі 19-7053

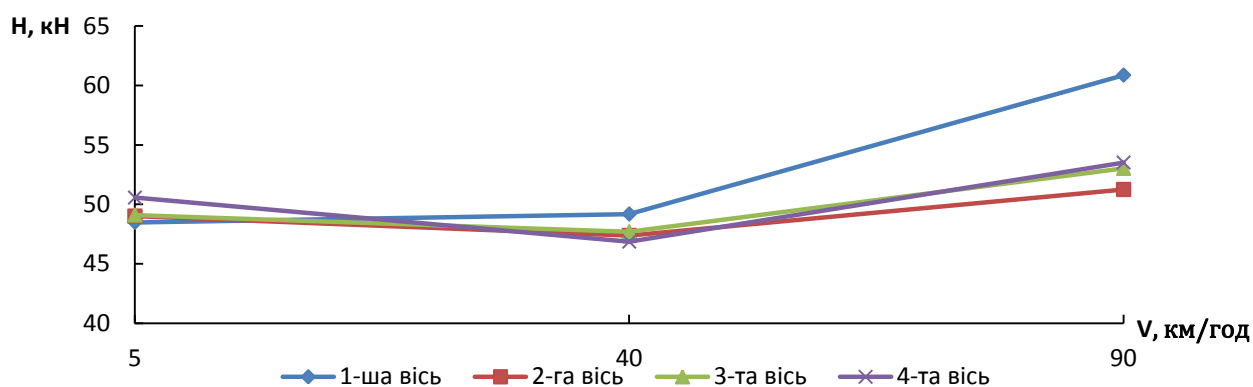


Рис. В.6 Значення горизонтальних сил (P, кН) в залежності від швидкості руху (V, км/год), при дії 1-4 ої осей еталонного вагона моделі 19-7016

Таблиця В.3 – Середні ($\bar{Z}$), максимальні імовірні (Z_{max}^e) і максимальні спостережувані (Z_{max}^H) значення бокових горизонтальних віджимань головки рейки, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м

Тип рухомого складу	Вісі	Значення бокових віджимань (мм) при швидкостях в км/год								
		5			40			90		
		$\bar{Z}$	Z_{max}^B	Z_{max}^H	$\bar{Z}$	Z_{max}^B	Z_{max}^H	$\bar{Z}$	Z_{max}^B	Z_{max}^H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Локомотив ЧС-7	1	1,51	1,70	1,59	1,02	1,31	1,24	1,39	2,04	2,05
	2	0,09	0,09	0,09	0,34	0,70	0,53	1,26	2,39	2,17
	3	1,53	1,84	1,65	1,20	1,44	1,35	1,47	2,25	2,25
	4	0,07	0,12	0,09	0,29	0,74	0,54	1,10	2,35	2,10
	5	1,66	1,84	1,73	1,01	1,33	1,18	1,11	2,21	1,93
	6	0,03	0,04	0,03	0,29	0,72	0,55	1,09	2,52	2,24
	7	2,03	2,13	2,07	1,31	1,69	1,57	1,29	2,02	1,99
	8	0,19	0,20	0,19	0,26	0,68	0,50	1,08	2,48	2,20
Дослідний вагон моделі 19-7053	9	1,11	2,06	1,49	0,84	1,54	1,29	1,01	2,02	1,55
	10	0,07	0,08	0,080	0,42	1,01	0,70	1,25	2,35	2,01
	11	0,99	1,64	1,25	0,65	1,18	1,04	0,98	2,22	1,91
	12	0,04	0,11	0,07	0,35	0,94	0,66	1,00	2,24	1,92
Вагон-еталон моделі 19-7016	13	1,51	1,66	1,57	1,13	2,04	1,68	1,28	2,14	1,93
	14	0,10	0,15	0,12	0,43	0,94	0,72	1,22	2,29	1,86
	15	0,99	1,04	1,01	0,81	1,22	1,20	0,80	1,63	1,61
	16	0,118	0,19	0,18	0,35	0,88	0,62	0,96	2,02	1,83
Локомотив ЧС-7	17	1,55	1,69	1,61	0,96	1,29	1,17	0,98	1,70	1,57
	18	0,17	0,34	0,24	0,28	0,69	0,50	0,92	2,35	2,10
	19	1,99	2,26	2,10	1,35	1,53	1,45	1,21	2,02	2,03
	20	0,24	0,36	0,29	0,29	0,49	0,41	0,94	2,26	1,95
	21	2,02	2,31	2,14	1,23	1,47	1,38	0,94	1,70	1,58
	22	0,17	0,22	0,19	0,27	0,64	0,46	0,98	2,34	2,02
	23	1,92	2,37	2,10	1,21	1,50	1,37	1,07	1,94	1,86
	24	0,28	0,39	0,32	0,23	0,61	0,45	0,93	2,28	1,93

Примітки: в таблиці наведені об'єднані (парний не парний напрямок) значення величини середніх ($\bar{Z}$), максимальних імовірних (Z_{max}^e) і максимальних спостережуваних (Z_{max}^H) бокових горизонтальних віджимань головки рейки, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м.

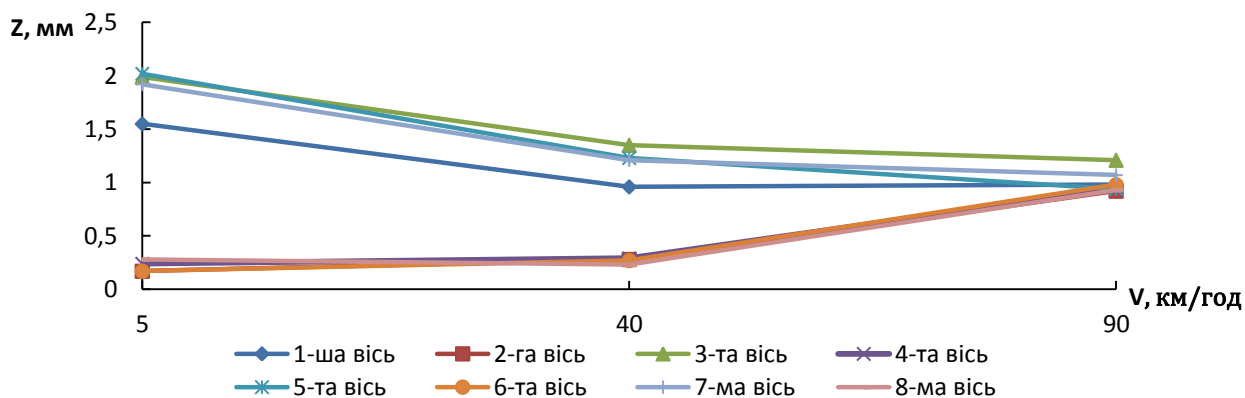


Рис. В.7 Значення бокових горизонтальних віджимань головки рейки (z , мм) в залежності від швидкості руху (V , км/год), при дії 1-8 ої осей локомотива ЧС7

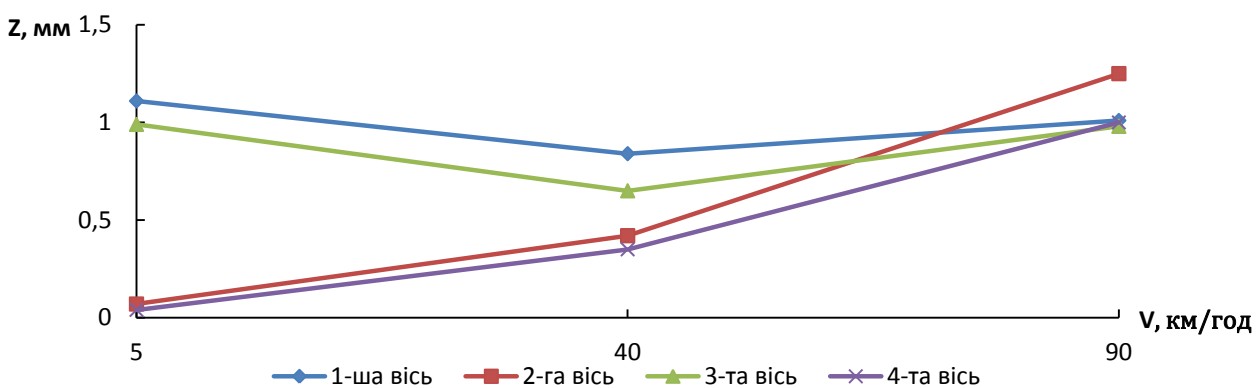


Рис. В.8 Значення бокових горизонтальних віджимань головки рейки (z , мм) в залежності від швидкості руху (V , км/год), при дії 1-4 ої осей дослідного вагона моделі 19-7053

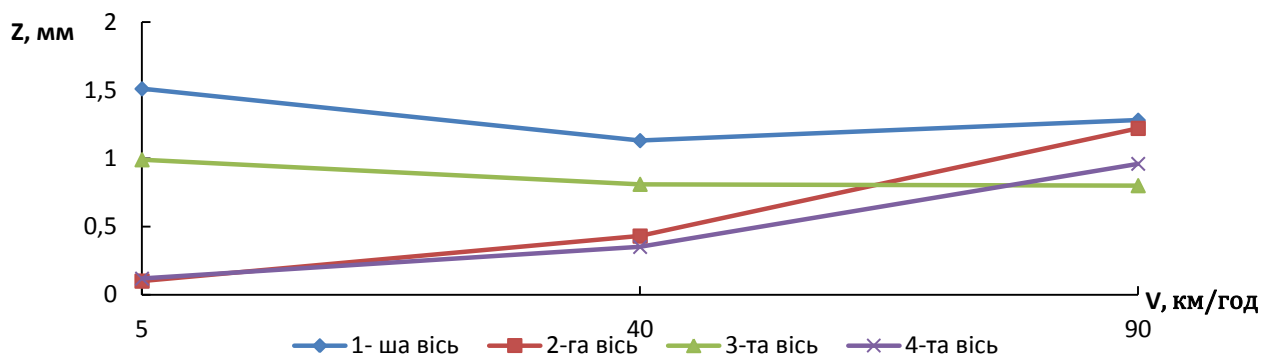


Рис. В.9 Значення бокових горизонтальних віджимань головки рейки (z , мм) в залежності від швидкості руху (V , км/год), при дії 1-4 ої осей вагона-еталона моделі 19-7016

Таблиця В.4 – Середні ($\bar{Y}$), максимальні імовірні (Y_{max}^e) і максимальні спостережувані (Y_{max}^H) значення вертикальних осьових прогинів рейки, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м

Тип рухомого складу	Вісі	Значення вертикальних прогинів (мм) при швидкостях в км/год								
		5			40			90		
		$\bar{Y}$	Y_{max}^B	Y_{max}^H	$\bar{Y}$	Y_{max}^B	Y_{max}^H	$\bar{Y}$	Y_{max}^B	Y_{max}^H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Локомотив ЧС-7	1	6,43	7,20	6,74	6,24	6,44	6,36	-	-	-
	2	6,17	6,42	6,27	6,29	6,40	6,33	-	-	-
	3	6,17	6,53	6,36	6,29	6,42	6,38	-	-	-
	4	6,32	6,62	6,44	6,31	6,43	6,36	-	-	-
	5	6,26	6,77	6,52	6,33	6,58	6,46	-	-	-
	6	6,22	6,55	6,40	6,33	6,47	6,42	-	-	-
	7	6,29	6,51	6,41	6,26	6,46	6,37	-	-	-
	8	6,15	6,59	6,38	6,28	6,47	6,36	-	-	-
Дослідний вагон моделі 19-7053	9	6,43	6,80	6,64	6,40	6,63	6,52	-	-	-
	10	6,17	6,31	6,25	6,42	6,67	6,54	-	-	-
	11	6,42	6,79	6,62	6,36	6,58	6,46	-	-	-
	12	6,18	6,35	6,26	6,35	6,46	6,41	-	-	-
Вагон-еталон моделі 19-7016	13	6,38	6,69	6,52	6,39	6,47	6,45	-	-	-
	14	6,20	6,36	6,29	6,38	6,60	6,47	-	-	-
	15	6,29	6,57	6,44	6,36	6,41	6,39	-	-	-
	16	6,28	6,49	6,39	6,39	6,50	6,43	-	-	-
Локомотив ЧС-7	17	6,27	6,49	6,39	6,33	6,44	6,38	-	-	-
	18	6,24	6,52	6,38	6,36	6,49	6,43	-	-	-
	19	6,16	6,34	6,25	6,28	6,38	6,31	-	-	-
	20	6,23	6,61	6,39	6,35	6,50	6,41	-	-	-
	21	6,13	6,34	6,25	6,28	6,33	6,31	-	-	-
	22	6,22	6,66	6,42	6,35	6,43	6,39	-	-	-
	23	6,25	6,49	6,37	6,35	6,47	6,43	-	-	-
	24	6,29	6,76	6,51	6,40	6,51	6,47	-	-	-

Примітки: в таблиці наведені об'єднані (парний не парний напрямок) значення величини середніх ($\bar{Y}$), максимальних імовірних (Y_{max}^e) і максимальних спостережуваних (Y_{max}^H) вертикальних осьових прогинів рейки, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м.

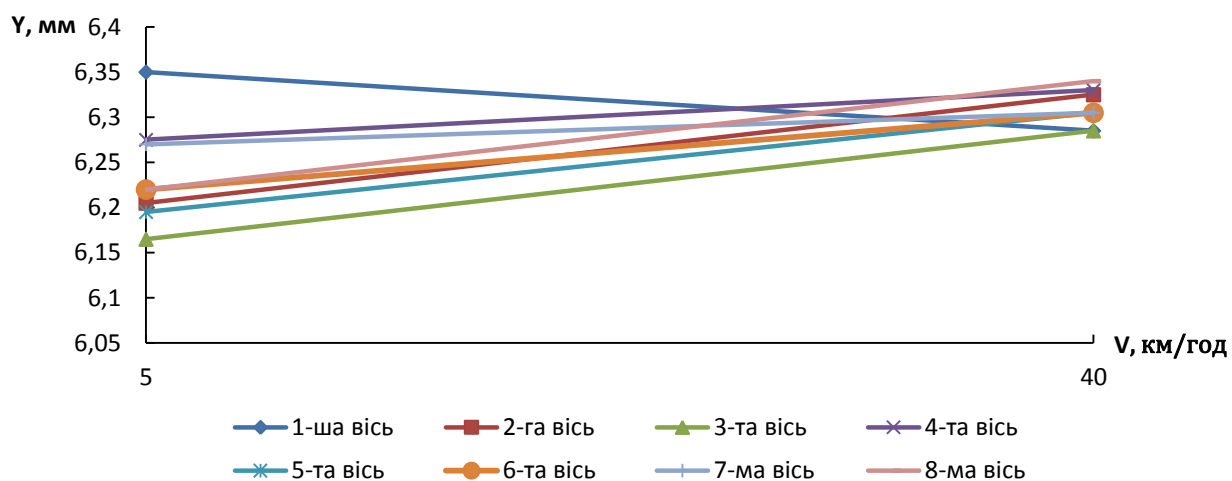


Рис. В.10 Значення вертикальних осьових прогинів рейки (Y , мм) в залежності від швидкості руху (V , км/год), при дії 1-8 ої осей локомотива ЧС7

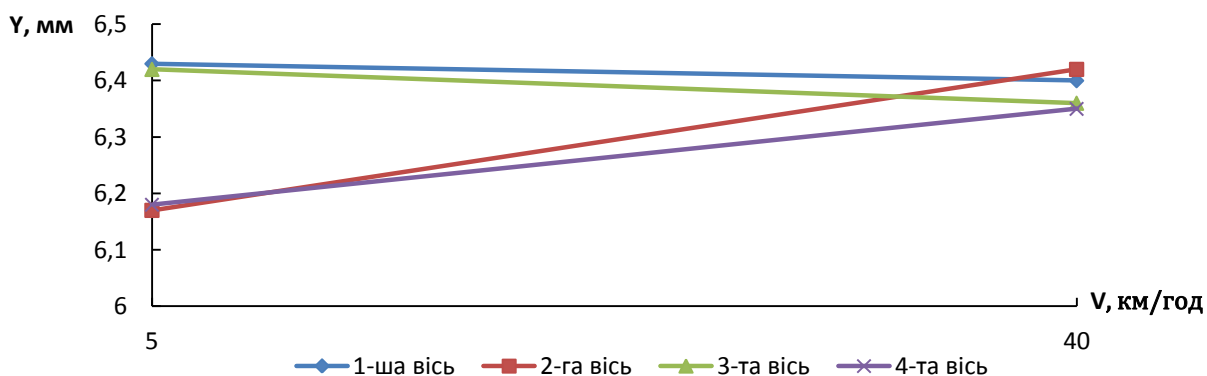


Рис. В.11 Значення вертикальних осьових прогинів рейки (Y , мм) в залежності від швидкості руху (V , км/год), при дії 1-4 ої осей дослідного вагона моделі 19-7053

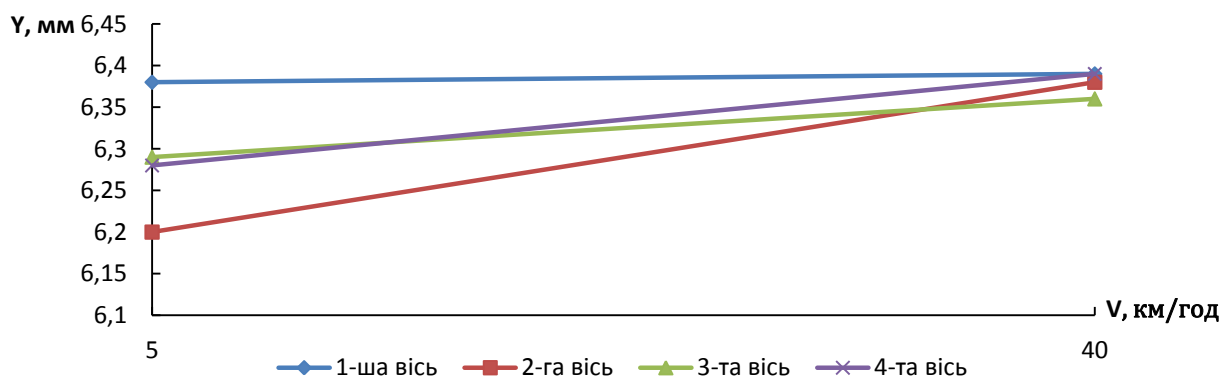


Рис. В.12 Значення вертикальних осьових прогинів рейки (z , мм) в залежності від швидкості руху (V , км/год), при дії 1-4 ої осей вагона-еталона моделі 19-7016

Таблиця В.5 – Середні ($\overline{\sigma_{п-к}^{15}}$), максимальні імовірні (σ_{max}^g) і максимальні спостережувані (σ_{max}^H) значення напружень по крайці підшви рейки, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м

Тип рухомого складу	Вісі	Значення напружень (МПа) при швидкостях в км/год								
		5			40			90		
		$\overline{\sigma_{п-к}^{15}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_{п-к}^{15}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_{п-к}^{15}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Локомотив ЧС-7	1	121,8	132,5	126,1	115,4	167,1	127,3	136,1	171,8	156,0
	2	82,22	85,86	83,68	82,87	120,8	98,64	122,2	154,9	136,0
	3	128,8	138,7	134,4	122,6	172,7	139,0	146,2	183,0	172,2
	4	84,25	90,09	86,59	83,11	118,6	91,68	118,6	147,8	133,4
	5	127,4	133,9	130,6	114,9	166,8	126,4	132,4	171,6	152,3
	6	84,54	96,13	91,06	85,32	126,1	99,37	126,8	159,3	143,3
	7	128,9	129,5	129,1	121,4	168,8	131,9	137,0	169,6	156,9
	8	81,35	93,81	88,04	81,92	121,0	90,95	120,3	153,2	138,5
Дослідний вагон моделі 19-7053	9	99,72	123,3	113,0	97,76	152,0	120,2	128,2	157,7	139,6
	10	74,84	78,33	75,88	78,24	112,4	88,56	111,0	141,5	126,9
	11	92,06	115,0	104,8	82,5	124,5	96,04	110,5	153,1	135,4
	12	60,81	72,57	67,46	61,04	78,61	70,27	95,83	128,8	109,5
Вагон-еталон моделі 19-7016	13	106,6	135,1	122,8	94,05	150,4	128,5	125,1	155,2	142,8
	14	68,88	80,79	73,28	71,35	110,0	94,17	101,8	146,3	127,1
	15	99,96	119,6	110,9	86,3	1321,5	110,0	107,9	145,9	123,8
	16	75,46	84,99	79,73	71,17	103,1	87,42	101,5	145,7	124,1
Локомотив ЧС-7	17	129,0	137,9	133,8	117,7	166,3	127,5	134,1	172,2	153,5
	18	87,73	91,50	89,81	87,27	129,1	97,6	126,4	161,7	144,7
	19	133,5	144,8	139,7	124,6	174,7	140,0	139,0	173,2	157,1
	20	88,56	97,67	92,61	84,51	122,8	99,58	119,4	151,5	137,3
	21	133,2	144,3	139,5	120,7	169,3	136,1	133,3	166,2	149,9
	22	86,00	93,32	88,98	84,38	123,1	98,54	124,3	154,5	140,7
	23	135,1	150,2	143,7	128,0	180,9	146,1	142,8	179,2	169,1
	24	88,49	93,68	91,26	84,58	123,9	94,07	124,8	153,7	145,5

Примітки: в таблиці наведені об'єднані (парний не парний напрямком) значення величини середніх ($\overline{\sigma_{п-к}^{15}}$), максимальних імовірних (σ_{max}^g) і максимальних спостережуваних (σ_{max}^H) значень напружень по крайці підшви рейки, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м.

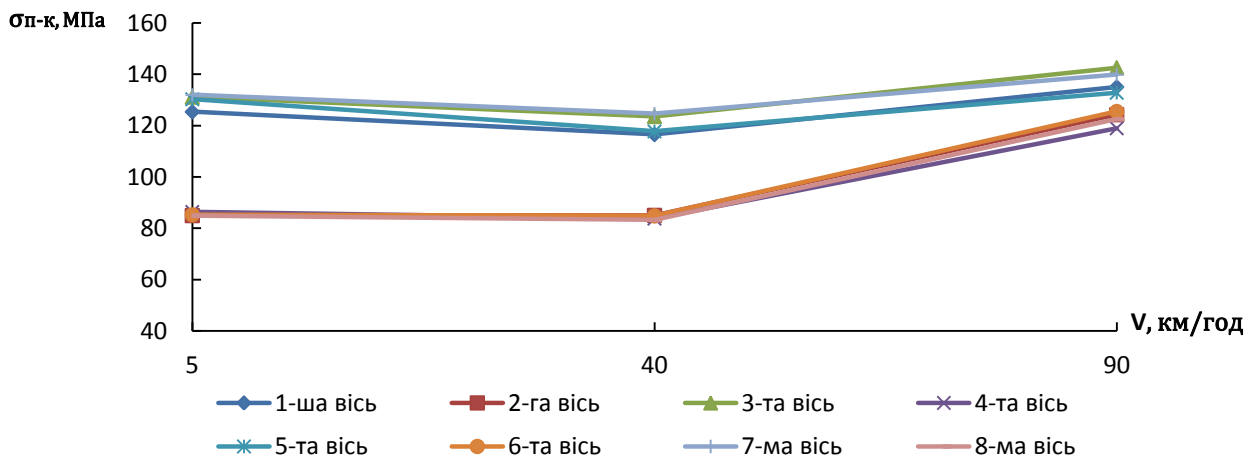


Рис. В.13 Значення напружень по крайці підшви рейки ($\overline{\sigma_{п-к}^{15}}$, мм) в залежності від швидкості руху (V , км/год), при дії 1-8 ої осей локомотива ЧС7

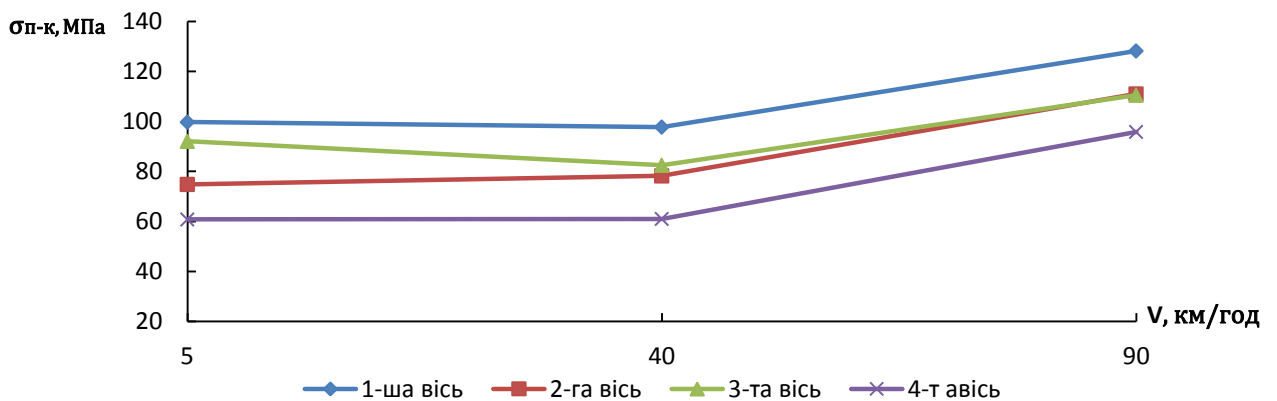


Рис. В.14 Значення напружень по крайці підшви рейки ($\overline{\sigma_{п-к}^{15}}$, мм) в залежності від швидкості руху (V , км/год), при дії 1-4 ої осей дослідного вагона моделі 19-7053

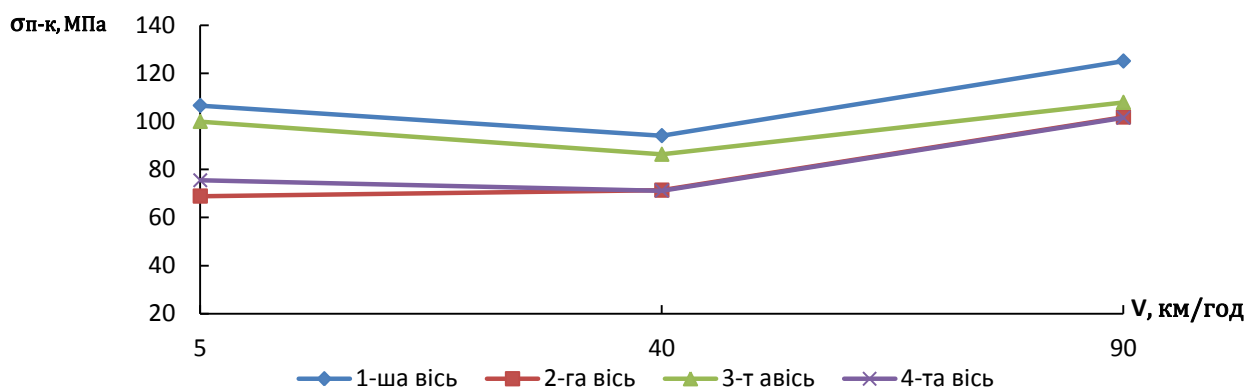


Рис. В.15 Значення напружень по крайці підшви рейки ($\overline{\sigma_{п-к}^{15}}$, мм) в залежності від швидкості руху (V , км/год), при дії 1-4 ої осей вагона-еталона моделі 19-7016

Таблиця В.6 – Середні ($\overline{\sigma_{п-к}^{16}}$), максимальні імовірні (σ_{max}^e) і максимальні спостережувані (σ_{max}^H) значення напружень по крайці підшви рейки, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м

Тип рухомого складу	Вісі	Значення напружень(МПа) при швидкостях в км/год								
		5			40			90		
		$\overline{\sigma_{п-к}^{16}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_{п-к}^{16}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_{п-к}^{16}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Локомотив ЧС-7	1	42,67	48,59	45,04	41,73	52,15	57,77	50,00	73,55	64,61
	2	66,88	72,01	68,93	62,42	75,02	69,67	59,84	92,38	72,40
	3	40,87	64,01	47,78	43,97	53,07	57,77	48,49	78,29	64,40
	4	70,14	76,32	72,61	63,23	76,43	69,77	66,28	100,7	82,82
	5	46,41	50,39	47,88	43,78	52,48	54,93	54,47	85,49	77,24
	6	69,07	76,05	72,93	65,77	82,54	76,08	60,54	96,46	81,03
	7	45,81	49,66	47,88	43,8	52,79	57,56	50,66	78,98	64,72
	8	68,33	77,2	73,35	63,55	77,89	70,19	62,26	98,73	79,14
Дослідний вагон моделі 19-7053	9	48,16	55,60	51,99	54,15	78,35	67,67	52,38	86,34	71,45
	10	76,82	86,16	81,98	76,20	104,5	81,77	72,64	103,1	90,29
	11	32,41	60,74	41,25	35,86	64,26	76,93	36,17	82,48	77,03
	12	61,49	69,37	63,77	58,14	71,94	64,40	63,45	93,63	83,24
Вагон-еталон моделі 19-7016	13	27,61	55,33	42,83	36,75	77,40	61,98	36,64	78,62	67,14
	14	68,30	93,64	77,98	61,83	88,98	76,08	63,12	94,49	74,72
	15	38,17	44,84	40,83	41,93	59,39	57,04	42,26	75,60	64,40
	16	70,75	94,16	81,24	61,65	80,43	72,82	70,00	105,9	85,98
Локомотив ЧС-7	17	47,29	52,93	50,41	44,34	53,71	58,72	50,89	81,79	66,51
	18	72,61	82,07	77,14	66,54	85,47	73,66	64,91	105,7	84,29
	19	49,00	54,57	52,09	45,50	53,51	57,25	49,12	79,05	61,77
	20	68,33	78,98	74,19	63,63	77,53	69,98	64,82	100,2	79,45
	21	49,11	55,87	52,93	44,47	53,67	58,10	49,17	79,94	65,56
	22	66,86	77,32	72,51	62,07	75,70	69,98	60,89	101,5	79,98
	23	48,58	54,43	50,83	45,04	53,57	56,09	55,94	83,60	71,24
	24	70,79	80,17	75,98	65,95	82,36	71,66	68,45	101,2	81,35

Примітки: в таблиці наведені об'єднані (парний не парний напрямом) значення величини середніх ($\overline{\sigma_{п-к}^{16}}$), максимальних імовірних (σ_{max}^e) і максимальних спостережуваних (σ_{max}^H) значень напружень по крайці підшви рейки, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м.

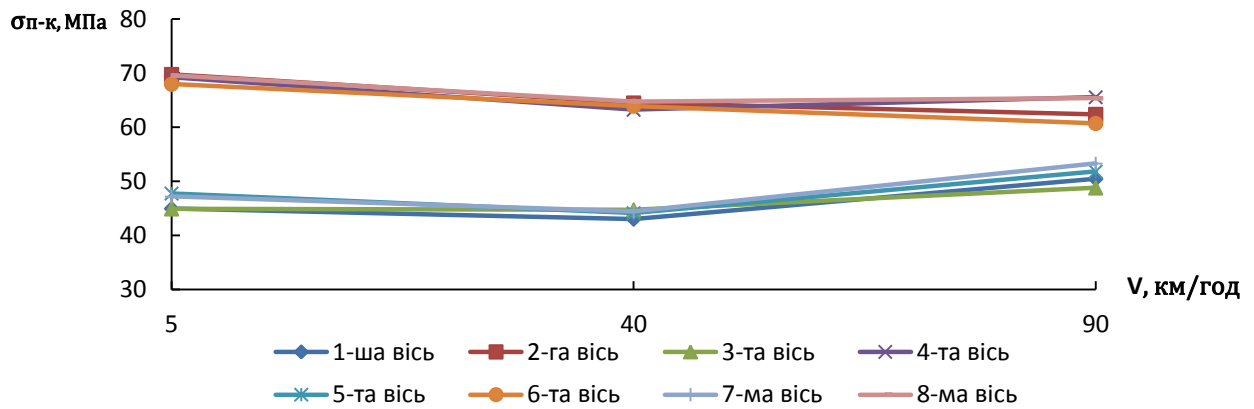


Рис. В.16 Значення напружень по крайці підшви рейки ($\overline{\sigma_{п-к}^{16}}$, мм) в залежності від швидкості руху (V , км/год), при дії 1-8 ої осей локомотива ЧС7

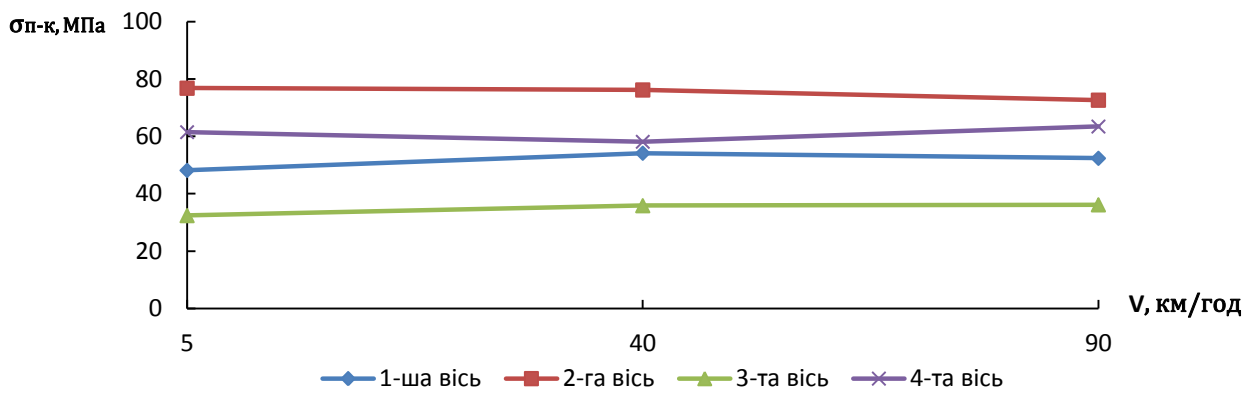


Рис. В.17 Значення напружень по крайці підшви рейки ($\overline{\sigma_{п-к}^{16}}$, мм) в залежності від швидкості руху (V , км/год), при дії 1-4 ої осей дослідного вагона моделі 19-7053

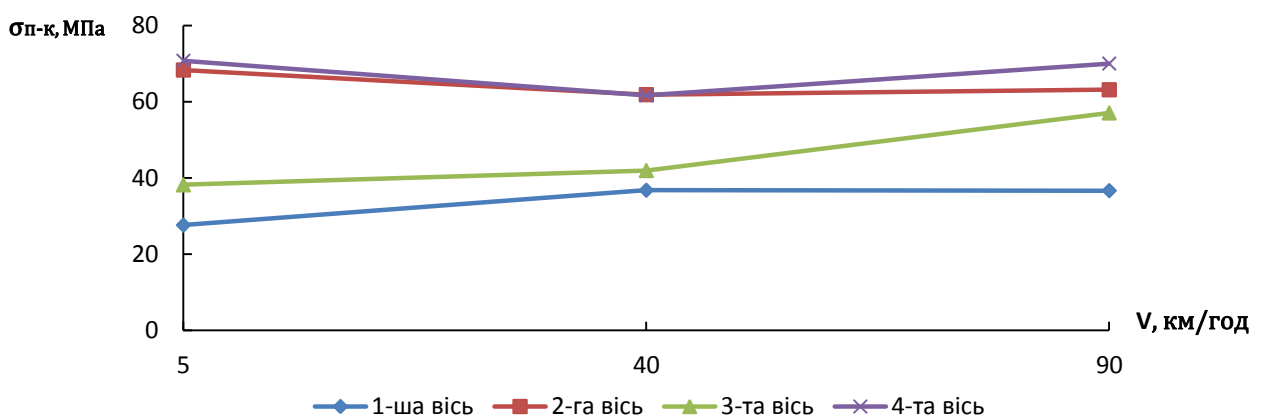


Рис. В.18 Значення напружень по крайці підшви рейки ($\overline{\sigma_{п-к}^{15}}$, мм) в залежності від швидкості руху (V , км/год), при дії 1-4 ої осей вагона-еталона моделі 19-7016

Клема №1 (Зовнішня сторона вузол-I)

Таблиця В.7 – Середні ($\overline{\sigma_6}$), максимальні імовірні (σ_{max}^e) і максимальні спостережувані (σ_{max}^H) значення напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м

Тип рухомого складу	Вісі	Значення напружень в клемі (МПа) при швидкостях в км/год								
		5			40			90		
		$\overline{\sigma_6}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_6}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_6}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Локомотив ЧС-7	1	7,18	7,18	7,18	5,74	13,15	9,29	5,33	11,92	11,94
	2	3,04	3,04	3,04	5,91	8,70	9,06	7,76	17,62	16,47
	3	16,39	16,39	16,39	6,44	12,46	10,15	7,05	15,17	14,52
	4	1,80	1,80	1,80	4,62	6,68	5,93	7,09	14,99	14,36
	5	17,33	17,33	17,33	6,04	15,62	13,11	7,64	15,54	13,43
	6	1,87	1,87	1,87	4,27	7,77	8,04	9,52	19,89	17,72
	7	24,75	24,75	24,75	8,92	17,96	13,27	12,69	23,69	20,76
	8	9,52	9,52	9,52	2,49	6,31	7,34	12,27	20,75	19,28
Дослідний вагон моделі 19-7053	9	13,74	13,74	13,72	4,43	8,24	7,81	6,22	14,03	12,57
	10	1,72	1,72	1,72	6,56	11,43	9,06	12,28	24,92	19,67
	11	14,36	14,36	14,36	6,31	12,62	11,32	10,17	22,38	19,52
	12	1,95	1,95	1,95	7,02	14,52	10,69	11,86	25,09	20,61
Вагон-еталон моделі 19-7016	13	18,03	18,03	18,03	4,13	8,30	7,18	8,81	20,06	18,42
	14	9,68	9,68	19,68	5,97	10,89	9,21	11,62	25,39	21,94
	15	16,71	16,71	16,71	6,50	15,74	11,87	8,07	16,77	14,68
	16	3,90	3,90	3,90	5,62	11,92	12,02	12,55	26,80	22,17
Локомотив ЧС-7	17	18,97	18,97	18,97	6,82	12,46	10,15	8,63	17,95	14,05
	18	8,43	8,43	8,43	2,87	5,20	4,92	9,06	17,27	13,35
	19	26,62	26,62	26,62	8,67	12,28	10,62	8,27	18,05	14,52
	20	12,57	12,57	12,57	3,12	7,63	8,27	8,80	18,25	15,30
	21	27,24	27,24	27,24	8,40	15,04	11,87	8,72	17,62	16,00
	22	13,04	13,04	13,04	3,21	7,56	7,96	9,36	16,13	15,69
	23	27,01	27,01	27,01	6,74	10,07	8,74	6,31	16,38	13,74
	24	13,89	13,89	13,89	3,37	7,38	9,13	6,39	14,04	11,24

Примітки: в таблиці наведені об'єднані (парний не парний напрямки) значення величини середніх ($\overline{\sigma_6}$), максимальних імовірних (σ_{max}^e) і максимальних спостережуваних (σ_{max}^H) значень напружень по крайці підшви рейки, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м.

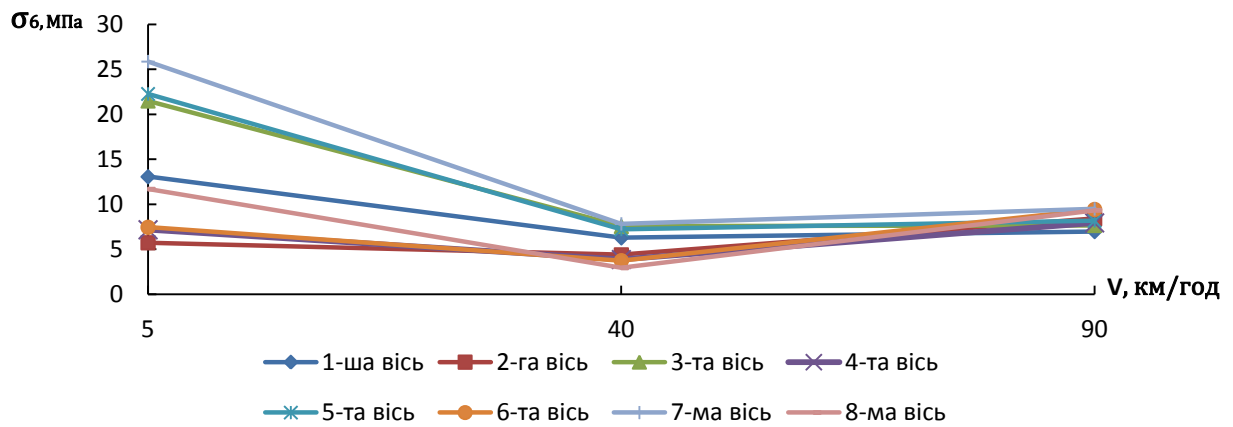


Рис. В.19 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma}_6$, МПа) від швидкості (V , км/год), при дії 1-8 ої осей локомотива ЧС7

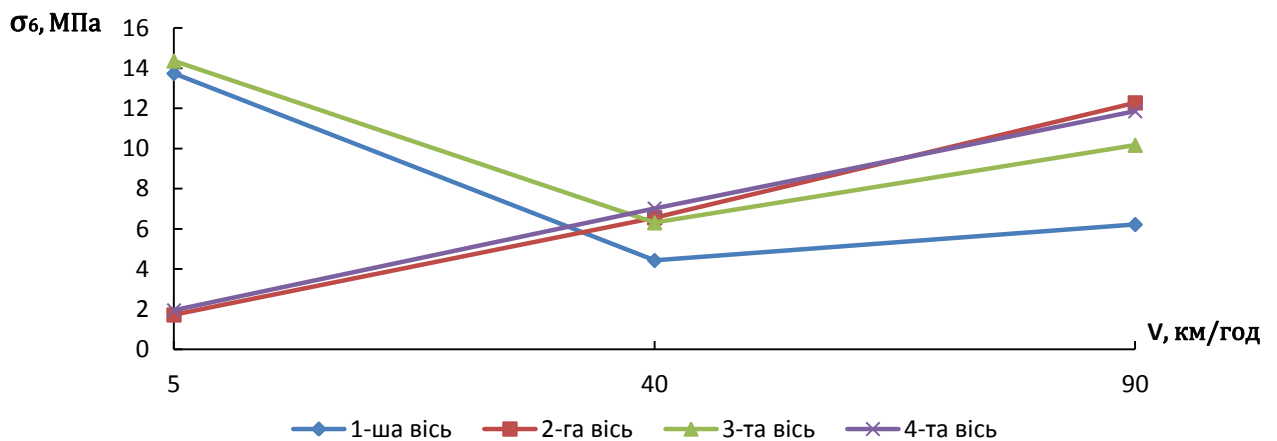


Рис. В.20 Значення напружень клеми ($\overline{\sigma}_6$, МПа) від швидкості руху (V , км/год), при дії 1-4 ої осей дослідного вагона моделі 19-7053

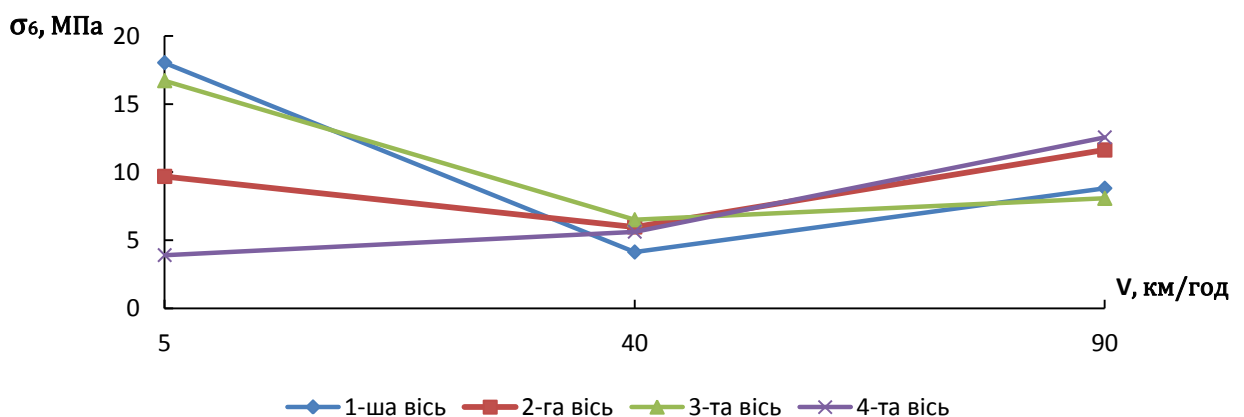


Рис. В.21 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma}_6$, МПа) від швидкості (V , км/год), при дії 1-4 ої осей вагона-еталона моделі 19-7016

Клема №1 (Зовнішня сторона вузол-І)

Таблиця В.8 – Середні ($\overline{\sigma}_8$), максимальні імовірні (σ_{max}^e) і максимальні спостережувані (σ_{max}^H) значення напружень по крайці підшви рейки, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м

Тип рухомого складу	Вісі	Значення напружень в клемі (МПа) при швидкостях в км/год								
		5			40			90		
		$\overline{\sigma}_8$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma}_8$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma}_8$	σ_{max}^B	σ_{max}^H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Локомотив ЧС-7	1	36,43	36,43	36,43	20,12	24,21	22,26	22,65	32,63	26,89
	2	18,85	18,85	18,85	14,53	18,57	17,21	26,77	40,95	32,79
	3	37,84	37,84	37,84	23,25	25,95	26,16	24,85	36,72	28,89
	4	18,71	18,71	18,71	14,20	15,54	15,40	26,24	39,03	32,16
	5	38,61	38,61	38,61	20,78	24,63	23,57	22,30	32,78	26,62
	6	19,71	19,71	19,71	14,64	16,72	16,62	27,47	41,67	32,38
	7	43,92	43,92	43,92	23,08	29,14	26,84	25,58	37,77	29,25
	8	20,17	20,17	20,17	14,63	16,30	16,22	27,64	37,10	33,11
Дослідний вагон моделі 19-7053	9	30,98	30,98	30,98	17,74	20,16	19,71	22,88	37,16	28,89
	10	22,57	22,57	22,57	21,26	24,17	23,94	34,52	46,06	38,52
	11	29,80	29,80	29,80	19,34	26,79	23,66	30,41	48,07	38,47
	12	20,67	20,67	20,67	17,87	24,62	21,76	35,42	45,52	39,61
Вагон-еталон моделі 19-7016	13	37,84	37,84	37,84	22,04	28,10	26,57	28,85	51,08	39,42
	14	26,16	26,16	26,16	22,21	26,57	25,66	36,62	51,00	42,38
	15	32,84	32,84	32,84	18,94	22,06	20,30	24,55	34,35	27,98
	16	24,21	24,21	24,21	20,15	21,88	21,71	32,19	46,51	35,79
Локомотив ЧС-7	17	38,20	38,20	38,20	21,49	27,67	25,39	23,89	37,86	31,25
	18	21,76	21,76	21,76	15,77	16,88	16,71	26,84	39,48	31,11
	19	41,74	41,74	41,74	24,88	28,32	28,16	24,22	35,47	29,43
	20	23,57	23,57	23,57	15,18	20,12	18,08	26,07	37,67	30,52
	21	41,92	41,92	41,92	23,65	28,13	27,48	22,78	33,94	28,71
	22	23,07	23,07	23,07	15,08	18,03	17,21	26,87	38,33	30,25
	23	43,01	43,01	43,01	23,75	29,08	27,48	23,05	32,00	28,52
	24	24,75	24,75	24,75	15,37	19,67	17,99	27,05	32,30	30,57

Примітки: в таблиці наведені об'єднані (парний не парний напрямок) значення величини середніх ($\overline{\sigma}_8$), максимальних імовірних (σ_{max}^e) і максимальних спостережуваних (σ_{max}^H) значень напружень по крайці підшви рейки, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м.

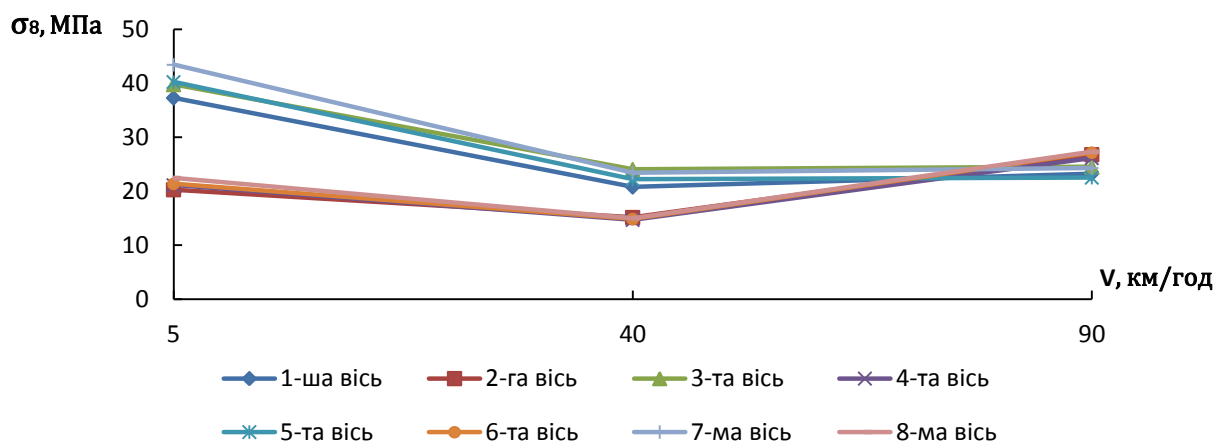


Рис. В.22 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma_8}$, МПа) від швидкості (V , км/год), при дії 1-8 ої осей локомотива ЧС7

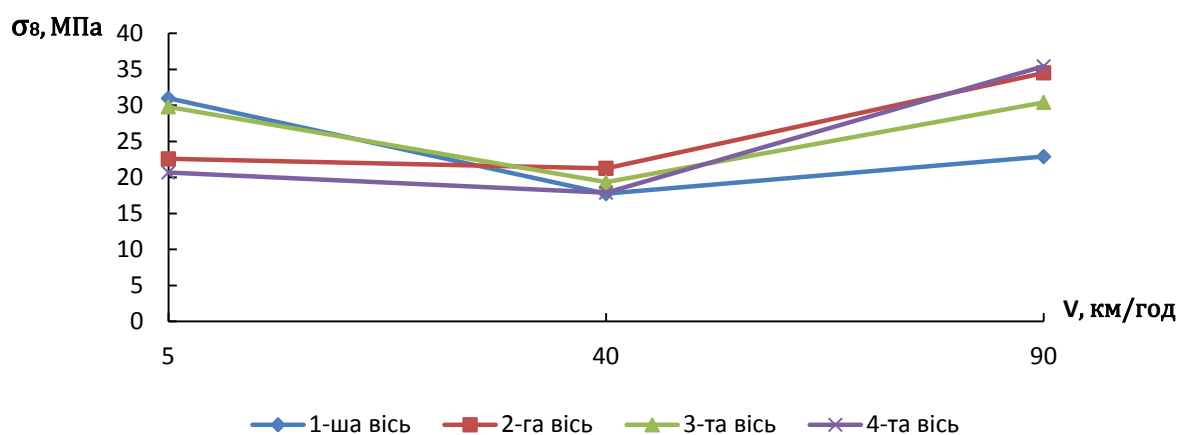


Рис. В.23 Значення напружень клемі ($\overline{\sigma_8}$, МПа) від швидкості руху (V , км/год), при дії 1-4 ої осей дослідного вагона моделі 19-7053

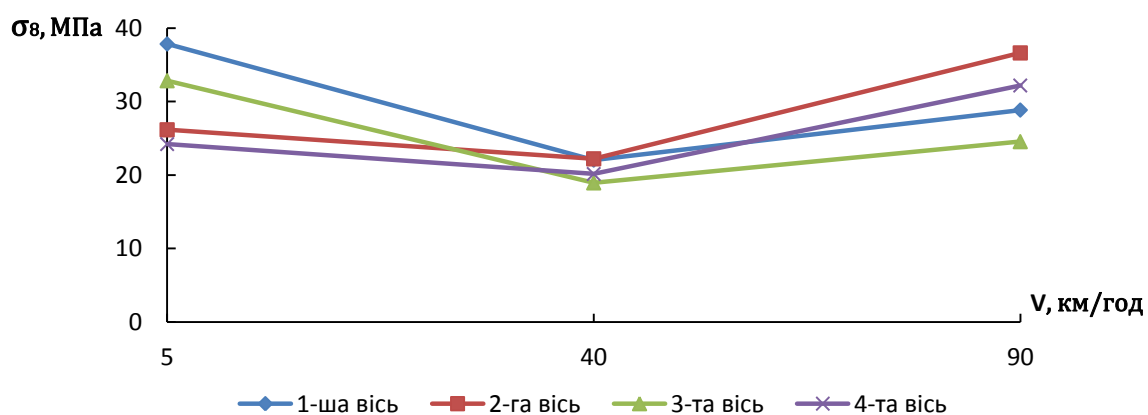


Рис. В.24 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma_8}$, МПа) від швидкості (V , км/год), при дії 1-4 ої осей вагона-еталона моделі 19-7016

Клема №1 (Зовнішня сторона вузол-I)

Таблиця В.9 – Середні ($\overline{\sigma_{11}}$), максимальні імовірні (σ_{max}^B) і максимальні спостережувані (σ_{max}^H) значення напружень по крайці підшви рейки, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м

Тип рухомого складу	Вісі	Значення напружень в клемі (МПа) при швидкостях в км/год								
		5			40			90		
		$\overline{\sigma_{11}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_{11}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_{11}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Локомотив ЧС-7	1	9,92	9,92	9,92	3,67	8,39	6,30	5,36	11,35	10,08
	2	8,48	8,48	8,48	3,79	6,10	4,75	6,70	11,48	9,57
	3	11,36	11,36	11,36	4,61	9,46	6,34	4,82	12,63	9,41
	4	9,06	9,06	9,06	3,48	6,49	4,86	6,80	12,07	10,31
	5	10,81	10,81	10,81	3,64	9,06	6,15	5,54	11,99	9,96
	6	9,02	9,02	9,02	3,04	6,38	4,75	6,78	12,05	10,19
	7	13,50	13,50	13,50	4,97	10,03	7,20	6,11	11,43	9,73
	8	10,50	10,50	10,50	3,86	6,49	5,21	7,50	12,08	10,78
Дослідний вагон моделі 19-7053	9	7,90	7,90	7,90	2,54	4,78	4,05	5,44	11,29	8,67
	10	8,21	8,21	8,21	5,59	9,90	7,90	8,88	15,66	13,03
	11	7,47	7,47	7,47	4,57	12,25	9,22	7,57	13,26	11,32
	12	6,92	6,92	6,92	3,75	10,15	7,20	8,05	12,74	12,25
Вагон-еталон моделі 19-7016	13	9,57	9,57	9,57	3,97	6,01	5,17	6,78	16,49	12,02
	14	8,83	8,83	8,83	4,33	8,57	7,55	8,81	15,94	13,11
	15	8,40	8,40	8,40	3,34	7,33	6,11	6,33	10,25	8,60
	16	8,17	8,17	8,17	3,77	7,56	6,34	10,32	16,78	14,47
Локомотив ЧС-7	17	10,15	10,15	10,15	3,65	7,52	5,80	5,14	12,77	10,35
	18	9,18	9,18	9,18	2,96	7,09	5,76	6,68	13,44	10,50
	19	12,60	12,60	12,60	4,25	9,18	6,73	4,57	13,54	9,61
	20	10,74	10,74	10,74	2,82	7,42	5,84	6,53	13,82	10,93
	21	12,49	12,49	12,49	3,53	8,46	5,87	4,78	12,54	9,76
	22	10,50	10,50	10,50	2,73	6,56	4,43	6,38	13,47	10,70
	23	12,29	12,29	12,29	3,68	7,34	5,49	4,41	13,43	9,22
	24	10,78	10,78	10,78	2,32	7,18	4,94	6,64	13,60	10,08

Примітки: в таблиці наведені об'єднані (парний не парний напрямок) значення величини середніх ($\overline{\sigma_{11}}$), максимальних імовірних (σ_{max}^B) і максимальних спостережуваних (σ_{max}^H) значень напружень по крайці підшви рейки, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м.

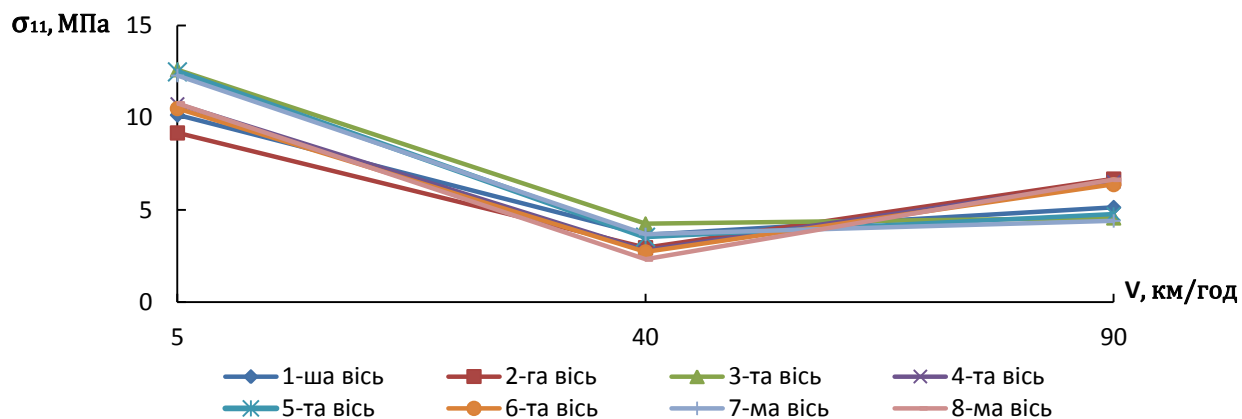


Рис. В.25 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma_{11}}$, МПа) від швидкості (V , км/год), при дії 1-8 ої осей локомотива ЧС7

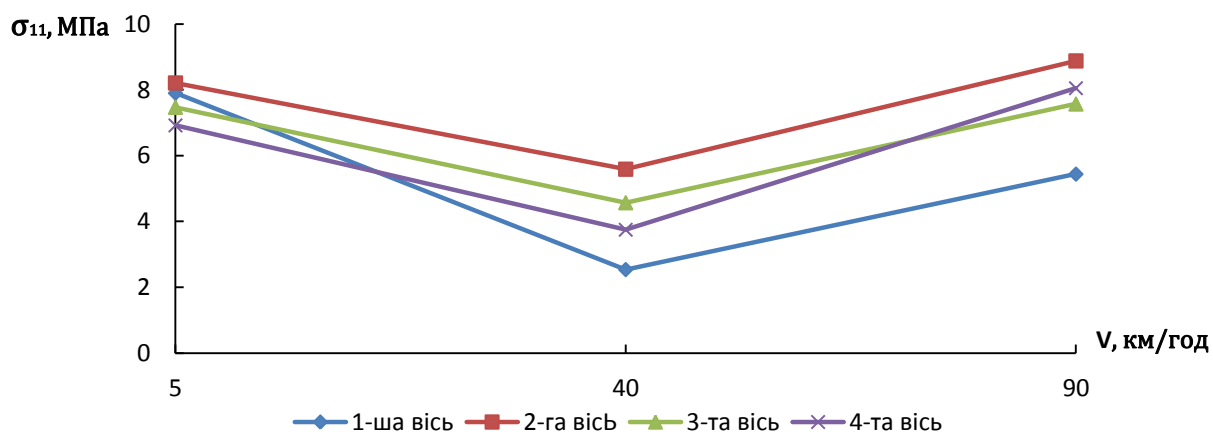


Рис. В.26 Значення напружень клемі ($\overline{\sigma_{11}}$, МПа) від швидкості (V , км/год), при дії 1-4 ої осей дослідного вагона моделі 19-7053

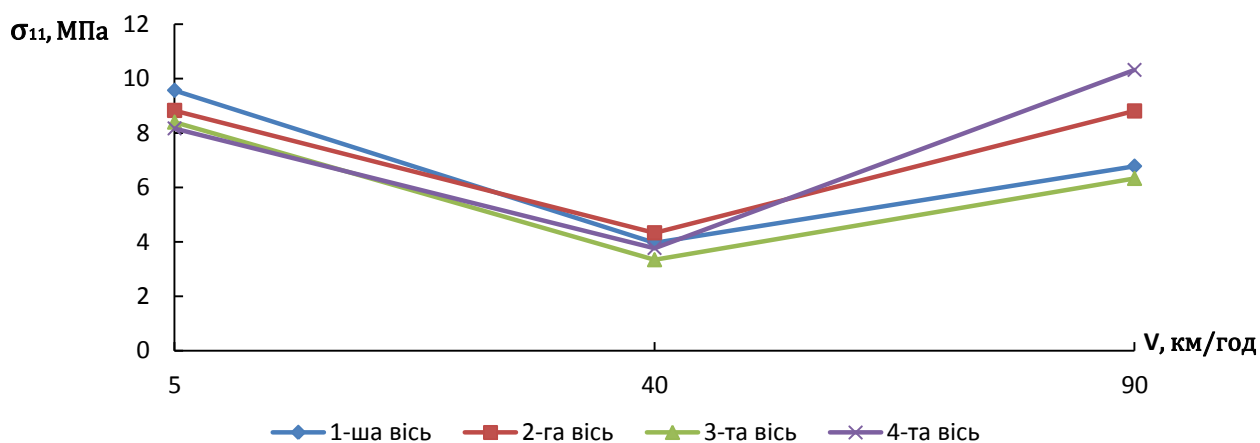


Рис. В.27 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma_{11}}$, МПа) від швидкості руху (V , км/год), при дії 1-4 ої осей вагона-еталона моделі 19-7016

Клема №1 (Зовнішня сторона вузол-I)

Таблиця В.10 – Середні ($\overline{\sigma}_1$), максимальні імовірні (σ_{max}^e) і максимальні спостережувані (σ_{max}^H) значення напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м

Тип рухомого складу	Вісі	Значення напружень в клемі (МПа) при швидкостях в км/год								
		5			40			90		
		$\overline{\sigma}_1$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma}_1$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma}_1$	σ_{max}^B	σ_{max}^H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Локомотив ЧС-7	1	65,26	65,26	65,26	49,66	59,58	55,58	68,68	91,19	78,35
	2	37,69	37,69	37,69	39,18	53,87	46,59	72,57	105,2	89,43
	3	68,05	68,05	68,05	55,86	61,89	59,33	73,97	101,0	83,93
	4	39,09	39,09	39,09	38,28	47,06	43,80	69,82	99,42	85,59
	5	69,45	69,45	69,45	51,34	56,15	55,66	66,15	91,42	77,47
	6	40,48	40,48	40,48	39,24	51,19	46,59	73,90	110,4	89,60
	7	78,26	78,26	78,26	54,37	62,44	59,41	71,27	95,06	79,48
	8	41,70	41,70	41,70	38,57	45,03	43,36	72,20	97,45	89,08
Дослідний вагон моделі 19-7053	9	61,77	61,77	61,77	49,00	53,89	53,39	75,30	100,7	87,07
	10	49,38	49,38	49,38	54,68	70,24	64,30	86,87	115,5	99,20
	11	57,06	57,06	57,06	47,49	65,06	56,97	77,30	103,8	90,21
	12	42,49	42,49	42,49	42,91	67,55	54,97	83,17	110,5	96,67
Вагон-еталон моделі 19-7016	13	69,97	69,97	69,97	53,09	60,38	59,59	77,88	106,7	86,64
	14	52,26	52,26	52,26	51,86	57,65	58,98	85,60	115,4	98,76
	15	61,51	61,51	61,51	46,44	51,82	50,95	67,76	89,1	74,86
	16	49,29	49,29	49,29	47,16	58,41	55,66	79,75	114,0	93,00
Локомотив ЧС-7	17	69,36	69,36	69,36	50,77	55,66	54,79	67,32	95,27	80,88
	18	44,50	44,50	44,50	40,32	50,01	45,19	71,38	104,5	87,25
	19	75,82	75,82	75,82	56,75	61,45	59,68	69,98	93,83	77,91
	20	46,85	46,85	46,85	38,25	40,82	39,87	68,55	97,34	84,19
	21	74,33	74,33	74,33	53,97	57,13	56,54	65,88	90,83	77,56
	22	46,07	46,07	46,07	37,90	43,69	42,14	70,55	99,62	83,93
	23	77,39	77,39	77,39	55,34	58,62	57,84	70,06	85,29	76,52
	24	49,91	49,91	49,91	39,46	42,52	41,70	71,79	87,90	84,63

Примітки: в таблиці наведені об'єднані (парний не парний напрямок) значення величини середніх ($\overline{\sigma}_1$), максимальних імовірних (σ_{max}^e) і максимальних спостережуваних (σ_{max}^H) значень напружень по крайці підшви рейки, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м.

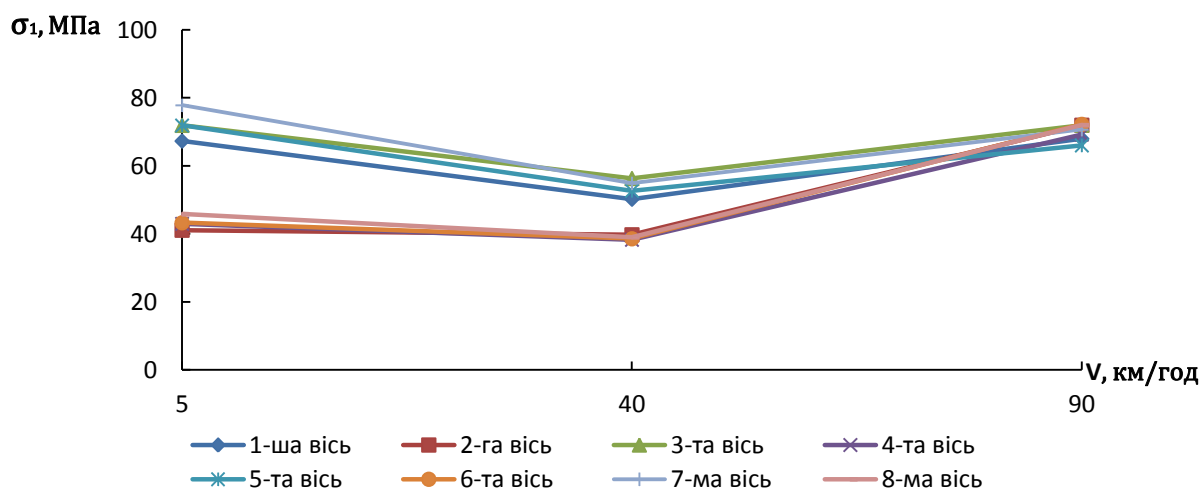


Рис. В.28 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma}_1$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-8 ої осей локомотива ЧС7

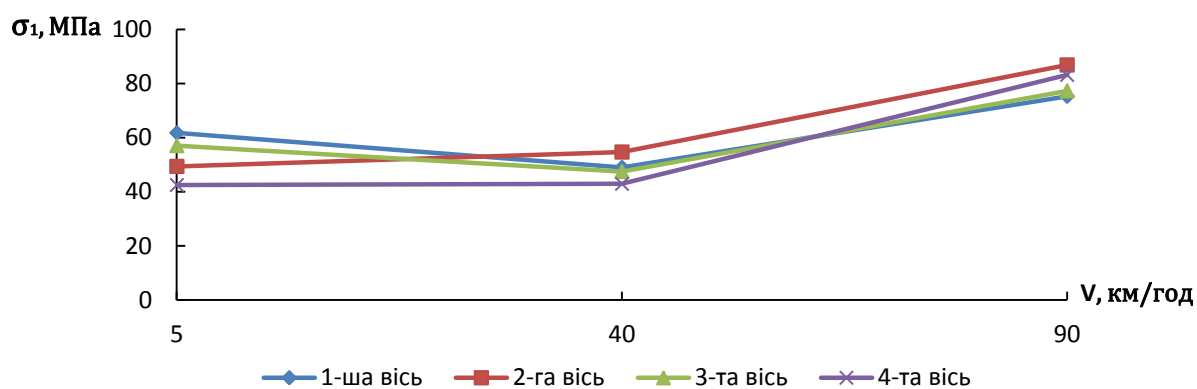


Рис. В.29 Значення напружень клемі ($\overline{\sigma}_1$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-4 ої осей дослідного вагона моделі 19-7053

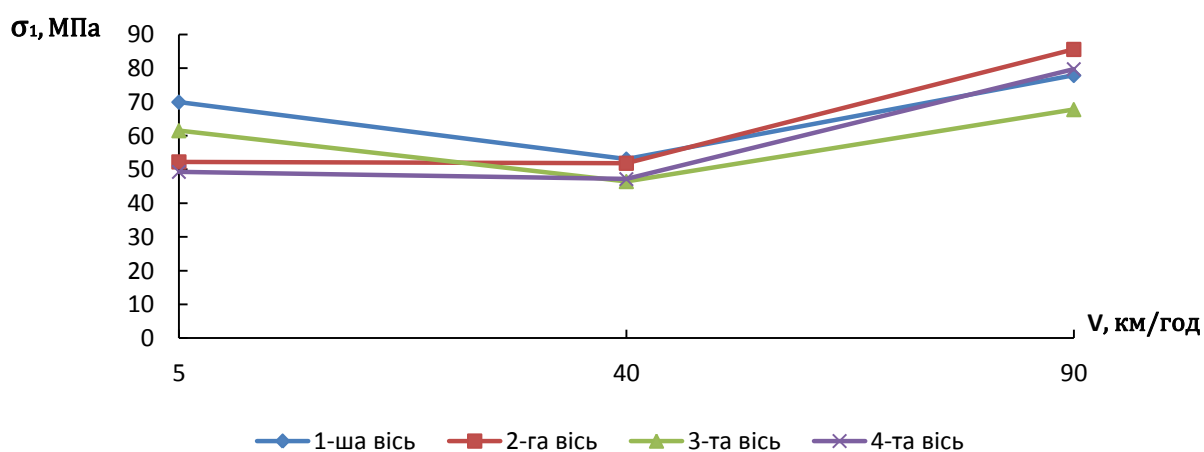


Рис. В.30 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma}_1$, МПа) від швидкості руху (V, км/год), при дії 1-4 ої осей вагона-еталона моделі 19-7016

Клема №2 (Внутрішня сторона вузол-І)

Таблиця В.11 – Середні ($\overline{\sigma_3}$), максимальні імовірні (σ_{max}^6) і максимальні спостережувані (σ_{max}^H) значення напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м

Тип рухомого складу	Вісі	Значення напружень в клемі (МПа) при швидкостях в км/год								
		5			40			90		
		$\overline{\sigma_3}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_3}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_3}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Локомотив ЧС-7	1	57,43	131,8	87,17	124,2	146,8	142,7	196,2	264,8	224,8
	2	167,7	200,5	180,8	188,1	208,6	200,6	191,6	254,6	220,9
	3	29,94	43,44	35,34	110,4	125,4	117,4	183,2	276,1	256,0
	4	184,0	211,9	195,1	194,8	214,8	209,7	202,6	292,1	243,8
	5	28,53	67,98	50,65	131,0	161,4	147,0	219,5	297,3	257,4
	6	185,7	207,5	195,0	197,3	216,2	209,4	193,9	281,7	236,6
	7	35,73	90,22	57,33	112,2	156,8	139,8	191,7	266,6	226,4
	8	166,8	205,3	187,1	186,6	209,2	201,8	181,3	285,2	228,3
Дослідний вагон моделі 19-7053	9	161,3	199,3	182,2	196,3	215,4	207,7	192,6	274,8	243,8
	10	195,0	233,6	214,6	223,0	243,4	235,8	192,4	271,6	253,7
	11	141,5	173,7	158,6	175,8	200,3	194,0	166,7	291,9	245,0
	12	195,8	217,2	202,6	212,4	228,5	222,6	205,9	292,4	235,0
Вагон-еталон моделі 19-7016	13	88,61	167,0	113,5	157,2	184,9	172,8	137,3	207,3	187,9
	14	175,9	198,5	183,0	192,8	216,8	211,6	163,5	225,2	196,7
	15	87,10	221,7	130,	148,0	175,0	166,9	152,2	216,0	205,2
	16	174,7	201,1	186,9	179,3	198,2	195,9	197,8	257,2	229,5
Локомотив ЧС-7	17	52,68	104,2	70,09	125,9	158,1	146,5	208,3	273,0	239,5
	18	183,9	201,8	190,4	195,7	215,3	208,3	198,5	295,8	254,4
	19	61,45	76,69	68,71	92,65	118,1	109,4	180,2	273,9	231,1
	20	170,2	184,4	177,3	183,5	198,3	192,8	195,7	293,2	242,5
	21	59,81	69,67	64,4	97,42	132,5	118,2	191,1	257,6	219,3
	22	173,2	185,3	176,9	184,4	207,9	200,1	189,5	290,8	247,8
	23	42,73	71,83	56,54	102,7	129,9	119,4	196,6	288,5	248,9
	24	180,4	192,2	186,9	192,7	213,3	202,0	202,3	319,6	259,0

Примітки: в таблиці наведені об'єднані (парний не парний напрямок) значення величини середніх ($\overline{\sigma_3}$), максимальних імовірних (σ_{max}^6) і максимальних спостережуваних (σ_{max}^H) значень напружень по крайці підшви рейки, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м.

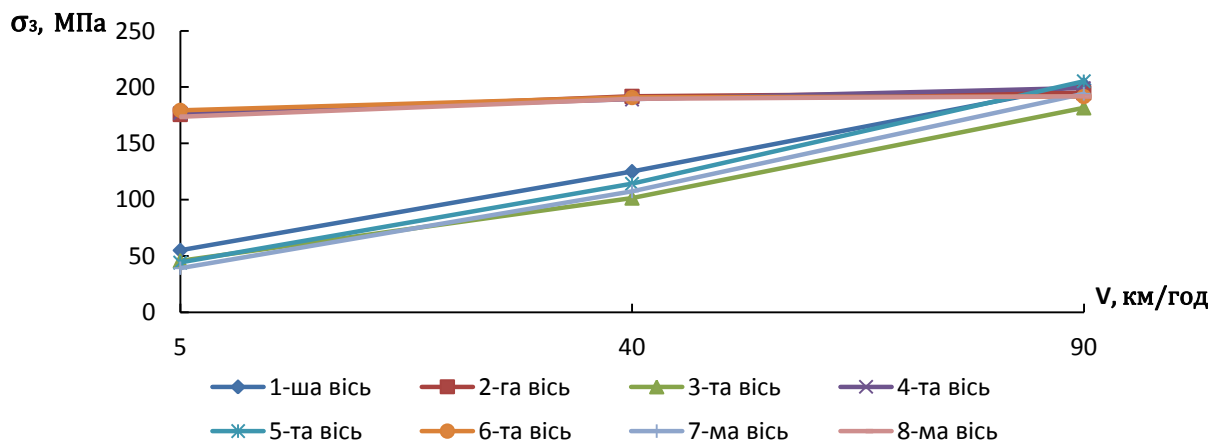


Рис. В.31 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma_3}$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-8 ої осей локомотива ЧС7

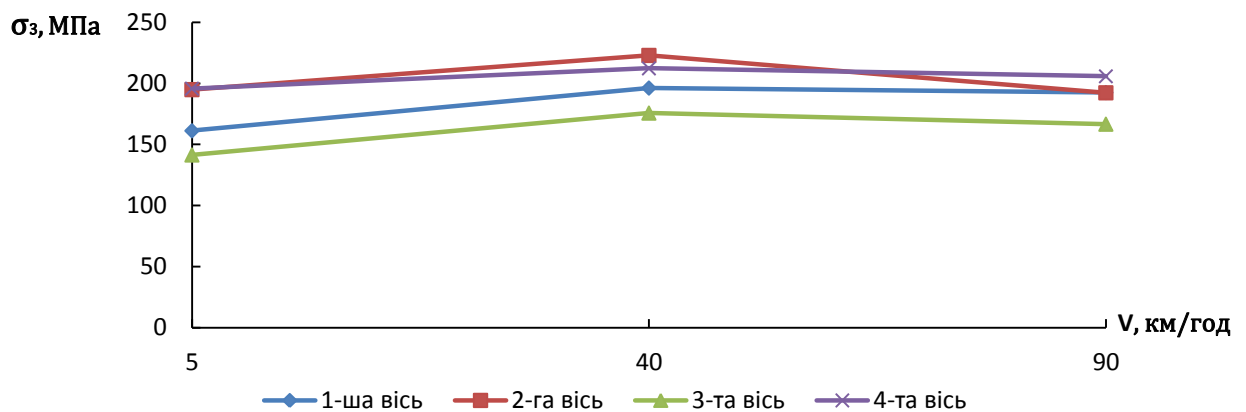


Рис. В.32 Значення напружень клемі ($\overline{\sigma_3}$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-4 ої осей дослідного вагона моделі 19-7053

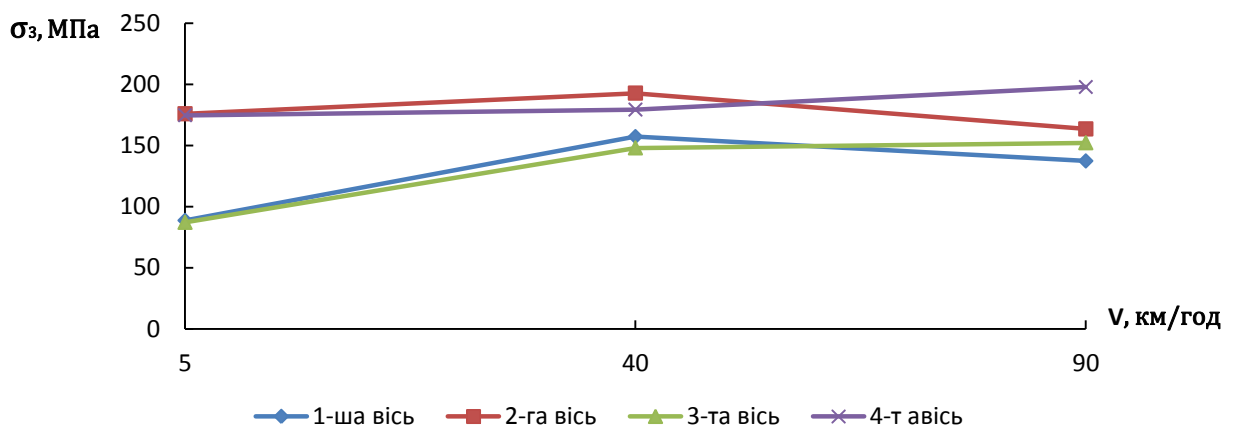


Рис. В.33 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma_3}$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-4 ої осей вагона-еталона моделі 19-7016

Клема №2 (Внутрішня сторона вузол-І)

Таблиця В.12 – Середні ($\overline{\sigma}_7$), максимальні імовірні (σ_{max}^e) і максимальні спостережувані (σ_{max}^H) значення напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м

Тип рухомого складу	Вісі	Значення напружень в клемі (МПа) при швидкостях в км/год								
		5			40			90		
		$\overline{\sigma}_7$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma}_7$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma}_7$	σ_{max}^B	σ_{max}^H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Локомотив ЧС-7	1	91,36	188,8	130,3	210,5	263,4	256,3	334,0	462,1	380,9
	2	235,8	294,5	259,3	302,1	330,8	318,7	329,3	443,4	380,1
	3	67,06	115,3	86,34	183,0	218,0	212,3	313,3	470,5	426,0
	4	262,4	313,0	282,6	311,8	343,1	339,1	345,3	490,0	405,9
	5	65,43	151,8	102,4	222,0	265,3	249,8	367,4	501,3	429,5
	6	268,4	333,6	301,1	314,4	343,1	332,0	329,3	472,4	390,4
	7	35,11	76,24	57,29	188,5	249,3	227,2	324,3	451,3	372,8
	8	242,1	328,9	288,3	298,1	348,1	328,8	310,6	476,6	375,2
Дослідний вагон моделі 19-7053	9	257,6	301,5	279,9	328,3	360,4	351,9	328,2	469,5	401,5
	10	284,2	366,9	327,4	349,0	397,1	374,7	317,4	454,5	415,7
	11	218,8	240,6	231,0	291,8	319,3	311,1	278,7	472,2	396,7
	12	276,3	328,6	300,5	325,3	364,9	350,2	329,8	478,5	387,4
Вагон-еталон моделі 19-7016	13	135,2	263,9	187,3	257,4	313,4	297,3	236,6	356,2	317,9
	14	244,4	296,4	268,8	296,3	324,8	321,5	264,9	372,4	327,7
	15	116,4	312,6	179,2	239,0	275,5	268,8	248,4	355,5	322,5
	16	240,1	290,1	267,4	273,3	312,7	297,8	315,1	409,4	374,4
Локомотив ЧС-7	17	75,11	128,0	92,58	212,1	254,0	238,1	348,3	464,6	398,8
	18	265,3	295,4	278,6	308,7	333,6	323,6	334,8	482,8	410,0
	19	73,94	128,1	104,0	146,1	178,5	166,4	301,7	450,3	383,1
	20	247,2	272,0	258,5	292,0	315,6	306,2	331,8	483,8	399,1
	21	71,31	98,77	84,44	157,1	219,6	196,3	323,3	443,8	370,9
	22	251,2	269,1	259,3	294,0	321,2	310,9	322,1	476,4	404,3
	23	42,72	124,7	85,79	170,2	215,0	194,4	334,3	475,6	404,8
	24	264,3	279,9	271,0	305,4	332,1	319,6	345,4	519,4	425,4

Примітки: в таблиці наведені об'єднані (парний не парний напрямок) значення величини середніх ($\overline{\sigma}_7$), максимальних імовірних (σ_{max}^e) і максимальних спостережуваних (σ_{max}^H) значень напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м.

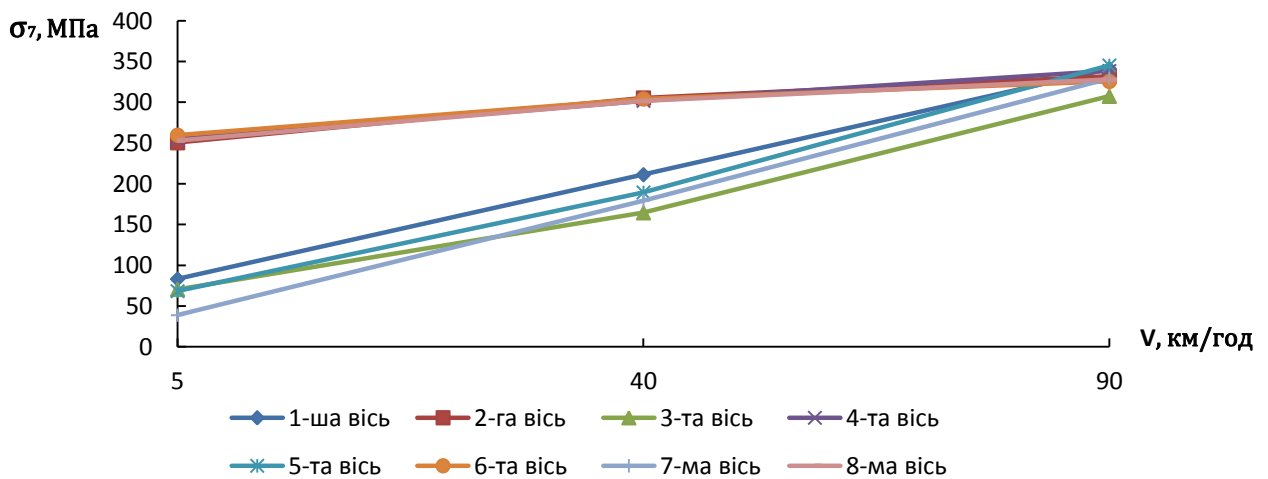


Рис. В.34 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma}_7$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-8 ої осей локомотива ЧС7

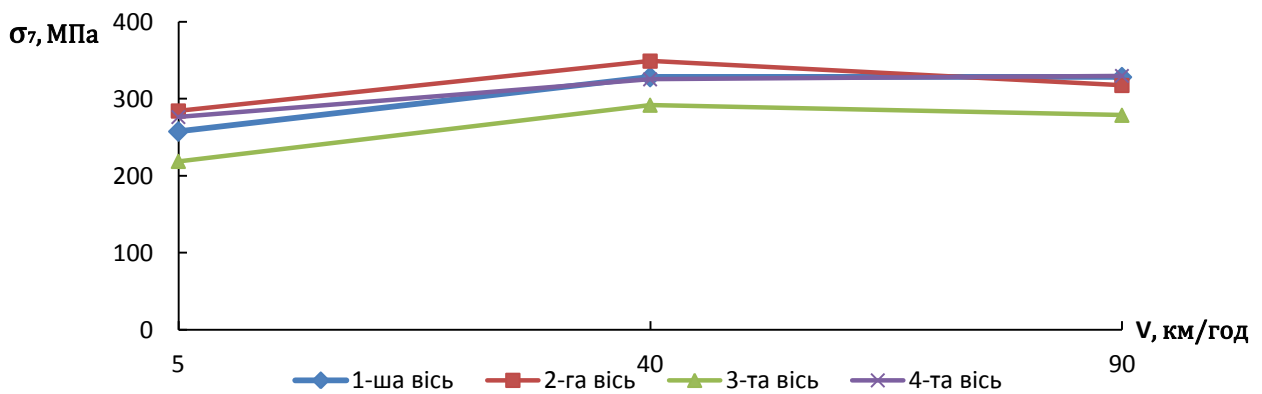


Рис. В.35 Значення напружень клемі ($\overline{\sigma}_7$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-4 ої осей дослідного вагона моделі 19-7053

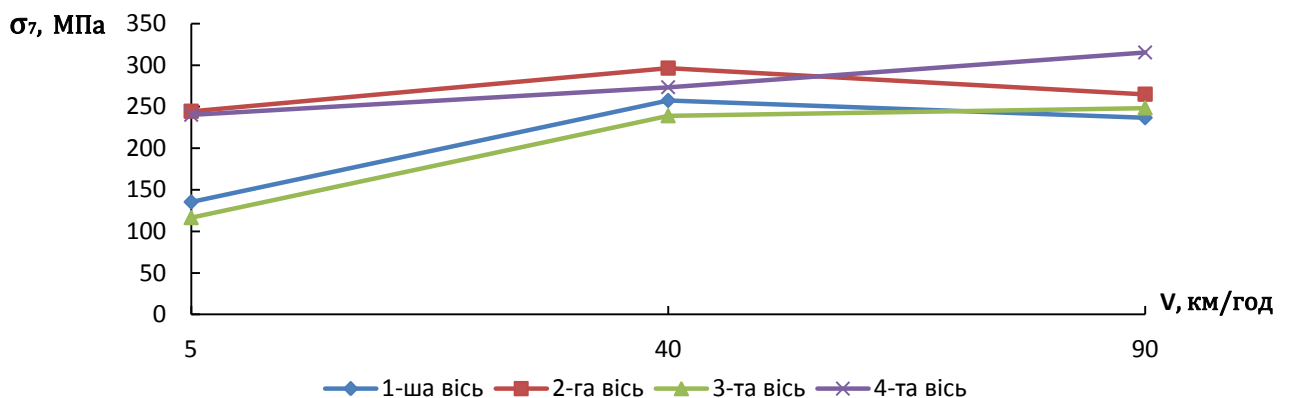


Рис. В.36 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma}_7$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-4 ої осей вагона-еталона моделі 19-7016

Клема №2 (Внутрішня сторона вузол-І)

Таблиця В.13 – Середні ($\overline{\sigma_2}$), максимальні імовірні (σ_{max}^e) і максимальні спостережувані (σ_{max}^H) значення напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м

Тип рухомого складу	Вісі	Значення напружень в клемі (МПа) при швидкостях в км/год								
		5			40			90		
		$\overline{\sigma_2}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_2}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_2}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Локомотив ЧС-7	1	57,97	105,9	77,16	36,42	70,05	53,16	32,90	78,02	64,04
	2	41,02	61,25	49,11	43,09	55,60	50,51	36,40	69,95	54,27
	3	67,88	88,28	76,04	47,76	82,09	68,37	34,19	78,15	54,97
	4	50,58	68,54	57,76	48,28	60,27	57,20	40,59	67,67	55,11
	5	52,97	64,73	59,58	34,64	54,97	50,09	38,79	97,81	74,92
	6	53,76	56,50	54,97	48,71	66,75	61,25	33,17	64,84	53,16
	7	63,62	106,8	84,69	42,72	49,99	48,13	31,74	80,19	69,62
	8	51,90	57,46	54,55	46,73	62,68	56,92	33,49	67,86	51,62
Дослідний вагон моделі 19-7053	9	35,07	87,96	52,60	32,76	74,30	54,69	28,20	63,49	56,23
	10	65,90	73,94	68,64	64,54	85,37	75,20	43,18	88,26	68,51
	11	39,02	55,75	48,41	30,19	74,78	50,79	28,30	68,93	59,58
	12	63,48	67,96	65,99	62,41	81,48	72,13	47,87	92,70	72,69
Вагон-еталон моделі 19-7016	13	39,90	100,3	72,55	31,30	77,04	66,55	30,19	59,95	47,44
	14	55,34	61,00	57,76	52,04	70,38	63,48	32,75	65,10	53,72
	15	25,49	58,69	44,09	23,19	54,54	38,93	31,42	64,16	51,62
	16	51,76	55,23	52,88	43,32	61,41	55,53	36,91	81,08	61,11
Локомотив ЧС-7	17	50,97	64,26	57,76	35,74	50,03	48,83	34,02	86,21	67,11
	18	52,27	59,67	56,23	44,56	51,75	51,06	28,71	68,59	47,16
	19	77,99	86,66	82,60	57,37	83,78	75,20	39,57	72,26	58,88
	20	48,32	55,07	51,06	44,76	60,96	53,72	28,48	68,23	50,51
	21	79,34	87,25	82,88	51,50	67,78	65,99	29,46	69,12	61,25
	22	51,48	56,07	53,86	45,68	57,40	54,83	30,83	65,12	51,48
	23	65,76	79,33	73,25	48,96	72,44	68,92	37,23	76,84	61,95
	24	54,13	57,02	55,67	49,18	59,32	57,48	34,14	71,75	54,41

Примітки: в таблиці наведені об'єднані (парний не парний напрямок) значення величини середніх ($\overline{\sigma_2}$), максимальних імовірних (σ_{max}^e) і максимальних спостережуваних (σ_{max}^H) значень напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м.

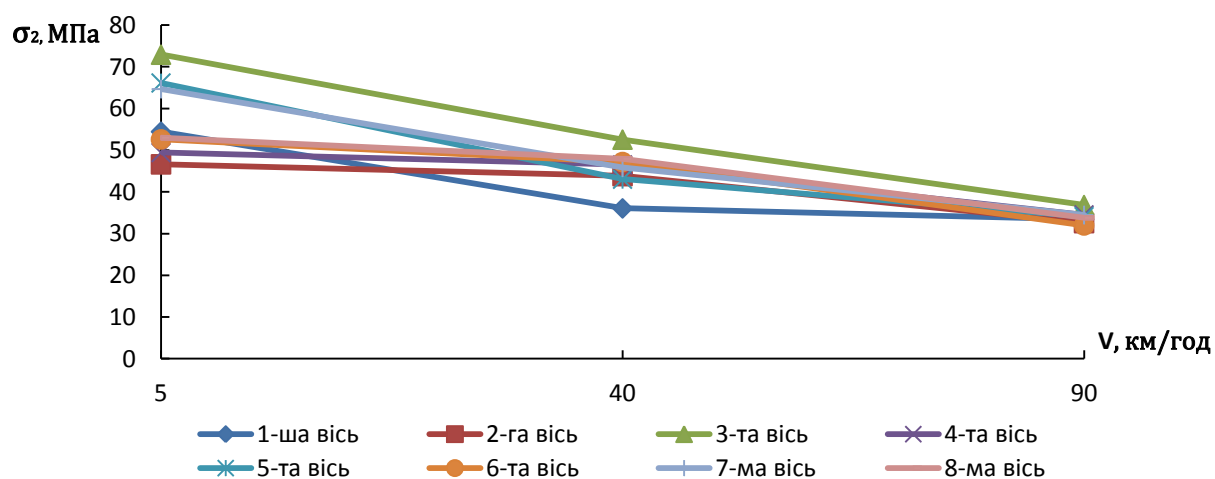


Рис. В.37 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma_2}$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-8 ої осей локомотива ЧС7

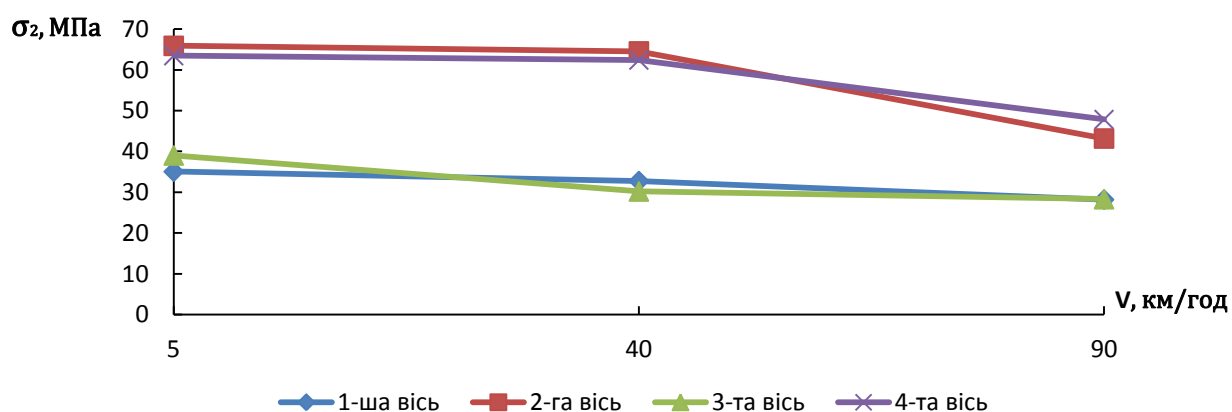


Рис. В.38 Значення напружень клемі ($\overline{\sigma_2}$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-4 ої осей дослідного вагона моделі 19-7053

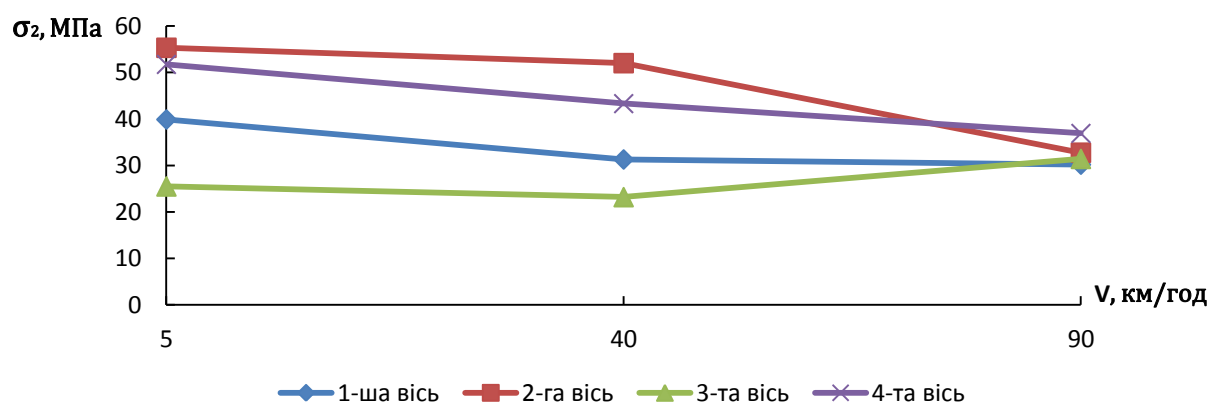


Рис. В.39 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma_2}$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-4 ої осей вагона-еталона моделі 19-7016

Клема №2 (Внутрішня сторона вузол-І)

Таблиця В.14 – Середні ($\overline{\sigma_6}$), максимальні імовірні (σ_{max}^6) і максимальні спостережувані (σ_{max}^H) значення напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м

Тип рухомого складу	Вісі	Значення напружень в клемі (МПа) при швидкостях в км/год								
		5			40			90		
		$\overline{\sigma_6}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_6}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_6}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Локомотив ЧС-7	1	16,53	43,90	27,48	21,89	43,10	34,45	45,23	82,96	59,14
	2	46,38	60,50	52,03	50,21	58,33	54,68	44,84	60,07	50,35
	3	29,15	47,98	36,68	25,71	31,96	29,99	43,49	75,25	65,14
	4	50,63	65,63	56,63	51,42	56,68	55,10	48,27	72,95	61,51
	5	23,25	32,52	28,45	24,02	53,03	42,54	46,87	102,5	67,09
	6	49,28	59,39	53,42	51,96	58,07	56,77	43,64	66,60	56,35
	7	30,87	69,25	51,19	19,56	39,42	37,52	39,27	88,54	57,47
	8	42,91	58,00	49,10	48,36	54,38	51,61	42,58	66,93	54,68
Дослідний вагон моделі 19-7053	9	28,36	74,91	43,10	37,22	92,92	54,96	34,96	74,48	55,37
	10	51,10	68,77	58,30	60,79	68,83	64,58	40,29	64,67	59,14
	11	37,24	50,88	44,36	39,73	75,61	54,12	35,40	74,53	56,07
	12	51,52	65,51	56,91	58,85	65,58	32,07	48,25	70,52	57,88
Вагон-еталон моделі 19-7016	13	29,76	43,92	34,17	36,85	62,76	49,79	28,98	50,01	40,87
	14	44,08	59,12	48,54	51,17	56,99	56,77	34,09	48,14	43,52
	15	17,71	39,17	29,85	27,74	62,78	43,66	32,68	58,28	47,98
	16	43,43	56,58	47,28	46,87	54,09	51,89	43,88	62,59	55,37
Локомотив ЧС-7	17	22,87	31,11	25,80	21,14	49,19	40,59	44,56	97,66	64,58
	18	46,54	56,85	50,91	50,66	60,29	56,49	40,64	81,56	60,12
	19	44,68	50,95	46,73	23,88	46,31	65,15	44,33	74,94	60,81
	20	41,61	53,53	45,05	46,65	51,76	49,79	39,58	85,43	59,70
	21	41,57	46,12	43,80	21,66	39,16	32,78	40,66	82,64	59,00
	22	42,73	54,65	46,31	47,02	54,54	51,47	37,75	82,95	58,16
	23	36,08	53,85	43,80	22,52	43,81	36,40	46,81	79,64	62,77
	24	44,77	55,76	48,68	49,57	56,72	53,98	40,82	96,20	63,60

Примітки: в таблиці наведені об'єднані (парний не парний напрям) значення величини середніх ($\overline{\sigma_6}$), максимальних імовірних (σ_{max}^6) і максимальних спостережуваних (σ_{max}^H) значень напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м.

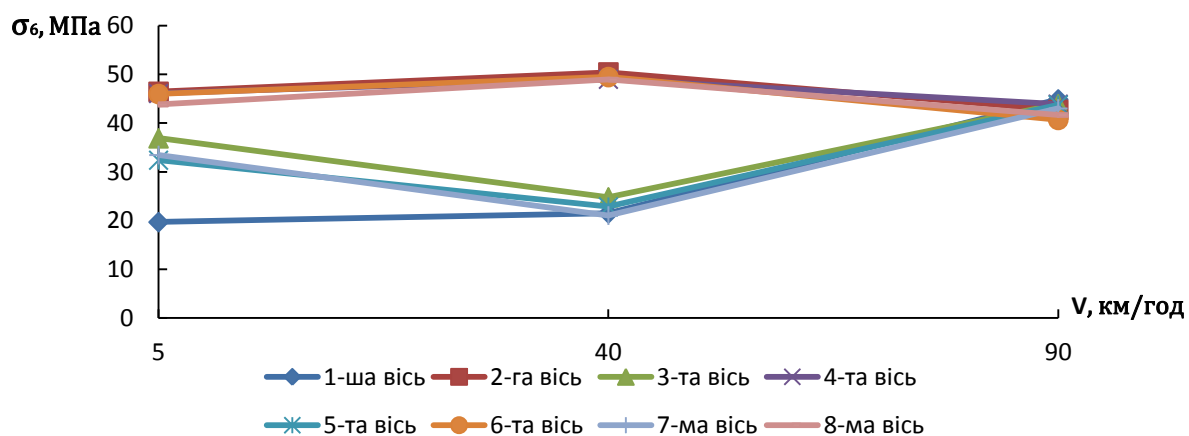


Рис. В.40 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma}_6$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-8 ої осей локомотива ЧС7

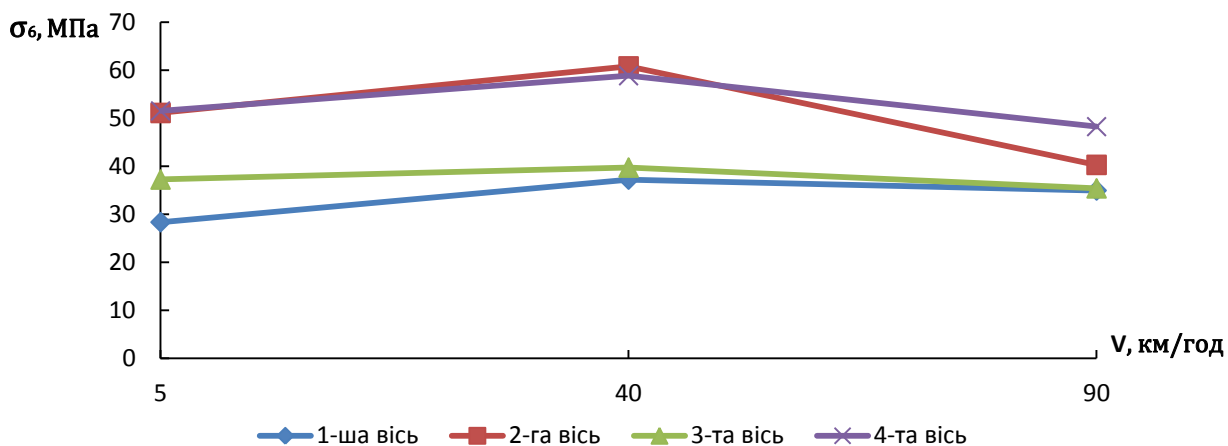


Рис. В.41 Значення напружень клемі ($\overline{\sigma}_6$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-4 ої осей дослідного вагона моделі 19-7053

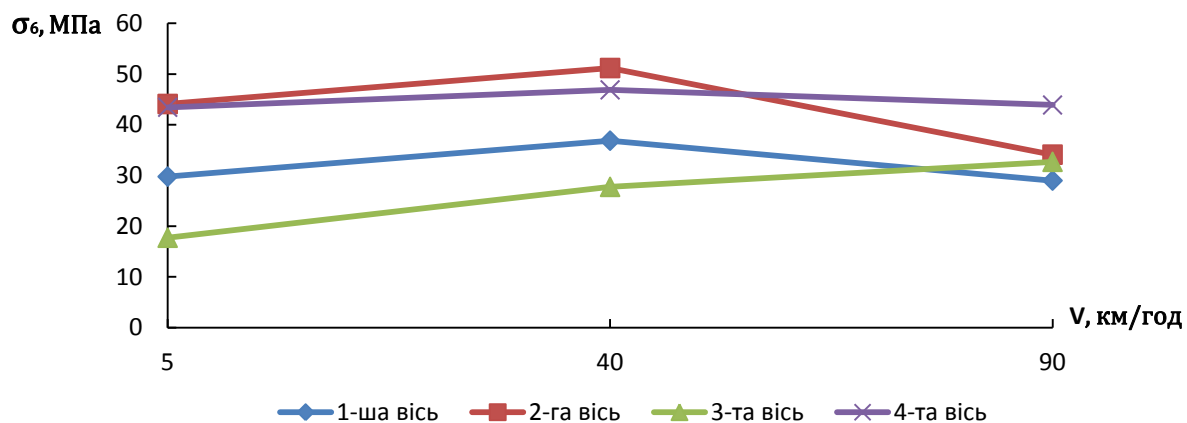


Рис. В.42 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma}_6$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-4 ої осей вагона-еталона моделі 19-7016

Клема №3 (Зовнішня сторона вузол-II)

Таблиця В.15 – Середні ($\overline{\sigma_{100}}$), максимальні імовірні (σ_{max}^g) і максимальні спостережувані (σ_{max}^H) значення напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м

Тип рухомого складу	Вісі	Значення напружень в клемі (МПа) при швидкостях в км/год								
		5			40			90		
		$\overline{\sigma_{100}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_{100}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_{100}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Локомотив ЧС-7	1	57,40	57,89	57,60	61,44	69,33	68,76	72,70	107,5	86,86
	2	30,83	35,31	32,62	46,61	55,52	52,60	83,28	119,4	98,65
	3	61,81	66,49	63,68	65,69	72,44	70,63	76,94	111,6	90,06
	4	31,92	37,38	34,10	46,48	53,68	52,37	79,39	110,1	89,83
	5	60,87	68,61	63,76	62,59	69,84	67,27	72,52	110,4	89,98
	6	33,09	39,07	36,06	48,14	55,24	54,08	85,93	123,1	98,33
	7	60,54	75,17	66,88	63,93	73,56	70,55	74,78	103,7	85,61
	8	33,32	39,43	36,60	46,96	54,6	53,15	81,97	107,7	94,51
Дослідний вагон моделі 19-7053	9	45,66	53,11	47,92	52,03	56,62	55,64	87,17	125,7	105,6
	10	38,58	43,47	41,13	53,16	64,68	60,95	101,3	144,3	120,1
	11	49,48	59,62	55,18	53,75	66,64	63,21	90,1	122,2	104,6
	12	36,24	45,30	39,65	45,85	50,83	50,49	94,75	130,9	112,2
Вагон-еталон моделі 19-7016	13	60,20	67,65	63,61	60,32	77,57	73,52	92,63	141,9	116,0
	14	43,34	47,32	45,26	56,84	72,03	71,18	101,5	142,2	120,7
	15	52,26	56,37	54,08	54,25	64,48	61,03	81,27	126,6	105,1
	16	41,52	45,38	43,24	49,72	58,56	56,66	90,05	139,0	114,5
Локомотив ЧС-7	17	62,56	69,76	66,26	63,76	73,06	70,32	74,75	120,2	99,43
	18	36,58	41,20	38,79	48,21	54,60	52,99	83,84	121,9	101,8
	19	63,81	71,70	67,66	68,56	74,00	71,80	74,75	110,5	91,70
	20	38,22	51,62	43,39	48,22	64,82	59,00	79,57	114,5	99,50
	21	65,14	73,20	69,22	67,65	77,18	72,81	74,31	116,7	95,45
	22	36,78	47,62	40,74	48,24	59,67	56,35	83,16	121,0	103,7
	23	64,72	74,18	68,83	67,53	75,34	73,59	76,13	107,0	91,62
	24	39,05	54,11	44,87	47,87	62,62	56,27	84,22	116,7	101,5

Примітки: в таблиці наведені об'єднані (парний не парний напрямок) значення величини середніх ($\overline{\sigma_{100}}$), максимальних імовірних (σ_{max}^g) і максимальних спостережуваних (σ_{max}^H) значень напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м.

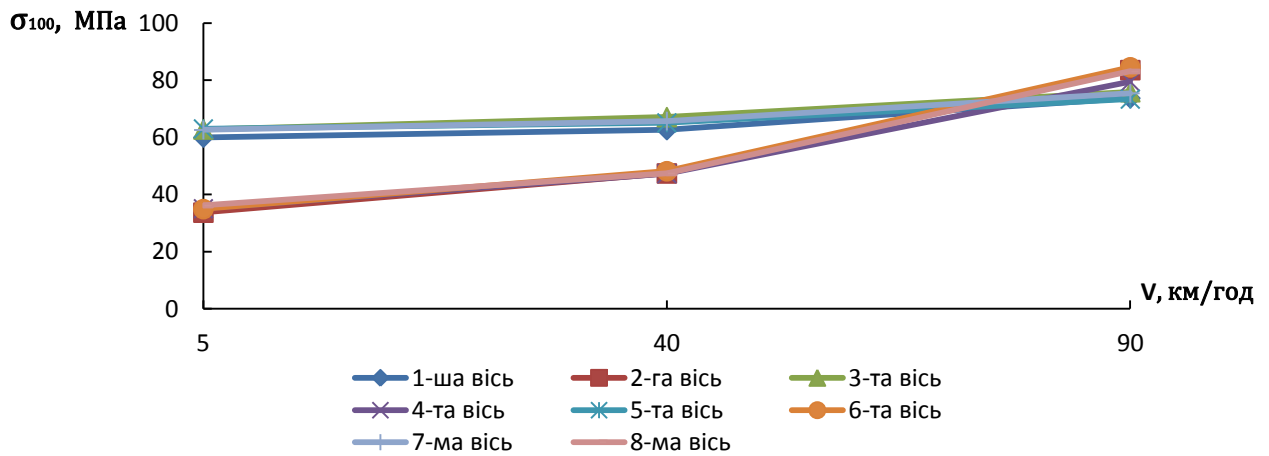


Рис. В.43 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma_{100}}$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-8 ої осей локомотива ЧС7

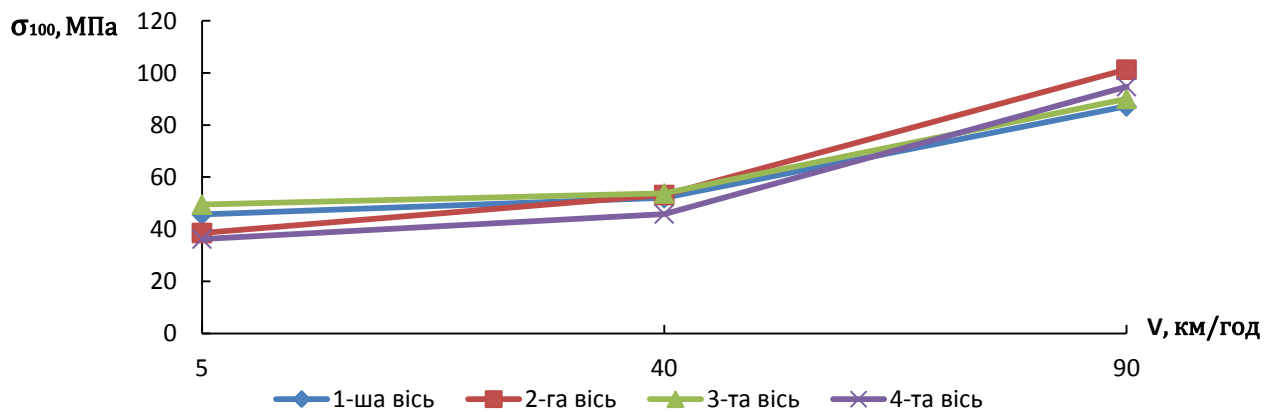


Рис. В.44 Значення напружень клемі ($\overline{\sigma_{100}}$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-4 ої осей дослідного вагона моделі 19-7053

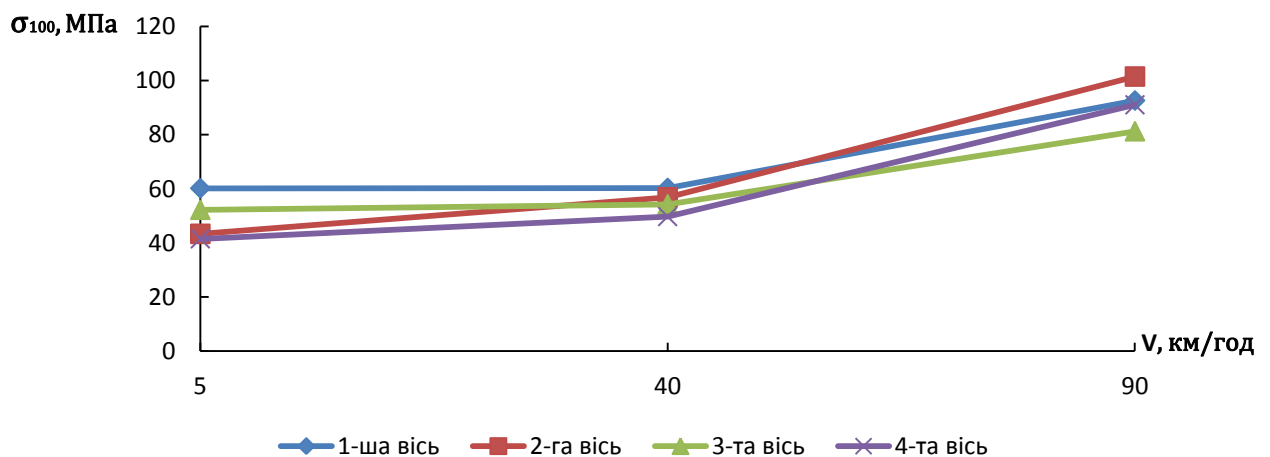


Рис. В.45 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma_{100}}$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-4 ої осей вагона-еталона моделі 19-7016

Клема №3 (Зовнішня сторона вузол-II)

Таблиця В.16 – Середні ($\overline{\sigma_{29}}$), максимальні імовірні (σ_{max}^e) і максимальні спостережувані (σ_{max}^H) значення напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м

Тип рухомого складу	Вісі	Значення напружень в клемі (МПа) при швидкостях в км/год								
		5			40			90		
		$\overline{\sigma_{29}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_{29}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_{29}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Локомотив ЧС-7	1	56,47	57,88	57,03	62,74	71,97	69,87	75,11	109,6	88,79
	2	36,16	40,47	37,89	49,80	57,26	54,31	80,15	115,7	96,14
	3	60,55	66,28	62,84	66,72	75,62	73,32	78,73	113,6	62,65
	4	37,18	42,23	39,20	49,77	55,56	54,99	77,57	109,2	90,61
	5	60,06	64,65	62,48	63,60	68,07	67,15	74,08	110,1	87,66
	6	38,08	43,39	40,15	50,87	57,69	56,17	81,82	119,0	95,78
	7	61,13	73,87	66,88	65,13	70,83	69,01	75,51	104,4	86,98
	8	36,89	41,47	39,29	49,46	56,12	54,81	78,82	105,9	91,74
Дослідний вагон моделі 19-7053	9	48,18	54,68	50,05	55,32	60,29	59,62	85,16	118,3	97,50
	10	42,88	48,17	45,55	57,10	63,40	61,25	92,68	128,8	105,1
	11	50,60	59,76	55,76	55,29	66,90	62,70	85,52	116,1	96,19
	12	40,41	44,77	42,24	50,17	55,81	54,72	87,96	120,5	98,87
Вагон-еталон моделі 19-7016	13	60,09	66,18	63,29	61,63	72,71	70,87	88,78	129,8	105,9
	14	45,07	48,71	47,10	58,85	70,14	69,10	91,90	128,1	104,7
	15	53,33	56,74	54,45	55,19	61,74	60,62	78,30	117,6	96,05
	16	43,56	47,72	45,87	52,77	58,99	58,17	84,74	125,1	100,6
Локомотив ЧС-7	17	61,60	67,04	64,61	64,21	69,98	67,56	75,27	114,8	92,97
	18	40,23	45,98	42,97	50,85	55,71	54,31	80,60	115,8	93,19
	19	64,47	69,13	67,10	68,55	72,61	72,78	76,50	109,1	88,79
	20	39,81	52,37	44,37	49,67	60,79	57,35	77,43	110,2	91,52
	21	65,82	69,91	68,06	67,32	71,58	69,83	75,01	112,3	91,74
	22	39,25	49,19	43,06	49,75	56,53	55,08	79,93	114,0	93,38
	23	65,24	71,69	68,15	67,77	71,64	70,87	78,26	104,9	88,75
	24	41,45	55,41	46,46	50,24	60,00	56,81	81,63	108,3	93,47

Примітки: в таблиці наведені об'єднані (парний не парний напрямок) значення величини середніх ($\overline{\sigma_{29}}$), максимальних імовірних (σ_{max}^e) і максимальних спостережуваних (σ_{max}^H) значень напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м.

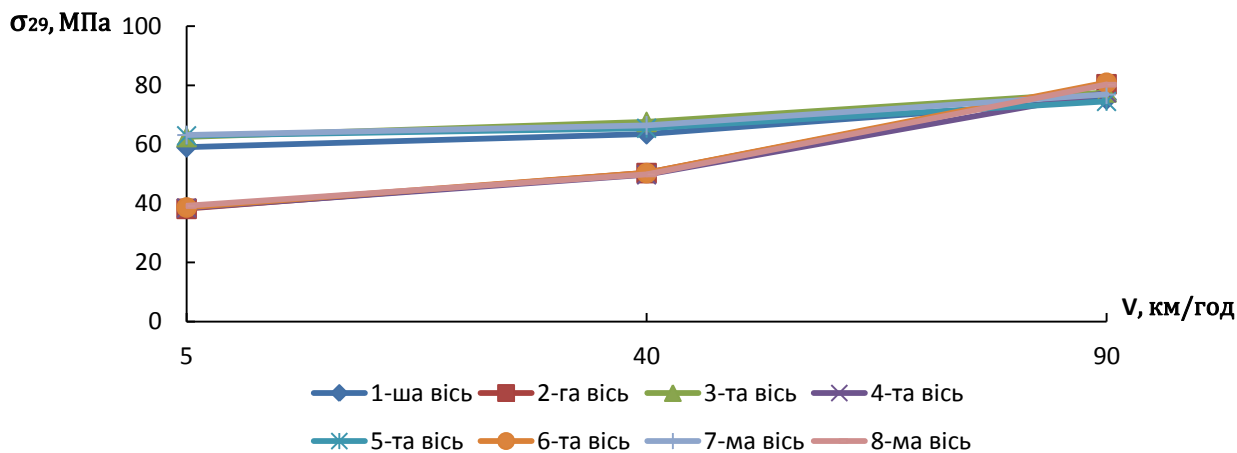


Рис. В.46 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma_{29}}$, МПа) від швидкості (V , км/год), при дії 1-8 ої осей локомотива ЧС7

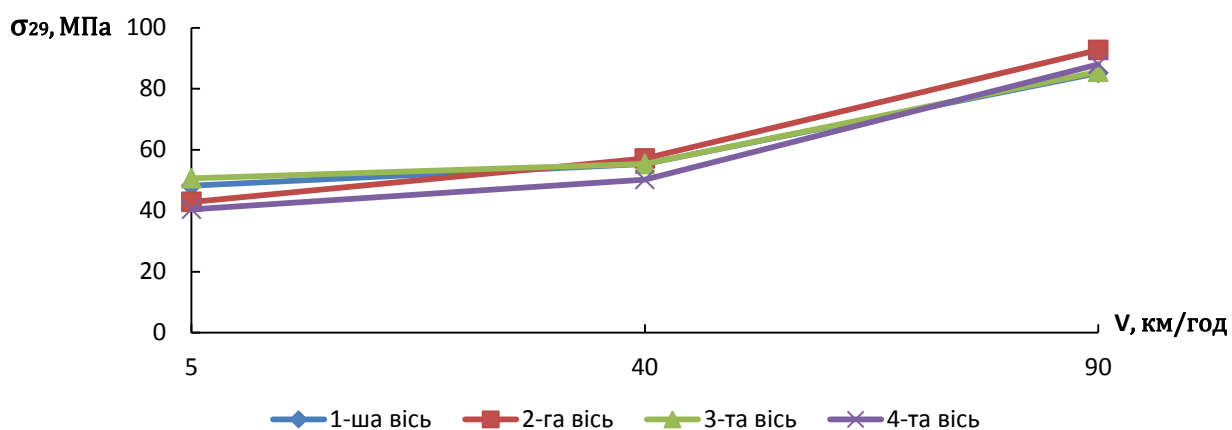


Рис. В.47 Значення напружень клемі ($\overline{\sigma_{29}}$, МПа) від швидкості (V , км/год), при дії 1-4 ої осей дослідного вагона моделі 19-7053

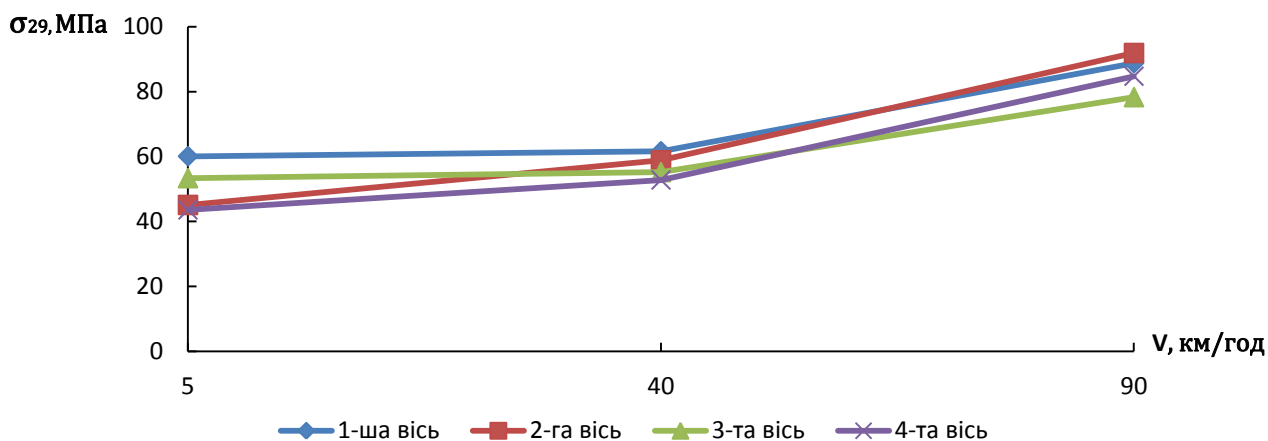


Рис. В.48 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma_{29}}$, МПа) від швидкості (V , км/год), при дії 1-4 ої осей вагона-еталона моделі 19-7016

Клема №3 (Зовнішня сторона вузол-II)

Таблиця В.17 – Середні ($\overline{\sigma_{99}}$), максимальні імовірні (σ_{max}^e) і максимальні спостережувані (σ_{max}^H) значення напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м

Тип рухомого складу	Вісі	Значення напружень в клемі (МПа) при швидкостях в км/год								
		5			40			90		
		$\overline{\sigma_{99}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_{99}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_{99}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Локомотив ЧС-7	1	57,29	59,28	50,08	60,88	68,79	68,01	71,59	103,4	84,13
	2	36,94	42,69	39,24	49,89	57,40	55,44	78,69	111,4	93,94
	3	61,16	67,78	63,81	64,74	72,11	71,40	75,66	107,2	89,34
	4	38,15	44,67	40,76	49,50	54,90	55,79	75,81	103,6	86,39
	5	60,74	66,75	63,73	62,30	66,80	66,57	71,00	105,8	86,27
	6	39,73	47,17	42,12	51,25	57,46	57,11	80,79	115,2	93,16
	7	60,63	73,97	66,73	62,97	70,54	68,36	72,05	97,83	81,40
	8	37,81	43,98	40,92	49,65	55,48	55,71	77,05	100,6	87,20
Дослідний вагон моделі 19-7053	9	49,03	56,55	51,82	55,38	59,73	59,33	84,33	116,8	99,15
	10	45,83	51,76	49,05	59,69	66,86	64,39	93,80	128,8	107,2
	11	51,48	59,12	55,51	54,67	64,56	61,94	84,31	114,8	96,97
	12	43,51	48,44	44,92	51,92	56,22	55,90	88,14	119,7	100,6
Вагон-еталон моделі 19-7016	13	60,95	69,48	65,40	61,81	75,15	72,49	87,62	129,5	107,6
	14	48,31	52,24	50,53	61,39	74,39	72,10	92,39	126,6	106,3
	15	54,85	59,28	56,33	55,26	63,19	59,33	76,49	116,9	98,88
	16	46,52	51,81	49,44	54,77	60,84	59,80	84,91	125,0	102,8
Локомотив ЧС-7	17	62,05	68,40	65,64	63,29	68,68	66,96	72,02	110,7	91,21
	18	42,36	48,25	45,59	51,23	56,20	54,77	78,88	112,0	92,54
	19	64,00	70,00	67,39	67,07	70,39	71,16	72,86	103,0	86,35
	20	41,28	54,48	46,75	49,91	61,91	57,77	74,99	105,4	90,39
	21	65,53	72,05	69,22	66,15	72,04	70,23	71,69	108,0	89,54
	22	40,21	49,62	44,46	49,99	57,42	54,62	78,18	110,4	93,12
	23	64,93	72,43	68,94	66,30	71,10	70,23	74,29	100,3	85,84
	24	43,16	57,38	49,21	50,86	62,05	57,62	79,69	106,5	83,31

Примітки: в таблиці наведені об'єднані (парний не парний напрямок) значення величини середніх ($\overline{\sigma_{99}}$), максимальних імовірних (σ_{max}^e) і максимальних спостережуваних (σ_{max}^H) значень напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м.

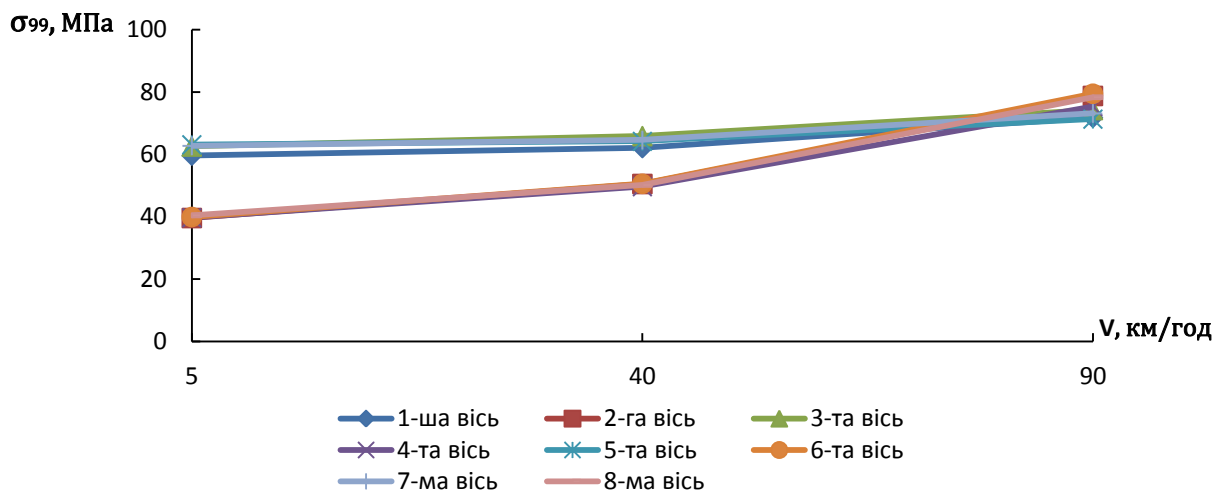


Рис. В.49 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma_{99}}$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-8 ої осей локомотива ЧС7

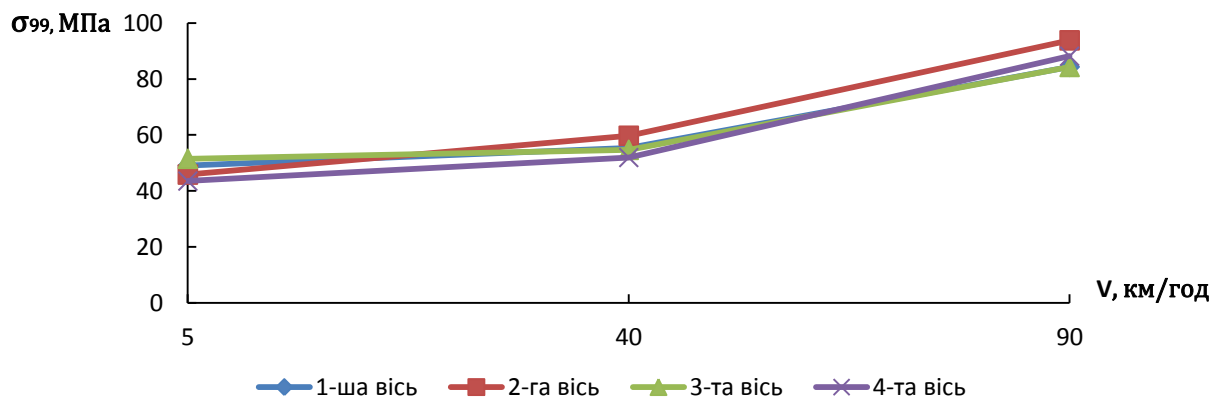


Рис. В.50 Значення напружень клемі ($\overline{\sigma_{99}}$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-4 ої осей дослідного вагона моделі 19-7053

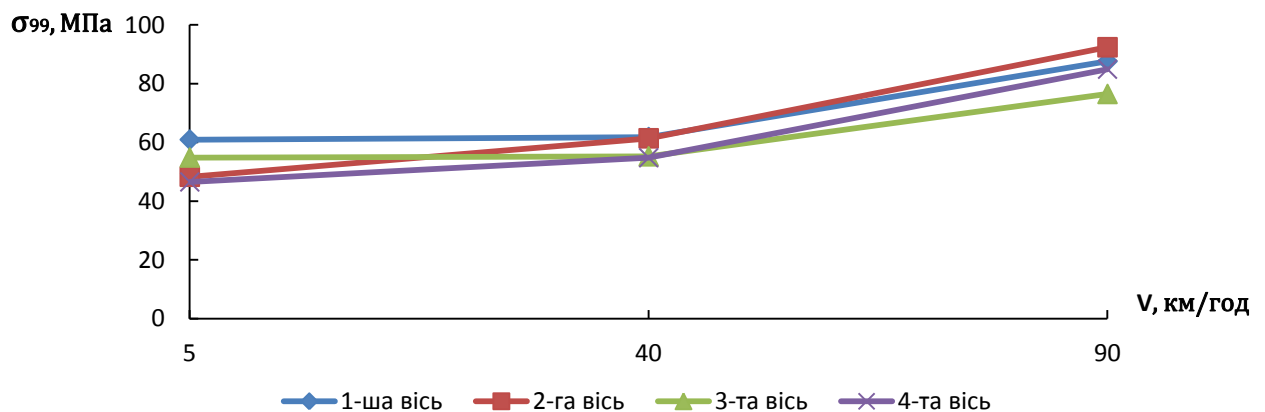


Рис. В.51 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma_{99}}$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-4 ої осей вагона-еталона моделі 19-7016

Клема №3 (Зовнішня сторона вузол-II)

Таблиця В.18 – Середні ($\overline{\sigma_{31}}$), максимальні імовірні (σ_{max}^e) і максимальні спостережувані (σ_{max}^H) значення напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м

Тип рухомого складу	Вісі	Значення напружень в клемі (МПа) при швидкостях в км/год								
		5			40			90		
		$\overline{\sigma_{31}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_{31}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_{31}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Локомотив ЧС-7	1	0,44	0,44	0,44	0,40	0,41	0,40	0,30	0,30	0,30
	2	0,20	0,20	0,20	0,25	0,31	0,27	0,20	0,32	0,32
	3	0,44	0,44	0,44	0,40	0,42	0,41	0,31	0,31	0,31
	4	0,20	0,20	0,20	0,25	0,28	0,26	0,30	0,30	0,30
	5	0,65	1,19	0,87	0,42	0,42	0,42	0,24	0,24	0,24
	6	0,45	1,08	0,70	0,27	0,30	0,29	0,30	0,30	0,30
	7	0,62	1,07	0,80	0,44	0,46	0,45	0,28	0,28	0,28
	8	0,41	0,96	0,63	0,27	0,28	0,27	0,29	0,29	0,29
Дослідний вагон моделі 19-7053	9	0,47	0,94	0,66	0,31	0,33	0,32	0,30	0,30	0,30
	10	0,40	0,89	0,59	0,31	0,34	0,33	0,31	0,31	0,31
	11	0,49	0,99	0,69	0,31	0,33	0,32	0,32	0,32	0,32
	12	0,36	0,81	0,54	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28
Вагон-еталон моделі 19-7016	13	0,55	0,94	0,71	0,43	0,48	0,45	0,30	0,30	0,30
	14	0,38	0,75	0,53	0,37	0,39	0,37	0,32	0,32	0,32
	15	0,46	0,83	0,61	0,39	0,39	0,39	0,25	0,25	0,25
	16	0,35	0,67	0,48	0,33	0,34	0,34	0,26	0,26	0,26
Локомотив ЧС-7	17	0,52	0,73	0,60	0,48	0,49	0,48	0,21	0,21	0,21
	18	0,32	0,55	0,41	0,33	0,33	0,33	0,27	0,27	0,27
	19	0,51	0,65	0,57	0,51	0,52	0,52	0,27	0,27	0,27
	20	0,29	0,39	0,33	0,35	0,36	0,36	0,25	0,25	0,25
	21	0,49	0,54	0,51	0,53	0,53	0,53	0,23	0,23	0,23
	22	0,25	0,28	0,26	0,36	0,37	0,36	0,26	0,26	0,26
	23	0,44	0,49	0,46	0,52	0,54	0,53	0,25	0,25	0,25
	24	0,22	0,29	0,25	0,37	0,37	0,37	0,25	0,25	0,25

Примітки: в таблиці наведені об'єднані (парний не парний напрямок) значення величини середніх ($\overline{\sigma_{31}}$), максимальних імовірних (σ_{max}^e) і максимальних спостережуваних (σ_{max}^H) значень напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м.

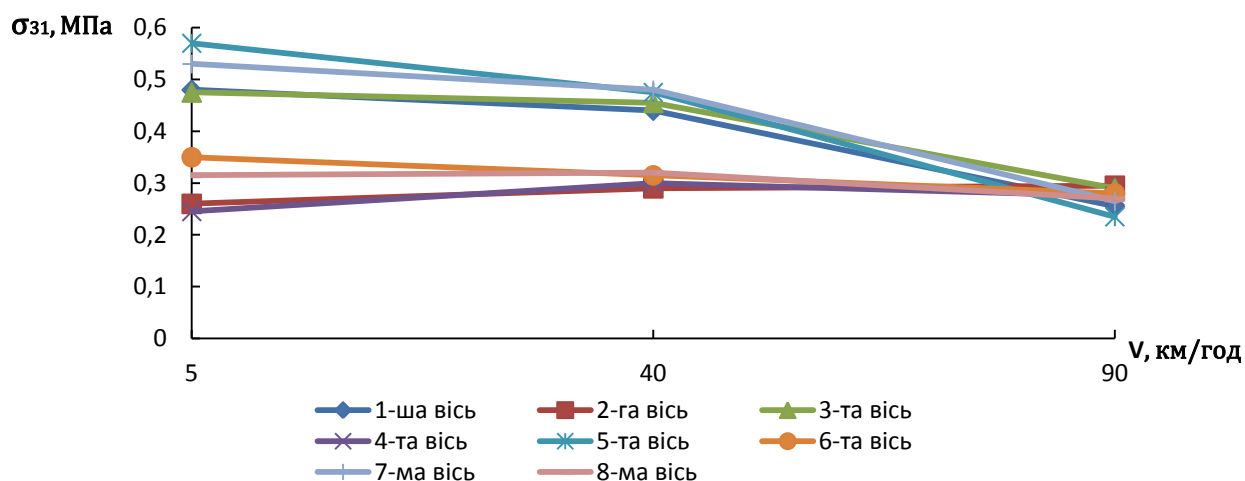


Рис. В.52 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma_{31}}$, МПа) від швидкості (V , км/год), при дії 1-8 ої осей локомотива ЧС7

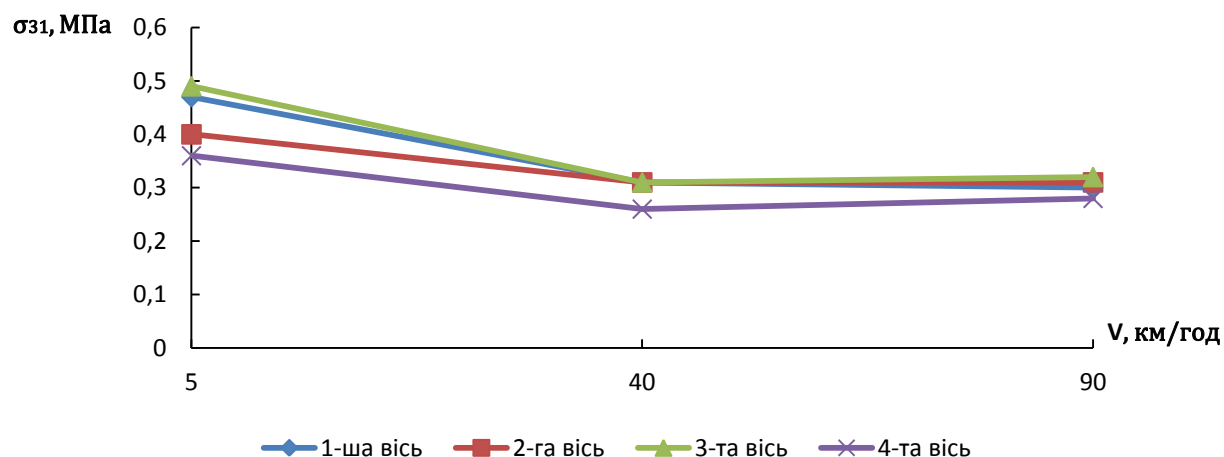


Рис. В.53 Значення напружень клемі ($\overline{\sigma_{31}}$, МПа) від швидкості (V , км/год), при дії 1-4 ої осей дослідного вагона моделі 19-7053

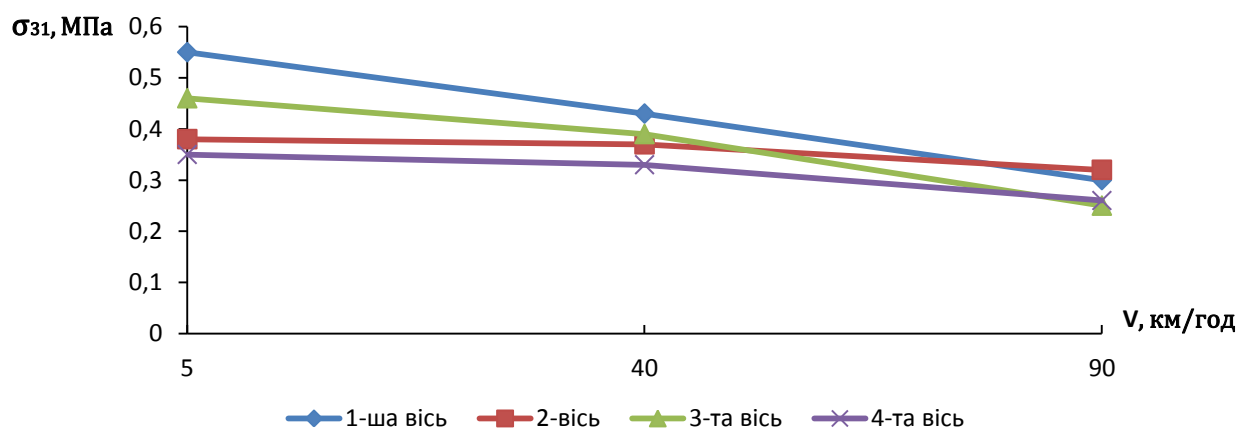


Рис. В.54 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma_{31}}$, МПа) від швидкості (V , км/год), при дії 1-4 ої осей вагона-еталона моделі 19-7016

Клема №4 (Внутрішня сторона вузол-II)

Таблиця В.19 – Середні ($\overline{\sigma_{111}}$), максимальні імовірні (σ_{max}^g) і максимальні спостережувані (σ_{max}^H) значення напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м

Тип рухомого складу	Вісі	Значення напружень в клемі (МПа) при швидкостях в км/год								
		5			40			90		
		$\overline{\sigma_{111}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_{111}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_{111}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Локомотив ЧС-7	1	48,45	69,05	56,69	29,19	55,05	44,09	20,81	37,94	31,29
	2	14,44	20,87	17,01	17,67	22,36	20,26	13,31	32,63	27,40
	3	61,73	62,26	61,94	41,90	59,54	52,07	30,63	59,33	49,76
	4	18,53	21,02	19,53	17,65	22,12	21,21	13,79	26,81	26,88
	5	53,68	68,44	59,42	29,01	40,76	41,57	18,07	32,12	30,03
	6	17,01	19,91	18,48	18,03	21,44	20,16	19,29	45,04	34,64
	7	69,22	121,1	86,40	44,18	63,97	60,37	22,94	42,97	33,28
	8	13,93	19,11	16,27	14,37	21,89	18,58	16,79	40,21	31,81
Дослідний вагон моделі 19-7053	9	9,62	16,35	13,33	8,43	21,22	18,27	15,82	32,93	28,77
	10	21,87	28,88	25,51	23,09	31,88	27,82	15,64	50,98	35,38
	11	10,11	19,87	15,01	4,36	13,49	11,44	21,07	53,28	45,67
	12	20,44	24,77	22,36	21,57	26,662	24,99	5,79	27,48	39,79
Вагон-еталон моделі 19-7016	13	37,23	59,21	49,66	18,57	34,33	36,22	36,92	59,97	51,13
	14	14,17	19,29	16,90	15,36	26,85	21,42	21,30	46,28	37,48
	15	26,65	37,83	32,13	17,66	26,88	25,93	22,42	45,38	38,53
	16	12,74	17,16	15,22	12,78	23,20	18,90	13,54	40,90	32,02
Локомотив ЧС-7	17	54,66	68,94	62,15	31,78	41,13	38,32	22,33	45,23	40,21
	18	15,54	17,08	16,38	15,14	18,95	17,95	14,44	34,37	28,87
	19	83,92	108,9	94,38	54,99	64,07	62,15	30,49	53,82	43,36
	20	12,70	17,35	15,33	13,48	19,57	17,01	11,98	30,63	27,19
	21	88,33	116,4	99,84	48,45	63,97	59,00	20,53	43,68	36,53
	22	12,98	18,13	15,85	12,81	17,05	16,17	13,61	39,35	29,40
	23	72,09	99,04	81,57	45,22	59,03	54,38	22,43	40,94	34,43
	24	15,22	21,90	19,00	15,09	20,64	18,69	12,86	31,73	27,82

Примітки: в таблиці наведені об'єднані (парний не парний напрям) значення величини середніх ($\overline{\sigma_{111}}$), максимальних імовірних (σ_{max}^g) і максимальних спостережуваних (σ_{max}^H) значень напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м.

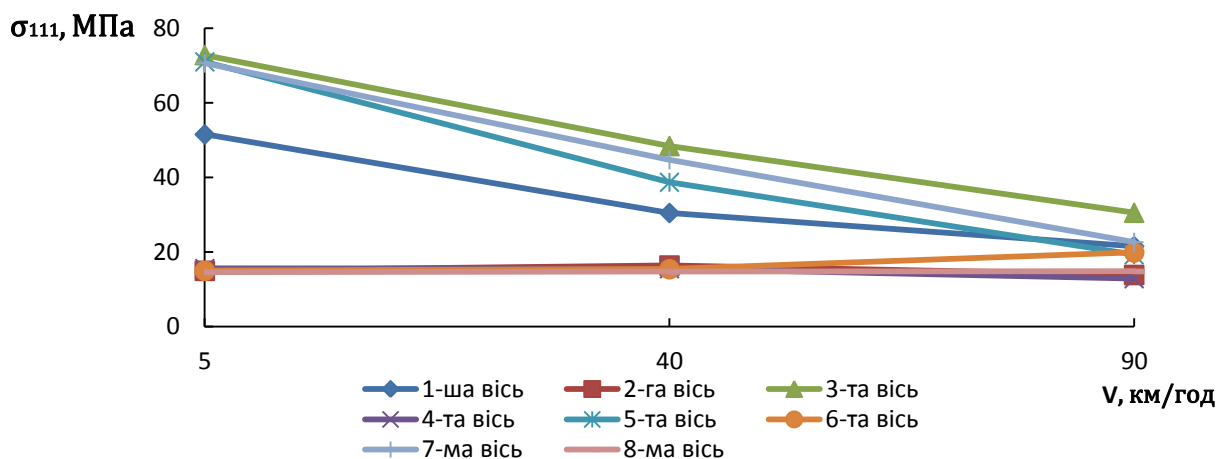


Рис. В.55 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma_{111}}$, МПа) від швидкості (V , км/год), при дії 1-8 ої осей локомотива ЧС7

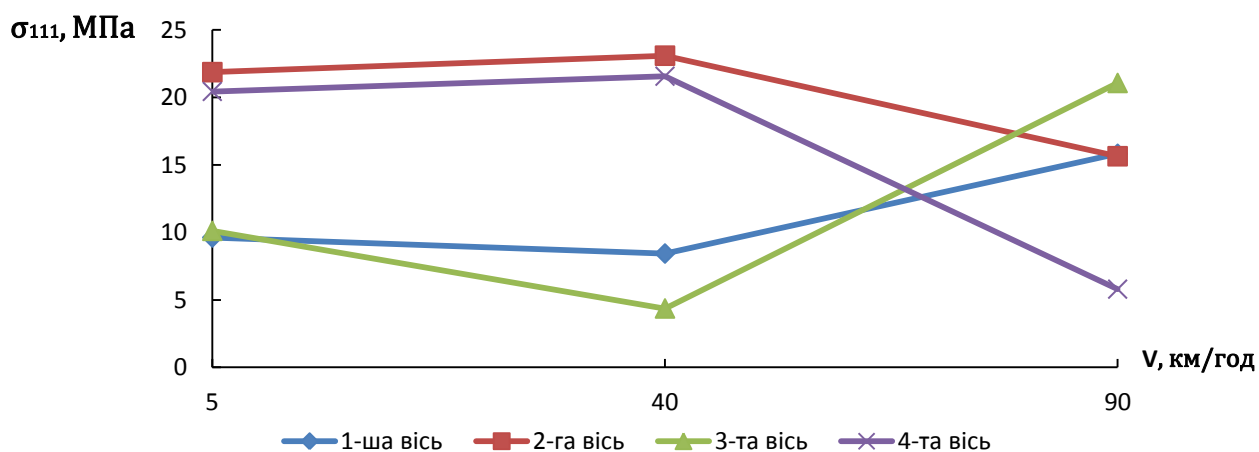


Рис. В.56 Значення напружень клемі ($\overline{\sigma_{111}}$, МПа) від швидкості (V , км/год), при дії 1-4 ої осей дослідного вагона моделі 19-7053

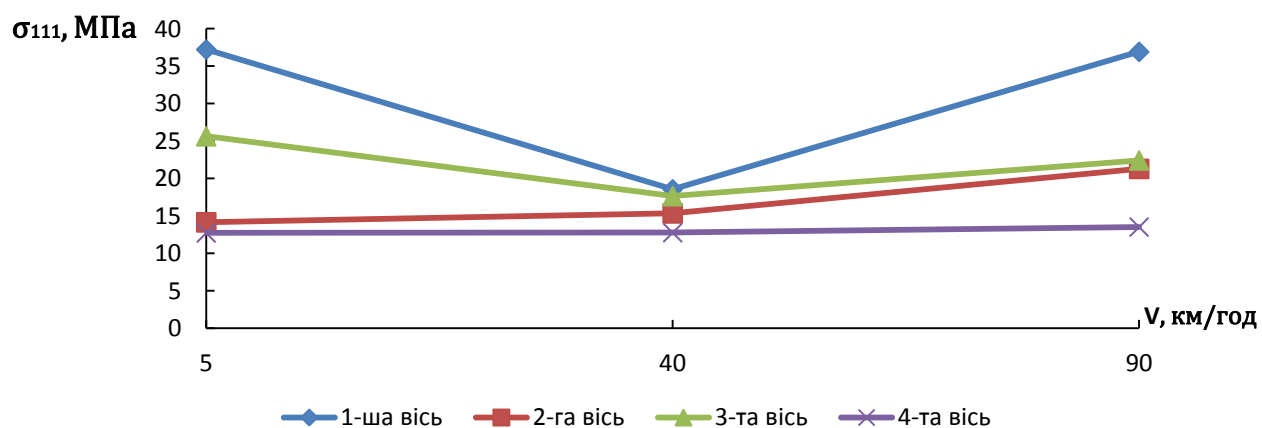


Рис. В.57 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma_{111}}$, МПа) від швидкості (V , км/год), при дії 1-4 ої осей вагона-еталона моделі 19-7016

Клема №4 (Внутрішня сторона вузол-II)

Таблиця В.20 – Середні ($\overline{\sigma_5}$), максимальні імовірні (σ_{max}^6) і максимальні спостережувані (σ_{max}^H) значення напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м

Тип рухомого складу	Вісі	Значення напружень в клемі (МПа) при швидкостях в км/год								
		5			40			90		
		$\overline{\sigma_5}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_5}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_5}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Локомотив ЧС-7	1	39,02	71,20	51,89	29,01	52,69	48,02	37,50	66,21	61,58
	2	58,40	61,86	59,78	58,80	63,70	61,58	39,99	68,25	55,21
	3	68,43	71,71	69,74	32,85	77,98	53,41	30,27	50,48	43,17
	4	64,62	67,74	65,87	58,62	64,89	64,48	45,57	79,63	64,48
	5	50,09	72,39	59,36	19,16	45,69	39,99	49,49	89,18	75,97
	6	61,95	63,60	62,55	60,33	64,32	62,96	35,03	81,65	59,09
	7	80,54	164,5	109,9	37,07	50,68	53,28	35,03	56,97	50,23
	8	52,86	67,83	60,19	52,78	63,64	59,36	37,59	76,41	59,23
Дослідний вагон моделі 19-7053	9	44,14	72,62	58,67	42,87	102,2	70,99	39,34	64,64	60,89
	10	66,51	82,30	75,42	68,55	82,60	76,1	37,37	56,63	48,16
	11	36,85	53,09	41,65	35,58	76,09	51,89	29,65	56,93	52,45
	12	65,41	74,12	70,30	66,58	72,93	71,54	34,88	55,15	43,04
Вагон-еталон моделі 19-7016	13	22,14	78,78	54,11	23,51	58,85	50,23	19,04	53,23	54,66
	14	54,38	64,44	60,06	56,18	67,44	61,58	22,75	58,87	48,43
	15	16,10	47,34	33,35	22,05	46,23	52,45	26,54	50,35	45,43
	16	53,05	64,49	59,09	51,92	66,03	60,33	34,71	57,85	48,71
Локомотив ЧС-7	17	51,20	71,59	62,55	19,78	40,31	31,14	40,13	87,39	72,10
	18	58,95	63,39	60,47	56,24	60,91	60,06	37,51	75,93	59,92
	19	102,5	153,2	123,3	52,65	67,02	63,93	27,02	53,11	49,40
	20	52,31	60,39	56,04	52,43	56,89	56,04	38,15	71,53	57,98
	21	111,5	167,4	134,6	45,94	61,95	57,01	35,73	76,89	64,21
	22	53,05	60,89	57,15	52,04	56,90	55,07	34,59	69,35	54,52
	23	82,29	128,8	98,25	38,91	57,58	54,11	35,80	57,14	53,83
	24	57,10	66,01	61,58	55,44	60,59	58,95	40,10	79,94	62,82

Примітки: в таблиці наведені об'єднані (парний не парний напрямок) значення величини середніх ($\overline{\sigma_5}$), максимальних імовірних (σ_{max}^6) і максимальних спостережуваних (σ_{max}^H) значень напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м.

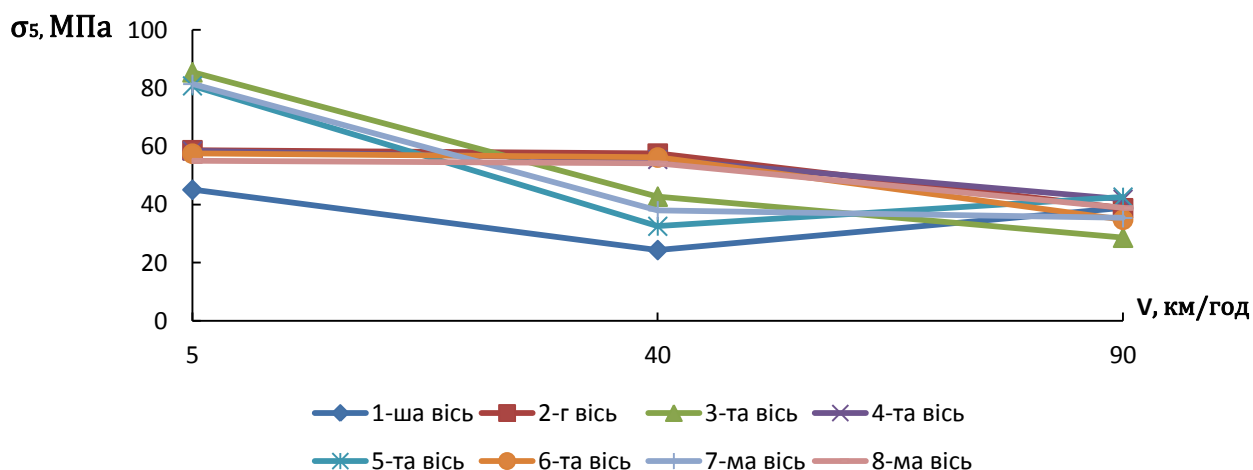


Рис. В.58 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma}_5$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-8 ої осей локомотива ЧС7

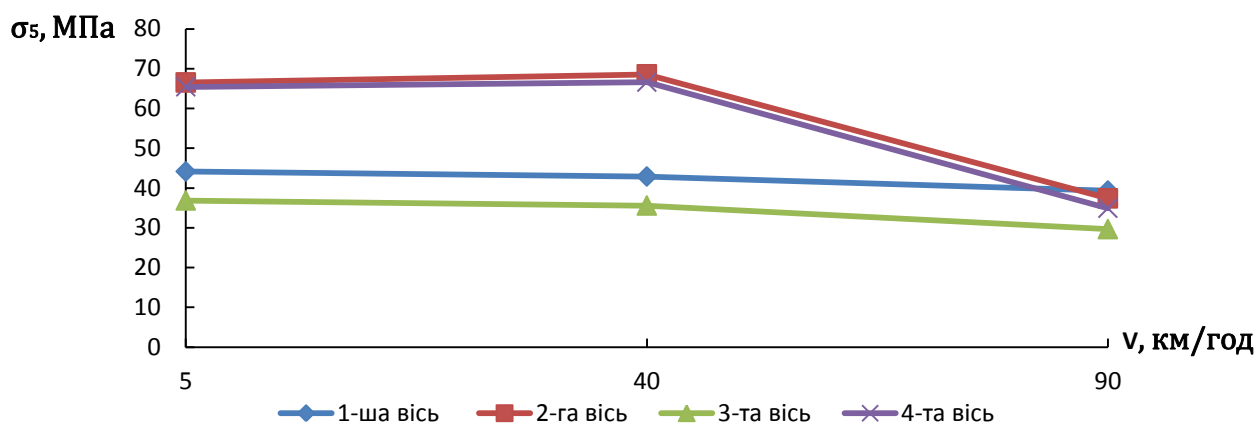


Рис. В.59 Значення напружень клемі ($\overline{\sigma}_5$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-4 ої осей дослідного вагона моделі 19-7053

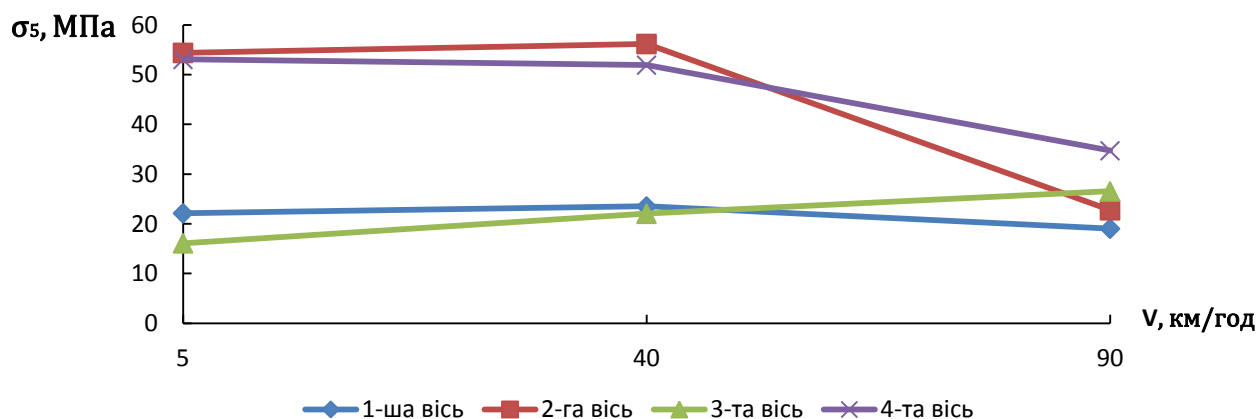


Рис. В.60 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma}_5$, МПа) від швидкості (V, км/год), при дії 1-4 ої осей вагона-еталона моделі 19-7016

Клема №4 (Внутрішня сторона вузол-II)

Таблиця В.21 – Середні ($\overline{\sigma_{16}}$), максимальні імовірні (σ_{max}^e) і максимальні спостережувані (σ_{max}^H) значення напружень по крайці підшви рейки, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м

Тип рухомого складу	Вісі	Значення напружень в клемі (МПа) при швидкостях в км/год								
		5			40			90		
		$\overline{\sigma_{16}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_{16}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_{16}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Локомотив ЧС-7	1	58,73	76,31	65,77	36,33	50,83	45,85	31,00	59,72	47,88
	2	6,58	9,43	7,72	11,28	23,20	17,88	24,66	37,25	35,44
	3	67,35	72,74	69,51	47,08	57,91	52,60	41,45	59,43	52,03
	4	7,44	13,23	9,76	11,87	23,53	17,72	17,33	34,90	28,53
	5	57,04	85,33	67,39	34,40	49,32	44,14	28,14	62,14	47,23
	6	12,57	32,31	23,66	12,53	27,18	19,27	22,32	45,77	38,29
	7	68,34	120,3	83,89	46,99	70,56	63,16	32,02	55,05	48,13
	8	14,58	32,99	24,55	11,13	26,67	18,70	22,33	41,78	33,82
Дослідний вагон моделі 19-7053	9	17,07	25,24	21,54	8,46	18,45	16,10	23,93	36,51	33,90
	10	20,19	38,90	30,73	16,67	32,48	23,74	22,18	55,71	42,44
	11	18,05	20,22	19,27	10,42	21,47	17,15	32,66	51,39	51,70
	12	18,72	33,05	26,83	16,18	27,95	22,44	19,27	47,55	55,85
Вагон-еталон моделі 19-7016	13	44,41	51,65	46,58	24,99	49,04	37,88	45,10	74,78	62,35
	14	12,55	27,51	20,97	10,49	28,26	19,19	31,41	64,25	50,65
	15	29,67	40,24	35,61	21,06	39,58	31,22	28,75	55,73	43,82
	16	10,81	26,40	19,43	8,91	25,71	18,37	16,76	52,22	41,46
Локомотив ЧС-7	17	55,60	77,67	67,23	36,88	55,65	50,89	28,66	74,03	52,84
	18	14,15	28,92	22,44	10,38	23,77	16,91	20,92	39,57	32,44
	19	78,83	103,6	90,89	56,75	66,95	64,55	40,00	59,80	50,89
	20	10,95	29,39	21,14	9,28	24,14	15,69	19,86	34,93	29,59
	21	83,03	114,1	98,37	51,60	70,96	63,16	30,05	66,24	52,68
	22	10,92	27,65	20,32	9,08	22,61	16,10	25,32	43,15	35,53
	23	71,54	92,42	78,77	50,52	65,20	59,99	36,32	49,77	45,20
	24	13,01	26,05	20,24	10,01	23,11	17,64	23,81	38,85	35,12

Примітки: в таблиці наведені об'єднані (парний не парний напрямом) значення величини середніх ($\overline{\sigma_{16}}$), максимальних імовірних (σ_{max}^e) і максимальних спостережуваних (σ_{max}^H) значень напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м.

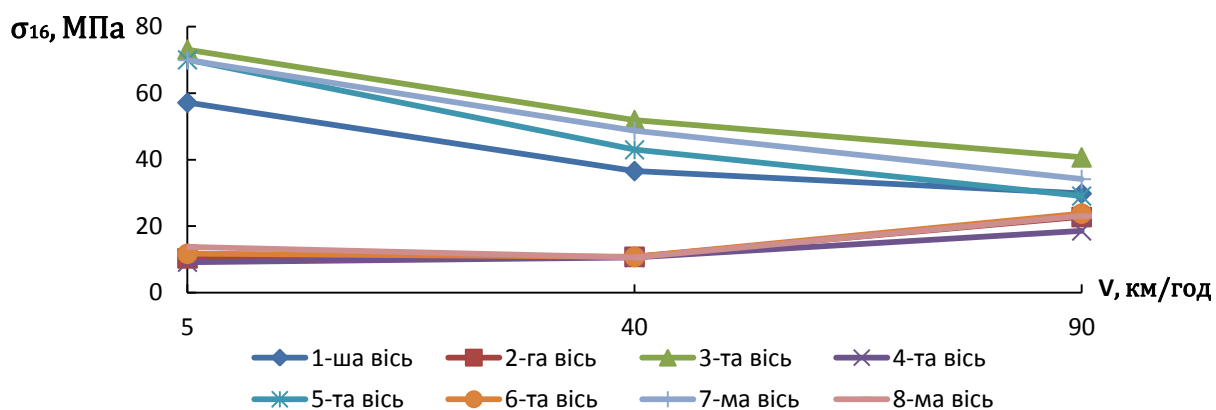


Рис. В.59 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma_{16}}$, МПа) від швидкості (V , км/год), при дії 1-8 ої осей локомотива ЧС7

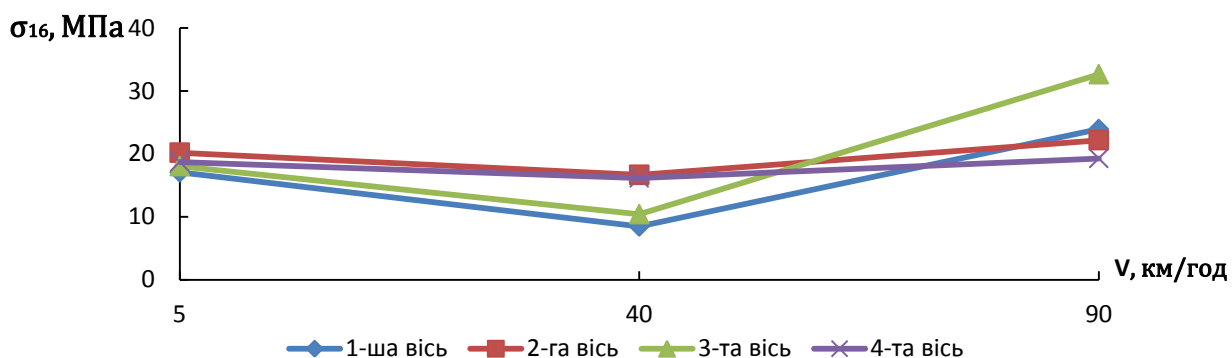


Рис. В.60 Значення напружень клемі ($\overline{\sigma_{16}}$, МПа) від швидкості (V , км/год), при дії 1-4 ої осей дослідного вагона моделі 19-7053

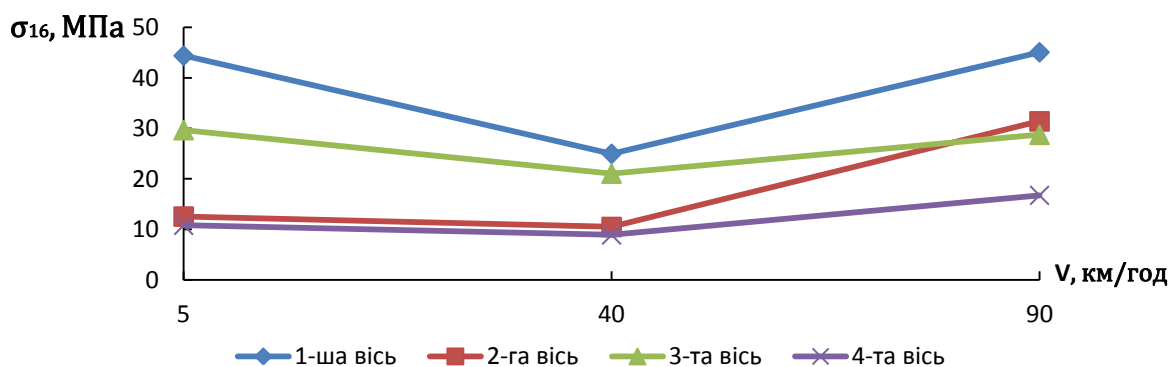


Рис. В.61 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma_{16}}$, МПа) від швидкості (V , км/год), при дії 1-4 ої осей вагона-еталона моделі 19-7016

Клема №4 (Внутрішня сторона вузол-II)

Таблиця В.22 – Середні ($\overline{\sigma_{25}}$), максимальні імовірні (σ_{max}^e) і максимальні спостережувані (σ_{max}^H) значення напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м

Тип рухомого складу	Вісі	Значення напружень в клемі (МПа) при швидкостях в км/год								
		5			40			90		
		$\overline{\sigma_{25}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_{25}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H	$\overline{\sigma_{25}}$	σ_{max}^B	σ_{max}^H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Локомотив ЧС-7	1	40,67	73,94	53,98	29,26	51,19	44,71	43,05	80,79	71,43
	2	40,24	52,23	45,04	52,92	62,70	57,64	46,87	63,97	55,92
	3	65,72	75,69	69,71	32,69	72,73	53,01	38,90	67,99	56,56
	4	47,46	52,98	49,67	53,94	67,85	62,92	52,78	70,04	63,03
	5	49,85	62,49	54,73	19,85	46,60	39,11	52,69	109,3	87,70
	6	47,15	55,43	51,39	55,32	67,01	60,555	42,73	69,95	56,13
	7	74,77	141,9	100,1	35,06	47,25	49,45	38,88	75,79	63,24
	8	42,13	62,14	53,33	49,44	71,13	59,04	46,31	66,85	63,78
Дослідний вагон моделі 19-7053	9	27,08	60,73	41,16	43,10	99,97	73,48	45,79	80,31	66,26
	10	54,09	79,29	67,88	63,23	92,28	76,28	47,98	72,13	58,5
	11	28,26	35,47	32,21	35,55	67,80	53,98	34,88	55,98	52,58
	12	48,59	69,04	60,12	56,30	77,74	67,23	39,96	69,25	57,21
Вагон-еталон моделі 19-7016	13	22,63	80,59	55,27	23,93	64,25	54,30	23,17	58,47	49,88
	14	38,50	57,13	49,02	47,97	71,46	59,15	36,44	78,61	61,41
	15	17,92	60,98	41,91	17,35	30,77	28,55	29,78	57,76	48,70
	16	36,74	54,65	46,54	42,82	70,12	55,59	44,20	71,51	54,73
Локомотив ЧС-7	17	51,07	67,81	59,80	19,20	48,05	33,94	44,11	111,3	80,81
	18	45,83	53,11	49,56	50,24	62,02	57,32	43,74	62,84	54,95
	19	96,93	136,4	114,2	50,11	66,83	60,66	33,48	78,76	62,81
	20	40,69	54,11	47,94	46,98	62,20	54,73	44,91	60,16	53,12
	21	104,8	148,4	124,1	44,69	61,89	56,13	41,24	95,92	72,19
	22	40,58	51,84	46,65	46,19	58,03	53,87	40,78	58,71	50,21
	23	76,75	107,2	86,41	37,06	61,01	52,36	42,73	77,69	67,12
	24	45,90	58,14	52,47	49,89	64,53	57,43	47,18	68,41	58,72

Примітки: в таблиці наведені об'єднані (парний не парний напрямом) значення величини середніх ($\overline{\sigma_{25}}$), максимальних імовірних (σ_{max}^e) і максимальних спостережуваних (σ_{max}^H) значень напружень в клемі, що виникають від дії дослідного вагона для зерна, вагона-еталона для зерна, електровозів ЧС7 в кривій ділянці колії R=400 м.

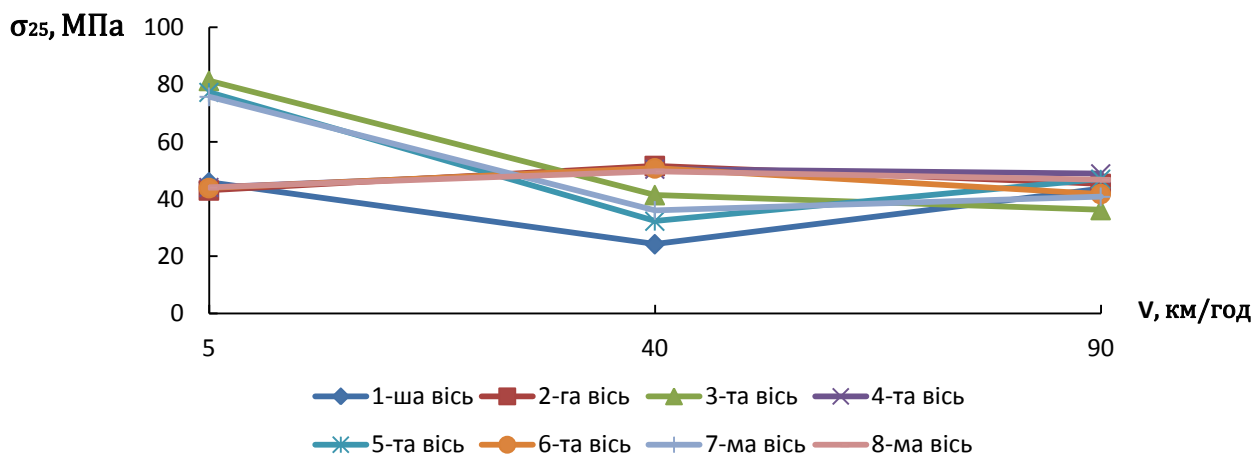


Рис. В.62 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma_{25}}$, МПа) від швидкості (V , км/год), при дії 1-8 ої осей локомотива ЧС7

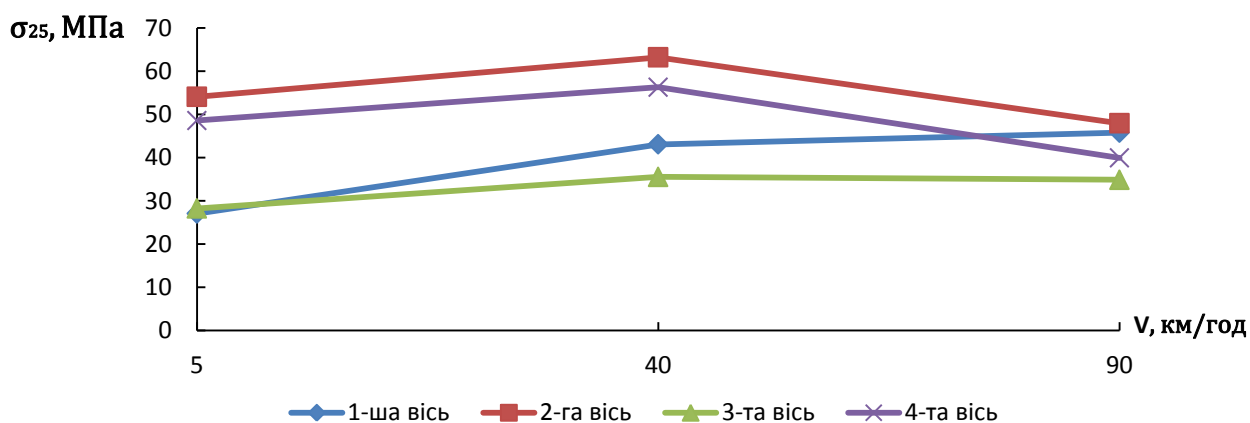


Рис. В.63 Значення напружень клемі ($\overline{\sigma_{25}}$, МПа) від швидкості (V , км/год), при дії 1-4 ої осей дослідного вагона моделі 19-7053

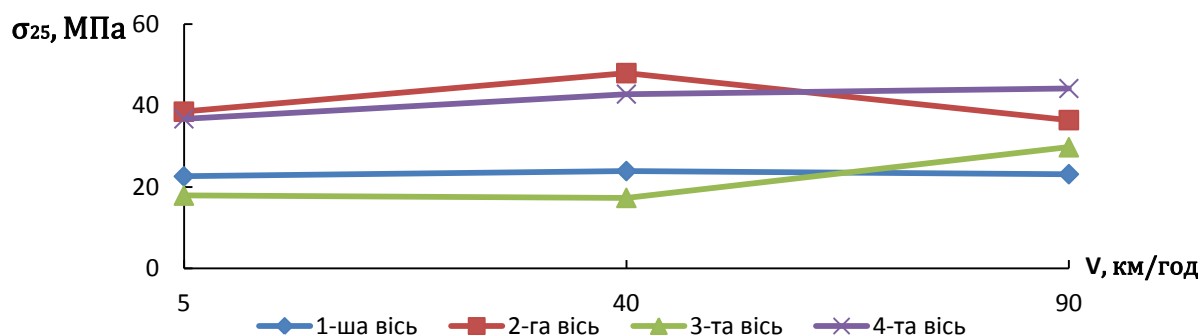


Рис. В.64 Значення напружень в клемі ($\overline{\sigma_{25}}$, МПа) від швидкості (V , км/год), при дії 1-4 ої осей вагона-еталона моделі 19-7016

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ПОЛІГОНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛИ ПРИТИСКАННЯ РЕЙКИ ДО ПІДРЕЙКОВОЇ ОСНОВИ У ВИПАДКУ ВИКОРИСТАННЯ СКРІПЛЕННЯ ТИПУ КПП-5

Ділянка №1

Верхня будова колії: рейки – Р65; шпали – залізобетонні; баласт – щебеневий; епюра шпал – 1840 шт/км; тип проміжного скріплення – КПП-5.

Експлуатаційні характеристики:

рік укладання – 2007 р.;

вантажонапруженість – 24,5 млн. ткм бр./км за рік;

пропущений тоннаж – 147 млн. т брутто на км за рік

Таблиця Д.1 Експериментальні значення величини пружної деформації клеми,
на ділянці колії з пропущеним тоннажем
Т=147 млн. т брутто на км за рік

№ п/п Вимір.	Діам. прутка клеми (мм)	Вел. люфта (мм)	Сила притискання (кН)	№ п/п Вимір.	Діам. прутка клеми (мм)	Вел. люфта (мм)	Сила притискання (кН)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	16,5	0,2	9,8	51	16,5	0,1	9,9
2	16,5	1,67	8,0	52	16	0,45	9,5
3	16	1,55	8,2	53	16	0,1	9,9
4	16	0,65	9,2	54	16,5	0,1	9,9
5	16	0,55	9,3	55	16,5	0,3	9,6
6	16	0,4	9,5	56	16	0	10,0
7	16	0,35	9,6	57	16	0	10,0
8	15,5	0,5	9,4	58	16	0,3	9,6
9	16	0,9	8,9	59	16,5	0,7	9,2
10	16	0,25	9,7	60	16	0	10,0
11	16	0,35	9,6	61	16	0,25	9,7
12	16,5	0,35	9,6	62	16,5	1,75	7,9
13	16	0,85	9,0	63	16	0,6	9,3
14	16	1,25	8,5	64	16	1,2	8,6
15	16	0,4	9,5	65	16,5	1,2	8,6
16	16,5	1,8	7,9	66	16,5	0,2	9,8
17	16	0,65	9,2	67	16,5	1,55	8,2

продовження таблиці Д.1

1	2	3	4	5	6	7	8
18	16	0,4	9,5	68	16	0,85	9,0
19	16	1,8	7,9	69	16,5	0,7	9,2
20	16	1,2	8,6	70	16	0,6	9,3
21	16	1,8	7,9	71	16	0,15	9,8
22	16	2,1	7,5	72	16,5	0,3	9,6
23	16	1,7	8,0	73	16,5	0	10,0
24	16,5	1,4	8,3	74	16	0	10,0
25	17	0,25	9,7	75	16	0,5	9,4
26	16,5	1,05	8,7	76	16	1,15	8,6
27	16	1,85	7,8	77	16	0,1	9,9
28	16	0,4	9,5	78	16,5	0,2	9,8
29	16	0,4	9,5	79	16	0,9	8,9
30	16	1,1	8,7	80	16,5	0,7	9,2
31	16,5	0	10,0	81	16	0,3	9,6
32	16,5	0,9	8,9	82	16	0,2	9,8
33	16	0,4	9,5	83	16	0,15	9,8
34	16	0,1	9,9	84	16	1,95	7,7
35	16	0,7	9,2	85	16	0,3	9,6
36	16	0,8	9,0	86	16	2,35	7,2
37	16	0,6	9,3	87	16	0,8	9,0
38	16,5	1	8,8	88	16	0,4	9,5
39	16,5	0	10,0	89	16	1,95	7,7
40	16	0,1	9,9	90	16	0,4	9,5
41	17	1,2	8,6	91	16	1,55	8,2
42	16	0,3	9,6	92	16	0,6	9,3
43	16	0,7	9,2	93	16	0,5	9,4
44	16,5	0,4	9,5	94	16	0,1	9,9
45	16	0,15	9,8	95	17	0	10,0
46	16	0,9	8,9	96	16	0	10,0
47	16	0,2	9,8	97	16	0	10,0
48	16	0,75	9,1	98	16	0,75	9,1
49	16	0,4	9,5	99	16,5	0,9	8,9
50	16,5	0,9	8,9	100	16,5	0,8	9,0

Таблиця Д.2 Експериментальні значення величини залишкової деформації
прокладок на ділянці колії з пропущеним тоннажем
Т=147 млн.т. бруто

№ п/п Вимірювання	Тип підрейкової прокладки	Товщина прокладки (δ), мм	№ п/п Вимірювання	Тип підрейкової прокладки	Товщина прокладки (δ), мм
1	2	3	4	5	6
1	ПРП	8	26	ПРП	7,55
2	ПРП	7,1	27	ПРП	8
3	ПРП	7,35	28	ПРП	7,25
4	ПРП	7	29	ПРП	7,8
5	ПРП	8	30	ПРП	7
6	ПРП	8	31	ПРП	8
7	ПРП	8	32	ПРП	7,2
8	ПРП	7,7	33	ПРП	7,8
9	ПРП	7,2	34	ПРП	7,3
10	ПРП	7,8	35	ПРП	7,35
11	ПРП	7,25	36	ПРП	8
12	ПРП	7,5	37	ПРП	7,85
13	ПРП	7,7	38	ПРП	8
14	ПРП	8	39	ПРП	7,3
15	ПРП	7,15	40	ПРП	7
16	ПРП	7,6	41	ПРП	8
17	ПРП	7,45	42	ПРП	7,9
18	ПРП	8	43	ПРП	7,15
19	ПРП	7,4	44	ПРП	7
20	ПРП	8	45	ПРП	7,45
21	ПРП	7,55	46	ПРП	7,85
22	ПРП	8	47	ПРП	8
23	ПРП	8	48	ПРП	8
24	ПРП	8	49	ПРП	7,95
25	ПРП	7,1	50	ПРП	8

Ділянка №2

Верхня будова колії: рейки – Р65; шпали – залізобетонні; баласт – щебеневий; епюра шпал – 1840 шт/км; тип проміжного скріплення – КПП-5.

Експлуатаційні характеристики:

рік укладання – 2006 р.;

вантажонапруженість – 22,86 млн. ткм бр./км за рік;

пропущений тоннаж – 160 млн. т брутто на км за рік

Таблиця Д.3 Експериментальні значення величини пружної деформації клеми,
на ділянці колії з пропущеним тоннажем
Т=160 млн. т брутто на км за рік

№ п/п Вимір.	Діам. прутка клеми (мм)	Вел. люфта (мм)	Сила притискання (кН)	№ п/п Вимір.	Діам. прутка клеми (мм)	Вел. люфта (мм)	Сила притискання (кН)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	16	1	8,8	51	16	0	10,0
2	16	0,7	9,2	52	16	0	10,0
3	16	0,95	8,9	53	16	0	10,0
4	16	0,9	8,9	54	16	0	10,0
5	16	0,9	8,9	55	16,5	0	10,0
6	16	2	7,6	56	16	0	10,0
7	16,5	0,6	9,3	57	16	0,8	9,0
8	16	1	8,8	58	16	0,1	9,9
9	16	0,9	8,9	59	16	0	10,0
10	16	1	8,8	60	16	1,1	8,7
11	16	1,5	8,2	61	16	0,1	9,9
12	16	1,75	7,9	62	16	0,2	9,8
13	16	2	7,6	63	16	0	10,0
14	16	2,22	7,4	64	16	0	10,0
15	16	2,3	7,3	65	16	2	7,6
16	16	1,5	8,2	66	16	0	10,0
17	16,5	0,6	9,3	67	16	0,8	9,0
18	16	0,9	8,9	68	16	1,3	8,5
19	16	0,85	9,0	69	16,5	0,1	9,9
20	16	1,1	8,7	70	16	0,5	9,4
21	16	0,59	9,3	71	16	2,1	7,5
22	16	1,1	8,7	72	16	0,9	8,9
23	16,5	0,8	9,0	73	16	0,6	9,3
24	16	0	10,0	74	16	0	10,0
25	16	1,2	8,6	75	16	0,1	9,9

продовження таблиці Д.3

1	2	3	4	5	6	7	8
26	16	1,6	8,1	76	16	0	10,0
27	16,5	1,1	8,7	77	16	1,5	8,2
28	16	0	10,0	78	16	1	8,8
29	16	0	10,0	79	16	0	10,0
30	16	1,95	7,7	80	16	0,5	9,4
31	16	1,98	7,6	81	16	0	10,0
32	16	0	10,0	82	16	0	10,0
33	16	0,5	9,4	83	16	0,3	9,6
34	16	0	10,0	84	16	0,7	9,2
35	16	0,6	9,3	85	16	1,3	8,5
36	16	0,7	9,2	86	16	1,3	8,5
37	16	0,1	9,9	87	16	0	10,0
38	16	0,5	9,4	88	16	0,2	9,8
39	16	1,3	8,5	89	17	0,1	9,9
40	16	1	8,8	90	17	0	10,0
41	16	1	8,8	91	16,5	0,1	9,9
42	16	0,7	9,2	92	16	0	10,0
43	16	0,1	9,9	93	16	1,56	8,1
44	16,5	0,1	9,9	94	16	1,97	7,7
45	16,5	1,3	8,5	95	16	0,75	9,1
46	16	1,3	8,5	96	16	0	10,0
47	16	0	10,0	97	16	1,67	8,0
48	16	1	8,8	98	16	2,2	7,4
49	16	0	10,0	99	16	2,5	7,0
50	16	0,1	9,9	100	16	0,1	9,9

Ділянка №3

Верхня будова колії: рейки – Р65; шпали – залізобетонні; баласт – щебеневий;
епюра шпал – 1840 шт/км; тип проміжного скріплення – КПП-5.

Експлуатаційні характеристики:

рік укладання – 2006 р.;

вантажонапруженість – 24,77 млн. ткм бр./км за рік;

пропущений тоннаж – 173 млн. т брутто на км за рік

Таблиця Д.4 Експериментальні значення величини пружної деформації клеми,
на ділянці колії з пропущеним тоннажем
Т=173 млн. т брутто на км за рік

№ п/п Вимір.	Діам. прутка клеми (мм)	Вел. люфта (мм)	Сила притискання (кН)	№ п/п Вимір.	Діам. прутка клеми (мм)	Вел. люфта (мм)	Сила притискання (кН)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	16	1,69	8,0	51	16	0	10,0
2	16,5	0	10,0	52	16	0,9	8,9
3	16	1,1	8,7	53	16	1,5	8,2
4	16,5	0,8	9,0	54	16	0,4	9,5
5	16	0,1	9,9	55	16,5	0,6	9,3
6	16	0,3	9,6	56	16	0,15	9,8
7	16	0,9	8,9	57	16	1,1	8,7
8	16	1,5	8,2	58	16	0,8	9,0
9	16	0,4	9,5	59	16	0,1	9,9
10	16	0	10,0	60	16	0,3	9,6
11	16,5	0,15	9,8	61	16	0,9	8,9
12	16,5	1,1	8,7	62	16	1,5	8,2
13	16	0,95	8,9	63	16	0,4	9,5
14	16	1,25	8,5	64	16	0,6	9,3
15	16	0	10,0	65	16	0,15	9,8
16	16	0	10,0	66	16	1,1	8,7
17	16	1,5	8,2	67	16	0,8	9,0
18	16	0,4	9,5	68	16,5	0,1	9,9
19	16	0,6	9,3	69	16	0,3	9,6
20	16	0	10,0	70	16	2,1	7,5
21	16,5	1,1	8,7	71	16	1,5	8,2
22	16	0,8	9,0	72	16	0,4	9,5
23	16	0	10,0	73	16	0,6	9,3
24	16	0,3	9,6	74	16	1,85	7,8
25	16	0,95	8,9	75	16	1,1	8,7
26	16	1,5	8,2	76	16	0,8	9,0
27	16	0,4	9,5	77	16	0	10,0
28	16	0,6	9,3	78	16	0	10,0
29	16	0,15	9,8	79	16	0,9	8,9
30	16	1,1	8,7	80	16	1,5	8,2
31	16	0	10,0	81	16	1,15	8,6
32	16	0	10,0	82	16	0,6	9,3
33	16	0,65	9,2	83	16	0,15	9,8
34	16	0,9	8,9	84	16	1,56	8,1
35	16	1,5	8,2	85	16	0,8	9,0
36	16	0,8	9,0	86	16	2,45	7,1
37	16	0,95	8,9	87	16	0,8	9,0
38	16	0,15	9,8	88	16	1,95	7,7
39	16	1,1	8,7	89	16	1,5	8,2
40	16	0,8	9,0	90	16	0,4	9,5
41	16	0	10,0	91	16	0,95	8,9

продовження таблиці Д.4

1	2	3	4	5	6	7	8
42	16	1,2	8,6	92	16,5	0,65	9,2
43	16	0,9	8,9	93	16,5	1,1	8,7
44	16	1,5	8,2	94	16	0,8	9,0
45	16	0,4	9,5	95	16	0	10,0
46	16	0,6	9,3	96	16	0,79	9,1
47	16	0,15	9,8	97	16	1,5	8,2
48	16	1,1	8,7	98	16	1,8	7,9
49	16	0,8	9,0	99	16	0	10,0
50	16	0	10,0	100	16	0,2	9,8

Ділянка №4

Верхня будова колії: рейки – Р65; шпали – залізобетонні; баласт – щебеневий; епюра шпал – 1840 шт/км; тип проміжного скріплення – КПП-5.

Експлуатаційні характеристики:

рік укладання – 2005 р.;

вантажонапруженість – 23,125 млн. ткм бр./км за рік;

пропущений тоннаж – 185 млн. т брутто на км за рік

Таблиця Д.5 Експериментальні значення величини пружної деформації клеми, на ділянці колії з пропущеним тоннажем Т=185 млн. т брутто на км за рік

№ п/п Вимір.	Діам. прутка клеми (мм)	Вел. люфта (мм)	Сила притискання (кН)	№ п/п Вимір.	Діам. прутка клеми (мм)	Вел. люфта (мм)	Сила притискання (кН)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	16	0,6	9,3	51	16	1,58	8,1
2	16	0,25	9,7	52	16	1,45	8,3
3	16,5	1,2	8,6	53	16	0,15	9,8
4	16	1	8,8	54	16	0	10,0
5	16,5	0,15	9,8	55	16	0,8	9,0
6	16	0	10,0	56	16	1,45	8,3
7	16	1,5	8,2	57	16	1,4	8,3
8	16	0,4	9,5	58	16,5	0,9	8,9
9	16	0	10,0	59	16,5	1,7	8,0
10	16	0	10,0	60	16	0,4	9,5
11	16	0,2	9,8	61	16,5	0,25	9,7
12	16,5	0,5	9,4	62	16	0,7	9,2

продовження таблиці Д.5

1	2	3	4	5	6	7	8
13	16	0,5	9,4	63	16	0	10,0
14	16	1,4	8,3	64	16	0,3	9,6
15	16	0,15	9,8	65	16,5	0,15	9,8
16	16,5	0	10,0	66	16	1,6	8,1
17	16	0,8	9,0	67	16	1,5	8,2
18	16	1,45	8,3	68	16	0,2	9,8
19	16	1,4	8,3	69	16,5	2	7,6
20	16	0,2	9,8	70	16	1,9	7,7
21	16	0,3	9,6	71	16	2	7,6
22	16	0	10,0	72	16	0,6	9,3
23	16	0,25	9,7	73	16	0	10,0
24	16	0,7	9,2	74	16	1,6	8,1
25	16	0	10,0	75	16	1,1	8,7
26	16	0,3	9,6	76	16	1,2	8,6
27	16,5	0	10,0	77	16	0,6	9,3
28	16	1,6	8,1	78	16	0	10,0
29	16	1,5	8,2	79	16	1,2	8,6
30	16	0,35	9,6	80	16	1	8,8
31	16	0	10,0	81	16	0,15	9,8
32	16,5	1,9	7,7	82	16,5	0,5	9,4
33	16	2	7,6	83	16	1,5	8,2
34	16	0,75	9,1	84	16,5	0,4	9,5
35	16,5	0,1	9,9	85	16	0,2	9,8
36	16,5	1,6	8,1	86	16	0	10,0
37	16	1,1	8,7	87	16,5	0,2	9,8
38	16,5	1,2	8,6	88	16,5	1,65	8,0
39	16	0,6	9,3	89	16	0,5	9,4
40	16	0	10,0	90	16	1,4	8,3
41	16	1,2	8,6	91	16,5	0,15	9,8
42	16,5	1	8,8	92	16	0	10,0
43	16	0,98	8,8	93	16	0,8	9,0
44	16,5	0,79	9,1	94	16	1,45	8,3
45	16	1,5	8,2	95	16	1,4	8,3
46	16,5	0,65	9,2	96	16,5	0	10,0
47	16	0	10,0	97	16	1,7	8,0
48	16	0	10,0	98	16,5	0,4	9,5
49	16	1,5	8,2	99	16,5	0,95	8,9
50	16	0,5	9,4	100	16,5	0,1	9,9

Ділянка № 5

Верхня будова колії: рейки – Р65; шпали – залізобетонні; баласт – щебеновий; епюра шпал – 1840 шт/км; тип проміжного скріплення – КПП-5.

Експлуатаційні характеристики:

рік укладання – 2007 р.;

вантажонапруженість – 50,7 млн. ткм бр./км за рік;

пропущений тоннаж – 277,9 млн. т бруutto на км за рік

Таблиця Д.6 Експериментальні значення величини пружної деформації клеми, на ділянці колії з пропущеним тоннажем Т=277,9 млн. т бруutto на км за рік

№ п/п Вимір.	Діам. прутка клеми (мм)	Вел. люфта (мм)	Сила притискання (кН)	№ п/п Вимір.	Діам. прутка клеми (мм)	Вел. люфта (мм)	Сила притискання (кН)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	16	0,55	9,3	51	16	0	10,0
2	16,5	1,1	8,7	52	16,5	0,9	8,9
3	16	0	10,0	53	16	1,35	8,4
4	16,5	0	10,0	54	16,5	0,4	9,5
5	16	0,5	9,4	55	16	0,5	9,4
6	16	0,55	9,3	56	16	0	10,0
7	16	1	8,8	57	16	0,8	9,0
8	16	0,4	9,5	58	16	0,2	9,8
9	16	0	10,0	59	16	2,3	7,3
10	16	0	10,0	60	16	1,65	8,0
11	16,5	1,2	8,6	61	16,5	0,25	9,7
12	16,5	0	10,0	62	16,5	1,2	8,6
13	16	0,3	9,6	63	16	0	10,0
14	16	2,7	6,8	64	16	0	10,0
15	16	0	10,0	65	16	0,6	9,3
16	16	0	10,0	66	16	1,2	8,6
17	16	1,9	7,7	67	16	1,9	7,7
18	16	1,4	8,3	68	16	0	10,0
19	16	0	10,0	69	16	0,25	9,7
20	16	2,4	7,1	70	16	0,5	9,4
21	16,5	1,9	7,7	71	16,5	0,15	9,8
22	16	0	10,0	72	16	1,25	8,5
23	16	1,3	8,5	73	16	0,8	9,0
24	16	1,7	8,0	74	16	0,6	9,3
25	16	1	8,8	75	16	1,4	8,3
26	16	1,3	8,5	76	16	0	10,0

продовження таблиці Д.6

1	2	3	4	5	6	7	8
27	16	1	8,8	77	16	0	10,0
28	16	0,7	9,2	78	16	1,5	8,2
29	16	0	10,0	79	16	0,2	9,8
30	16	1,9	7,7	80	16	0,2	9,8
31	16	0	10,0	81	16	1,25	8,5
32	16	0	10,0	82	16	0,9	8,9
33	16	1,9	7,7	83	16	0,4	9,5
34	16	1,3	8,5	84	16	3	6,4
35	16	0,1	9,9	85	16	0,85	9,0
36	16	2,1	7,5	86	16	1,2	8,6
37	16	1,9	7,7	87	16	1,45	8,3
38	16	1,9	7,7	88	16	0	10,0
39	16	1,7	8,0	89	16	0	10,0
40	16	0,6	9,3	90	16	1,7	8,0
41	16	1,1	8,7	91	16	0	10,0
42	16	2	7,6	92	16	1,45	8,3
43	16	1	8,8	93	16	0,8	9,0
44	16	1,5	8,2	94	16	0	10,0
45	16	1,3	8,5	95	16	1	8,8
46	16	0,5	9,4	96	16	1,5	8,2
47	16	0	10,0	97	16	0,3	9,6
48	16	0,7	9,2	98	16	0,35	9,6
49	16	0	10,0	99	16	0	10,0
50	16	0,1	9,9	100	16	0	10,0

Таблиця Д.7 Експериментальні значення величини залишкової деформації прокладок, на ділянці колії з пропущеним тоннажем Т=277,9 млн. т брутто на км за рік

№ п/п Вимірювання	Тип підрейкової прокладки	Товщина прокладки (δ), мм	№ п/п Вимірювання	Тип підрейкової прокладки	Товщина прокладки (δ), мм
1	2	3	4	5	6
1	ПРП	4,5	26	ПРП	4,3
2	ПРП	4,8	27	ПРП	4,5
3	ПРП	4,9	28	ПРП	4,5
4	ПРП	5,2	29	ПРП	3,8
5	ПРП	5,1	30	ПРП	3,9
6	ПРП	3,6	31	ПРП	4,8
7	ПРП	4,6	32	ПРП	4,5
8	ПРП	3,9	33	ПРП	4,3

продовження таблиці Д.7

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

Ділянка № 6

Верхня будова колії: рейки – Р65; шпали – залізобетонні; баласт – щебеневий; епюра шпал – 1840 шт/км; тип проміжного скріплення – КПП-5 (клеми SB-3)

Експлуатаційні характеристики:

рік укладання – 2006 р.;

вантажонапруженість – 63,9 млн. ткм бр./км за рік;

пропущений тоннаж – 447,3 млн. т брутто на км за рік

Таблиця Д.8 Експериментальні значення величини пружної деформації клеми,

на ділянці колії з пропущеним тоннажем

T=447,3 млн. т брутто на км за рік

№ п/п Вимір.	Діам. прутка клеми (мм)	Вел. люфта (мм)	Сила притискання (кН)	№ п/п Вимір.	Діам. прутка клеми (мм)	Вел. люфта (мм)	Сила притискання (кН)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	16	2,1	7,5	51	16	0,55	9,3
2	16,5	1,2	8,6	52	16,5	1,9	7,7
3	16	2,2	7,4	53	16	0,55	9,3
4	16,5	2	7,6	54	16,5	0,85	9,0

продовження таблиці Д.8

1	2	3	4	5	6	7	8
5	16	1,5	8,2	55	16	2,7	6,8
6	16	1,96	7,7	56	16	0,65	9,2
7	16	1,2	8,6	57	16	0,85	9,0
8	16	1,7	8,0	58	16	2,2	7,4
9	16	2,45	7,1	59	16	1,65	8,0
10	16	1,3	8,5	60	16	1,65	8,0
11	16,5	0,2	9,8	61	16,5	0,95	8,9
12	16,5	1,35	8,4	62	16,5	1,9	7,7
13	16	0,32	9,6	63	16	1,5	8,2
14	16	3,8	5,5	64	16	0,98	8,8
15	16	4,9	4,2	65	16	0,25	9,7
16	16	2,75	6,7	66	16	1,35	8,4
17	16	1,9	7,7	67	16	0	10,0
18	16	2,2	7,4	68	16	0,3	9,6
19	16	1,6	8,1	69	16	0,21	9,7
20	16	0,1	9,9	70	16	0,15	9,8
21	16,5	1,55	8,2	71	16,5	0,26	9,7
22	16	0,25	9,7	72	16	0,7	9,2
23	16	2,8	6,7	73	16	0,8	9,0
24	16	1,45	8,3	74	16	1,1	8,7
25	16	0,5	9,4	75	16	0,95	8,9
26	16	0,23	9,7	76	16	0,34	9,6
27	16	0,95	8,9	77	16	1,25	8,5
28	16	1,53	8,2	78	16	0	10,0
29	16	1,7	8,0	79	16	1,25	8,5
30	16	1,1	8,7	80	16	4,1	5,1
31	16	1,2	8,6	81	16	1,56	8,1
32	16	1	8,8	82	16	2	7,6
33	16	0,99	8,8	83	16	1,85	7,8
34	16	1	8,8	84	16	1,55	8,2
35	16	1,4	8,3	85	16	0	10,0
36	16	1,85	7,8	86	16	0	10,0
37	16	1,6	8,1	87	16	0	10,0
38	16	1,25	8,5	88	16	0,85	9,0
39	16	1,35	8,4	89	16	0,65	9,2
40	16	1,1	8,7	90	16	2,7	6,8
41	16	0,35	9,6	91	16	0,56	9,3
42	16	0,4	9,5	92	16	0,55	9,3
43	16	1,7	8,0	93	16	0	10,0
44	16	0,2	9,8	94	16	0	10,0
45	16	2,6	6,9	95	16	1,32	8,4
46	16	2,2	7,4	96	16	1,45	8,3
47	16	0	10,0	97	16	1	8,8

продовження таблиці Д.8

1	2	3	4	5	6	7	8
48	16	0,75	9,1	98	16	1	8,8
49	16	1	8,8	99	16	0,85	9,0
50	16	1,9	7,7	100	16	0	10,0

Таблиця Д.9 Експериментальні значення величини залишкової деформації прокладок, на ділянці колії з пропущеним тоннажем Т=447,3 млн. т брутто на км за рік

№ п/п Вимірювання	Тип підрейкової прокладки	Товщина прокладки (δ) мм	№ п/п Вимірювання	Тип підрейкової прокладки	Товщина прокладки (δ) мм
1	2	3	4	5	6
1	ПРП	4	26	ПРП	5
2	ПРП	4	27	ПРП	4,5
3	ПРП	3,5	28	ПРП	4
4	ПРП	4,5	29	ПРП	3,5
5	ПРП	5	30	ПРП	4,5
6	ПРП	5	31	ПРП	4
7	ПРП	4,5	32	ПРП	4
8	ПРП	4	33	ПРП	3,5
9	ПРП	5	34	ПРП	4
10	ПРП	5	35	ПРП	5
11	ПРП	5	36	ПРП	5
12	ПРП	5,5	37	ПРП	4
13	ПРП	5,5	38	ПРП	4
14	ПРП	4,5	39	ПРП	4
15	ПРП	5,5	40	ПРП	4,5
16	ПРП	5	41	ПРП	4
17	ПРП	5	42	ПРП	5
18	ПРП	5	43	ПРП	4
19	ПРП	4,5	44	ПРП	5
20	ПРП	4,5	45	ПРП	4
21	ПРП	5	46	ПРП	4
22	ПРП	3,5	47	ПРП	4
23	ПРП	3,5	48	ПРП	4
24	ПРП	4	49	ПРП	3,5
25	ПРП	3,5	50	ПРП	4

Ділянка № 8

Верхня будова колії: рейки – Р65; шпали – залізобетонні; баласт – щебеневий; епюра шпал – 1680 шт/км; тип проміжного скріплення – КПП-5.

Експлуатаційні характеристики:

рік укладання – 2006 р;

вантажонапруженість – 42,5 млн. ткм бр./км за рік;

пропущений тоннаж – 297,5 млн. т брутто на км за рік.

Таблиця Д.10 Експериментальні значення величини пружної деформації клеми, на ділянці колії з пропущеним тоннажем Т=447,3 млн. т брутто на км за рік

№ п/п Вимірювання	Діаметр прутка клеми (d), мм	Величина люфта (δ), мм	№ п/п Вимірювання	Діаметр прутка клеми (d), мм	Величина люфта (δ), мм
1	2	3	4	5	6
1	16,5	0,00	51	16	0,10
2	16	0,00	52	16	1,90
3	16,5	0,00	53	16	0,00
4	16	0,20	54	16	1,80
5	16	0,55	55	16	0,00
6	16	0,00	56	16	0,00
7	16,5	0,50	57	16	1,35
8	16	1,00	58	16	0,20
9	16	0,70	59	16	1,30
10	16	0,60	60	16,5	0,40
11	16,5	1,25	61	16	0,85
12	16	0,00	62	16	1,90
13	16	0,25	63	16	0,00
14	16	1,00	64	16	0,00
15	16	2,25	65	16,5	0,00
16	16	0,55	66	16	0,45
17	16	0,50	67	16,5	0,00
18	16	0,00	68	16,5	0,00
19	16	0,55	69	16,5	0,85
20	16	0,00	70	16	0,20
21	16	0,00	71	16,5	0,00
22	16	0,35	72	16,5	0,10
23	16	0,00	73	16,5	0,00
24	16,5	0,00	74	16	0,00
25	16	0,40	75	16,5	0,55

продовження таблиці Д. 10

1	2	3	4	5	6
26	16	1,60	76	16	0,00
27	16,5	0,00	77	16	0,50
28	16	0,00	78	16	0,00
29	16	0,00	79	16	0,20
30	16	0,00	80	16	0,00
31	16	0,00	81	16	0,10
32	16,5	0,00	82	16,5	0,60
33	16	0,00	83	16	0,50
34	16,5	0,35	84	16	0,00
35	16,5	0,00	85	16,5	0,00
36	16,5	2,70	86	16	0,00
37	16	0,00	87	16	0,00
38	16,5	1,35	88	16	1,50
39	16	1,51	89	16	0,00
40	16	0,10	90	16,5	0,00
41	16	0,20	91	16	0,00
42	16,5	0,10	92	16,5	0,80
43	16	0,00	93	16,5	0,00
44	16,5	1,55	94	16,5	0,00
45	16	0,20	95	16	0,80
46	16,5	0,20	96	16,5	0,00
47	16,5	0,10	97	16	2,70
48	16,5	0,00	98	16	0,50
49	16,5	1,00	99	16	0,15
50	16	0,00	100	16,5	0,00

Таблиця Д.11 Експериментальні значення величини залишкової деформації прокладок, на ділянці колії з пропущеним тоннажем Т=447,3 млн. т бруто на км за рік

№ п/п Вимірювання	Тип підрейкової прокладки	Товщина прокладки (δ), мм	№ п/п Вимірювання	Тип підрейкової прокладки	Товщина прокладки (δ), мм
1	2	3	4	5	6
1	ПРП	6	26	ПРП	6
2	ПРП	5	27	ПРП	4,5
3	ПРП	5,5	28	ПРП	5
4	ПРП	6,5	29	ПРП	4,5
5	ПРП	7	30	ПРП	5
6	ПРП	6	31	ПРП	5
7	ПРП	6	32	ПРП	5

продовження таблиці Д.11

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

ДОДАТОК Г

- Г.1** Акт впровадження результатів дисертаційної роботи у навчальному процесі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.
- Г.2** Акт впровадження результатів дисертаційної роботи у колійному господарстві Придніпровської залізниці.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор Дніпропетровського
національного університету залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна



Б. Є. Боднар

вересня 2015 р.

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи асистента кафедри
«Колія та колійне господарство» Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Маркуля Руслана Володимировича

на тему «Розробка технології контролю та утримання залізничної колії
із скріпленням типу КПП-5»

Матеріали дисертаційної роботи були використані у навчальному процесі при підвищенні кваліфікації фахівців колійного господарства Укрзалізниці в навчально-науково-методичному центрі післядипломної освіти Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Директор ННМЦПО

ДНУЗТу,

К. Т. Н., доцент

О. М. Патласов



ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО ПРИДНІПРОВСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ

СЛУЖБА КОЛІЙ

пр. Карла Маркса, 108, м. Дніпропетровськ - 49602, тел.: (056)793-01-00, 3-00-10, факс (056)793-00-10

26.10.2015

№ П-05/2901

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи Р. В. Маркуля на тему «Розробка технології контролю та утримання залізничної колії із скріпленням типу КПП-5»

На основі результатів дисертаційної роботи Р. В. Маркуля, та відповідно за договором від 21.10.15р. № 53.240.15.15 науково-дослідної роботи «Розробка пристрою для контролю сили притискання рейки до підрейкової основи у випадку застосування скріплення типу КПП-5 та регулювання сили притискання клеми КПП-5 при втраті пружності. Дослідження з метою розробки рекомендацій щодо утримання колії в залежності від сили притиснення рейки до підрейкової основи при використанні скріплення типу КПП-5» - розроблена конструкція колійного пристрою призначеного для визначення пружних властивостей клеми та сили притискання рейки до підрейкової основи у випадку використання проміжного рейкового скріплення типу КПП-5.

Розроблену конструкцію колійного пристрою прийнято до попереднього використання в колійному господарстві Придніпровської залізниці.

Начальник служби колій



Г. М. Савіночкин