

ЗАЯВА

Тригоренко Андрій Володимирович
(ПІБ повністю)

ені групи 863

(шифр групи)

іальності 273 Залізничний транспорт
(код та назва спеціальності)ньої програми Залізничний транспорт та комунікації
(назва освітньої програми)нього ступеня підготовки Магістр
(бакалавр, магістр)яю, що моя випускна кваліфікаційна робота на
Удосконалення реймових стріпачек

ана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі за-
ованих та електронних джерел мають відповідні посилання.
у перевірити її наявність академічною плагіату.

йомлена з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних ви-
здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та гра-
фічних засобами перевірки на плагіат», згідно з яким виявлення
савою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної ро-
боти.

20.12.21р.

Підпис

І.В. Марчук

Підпис

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Український державний університет науки і технологій

Кафедра «Транспортна Інфраструктура»

«ДО ЗАХИСТУ»
Завідувач кафедри

Олексій ПІОТЬКІН

(підп.)

«29» 12 2021 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
на здобуття ОКР « магістр »

Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

Спеціалізація 7.07010801 «Залізничні споруди та колійне господарство»

Тема «Удосконалення рейкових скріплень».

Керівник дипломної
роботи

доцент

(посада)

(підпис)

Руслан МАРКУЛЬ

(підп.)

Нормоконтролер

доцент

(посада)

(підпис)

Максим АРБУЗОВ

(підп.)

Виконавець студент
групи

КГ1927 (9-БЗ)

(група)

(підпис)

Андрій ГРИГОРЕНКО

(підп.)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Український державний університет науки і технологій

Кафедра «Транспортна Інфраструктура»

«ДО ЗАХИСТУ»
Завідувач кафедри

<hr/>	<hr/>
(підпис)	(ПІБ)

«__» _____ 2021 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
на здобуття ОКР « магістр »

Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

Спеціалізація 7.07010801 «Залізничні споруди та колійне господарство»

Тема «Удосконалення рейкових скріплень».

Керівник дипломної
роботи

<hr/>	<hr/>	<hr/>
доцент		Руслан МАРКУЛЬ
(посада)	(підпис)	(ПІБ)

Нормоконтролер

<hr/>	<hr/>	<hr/>
доцент		Максим АРБУЗОВ
(посада)	(підпис)	(ПІБ)

Виконавець студент
групи

<hr/>	<hr/>	<hr/>
КГ1927 (9-БЗ)		Андрій ГРИГОРЕНКО
(група)	(підпис)	(ПІБ)

Дніпро 2021

Український державний університет науки і технологій

Навчально-науковий центр «ОБД» кафедра «Транспортна інфраструктура»

Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

Спеціалізація 7.07010801 «Залізничні споруди та колійне господарство»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

Олексій ТЮТКІН

(підпис)

«_____» _____ 2021 г.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття ОКР _____ магістр _____

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

студента групи КГ1927
(номер групи)

Андрій ГРИГОРЕНКО
(ПІБ)

1. Тема дипломного проекту (роботи) Удосконалення рейкових скріплень.

затверджена наказом по університету від «26» березня 2021 р. № 148 ст.

2. Термін подання студентом закінченого проекту (роботи) 05. 12. 2021 р.

3. Вихідні дані до дипломного проекту (роботи).

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань до розробки) Розділ 1. Аналіз розвитку досліджень за роботою проміжних рейкових скріплень. Розділ 2. Розробка пружної клеми для підвищення пружних властивостей роботи вузла скріплення типу КБ65 . Розділ 3. Дослідження напруженого стану удосконаленої конструкції вузла скріплення типу КБ65 під дією рухомого складу.

5 Перелік креслень (демонстраційного матеріалу) 1 – Тема дипломної роботи та ініціали доповідача; 2 – Вимоги до проміжних рейкових скріплень у відповідності із EN 13481-2:2012+A1:2017 (Е); 3 – Поздовжні тріщини в шпалі типу В70 при скріпленні типу “Vossloh” (ФРГ); 4 – Важкі умови експлуатації залізничної колії. Зламани клеми удосконаленої конструкції скріплення типу КБ; 5 – Мета роботи; 6 – Розробка конструкції пружної клеми для вузла скріплення типу КБ65; 7 – Проектування конструкції пружної клеми; 8 – Дослідження силової роботи вузла скріплення типу КБ65 у випадку використання удосконаленої клеми; 9 – Зміна сили притискання із врахуванням типової та удосконаленої клеми; 10 – Зміна опору поздовжньому переміщенню рейкової нитки від пропущеного тоннажу; 11 – Дослідження напруженого стану удосконаленої конструкції вузла скріплення типу КБ65 під дією рухомого складу; 12 Значення бокових та вертикальних сил що виникають в кривих ділянках колії від дії рухомого складу; 13 – напружений стан удосконаленої клеми у ву-

злі рейкового скріплення типу КБ65; 14 – порівняльні значення напруженого стану удосконаленої клеми рейкового скріплення типу КБ65 та КПП-5; 15 – Висновки.

6. Розділи та консультанти

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1.	Маркуль Р. В.	01.09.21	01.09.21
2.	Маркуль Р. В.	11.10.21	11.10.21
3.	Маркуль Р. В.	08.11.21	08.11.21

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу дипломного проекту (роботи)	Термін виконання	Обсяг розділу, %
Огляд проблеми яка досліджується.	11.10.21	20
Дослідження впливу роботи баластного шару на розладнання геометрії колії.	08.11.21	40
Вплив утримання колії та термін періодичності виконання ремонтів.	05.12.21	40

Дата видачі завдання: « 01 » вересня 2021 р.

Керівник дипломної роботи _____ Руслан МАРКУЛЬ
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____ Андрій ГРИГОРЕНКО.
(підпис) (ПІБ)

ЗМІСТ

	Стор.
РЕФЕРАТ	6
Вступ	8
1. АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА РОБОТОЮ ПРОМІЖНИХ РЕЙКОВИХ СКРІПЛЕНЬ	9
1.1 Аналіз світового досвіду над роботою проміжних рейкових скріплень та коротка історична довідка. Суть питання та завдання дослідження	9
1.2. Постановка цілей досліджень	16
2. РОЗРОБКА ПРУЖНОЇ КЛЕМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОБОТИ ВУЗЛА СКРІПЛЕННЯ ТИПУ КБ65	17
2.1 Розробка та проектування пружної клеми вузла скріплення типу КБ65	17
2.2 Дослідження силової роботи вузла скріплення типу КБ65 у випадку використання удосконаленої клеми	22
2.3 Висновки до розділу	26
3. ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВУЗЛА СКРІПЛЕННЯ ТИПУ КБ65 ПІД ДІЄЮ РУХОМОГО СКЛАДУ	29
3.1 Застосування методу кінцевих елементів з метою дослідження напруженого стану елементів проміжного рейкового скріплення типу КБ65.....	29

					0053.196507.ДР.2021.001						
Змн.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив.	Григоренко А. В.				Удосконалення рейкових скріплень			Лит.	Лист.	Листів	
Перевірів.	Маркуль Р. В.									4	63
								УДУНТ-2021 р.			
Н. Контр.	Арбузов М. А.										
Затвердж.	Тютюкін О. Л.										

3.2 Створення розрахункових схем та КЕ – моделей залізничної колії та елементів вузла удосконаленого рейкового скріплення типу КБ65	32
3.2.1 Шпали.....	32
3.2.2 Підрейкова прокладка	34
3.2.3 Нашпальна прокладка	35
3.2.4 Підкладка	37
3.2.5 Клема пружна	38
3.2.6 Рейка	38
3.2.7 Закладний болт	39
3.2.8 Клемний болт	40
3.2.9 Гайка	40
3.2.10 Пружна шайба	41
3.2.11 Ізолюючий вкладиш	41
3.2.12 Скоба для ізолюючої втулки	42
3.3 Моделювання роботи залізничної колії із удосконаленою конструкцією скріплення типу КБ65 під дією рухомого складу	42
3.4 Дослідження напруженого стану елементів у вузлі удосконаленої конструкції вузла рейкового скріплення типу КБ65.....	51
3.5 Висновки до розділу	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	57
ЛІТЕРАТУРА	59

РЕФЕРАТ

Дипломна робота складається із 63 сторінок, 4 таблиць, 35 рисунків та 36 літературних джерел.

ТЕМА: «УДОСКОНАЛЕННЯ РЕЙКОВИХ СКРІПЛЕНЬ».

ТЕМА: «Усовершенствование рельсовых скреплений».

THEME: «Improvement of rail fastenings».

У даній магістерській роботі виконано: встановлені взаємозв'язки між експлуатаційними та конструктивними особливостями роботи проміжних рейкових скріплень вітчизняного та зарубіжного виробництва; створено та запропоновано конструкцію пружної клеми з підвищеною пружністю, з метою використання її у рейковому скріпленні типу КБ65 з одночасною можливістю її адаптації з метою використання у польському скріпленні типу SB-3 так і для вітчизняних клемно-болтових скріплень (СКД65-Б), яке є прототипом вищезгаданого вітчизняного скріплення; за допомогою математичного моделювання було досліджено та проаналізовано напружений стан удосконаленої конструкції вузла скріплення типу КБ65.

In this master's thesis are performed: the relationship between operational and design features of the intermediate rail fasteners of domestic and foreign production; created and proposed the design of an elastic terminal with high elasticity, in order to use it in rail fastening type КБ65 with the possibility of its adaptation for use in Polish fastening type SB-3 and for domestic terminal-bolt fasteners (СКД65-Б), which is a prototype of the above-mentioned domestic bonding; with the help of mathematical modeling the stress state of the improved design of the fastening unit type КБ65 was investigated and analyzed.

Об'єкт дослідження – проміжні рейкові скріплення типу КБ65.

Предмет дослідження – процес напруженого стану, і силового взаємозв'язку у вузлі скріплення типу КБ65 під час його експлуатації.

					0053.196507.ДР.2021.001	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Ключові слова: залізнична колія, проміжні рейкові скріплення, сила притискання, пружні деформації, напруження.

Keywords: railway track, intermediate rail fastenings, clamping force, elastic deformations, stresses.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОПИС:

Григоренко А. В. Удосконалення рейкових скріплень: дипломна робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра : спец. 273 – Залізничний транспорт / наук. керівник Р. В. Маркуль ; Український державний університет науки та технологій. Дніпро, 2021. 63 с.

					0053.196507.ДР.2021.001	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВСТУП

Залізничний транспорт відіграє важливу роль у економічному розвитку країни і є основою її транспортної системи. Проте сьогодні залізничний транспорт стає менш конкурентоспроможним щодо інших видів транспорту, що пов'язано зі світовими економічними змінами та несприятливою економічною ситуацією, що складається в державі. Ефективне функціонування залізничного транспорту є необхідною умовою стабілізації та розвитку економіки та забезпечення національної безпеки країни.

Більш ніж півтора століття практика експлуатації залізничної колії наочно показала, що у всіх видів дерев'яних і залізобетонних підрейкових основ найбільш складним-конструктивно і технологічно вирішальним вузлом, є проміжні рейкові скріплення. Саме на колійні роботи з утримання та ремонту скріплень припадає значна частка трудових витрат під час експлуатації залізничної колії.

Одним із шляхів підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту є розробка рекомендацій щодо покращення надійності роботи проміжних рейкових скріплень протягом усього міжремонтного терміну їхньої експлуатації.

Наведені вище твердження вказують на актуальність даної тематики магістерської роботи, яка може покращити принципи ведення колійного господарства за рахунок обґрунтування та розробки рекомендацій утримання залізничної колії з використанням скріплення типу КБ655. Це дозволить покращити роботу вузла рейкового скріплення з одночасним збереженням його працездатності протягом усього міжремонтного терміну експлуатації залізничної колії.

					0053.196507.ДР.2021.001	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1. АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА РОБОТОЮ ПРОМІЖНИХ РЕЙКОВИХ СКРІПЛЕНЬ.

1.1 Аналіз світового досвіду над роботою проміжних рейкових скріплень та коротка історична довідка. Суть питання та завдання дослідження

При реконструкції вітчизняних залізниць, особливо під швидкісний рух, виникла потреба щодо удосконалення існуючої конструкції залізничної колії, впровадженням нових елементів верхньої будови колії, які відповідали б сучасним вимогам експлуатації. Більш ніж півтора століття практика експлуатації залізничної колії наочно показала, що у всіх видів дерев'яних і залізобетонних підрейкових основ найбільш складним-конструктивно і технологічно вирішальним вузлом є проміжні рейкові скріплення. Саме на колійні роботи з утримання та ремонту проміжних рейкових скріплень припадає значна частка трудових витрат під час експлуатації колії.

Відповідно до [1, 2] для скріплень пред'являються такі експлуатаційні вимоги:

- зменшення металомісткості та багатодетальності конструкції;
- забезпечення стабільної ширини колії;
- утримання рейок від угону;
- укладання безстикової колії довжиною в перегін без сезонних розрядок;
- підвищення безпеки руху;
- забезпечення оптимальної пружності колії та надійний зв'язок рейок з підрейковими опорами;
- довгострокове забезпечення стабільної ширини колії;
- допускати регулювання положення рейкових ниток за рівнем;
- допускати (по можливості) регулювання положення рейкових ниток у плані;
- забезпечувати рейкові нитки від їхнього поздовжнього переміщення по

					0053.196507.ДР.2021.001	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

підрейкових опорах під дією рухомого складу та температурних сил;

- мати мінімум деталей, бути надійними та технологічними при виготовленні та експлуатації;
- бути економічним;
- допускати механізоване складання та розбирання;
- допускати можливість розрядки напружень у плітях безстикової колії та заміну деталей скріплення без перерв у русі поїздів

У країнах Європи одним з найвідоміших проміжних рейкових скріплень, які введені в постійну експлуатацію, є нероздільні безпідкладочні скріплення типу «Pandrol», «Vossloh» та «SB-3». За результатами аналізу інформаційних інтернет-ресурсів, ці типи скріплення дуже надійно працюють при експлуатації на європейських залізницях.

На сьогоднішній день у зв'язку з масовою рекламою та переконаннями західних колег, та працівників колійного господарства у надійності та міцності роботи цих скріплень деякі з них, а саме «Vossloh» та «SB-3» масово використовуватимуться на залізницях України. Враховуючи велику вартість даних типів скріплення, та з одночасною метою адаптації конструктивних параметрів вітчизняних типів скріплення вимогам та конструктивним параметрам європейських проміжних скріплень, в Україні почали експериментувати над удосконаленням існуючих вузлів скріплення, таких як КБ та КПП-5 (прототип польського скріплення типу SB 3).

Почалося масове використання окремих елементів Європейських скріплень у поєднанні із вітчизняними конструкціями скріплень. Але тут необхідно було врахувати невелику поправку на те, що експлуатаційні параметри залізниць України дуже різко відрізняються від експлуатаційних параметрів європейських залізниць, нашими фахівцями цього не було враховано. Особливо йдеться про вантажонапруженість, осьове навантаження від рухомого складу, змішаний рух як пасажирських так і вантажних поїздів по одній і тій самій ділянці колії, не кажучи вже про ділянки колії складного

					0053.196507.ДР.2021.001	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

профілю. Особливо на Львівській залізниці відсоток кривих ділянок колії малого радіусу становить близько 50 % від загальної довжини колії.

З метою створення пружного притискання рейки до шпали, було прийнято замінити клемний болт у скріпленні типу КБ на пружну клему на основі проміжного скріплення типу Vossloh. Розробили, ввели в постійну експлуатацію, і все було б добре, якби не виникали часті випадки зламу пружної клеми (рис. 1.1). Необхідно враховувати додатковий фактор, згідно з [3] надійність роботи окремих елементів проміжного рейкового скріплення залежить не тільки від якості матеріалу, а й від конструкції елемента.



Рис. 1.1 Пошкоджені клеми удосконаленої конструкції скріплення типу КБ

Одночасно, почали виникати проблеми в експлуатації і в самій конструкції скріплення типу Vossloh. У складних, у тому числі і в гірських умовах експлуатації присутнє інтенсивне збільшення бічної-горизонтальної сили, що діє з боку рухомого складу на зовнішню рейкову нитку. З урахуванням цього, почали траплятися розтріскування тіла залізобетонної шпали на місці омоноличування полімерного дюбеля в тілі шпали (рис. 1.2). Одночасно це почали помічати закордонні вчені, результатом чого було проведено дослідження [4, 5], в яких було висловлено думку про нестабільність сили притискання клемами рейки до підрейкової основи.

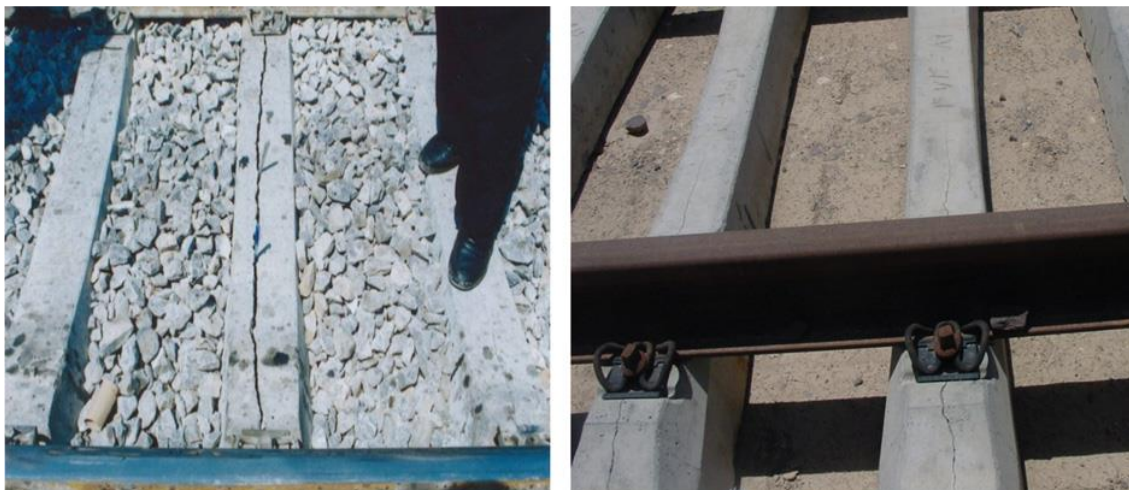


Рис. 1.2 Поздовжні тріщини в шпалі типу В70

Однак під час експлуатації, все ж таки логічно очікувати деякого зниження сили притискання клеми до рейки за рахунок втрати її пружних властивостей. Зумовлено це багатьма факторами. Після зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи втрачається стабільність просторової жорсткості вузла скріплення і пружної передачі динамічної взаємодії коліс рухомого складу на рейки. Це призводить до появи дефектів [4] і прискореного процесу пошкодження елементів верхньої будови колії [6].

За останні роки розроблено велику кількість конструкцій проміжних рейкових скріплень для залізобетонних шпал, але тільки деякі з них, такі як КБ та КПП-5 внаслідок тривалих експлуатаційних спостережень, прийняті для широкого застосування у практиці на залізницях України. Однак під час тривалих експлуатаційних спостережень та виконаних досліджень над скріпленнями типу КБ було виявлено низку їхніх недоліків, таких, як:

- складність монтажу-демонтажу під час утримання у дорозі;
- наявність великої кількості різьбових з'єднань;
- багато-детальність;
- висока металомісткість.

Тому, із врахуванням вище перерахованих експлуатаційних вимог до проміжного рейкового скріплення, та ліквідації недоліків, які присутні у скріпленні типу КБ (рис. 1.3), було запропоновано впровадити на основі

безпідкладкових безболтових скріплень типу СБ-3 польського виробництва вітчизняні скріплення пружного типу КПП-1, а потім і скріплення типу КПП -5 (рис. 1.4), які б стабільно притискали рейку до підрейкової основи, та зменшували б витрати на поточний утримання шляху на залізобетонних шпалах.

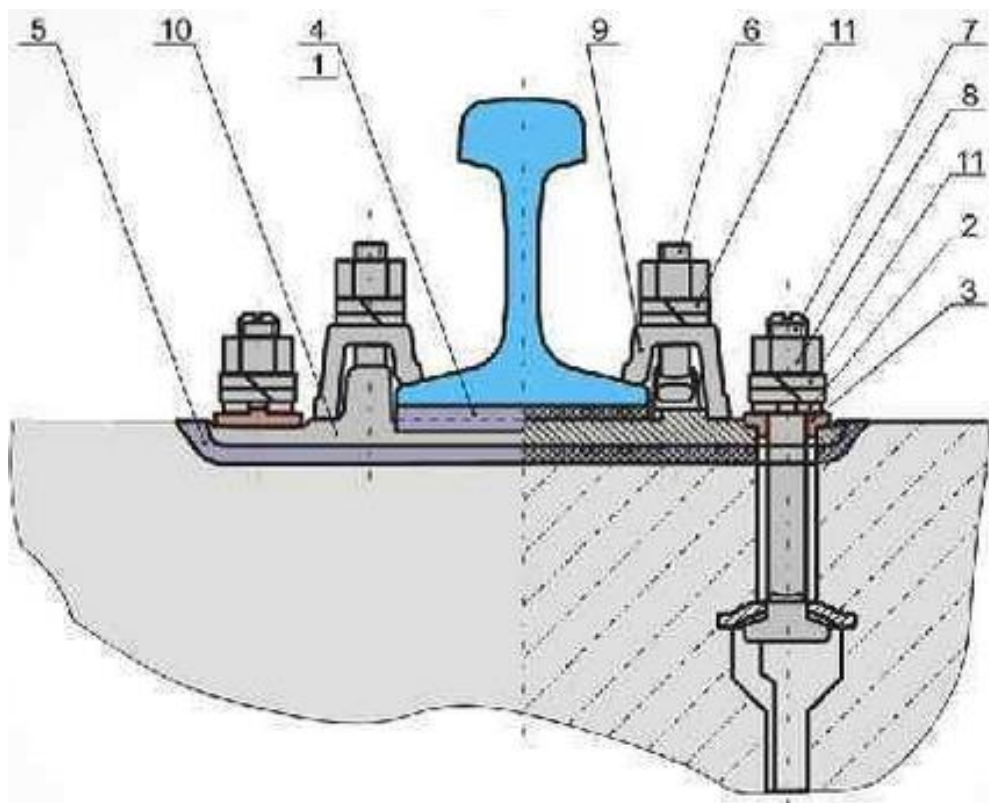


Рис. 1.3 Конструкція рейкового скріплення типу КБ

1 – прокладка; 2 – скоба для ізолюючої втулки; 3 – ізолююча втулка;
4 – підрейкова прокладка; 5 – нашпальна прокладка; 6 – клемний болт;
7 – закладний болт; 8 – гайка; 9 – клема; 10 – підкладка; 11 – шайба двовиткова.

Було виявлено, що на початкових стадіях експлуатації проміжні рейкові скріплення типу КПП-5, на відміну від скріплення типу КБ-65, мають ряд переваг таких, як:

- простота монтажу-демонтажу утримання шляху;
- відсутність різьбових з'єднань;
- малодетальність;
- низька металомісткість.

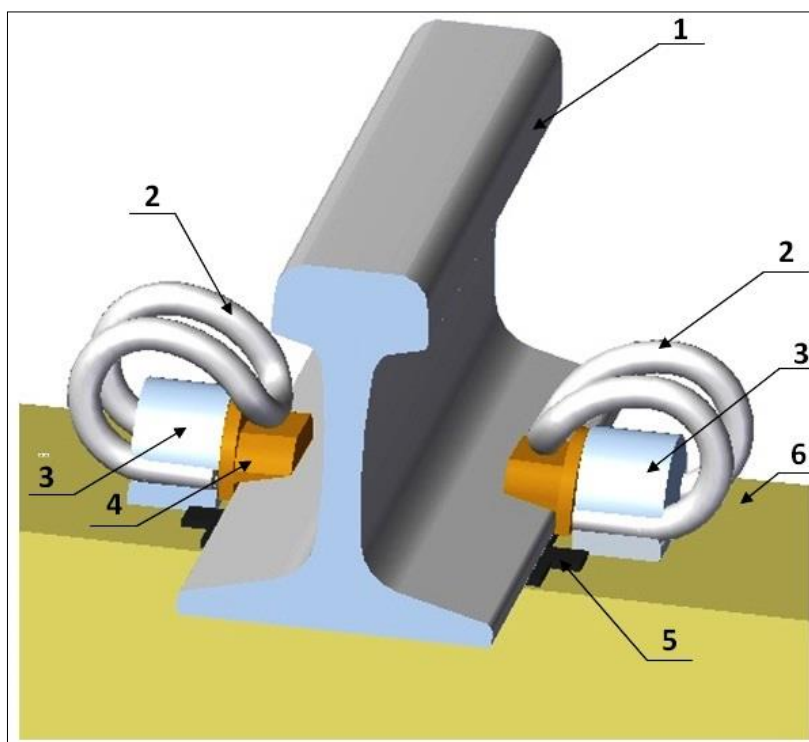


Рис.1.4 Конструкція нероздільного анкерного скріплення типу КПП-5

1 - рейка; 2 – пружна клема; 3 - анкер; 4 – ізолюючий вкладиш;

5 – підрейкова прокладка; 6 – залізобетонна шпала.

З урахуванням експлуатаційних особливостей вітчизняних залізниць, що мають більш високі ніж на західноєвропейських вантажонапруженості, осьові навантаження та велику масу поїздів, особливо в кривих ділянках колії, де величини бічних горизонтальних сил стають пропорційними з вертикальними [7], у скріплення типу КПП-5 під час тривалої експлуатації виявлено низку недоліків. Недоліки супроводжуються передчасним виходом проміжних елементів з ладу. Причиною цього недостатньо вивчена силова пружних клем вузла скріплення КПП-5, які першими сприймають долю величини динамічної сили, що передається від рейки на вузол проміжного рейкового скріплення. Це призводить до інтенсивного зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи [8].

Після зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи втрачається стабільність просторової жорсткості вузла скріплення та пружна передача динамічного впливу коліс рухомого складу на рейки. Одночасно з цим

підрейкова прокладка недостатньо чинить опір поперечному, а найголовніше, поздовжньому переміщенню рейки. Збільшується і бічна жорсткість вузла скріплення, що призводить до пошкодження полімерного вкладиша типу ВП 65.1 у місці його контакту із зовнішньою кромкою підшви рейки, відбувається зношування анкерів шпали і пошкоджується тіло залізобетонної шпали в місці примикання з шапкою монолітного анкера [5-9].

Відповідно до [10] клема типу КП-5.2 повинна забезпечувати притискання рейок до основи із зусиллям не менше 10 кН. Пружинні клеми повинні забезпечувати нормативне монтажне притискання рейки до кожної підрейкової опори із зусиллям не менше 20 кН, оскільки вони визначають надійність роботи вузла скріплення в цілому [11-19]. Над оцінкою пружної роботи клеми типу КП-5.2 працювали багато видатних учених ВНИИЖТ [20-22], у тому числі вчені кафедри - «Колія та колійне господарство» ДНУЗТ [23].

Таким чином, для скріплень типу КПП-5 з підрейковою прокладкою та пружними клемами монтажне зусилля притиснення рейки двома клемами залежно від величини коефіцієнта тертя може перебувати в діапазоні 1÷2 т. [20-23]. Однак під час експлуатації логічно очікувати деякого зниження притискання клем до рейки. Зумовлено це багатьма факторами.

Оцінку величини зниження ходу пружинної клеми залежно від пропущеного тоннажу досліджено не до кінця, а значить 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, що призведе до відмови елемента. Сьогодні особливість роботи скріплення типу КПП-5 полягає у заміні дефектних деталей під час їх виявлення. Елементи скріплення ремонту не підлягають та замінюються на нові, що визначаються натурним оглядом геометричних розмірів [24].

Існує проблема, пов'язана зі станом силової роботи вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, а саме, контроль за роботою окремих

					0053.196507.ДР.2021.001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

елементів, оскільки вони визначають надійність роботи вузла скріплення цілому. Наведені вище твердження вказують на актуальність цієї тематики дипломної роботи, яка може покращити принципи ведення колійного господарства. В основному, цього можна добитись за рахунок подальшого обґрунтування та розробки рекомендацій щодо покращення роботи залізничної колії в залежності від сили притискання рейки до підрейкової основи з використанням скріплення типу КБ.

1.2 Цілі та задачі досліджень

Для досягнення зазначеної мети необхідно розглянути та проаналізувати такі завдання:

- провести аналіз досліджень щодо роботи проміжних рейкових скріплень вітчизняного та зарубіжного виробництва;
- проаналізувати, досліджувати та розробити пропозиції щодо удосконалення існуючих перспективних конструкцій проміжних рейкових скріплень;
- досліджувати напружений стан запропонованої конструкції вузла проміжного рейкового скріплення порівняно з існуючими конструкціями скріплень;
- дослідити силову роботу запропонованої конструкції вузла скріплення порівняно з існуючими конструкціями проміжних рейкових скріплень.

2. РОЗРОБКА ПРУЖНОЇ КЛЕМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОБОТИ ВУЗЛА СКРІПЛЕННЯ ТИПУ КБ65

2.1 Розробка та проектування пружної клеми вузла скріплення типу КБ

Відповідно до досліджень [25] було встановлено, що під час експлуатації вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 на процес зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи впливає ряд факторів. Відсотковий вплив цих факторів зображено на рис. 2.1

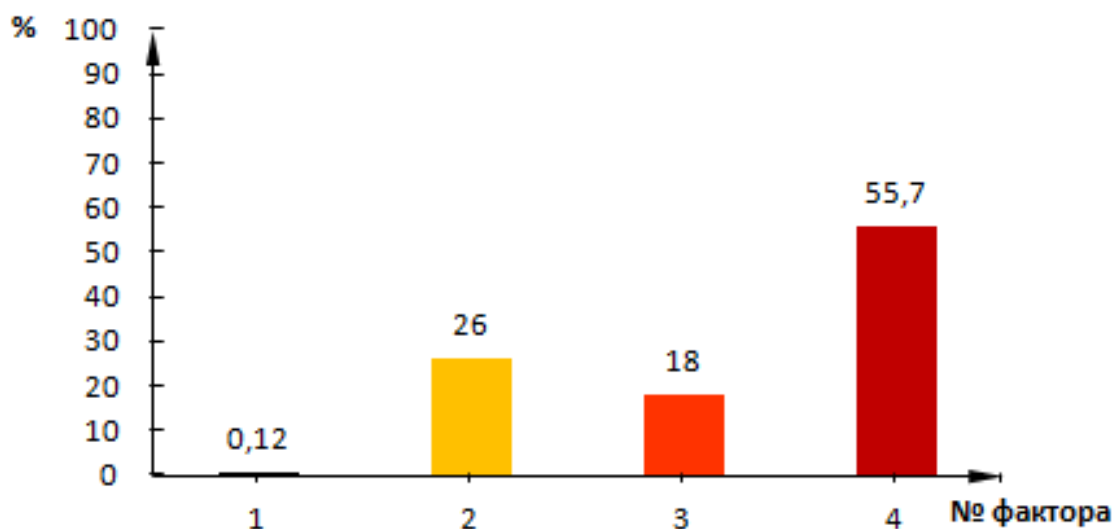


Рис. 2.1 Вплив факторів на силу притискання рейки до підрейкової основи у
рейковому скріпленні типу КПП-5

1-«монтаж-демонтаж клеми»; 2-релаксация клеми; 3-розміщення вісей анкера;
4-знос прокладки

Із рис. 2.1 можна побачити, що основним з факторів, що впливають на зменшення величини сили притискання рейки до підрейкової основи при проміжному рейковому скріпленні типу КПП-5 є процес зносу підрейкової прокладки. На кінець міжремонтного терміну може становити 55,7%. Це доводить той фактор, що при втраті проміжними елементами скріплення КПП-5 своїх пружних властивостей, сила притискання при експлуатації інтенсивно зменшується.

З метою підвищення силової роботи та зменшення кількості елементів у вузлі скріплення типу КБ автором у даній роботі пропонується вдосконалена конструкція пружної клеми з підвищеною пружністю. Відомо [10], що пружність клеми можна визначити за виразом:

$$\mathcal{J}_K = \frac{P_m}{\delta}, \quad (2.1)$$

де P_m - монтажна сила притискання, ($P_m = 13,97$ кН);

δ - пружний хід клеми, (для нової клеми 8,5 мм).

Виходячи з цього, конструкція нової удосконаленої пружної клеми зображена на рис. 2.2.

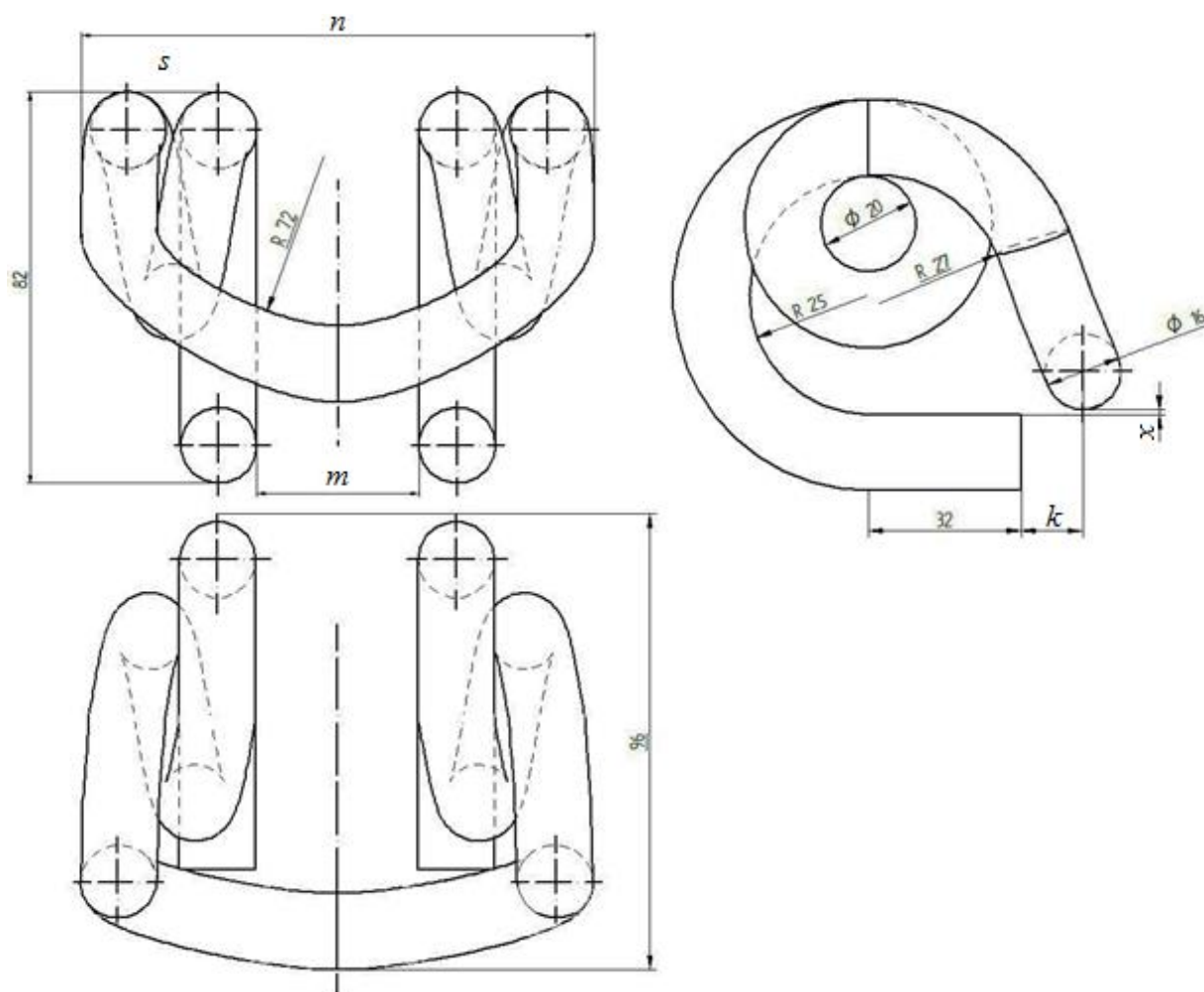


Рис. 2.2 Конструкція удосконаленої клеми з підвищеною пружністю

Просторова модель удосконаленої клеми з підвищеною пружністю зображена на рис. 2.3.

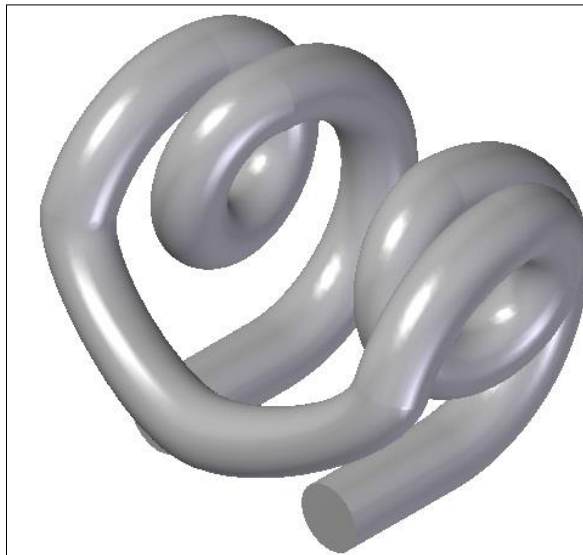


Рис.2.3 Просторова модель пружної клеми для проміжного рейкового скріплення типу КБ.

Загальна конструкція вузла проміжного рейкового скріплення типу КБ із запропонованою конструкцією пружної клеми зображено на рис. 2.4.

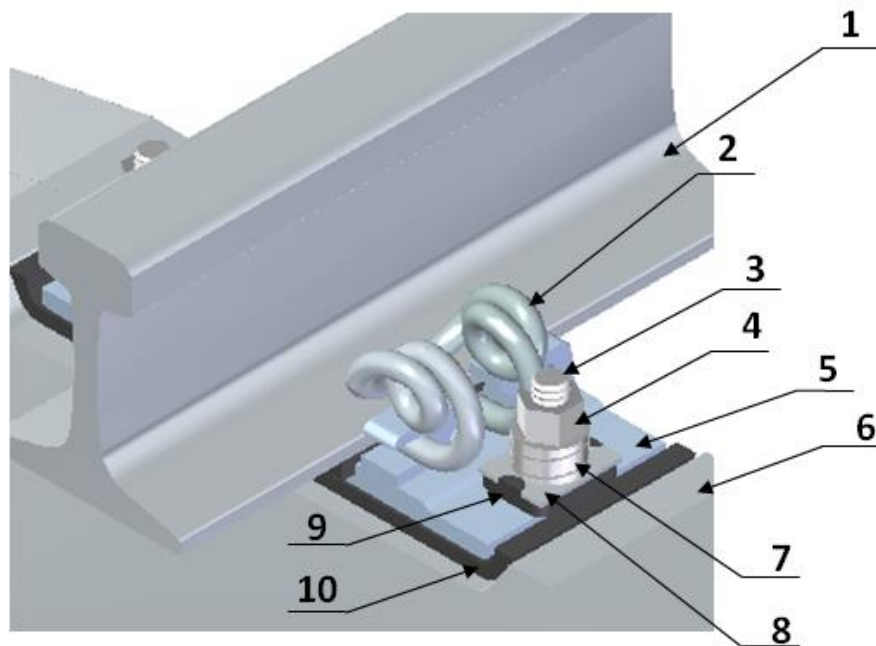


Рис. 2.4 Конструкція вузла проміжного рейкового скріплення типу КБ(У)

1 – рейка; 2 – пружна клема; 3 – закладний болт; 4 – гайка; 5 – підкладка;
6 – клемний болт; 7 – шайба двовиткова; 8 – скоба для ізолюючої втулки;
9 – ізолююча втулка; 10 – нашпальна прокладка.

Щоб підвищити пружні властивості клеми щодо існуючої, було запроектовано додатковий виток у верхній частині згину. Одночасно, метою даного допоміжного витка (див. рис. 2.2) є розвантаження основного (типового) витка, та зменшення згинальних напружень у прутку клеми від сили, що передається від підшви рейки до клеми.

Методика проектування допоміжного витка в клемі виконувалася знаходженням кута його закручування з одночасним визначенням додаткового пружного ходу клеми. Розрахункова схема розрахунку кута закручування допоміжного витка зображена на рис. 2.5.

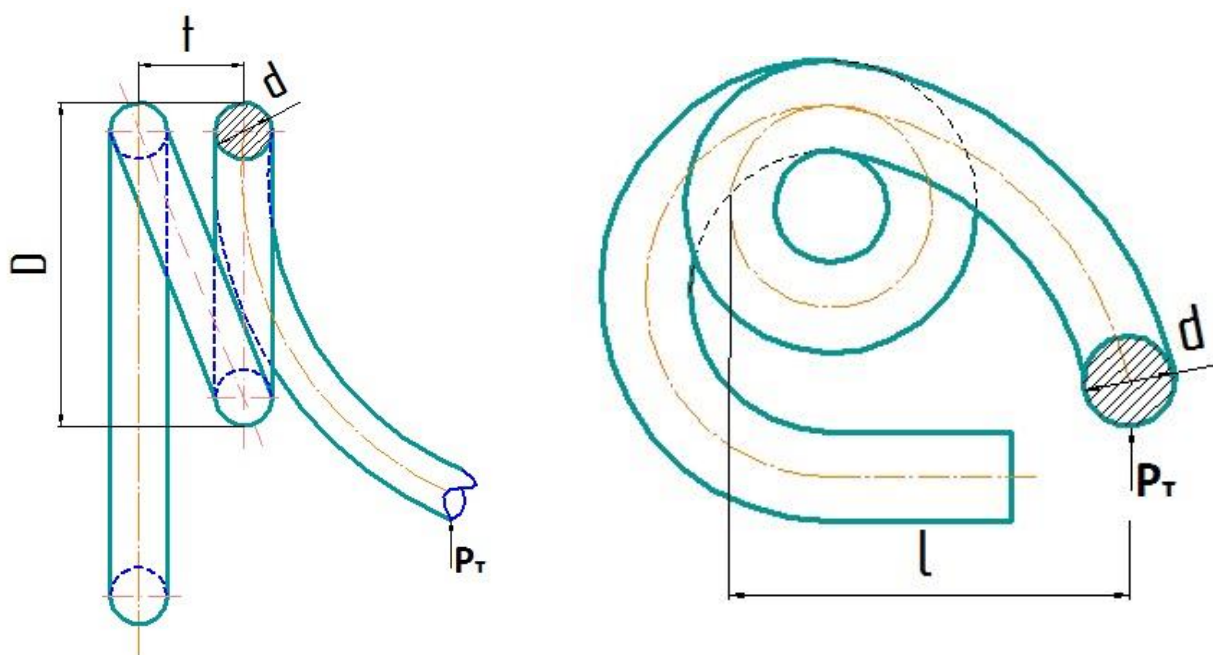


Рис. 2.5 Розрахункова схема

Крок пружного витка ($t = 38$ мм) проектувався виходячи з можливості встановлення пружної клеми пази підкладки під час її монтажу. Відповідно до досліджень [23] з метою встановлення пружної клеми в пази підкладки величина примусової горизонтальної деформації прутка клеми становить 9,2 мм. Тобто, конструкція пружної клеми та металева підкладка скріплення типу КБ проектувались таким чином, щоб величина примусової горизонтальної деформації, яка необхідна для встановлення пружної клеми в пази підкладки відповідала величині необхідної примусової горизонтальної деформації прутка клеми при її монтажі в робоче положення при скріпленні типу КПП-5.

Кут закручування пружного витка знаходиться з виразу:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{t}{\pi d}\right), \quad (2.2)$$

де t - крок пружного витка клеми, мм;

d - діаметр прутка клеми, мм.

Довжина пружного витка визначається виразом:

$$L = \frac{\pi D n}{\cos \alpha}, \quad (2.3)$$

де: D - зовнішній діаметр пружного додаткового витка, мм;

n - кількість витків додаткового витка, шт.

Кут закручування пружного додаткового витка визначається виразом:

$$\varphi = 114,5 \cdot \frac{LR_b}{dEk_1}, \quad (2.4)$$

де: R_b - допустимі напруження на згин, МПа ($R_b=1570$ МПа);

E - модуль пружності сталі пружної клеми, МПа ($E=210000$ МПа);

k_1 - жорсткість клеми, кН/мм (середнє значення для нової типової клеми, відповідно до [25] $k_1=1,192$ кН/мм).

Пружний хід (мм) клеми залежить від кута закручування пружного додаткового витка і плеча « l », на одному кінці якого до носика клеми прикладається монтажне зусилля, а на іншому кінці центр згину витка. Розмір збільшення пружного ходу клеми визначається з виразу:

$$\delta = \varphi \cdot l, \quad (2.5)$$

де: l - плече (відстань від прикладання сили до центру згину додаткового витка), мм.

Відповідно до вище представленої методики розрахунку для удосконаленої клеми встановлено:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{38}{3,14 \cdot 16}\right) = 0,756369 \text{ рад};$$

					0053.196507.ДР.2021.001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

$$L = \frac{3,14 \cdot 52 \cdot 1}{\cos(0,756369)} = 224,49 \text{ мм};$$

$$\varphi = 114,5 \cdot \frac{224,49 \cdot 1570}{16 \cdot 210000 \cdot 1,192} = 0,087999 \text{ рад};$$

Звідси величина підвищення пружного ходу становитиме:

$$\delta = 0,087999 \cdot 58 = 5,1 \text{ мм}.$$

Значення пружного ходу нової клеми для проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 згідно [25] становить 8,5 мм. Звідси згідно з формули (1) значення жорсткості запропонованої клеми при монтажній силі складе:

$$J_k = \frac{10}{8,5+5,1} = 0,735 \text{ кН/мм}.$$

На основі вище проведених теоретичних досліджень встановлено, із подальшим використанням запропонованої конструкції удосконаленої пружної клеми збільшується пружний хід клеми на 5,1 мм (60%) та зменшується жорсткість клеми на 0,457 кН/мм (37,5%) у порівнянні із типовою клемою, яка використовується при скріпленні типу КПП-5.

2.2 Дослідження силової роботи вузла скріплення типу КБ у випадку використання вдосконаленої клеми

У багатьох країнах світу створюються нові конструкції проміжних рейкових скріплень із пружинними клемами, що дозволяють пружно перетворювати динамічну дію коліс рухомого складу на колію без істотного зниження сили притискання клеми до підшви рейки. З метою попередження можливого виникнення угону плітей безстикової колії при скріпленні типу КБ, а також прискореного подальшого руйнування окремих елементів у вузлі скріплення вузла, що частково пов'язане з недостатнім притисканням рейки до підрейкової основи, було розроблено конструкцію пружної клеми з підвищеною пружністю.

Для детальнішої оцінки роботи запропонованої клеми, автором були

					0053.196507.ДР.2021.001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

використані результати експериментальних полігонних досліджень щодо визначення сили притискання клеми проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 до рейки під час експлуатації [25-26]. Дослідження виконувались за допомогою розробленої на кафедрі «Колія та колійне господарство» ДНУЗТ конструкції пристрою, призначеного для контролю сили притискання клеми до рейки у проміжному рейковому скріпленні типу КПП-5.

Методика даних досліджень ґрунтувалася на вимірі пружних деформацій клем типу КП при експлуатації вузла скріплення. Експериментально отримані середні значення величини пружної деформації типової та удосконаленої клеми наведені на рис. 2.6.

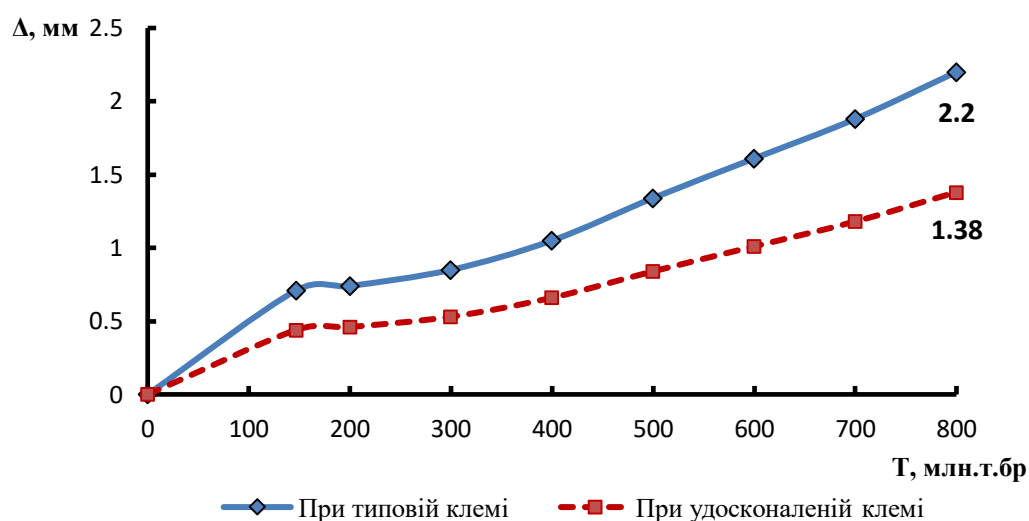


Рис. 2.6 Збільшення пружної деформації клем під час експлуатації щодо пропущеного тоннажу.

Оскільки значення пружності удосконаленої клеми відповідно до попередніх досліджень на 37,5% більше звичайної клеми, з метою наукових досліджень можна припустити, що пружна деформація удосконаленої клеми під час експлуатації зменшиться на ту саму величину (див. рис. 2.6).

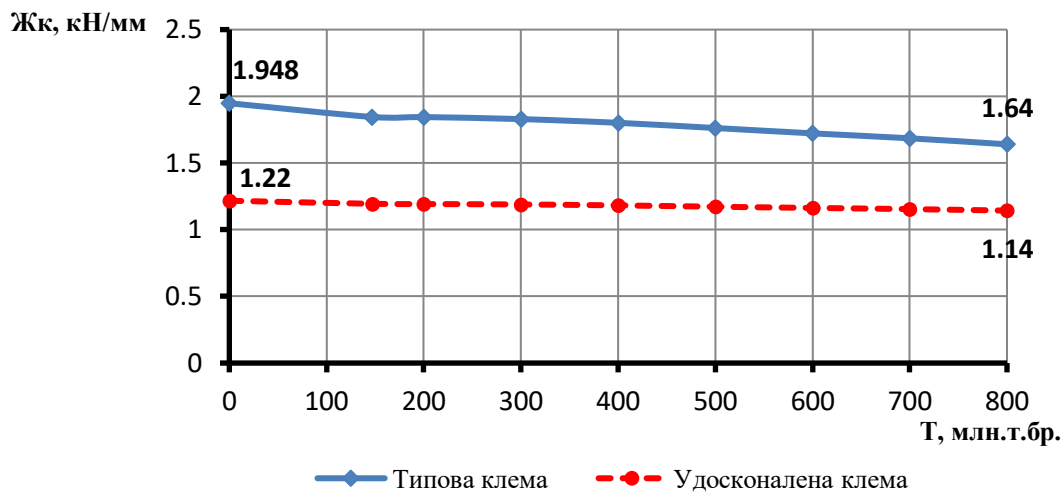


Рис. 2.7 Зміна жорсткості клем під час експлуатації щодо пропущеного тоннажу

Інтерполюючи експериментальні дані, можна зробити висновок, як змінюється величина середнього значення жорсткості клеми (J_k , кН/мм), сили притискання удосконаленої та типової клеми залежно від її релаксації. Результати наочно зображені на рис. 2.7-2.8.

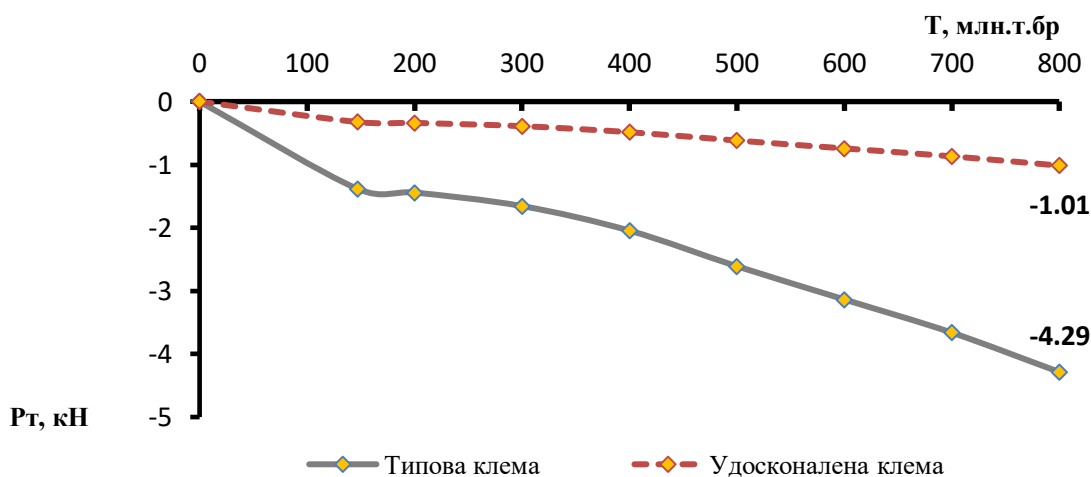


Рис. 2.8 Зменшення сили притискання рейки до підрейкової основи залежно від релаксації (втрати пружних властивостей) клеми

З метою дослідження роботи підрейкових прокладок, за впливом на величину сили притискання, автором були використані дослідження [25] вимірювання їх залишкових деформацій при експлуатації у вузлі рейкового скріплення типу КПП-5. Вплив залишкової деформації підрейкової прокладки

на силову роботу вузла скріплення типу КБ з використанням типової та вдосконаленої клеми зображено графічно на рис. 2.9.

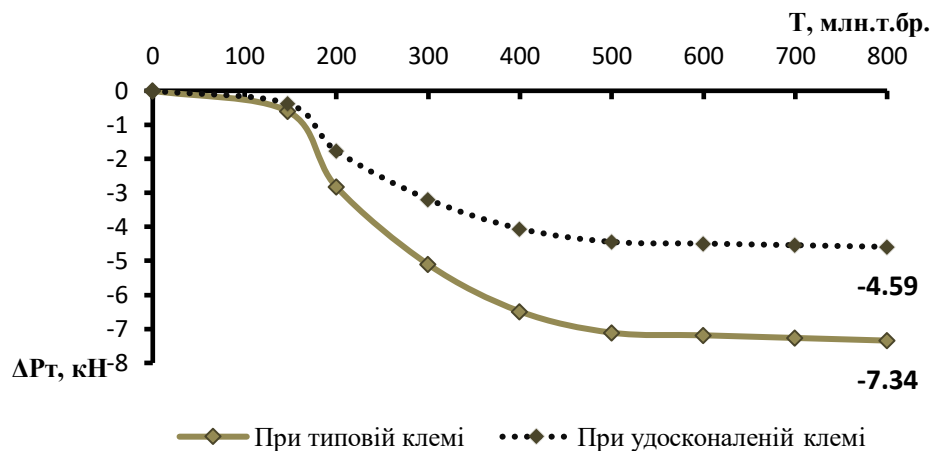


Рис. 2.9 Зменшення сили притискування рейки до підрейкової основи в залежності від зносу прокладки

Загальне значення зміни сили притискування (P_t , кН) протягом усього пропущеного тоннажу ($T = 0-800$ млн. т. бр.) з урахуванням вищезазначених параметрів зображено на рис. 2.10.

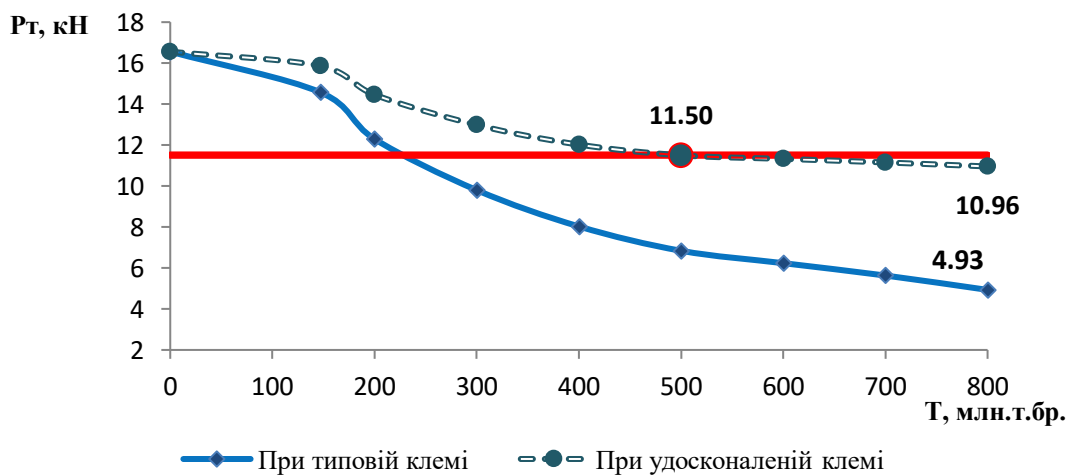


Рис. 2.10 Графік загальної зміни сили притискування з урахуванням типової та удосконаленої клеми

Рейки зрівняльних прольотів до залізобетонних шпал дозволяється прикріплювати проміжними рейковими скріпленнями, які забезпечують достатній опір поздовжньому переміщенню рейкових плітей, який становить 25-30 кН/м. Згідно з вище отриманими даними, було емпірично визначено

можливе зменшення погонного опору поздовжньому переміщенню. Результати розрахунку при типових клемах та удосконаленій клемі графічно представлені на рис. 2.11.

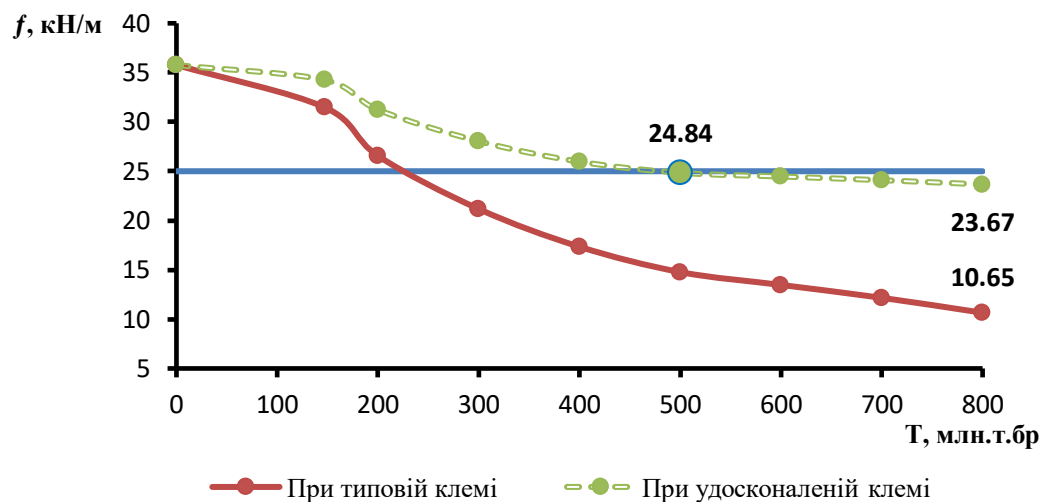


Рис. 2.11 Зміна опору поздовжнього переміщення рейкової нитки від пропущеного тоннажу

Отримані дані дозволяють зробити висновок, що мінімальна необхідна сила притискання рейки до шпали пружною клемою проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 повинна бути не менше 11,5 кН. При скріпленні типу КПП-5 мінімально-допустима сила притискання спостерігається при пропущеному тоннажу 240 млн. т. бр. (див. рис. 2.11). Згідно з нормативно-технічною документацією, це більше мінімально допустимої, що становить 10 кН. При використанні удосконаленої клеми при скріпленні типу КБ, мінімально-допустима сила притискання спостерігається при пропущеному тоннажу 500 млн. т. бр. (див. рис. 2.11).

2.3 Висновки до розділу

Стратегічним напрямком розвитку залізничного транспорту є підвищення швидкості руху поїздів, що суттєво залежить від покращення якості ведення колійного господарства. Реалізація цієї мети можлива за рахунок забезпечення надійної роботи вузла проміжного рейкового скріплення під час експлуатації.

Одним із вітчизняних проміжних рейкових скріплень, яке після тривалих

експлуатаційних спостережень впровадилося у постійну експлуатацію є скріплення типу КБ. Після тривалої експлуатації скріплення типу КБ виявлено ряд недоліків, пов'язаних з передчасною відмовою його елементів, та великою кількістю проміжних елементів у вузлі скріплення.

Згідно з попередніми дослідженнями ДНУЗТ за роботою проміжних рейкових скріплень типу КПП-5, встановлено, що основним фактором, що впливає на інтенсивне зменшення сили притискання у вузлі скріплення, є знос підрейкової прокладки 55,7%. Пружних властивостей клеми замало, щоб компенсувати знос підрейкової прокладки з одночасним збереженням оптимальної величини сили притискання, і опору поздовжньому переміщенню. Враховуючи вище наведені недоліки, автором була створена та запропонована конструкція пружної клеми з підвищеною пружністю, з метою подальшого використання її у проміжному рейковому скріпленні типу КБ.

Згідно з проведеними розрахунками пружний хід нової удосконаленої клеми на 5,1 мм (13,6 мм-60%) більше звичайної клеми (8.5 мм), яка використовується при скріпленні типу КПП-5. Це дозволило зменшити жорсткість клеми на 0,457 кН/мм (37,5%).

Знаючи попередньо жорсткість запропонованої клеми, було емпірично досліджено значення пружної деформації носика клеми під час експлуатації. Встановлено, що пружна деформація вдосконаленої клеми наприкінці міжремонтного періоду на 0,8 мм (37,3%) менша, ніж у типової. Жорсткість типової клеми протягом усього міжремонтного терміну зменшується на 0,308 кН/мм, а удосконаленої на 0,08 кН/мм. Тобто інтенсивність зміни пружності типової клеми при скріпленні типу КПП-5 щодо вдосконаленої пружної клем при скріпленні типу КБ протягом всього міжремонтного терміну більша на 74 %.

Вплив релаксації клеми на зменшення сили притискання при удосконаленні клеми на 76,4% менше, ніж при типовій пружній клемі, що показано на рис. 2.8.

Відповідно до вище проведених досліджень удосконалена клема своєю підвищеною пружністю дозволяє компенсувати зношування підрейкових

					0053.196507.ДР.2021.001	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

прокладок, з одночасним збереженням оптимальної величини силової роботи вузла скріплення типу КБ. Так, при використанні вдосконаленої пружної клеми зменшення сили притискання за рахунок зносу прокладки зменшується на 37,5%.

Отримані дані дозволяють зробити висновок, що мінімальна необхідна сила притискання рейки до шпали пружною клемою проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 повинна бути не менше 11,5 кН. При скріпленні типу КПП-5 мінімально-допустима сила притискання спостерігається при пропущеному тоннажу 240 млн. т. бр. (див. рис. 2.11). Згідно з нормативно-технічною документацією, це більше мінімально допустимої, що становить 10 кН. При використанні удосконаленої клеми при скріпленні типу КБ, мінімально-допустима сила притискання спостерігається при пропущеному тоннажу 500 млн. т. бр. (див. рис. 2.11). У разі використання клеми з підвищеною пружністю під час експлуатації у колії згідно з рис. 2.11 встановлено, що величина погонного опору переміщенню рейкової нитки збільшується вдвічі. Одночасно забезпечується оптимальна робота силового ланцюжка - «рейка-клемма-прокладка» протягом $T = 240$ млн. т. бр. до $T = 500$ млн. т. бр. Цю запропоновану конструкцію клеми можна використовувати і при скріпленні типу КБ, КПП-5 та СВ-3.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВУЗЛА СКРІПЛЕННЯ ТИПУ КБ65 ПІД ДІЄЮ РУХОМОГО СКЛАДУ

3.1 Застосування методу кінцевих елементів для дослідження напруженого стану елементів проміжного рейкового скріплення типу КБ65

За останні тридцять років метод кінцевих елементів (далі МКЕ) став одним із поширених численних методів для розрахунку напружено-деформованого стану твердого тіла (елемента). На сьогодні використовуються розроблені спеціалістами різних напрямів комплекси програмного забезпечення (ПЗ), основою яких входить використання основних положень цього методу.

Програмні комплекси в основному складаються з кількох активних розрахункових блоків (модулів): препроцесор – призначений для створення геометричної та розрахункової моделей; модуль проведення обчислень (Solution) – призначений для зазначення 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 у конкретному вузлі та (або) елементі, для проведення повної послідовності кроків навантаження; модуль імпортування геометричної інформації - призначений для імпортування файлів, в яких зберігається геометрична інформація про створені в них елементи.

Оскільки дані попередніх теоретичних досліджень та розрахунків достовірно не давали науково обґрунтованих відповідей та чітких результатів роботи всього вузла проміжного рейкового скріплення типу КБ65 у поперечній горизонтальній площині колії, з метою отримання достовірних результатів та достатньої оцінки напружено-деформованого стану елементів у вузлі скріплення, виникла необхідність створення математичної моделі з елементів залізничної колії при зовнішньому впливі сили, що передається від коліс рухомого складу.

					0053.196507.ДР.2021.001	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таким чином, для проведення досліджень необхідна математична модель, яка практично повною мірою враховувала б геометричні форми та реальні умови роботи конструкції вузла проміжного рейкового скріплення типу КБ, а саме розподілу зовнішнього навантаження, умови закріплення, фізико-механічні властивості використаних елементів, що у загальному аспекті є експлуатаційні та конструктивні характеристики роботи всього вузла скріплення [27]. Для цього було розглянуто певні програмні комплекси з точки зору вирішення поставленого завдання.

Автором дипломної роботи з використанням системи автоматизованого проектування, такої як Solid Edge ST2 та Solid Works, були описані основні види елементів верхньої будови колії відповідно до їхньої реальної геометрії та розмірів. Була попередньо підготовлена бібліотека фізичних характеристик для всіх елементів залізничної колії та вузла проміжного рейкового скріплення типу КБ. Отримані таким чином об'ємні твердотільні елементи експортувалися до певних спеціалізованих програмних комплексів, що дозволяють виконувати поглиблений чисельний розрахунок та аналіз тривимірних моделей МКЕ.

Найбільш достовірними програмами є: MSC Visual NASTRAN, COSMOS, ANSYS, MSC/MARC, Design Space, що дозволяють враховувати фізико-механічні властивості елементів верхньої будови колії, оптимізувати параметри конструкції при заданих зв'язках.

Розрахунки, наведені в даній дипломній роботі, були виконані та представлені в програмному комплексі ANSYS Design Space.

Вирішення певної задачі у програмі ANSYS включає кілька етапів, одночасно побудова моделей елементів зображена на рис. 3.1

Вирішення поставленої задачі у дипломній роботі, згідно з виконанням послідовностей аналізу, що зображено на рисунку 3.1, 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.

					0053.196507.ДР.2021.001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

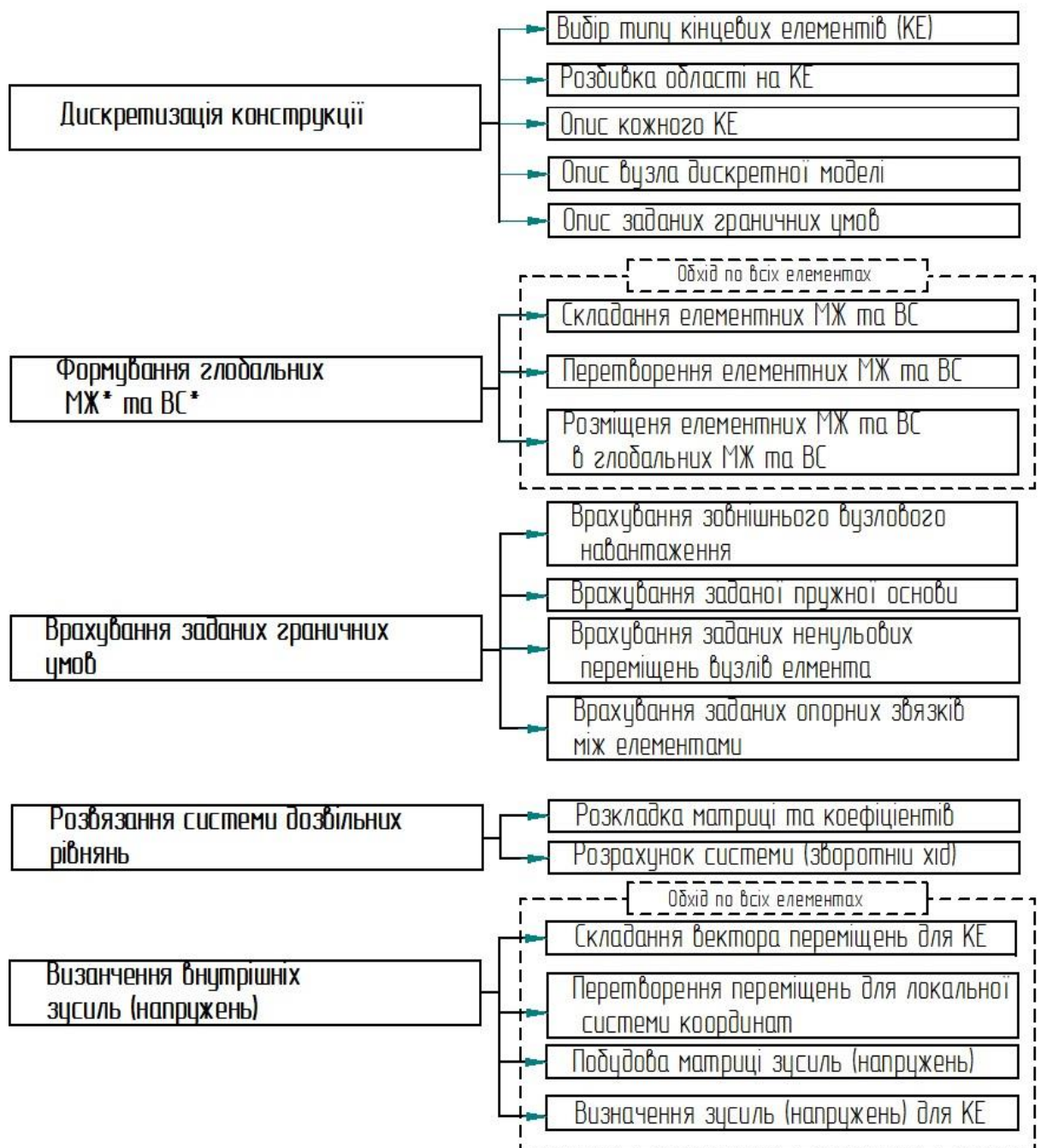


Рис. 3.1 Основні етапи розрахунку МКЕ та послідовність їх виконання

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).

3.2 Створення розрахункових схем та КЕ-моделей залізничної колії та елементів вузла вдосконаленого рейкового скріплення типу КБ

Для проведення теоретичних досліджень попередньо було створено розрахункові схеми елементів залізничної колії та вузла проміжного рейкового кріплення типу КБ, що зображено нижче.

3.2.1 Шпали

В основу теорії розрахунку та аналізу шпала представлялась як балка кінцевої довжини $l = 1350$ мм. На рис. 3.2 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 за експериментальними звітами галузевої дослідної науково-дослідної лабораторії ДНУЗТ [28-33] встановлено, що максимальні значення цих сил виникають у кривих ділянках колії малого радіуса по зовнішній рейковій нитці.

Доцільно розглядати одну частину рейкового шляху, яка описувала параметри пристрою і роботи зовнішньої рейкової нитки під силовим впливом рухомого складу.

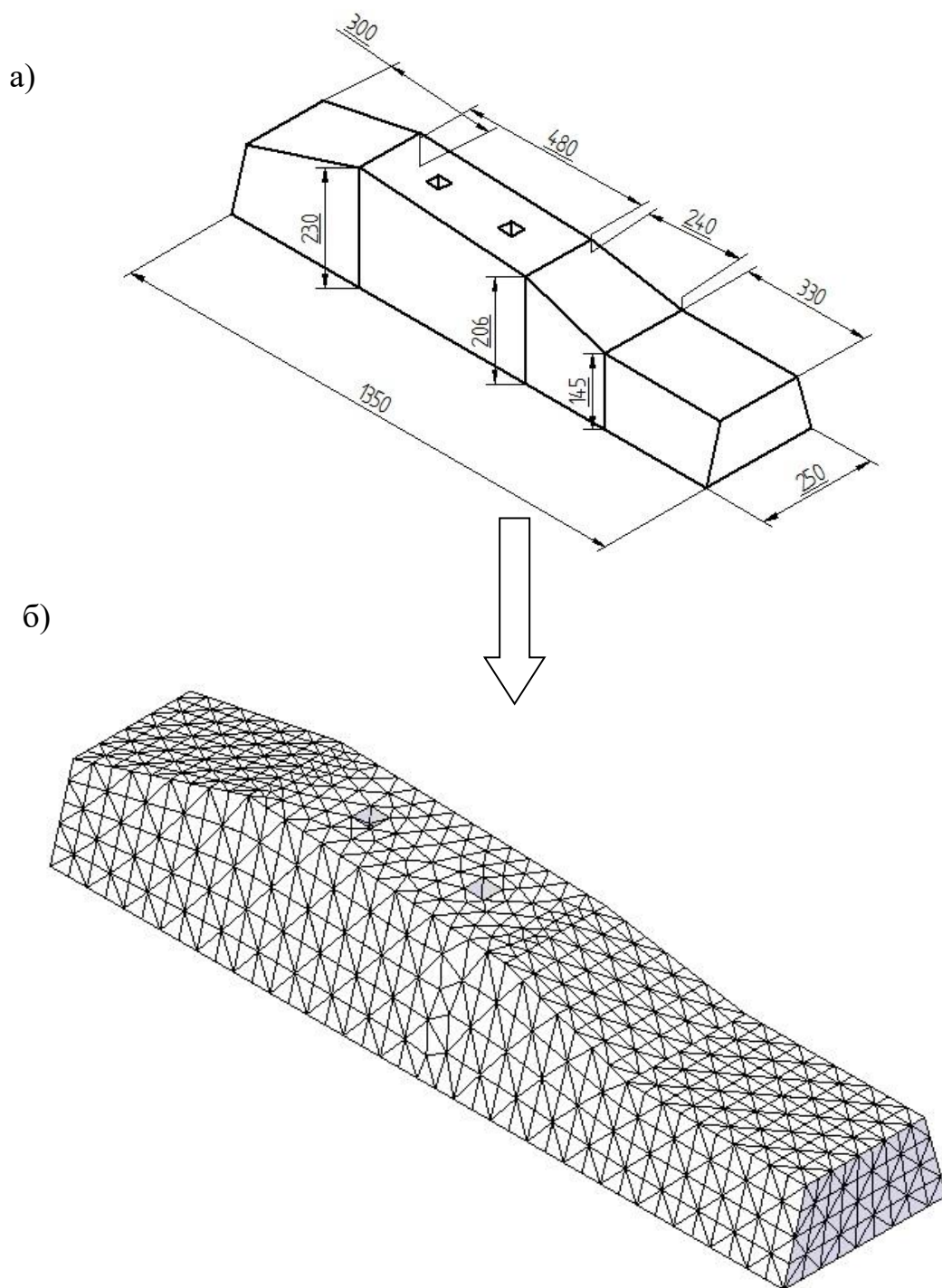


Рис. 3.2 Схема конструкції залізобетонної шпали типу Ш-1

а) геометрична сторона; б) КЕ-модель шпали

Геометричні параметри анкерної залізобетонної шпали типу Ш1-1 (ГОСТ 10629-88) та елементів шляху зазначені у таблиці 3.1. У математичній моделі прийнята відстань між осями шпал $l = 500$ мм, що відповідає епюрі розкладки (2000 шт/км) у кривих ділянках колії.

Таблиця 3.1 Геометричні параметри елементів колії

Елементи колії	Площа поверхні елемента S, мм	Момент інерції відносно вертикальної осі M_y , кг · м ²	Момент інерції відносно горизонтальної осі, кг · м ²	Координати центрів мас у загальній системі координат	
				Y, мм	Z, мм
1	2	3	4	5	6
Шпала ШІ-1	13044170	272,336	269,641	0,00	87,76
Підрейкова прокладка типа	57544	0,00	0,001	83,00	2,00
Нашпальна прокладка	140,23	0,005	0,004	41,21	-15,78
Підкладка	211,79	0,00	0,00	-14,39	18,80
Клемний болт	97,19	0,002	0,002	27,57	34,10
Закладний болт	4,170	270,336	169,641	0,00	56,76
Клема	53544	0,00	0,002	73,00	2,80
Гайка	40,23	0,005	0,004	21,21	-10,78
Двопиткова шайба	11,79	0,00	0,00	-20,39	15,80
Ізолюючий вкладиш	297,19	0,005	0,001	17,57	14,10
Рейка Р65	123,55	1272,666	3,820	82,04	1349,75
Скоба для ізолюючої втулки	11,79	0,00	0,00	-20,39	15,80

3.2.2 Підрейкова прокладка

Прокладки підрейкові типу ПР виготовлені з поліуретану згідно з ДСТУ 2805-94. Геометричні параметри підрейкової прокладки зображені у таблиці 2.1, загальний вигляд показаний на рис. 3.3а) та 3.3б).

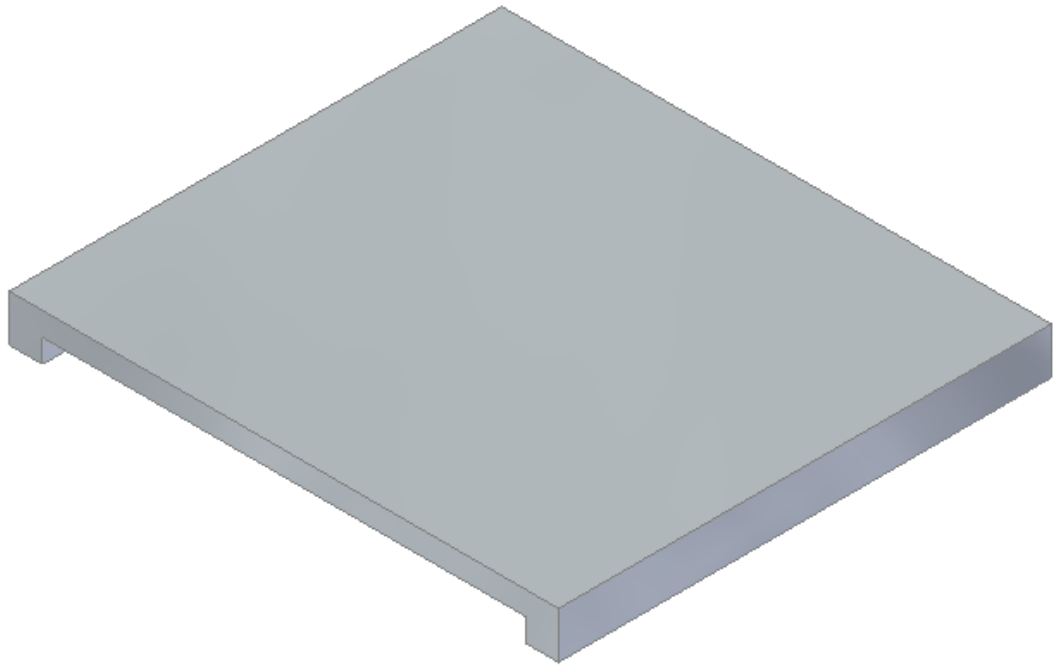


Рис. 3.3 а) 3D конструкція підрейкової прокладки

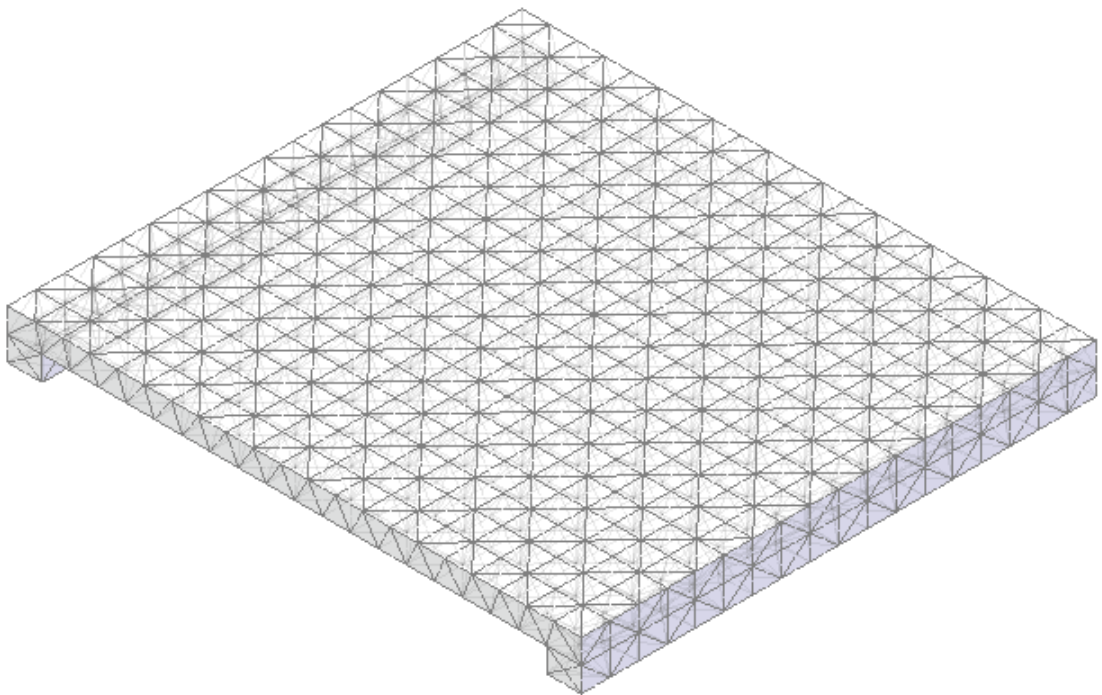


Рис. 3.3 б) Схема КЕ моделі підрейкової прокладки

3.2.3 Нашпальна прокладка

Елемент складного абрису, що складається з верхньої та нижньої частини.
Усі геометричні розміри зображені малюнку 3.4.

а)

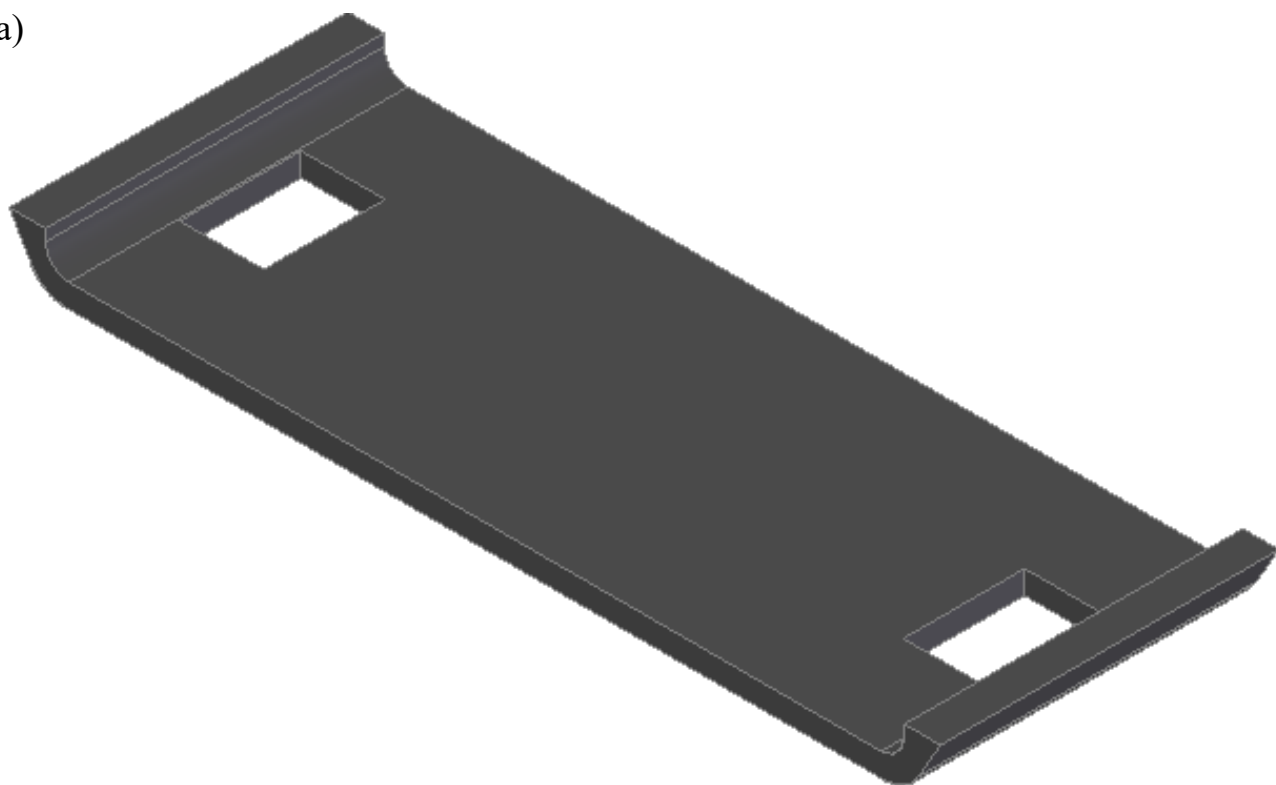


Рис. 3.4 а) 3D конструкція нашпальної прокладки

б)

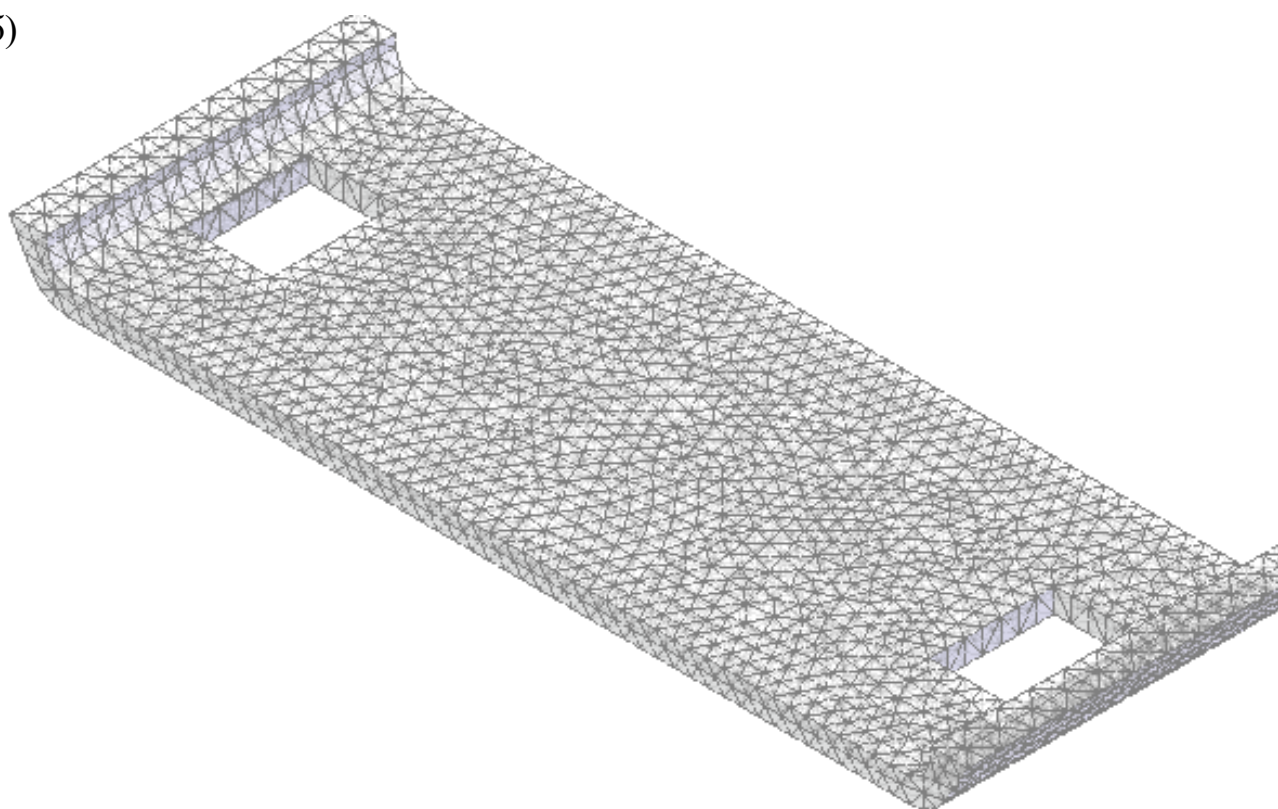


Рис. 3.4 б) Схема КЕ моделі підрейкової прокладки

3.2.4 Підкладка

Виготовляється за ГОСТ 16277-93 Основні параметри та розміри підкладки зображені на рисунку 3.5

а)

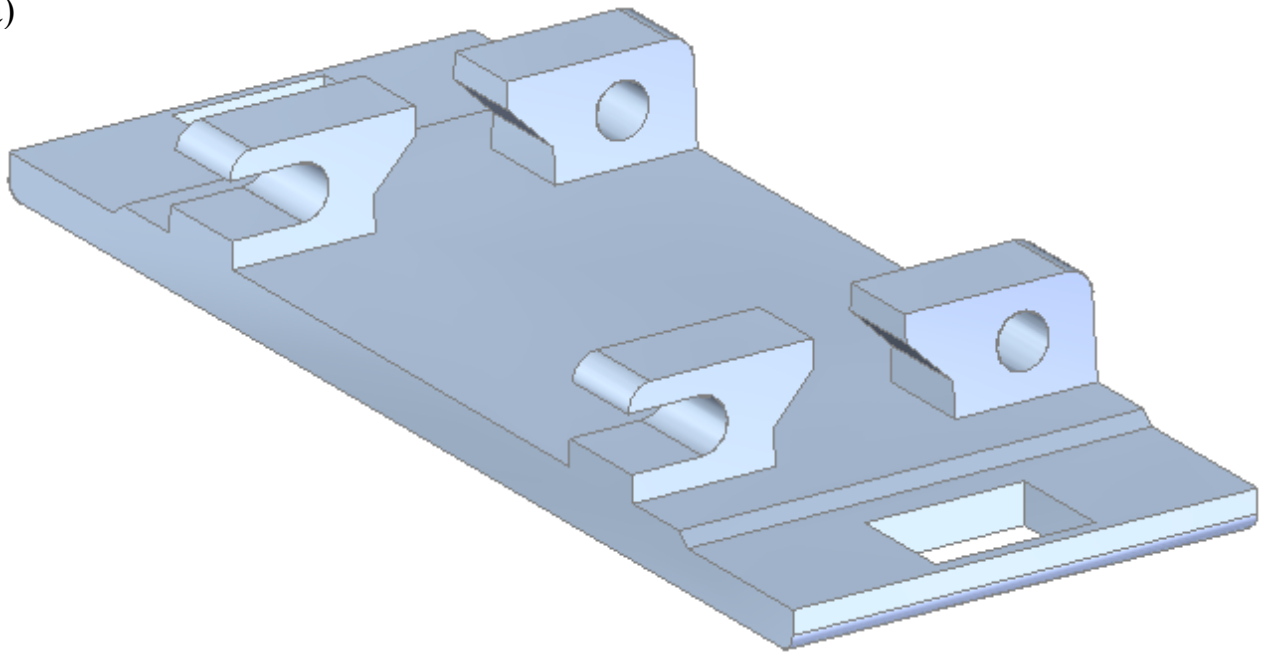


Рис. 3.4 а) 3D конструкція підкладки

б)

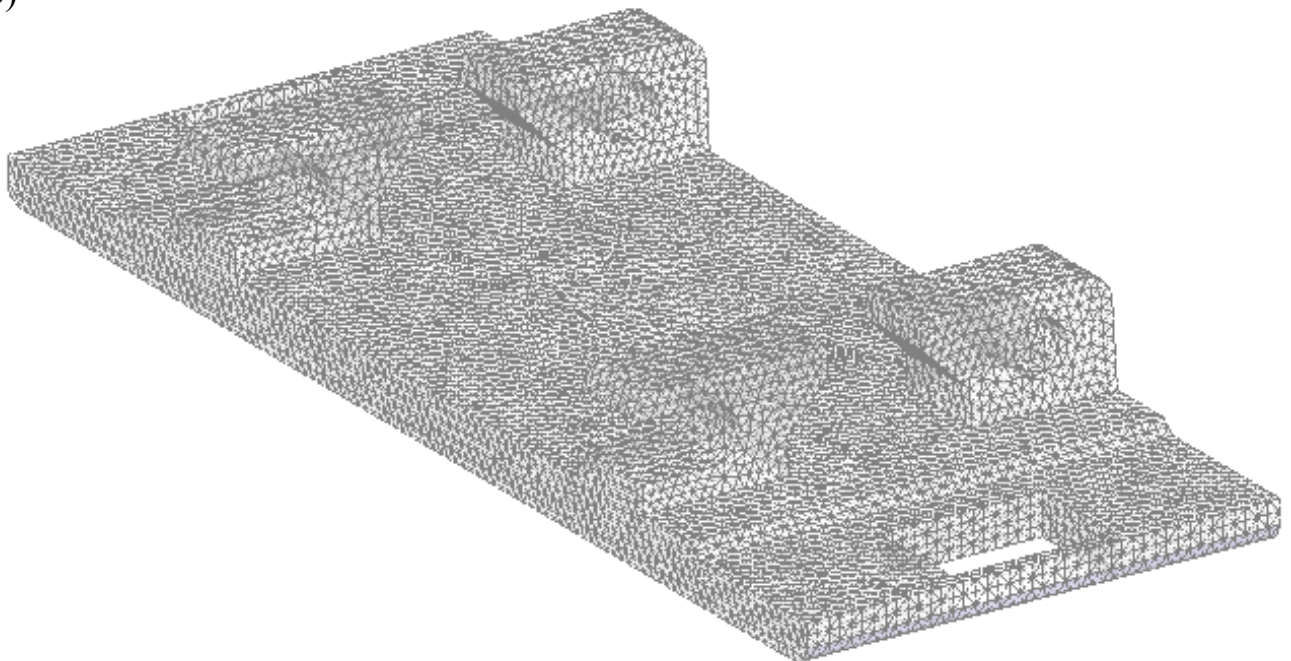


Рис. 3.4 б) Схема КЕ моделі підкладки

3.2.5 Клемма пружна

Пружні клеми виготовляються за ТУ в 35.2 – 30268559-039 2002 (ГОСТ014959). Основні розміри пружної клеми проміжного скріплення рейкового типу КБ зображені на рис. 3.6.

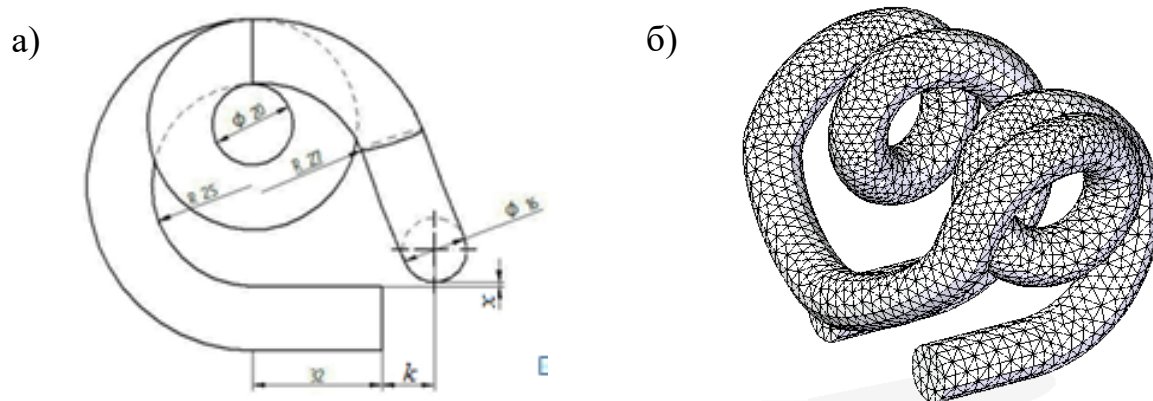
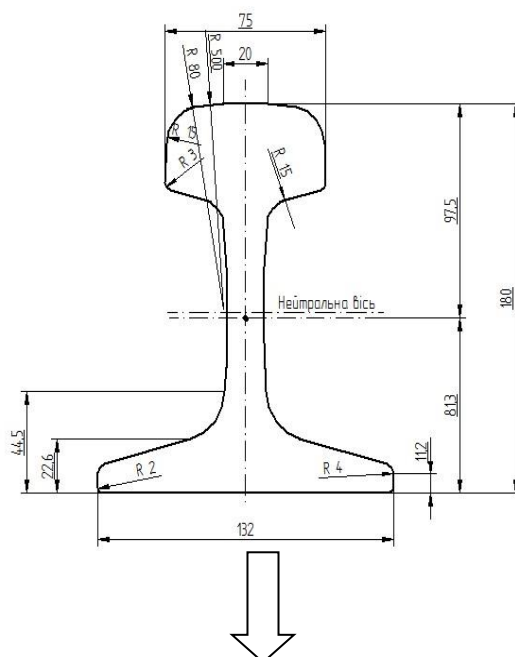


Рис. 3.6 Схема конструкції удосконаленої пружної клеми проміжного рейкового скріплення типу КБ

а) геометрическая сторона; б) КЕ модель пружної клеми

3.2.6 Рейка

Рейка як балка кінцевої довжини. Поперечний профіль рейки відповідає ГОСТ 81 61-75 «Рейки типу Р65». Характеристики площі та сам поперечний профіль рейки показано на рис. 3.7.



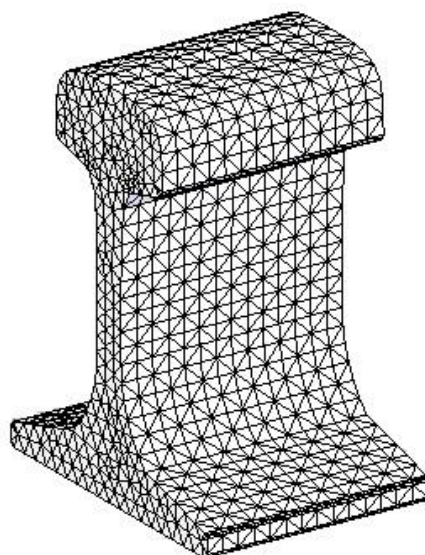


Рис. 3.7 Схема конструкції рейки типу Р65
а) геометрическая сторона; б) КЕ модель рейки

3.2.7 Закладний болт

Виготовляється за ГОСТ 1759.4-87 Основні параметри закладного болта зображені на рисунку 3.8

а)



б)

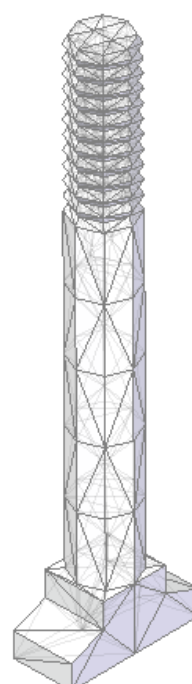


Рис. 3.8 Схема конструкції закладного болта
а) 3D конструкція закладного болта; б) КЕ модель закладного болта

3.2.8 Клемний болт

Виготовляється за ГОСТ 16016-79. Основні параметри клемного болта зображені на рисунку 3.9

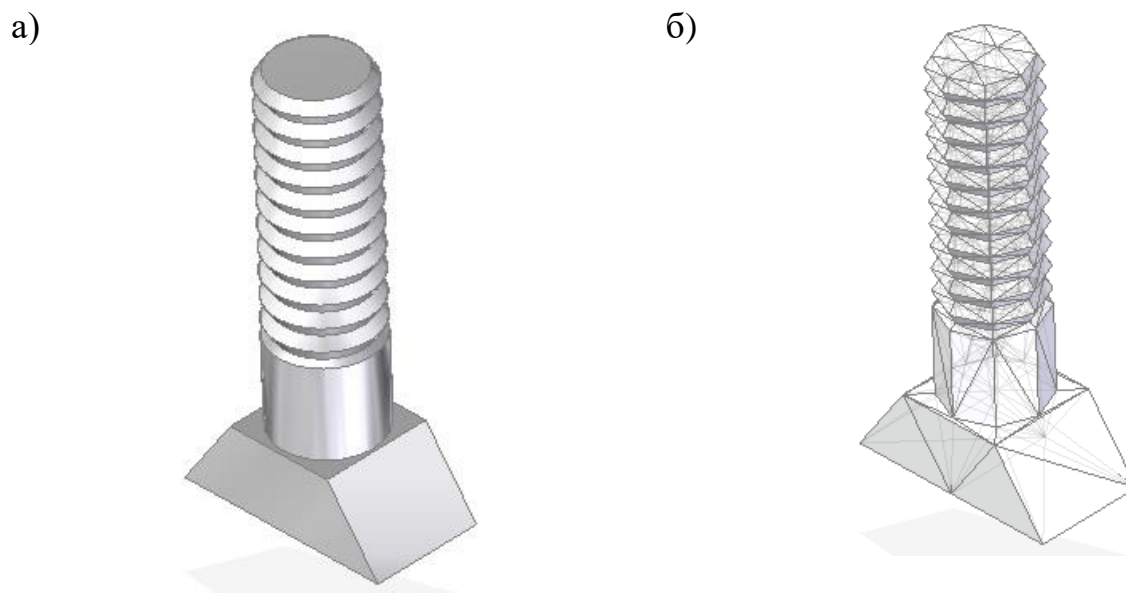


Рис. 3.9 Схема конструкції клемного болта

а) 3D конструкція клемного болта; б) КЕ модель клемного болта

3.2.9 Гайка

Виготовляється за ГОСТ 16018-79 Основні параметри гайки зображені на рисунку 3.10

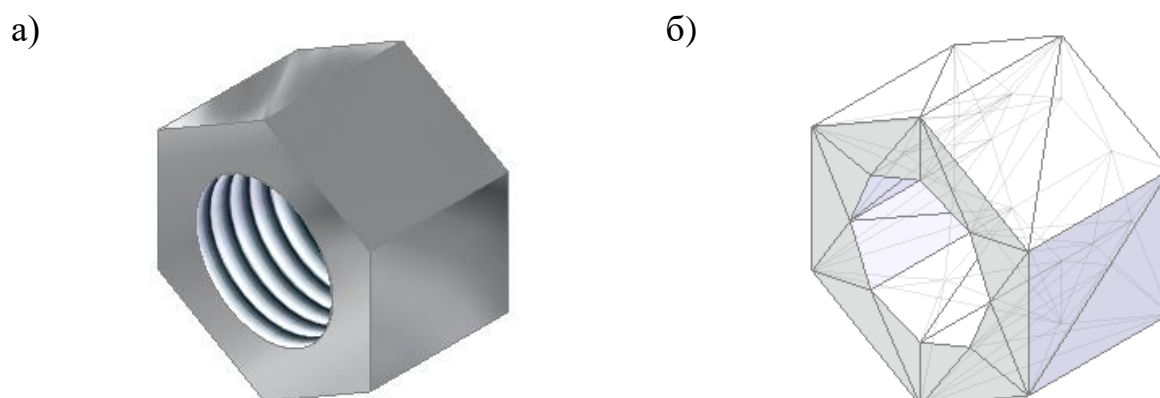


Рис. 3.10 Схема конструкції гайки

а) 3D конструкція гайки; б) КЕ модель гайки.

3.2.10 Пружна шайба

Виготовляється за ГОСТ 19115-91. Основні параметри пружної шайби зображені на рисунку 3.11

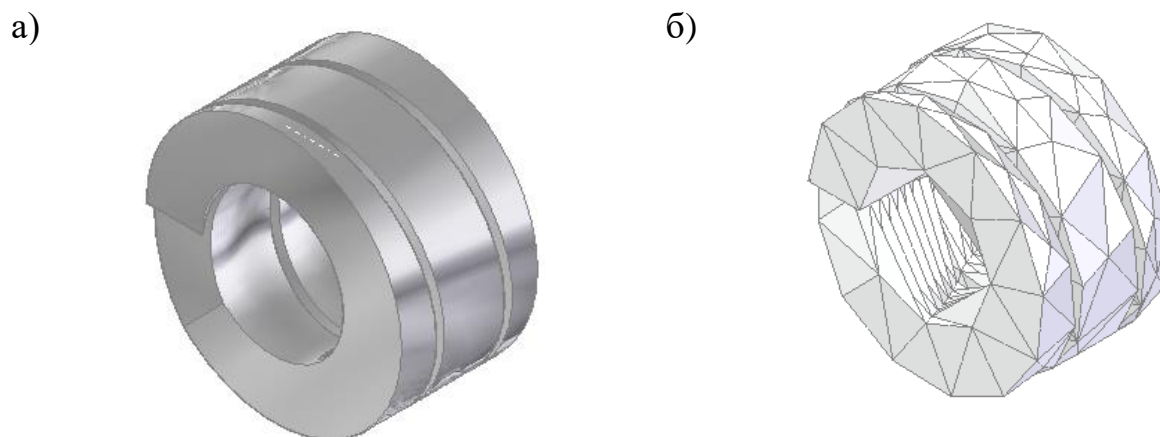


Рис. 3.11 Схема пружної шайби

а) 3D конструкція шайби; б) КЕ модель шайби.

3.2.11 Ізолюючий вкладиш

Виготовляється за ТУ У 01116472.006-96. Основні параметри вкладиша зображені на рисунку 3.12

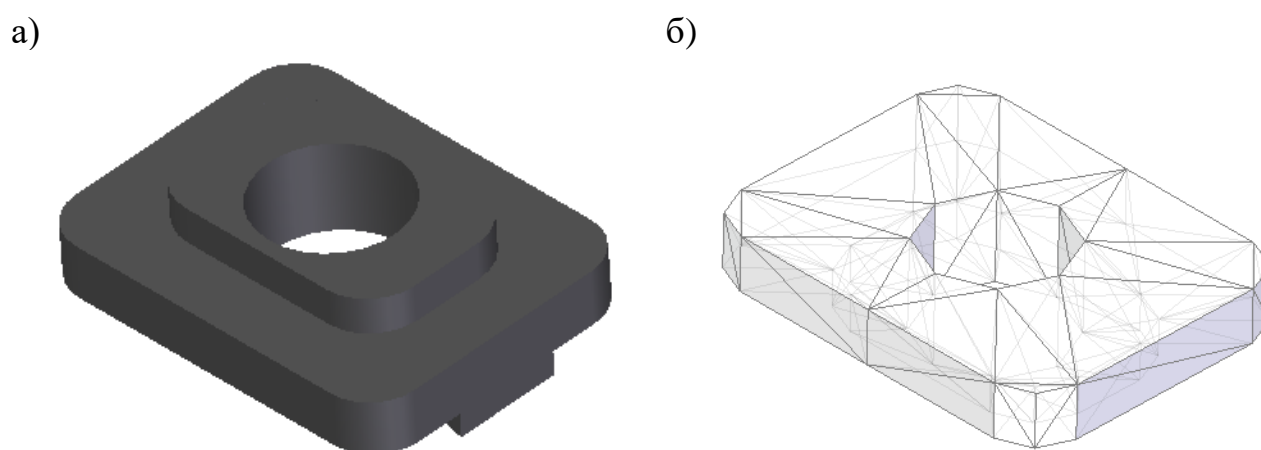


Рис. 3.12 Схема ізолюючої втулки

а) 3D конструкція втулки; б) КЕ модель втулки.

3.2.12 Скоба для ізолюючої втулки

Виготовляється за ТУ У 01116472.006-96. Основні параметри вкладиша зображені на рисунку 3.13

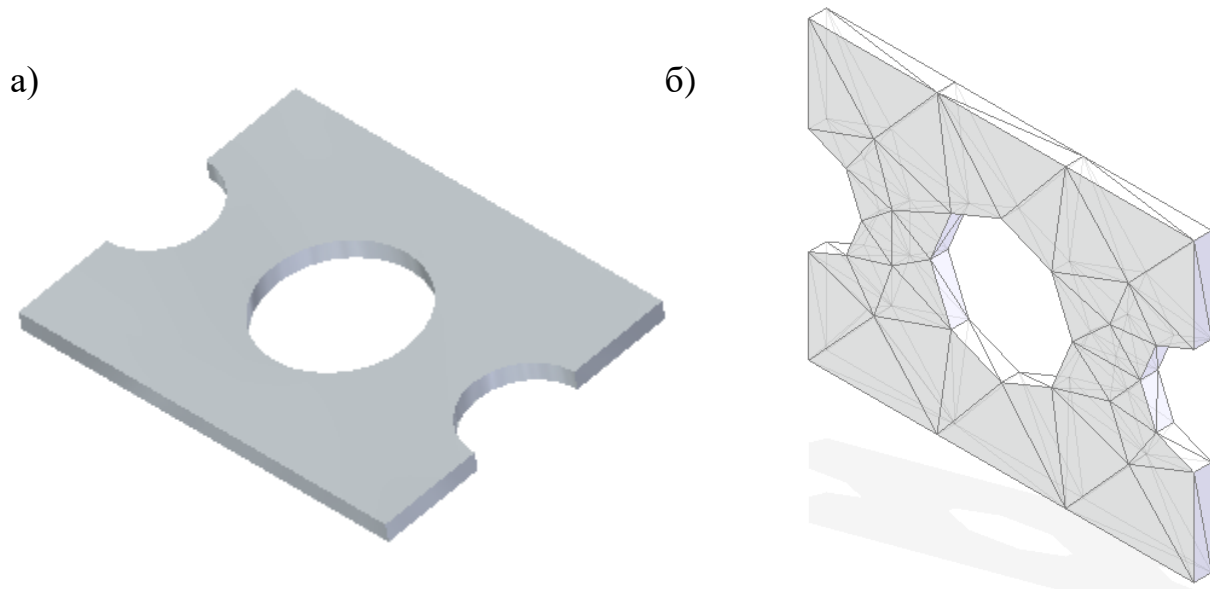


Рис. 3.13 Схема скоби

а) 3D конструкція скоби; б) КЕ модель скоби.

Вище наведені КЕ моделі елементів залізничної колії а саме вдосконаленого вузла проміжного рейкового скріплення типу КБ і металевої підкладки опори, використовувалися в загальних моделях конструкції шляху з метою дослідження напружено-деформованого стану елементів вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 в поперечній горизонтальній .

3.3 Моделювання роботи залізничної колії з удосконаленою конструкцією скріплення типу КБ

В основі теоретичного дослідження роботи залізничної колії з проміжним рейковим скріпленням, з детальною оцінкою напруженого стану в його проміжних елементах від дії рухомого складу лежить методика, що базується на теорії методу кінцевих елементів (далі МКЕ).

На рис. 3.14 представлена схема моделі для дослідження та детальної оцінки роботи всього вузла рейкового скріплення типу КБ з метою отримання

					0053.196507.ДР.2021.001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

достовірних результатів напруженого стану (далі НС) елементів від зовнішнього впливу сил, що передаються від коліс рухомого складу.

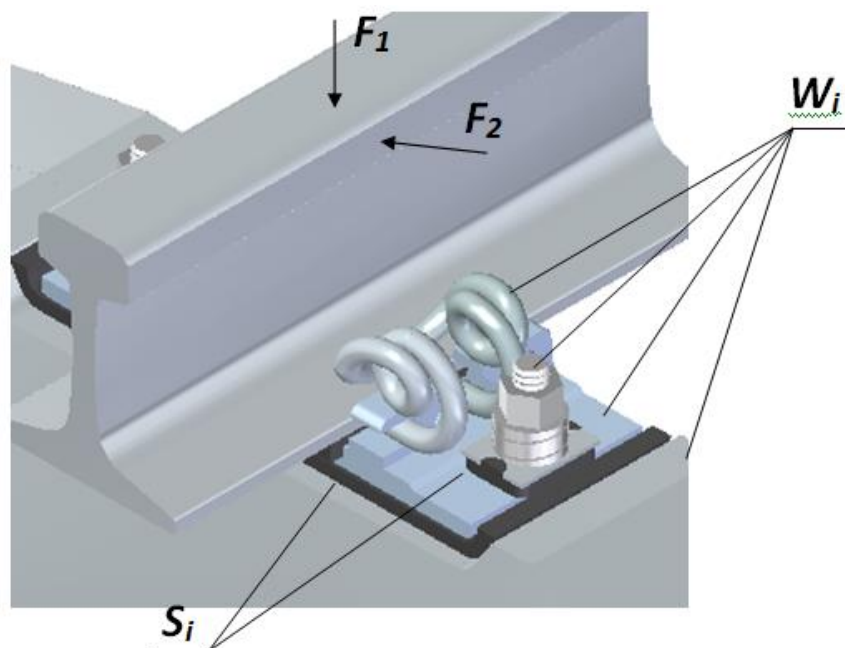


Рис. 3.14 Модель конструкції вузла скріплення типу КБ із удосконаленою пружною клемою

На основі попередньо проведених досліджень був застосований наступний алгоритм проведення дослідження [35]:

$$R = f_{MCE}(\Omega, F, n | \Delta=5\%), \quad (3.1)$$

де

$$\Omega = \{\{\omega_1, \omega_2, \omega_i \dots\}, \{S_1, S_2, S_i \dots\}\}, \quad (3.2)$$

$$\omega_i = \{\{g_{i1}, g_{i2}, g_{ij} \dots\}, \{\varphi_{i1}, \varphi_{i2}, \varphi_{ij} \dots\}\}, \quad (3.3)$$

звідки:

$$R = \{\{\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{1k} \dots \sigma_{ik} \dots\}, \{y_{11}, y_{12}, y_{1k} \dots y_{ik} \dots\}\}, \quad (3.4)$$

де Ω - збірка елементів колії;

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

g_{ij} , φ_{ij} - відповідно j-ий елемент сукупності геометричних параметрів і множина фізико-механічних властивостей об'єкта ω_i ;

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

F - сукупність навантажень і закріплень;

n – кількість циклів розрахунку;

Δ - %-на схожимість суміжних результатів;

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

R - стан моделі у відповідності із розрахунками МКЕ.

Під час дослідження напруженого стану елементів у вузлі проміжного рейкового скріплення типу КБ до моделі прикладалося значення зовнішніх сил (F) (див. рис. 3.14), що виникають у складних умовах експлуатації а саме у кривих ділянках колії.

На основі цього було детально переглянуто та проаналізовано значення бічних та горизонтальних сил, що виникають у кривих ділянках колії від впливу рухомого складу за експериментальними звітами лабораторії КДНДЛ ДНУЗТ [28-34]. При аналізі бралися до уваги різні види дослідного рухомого складу та параметри улаштування ділянок колії. Всі результати дослідження бічних сил, виконані Колієвипробувальною лабораторією ДНУЗТ наведені в табличній формі.

Дослідженню бічних горизонтальних сил присвячені роботи багатьох вітчизняних та зарубіжних учених. Особливо важливого значення на думку вчених [36] набувають методи експериментальних досліджень щодо визначення бічних горизонтальних сил. Необхідно безпосередньо врахувати все різноманіття факторів, що визначають характер та рівень сил взаємодії. Значення бічних та вертикальних сил у таблицях 3.2 та 3.3.

Таблиця 3.2 Середні експериментальні значення величини бічних сил, (\bar{Y}_b) , κH в кривих ділянках колії

№ 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	-

					0053.196507.ДР.2021.001	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2	Піввагон модель 12-9745	1095	Зовн..	27,90	-	17,90	13,20
		86*	Вн.	5,10	-	1,20	5,00
3	Транспортер .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		Зовн..	34,40	35,2	-	-
			Вн.	-	-	-	-
13	Причіпний	36*	Зовн..	36,50	42,20	-	-
			Вн.	-	-	-	-
14	Причіпний	29*	Зовн..	43,40	42,40	37,00	-
			Вн.	-	-	-	-
15	Електропоїзд ЭПЛ9Т-001 Гол.	600	Зовн..	45,20	44,30	38,10	-
			Вн.	-	-	-	-
16	Мотрний	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	ТЭМ103	420	Зовн..	52,30	46,10	41,80	-
		72*	Вн.	-	-	-	-
22	ТЭП150-001	550	Зовн..	55,10	55,50	58,80	-
		25*	Вн.	53,10	45,40	39,00	-

23	ТЭП150-001	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 3.3 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
3	Електропоїзд 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	Полувагон 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	ДСЗ-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	ДСЗ-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	ТЭМ103	420	Зовн.	119,10	110,50	119,20	-
		72*	Вн.	-	-	-	-
20	ТЭП150-001	550	Зовн.	117,90	117,20	128,50	-
		25*	Вн.	150,80	129,90	118,70	-
21	ТЭП150-001	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	-
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	-	-

На основі проведеного аналізу за табличними даними (табл. 3.2) було встановлено, що значення бічних горизонтальних сил, що виникають від дії різних типів рухомого складу на внутрішню рейкову нитку, не значні порівняно зі значеннями бічних сил, що діють на зовнішню рейкову нитку.

Оцінку зміни величини бічних сил, що у кривих ділянках шляху від впливу різних типів рухомого складу залежно від діапазону радіусів зображено на рис. 3.15.

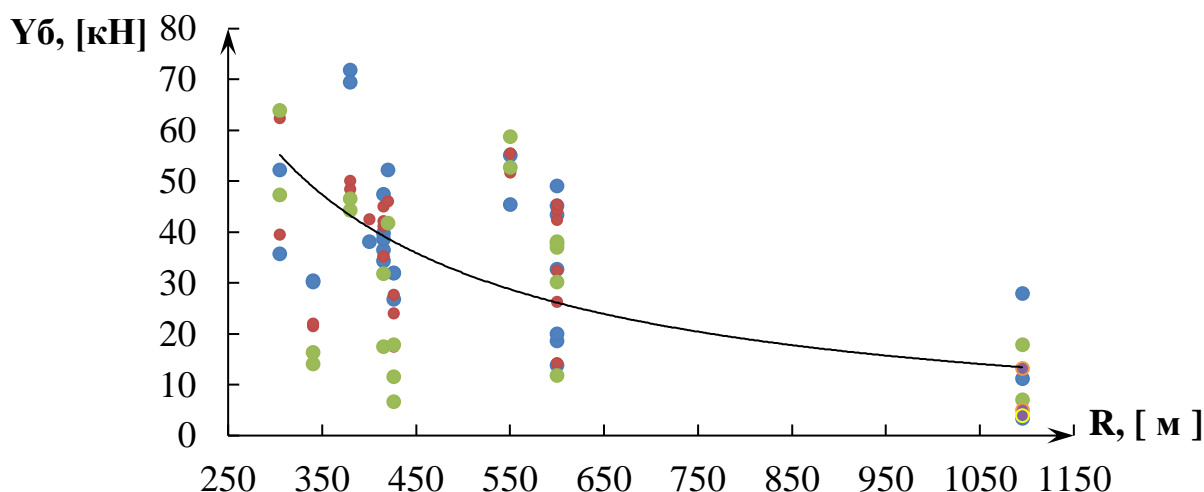


Рис. 3.15 Апроксимація результатів величини бічних сил по зовнішній рейковій нитці від діапазону радіусів.

Результати спостережень залежності величини бічної сили від діапазону радіусів які представлені як пара координат - "x" і "y" було апроксимовано, для знаходження математичного рівняння яке б описувало приблизно ті ж значення "y" щодо "x". За результатами апроксимації результатів експериментальних даних було встановлено, що величина бічних горизонтальних сил залежно від діапазону радіусів носить нелінійний характер (див. рис. 3.15), який можна описати функцією:

$$y = a + \frac{b}{x}, \quad (3.5)$$

де a и b – постійні параметри

Параметри функції (3.5) при яких вона має мінімум, можна описати системою рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial a} \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2 = 0, \\ \frac{\partial}{\partial b} \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2 = 0. \end{cases} \quad (3.6)$$

За методом найменших квадратів значення параметрів функції можуть бути визначені з виразів:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{x_i} \right)^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{x_i}}{n \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2} - \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} \right)^2}, \quad (3.7)$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{x_i} - \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2} - \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} \right)^2}, \quad (3.8)$$

де x_i і y_i – виміряні координати i -ої точки;

n – кількість точок із вимірними координатами.

Згідно з отриманими результатами апроксимування встановлено, що величина бічних горизонтальних сил у кривих ділянках колії пологих радіусів до кривих радіусом 600 м ($R = 600$ м) стрімко збільшується і становить 60,5%, у діапазонах кривих 501-600 м до 401-500 м - на 8,33%, від 401-500 м до 300-400 – на 20%.

Оцінка зміни величини вертикальних сил, що виникають у кривих ділянках колії від впливу різних типів рухомого складу, залежно від діапазону радіусів, зображено на рис. 3.16-3.17.

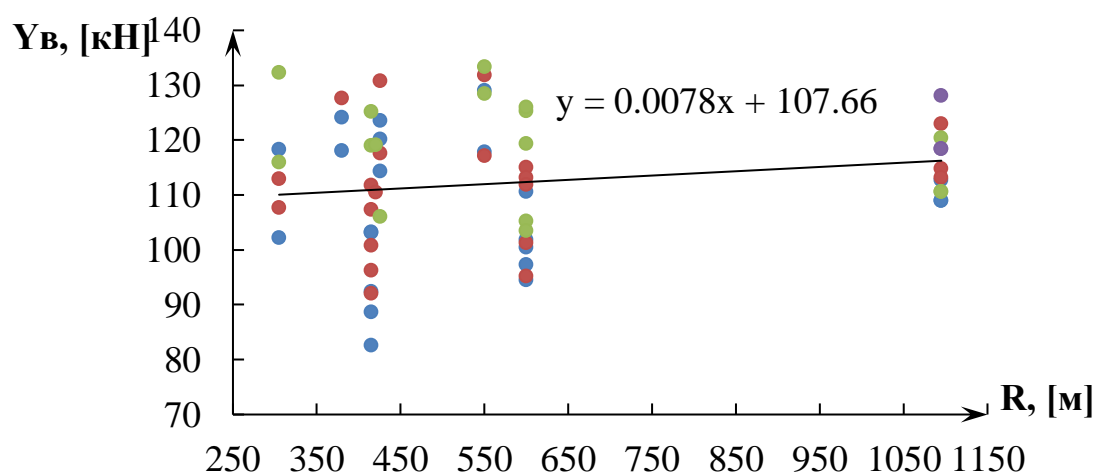


Рис. 3.16 Апроксимація результатів величини вертикальних сил по зовнішній рейковій нитці від діапазону радіусів.

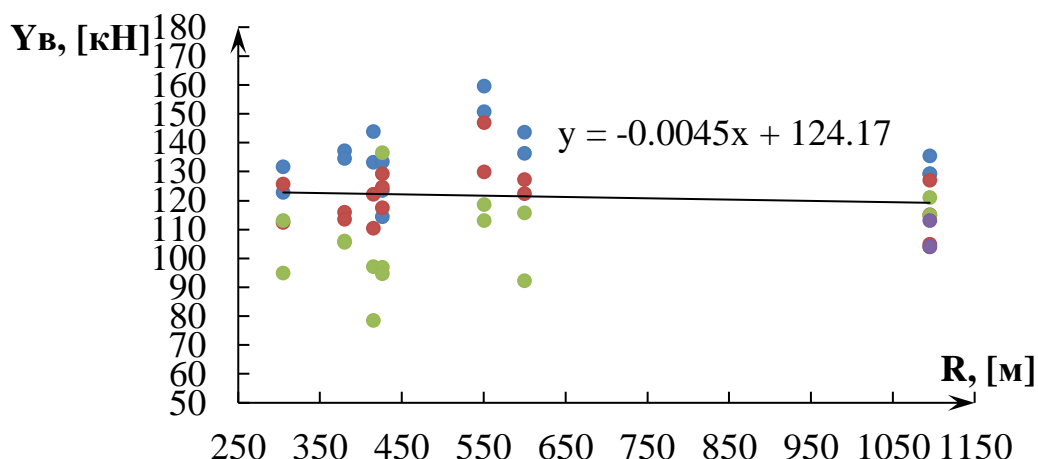


Рис. 3.17 Апроксимація результатів величини вертикальних сил по внутрішній рейковій нитці від діапазону радіусів

Характер зміни величини вертикальних сил як по внутрішній так і по зовнішній рейковій нитці залежно від діапазону радіусів за результатами апроксимування носить лінійний характер (рис. 3.16-3.17) і може описуватися функцією:

$$y = ax + b. \quad (3.9)$$

Параметри функції (3.9) методом найменших квадратів можна описати наступною системою рівнянь:

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i, \\ a \sum_{i=1}^n x_i + nb = \sum_{i=1}^n y_i. \end{cases} \quad (3.10)$$

За результатами апроксимування на графіках на рис. 3.15 та рис. 3.16 можна чітко побачити, що величина вертикальних сил, що передаються від дії коліс рухомого складу на зовнішню та внутрішню рейкову нитку у 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 м - 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%.

3.4 Дослідження напруженого стану елементів у вузлі удосконаленої конструкції вузла рейкового скріплення типу КБ

Розрахунки залізничної колії на міцність є одним із складних розділів загальної проблеми дослідження взаємодії колії та рухомого складу. Елементи конструкції залізничної колії – різноманітні, всі вони повинні працювати узгоджено. Силовий вплив на елементи верхньої будови колії особливо на елементи проміжних рейкових скріплень, що виникає при проходженні рухомого складу (особливо у кривих ділянках), характеризується великою кількістю різноманітних факторів, закони зміни яких за величиною та у часі є дуже складними. Під час дослідження напруженого стану елементів у вузлі проміжного рейкового скріплення типу КБ до моделі прикладалися значення зовнішніх сил (F , кН) (див. рис. 3.14), що виникають у складних умовах експлуатації а саме у кривих ділянках колії.

На основі цього було детально переглянуто та проаналізовано значення бічних та горизонтальних сил, що виникають у кривих ділянках колії від впливу рухомого складу за експериментальними звітами лабораторії ГНДЛ ДНУЗТ (див. п. 3.3, табл. 3.2-3.3 даної роботи). При аналізі бралися до уваги різні види дослідного рухомого складу та параметри влаштування ділянок колії.

На основі проаналізованих автором у даній роботі значень бічних-горизонтальних та вертикальних сил (п. 3.3 даної роботи), що виникають у кривих ділянках колії від впливу рухомого складу, за експериментальними звітами колієвипробувальної лабораторії ДНУЗТ [28-34] встановлено, що при діапазонах радіусів $R = 300...420$ м середнє значення бічної сили становить 60,22 кН та вертикальної 117,93 кН; при $R = 421...550$ м значення бічної сили становить 38,28 кН, вертикальної 119,28 кН; і при $R = 551...600$ м значення бічної сили становить 21,32 кН та вертикальної 119,51 кН.

					0053.196507.ДР.2021.001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

Розміщення прутків клеми в пазах металевої підкладки описано двома умовними зв'язками в певних місцях кінцевих ділянок клеми. Дослідження НС проводили одночасно з урахуванням двох видів навантаження. Перший - «робочий режим», коли до головки рейки прикладалася загальна складова бічної та вертикальної сили, що виникає від дії коліс рухомого. Другий - «монтажний режим», коли до вільного від фіксації кінця витка клеми прикладалася монтажна сила, що забезпечує здійснення технологічного монтажу клеми в пази підкладки, середнє значення якої становить $[10, 23] F = 7,5 \text{ кН}$.

Результати розрахунків при різних значеннях сил, що виникають у діапазонах радіусів $R = 300...420 \text{ м}$, $421...550 \text{ м}$, $551...600 \text{ м}$ зображені в таблиці 3.4.

Згідно з таблицею 3.4, клема №1 розміщувалася по внутрішній стороні рейкової нитки, а клема №2 - відповідно до зовнішньої сторони.

Таблиця 3.4 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	Зовнішнє кільце	Внутрішнє кільце	Зовнішнє кільце	Внутрішнє кільце
1	2	3	4	5	6	7
300÷420	117,93	60,22	71,83	29,50	34,57	25,06
421÷550	119,28	38,28	49,52	28,26	30,65	23,99
551÷600	119,51	21,32	44,14	27,53	29,91	19,30

Примітки: Клема №1 - клема, що знаходиться по внутрішній стороні рейкової нитки (сторона дії бічної-горизонтальної сили) Клема №2 клема, що знаходиться на зовнішній стороні рейкової нитки (польова сторона).

Для наглядного зображення зміни величини напружень, що виникають в прутках клеми при різних значеннях сили, зображено відповідно на рис. 3.18.

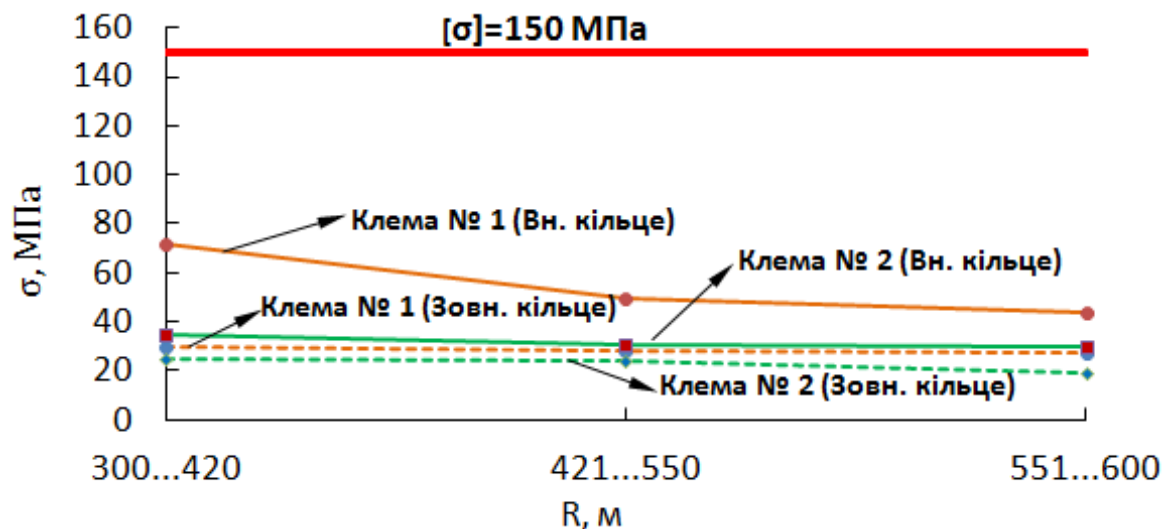


Рис. 3.18 Значення напружень у прутках клеми по зовнішній і внутрішній стороні рейкової нитки

Відповідно до отриманих у процесі розрахунку даних, що зображені в таблиці 3.4 встановлено, що значення напружень у внутрішньому кільці прутка клеми по внутрішній стороні рейкової нитки в діапазонах кривих малого радіусу на 51,5% менше, ніж значення напружень в частині зовнішнього кільця прутка клеми. Значення величини напружень в частині внутрішнього кільця прутка клеми по зовнішній стороні рейкової нитки в діапазонах кривих малого радіусу на 71,8% менше, ніж значення напружень в частині зовнішнього кільця прутка клеми. Проаналізувавши теоретично отримані дані, зображені на рис. 3.18 та в таблиці 3.4 встановлено, що значення напружень, що виникають у прутках клеми №1 (внутрішня сторона рейкової нитки), значно більше від величини напружень у прутках клеми №2 (зовнішня сторона рейкової нитки). Середні значення напружень в клемах №1, і №2, які виникають у діапазонах кривих малого радіусу зображено на рис. 3.19.

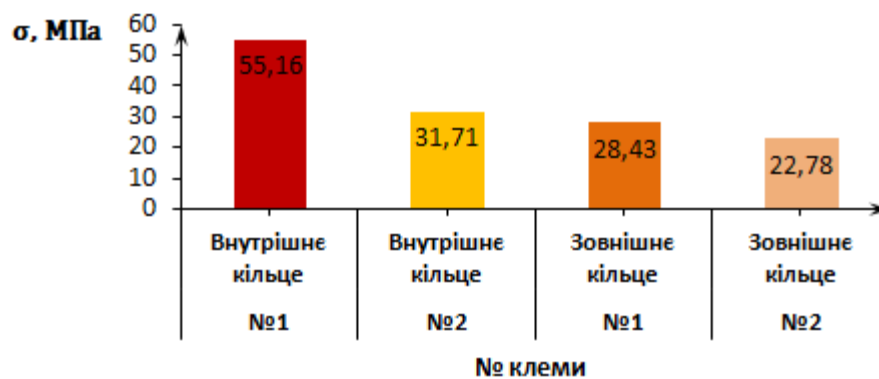


Рис. 3.19 Порівняння напружень у прутках клем №1 та №2

У середньому, згідно з рис. 3.14 можна сказати, що значення напружень у прутках клем, що виникають від дії рухомого складу в діапазонах кривих малого радіусу коливаються в межах від 22,8 МПа до 55,6 МПа.

Порівнюючи дослідження напруженого стану типових клем типу КП-5.1 проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, які проводилися кафедрою шлях та колійне господарство [35], можна впевнено сказати, що запропонована автором у даній роботі пружна клемма більш раціональна та надійніша, як за конструктивним своїм. параметрами, так і за експлуатаційними. Це пов'язано зі значною відмінністю у напруженнях, що виникають у типовій клемі.

Порівняльний графік напружень типової клеми скріплення типу КПП-5, та запропонованої конструкції нової клеми з додатковим витком зображено на рис. 3.20.

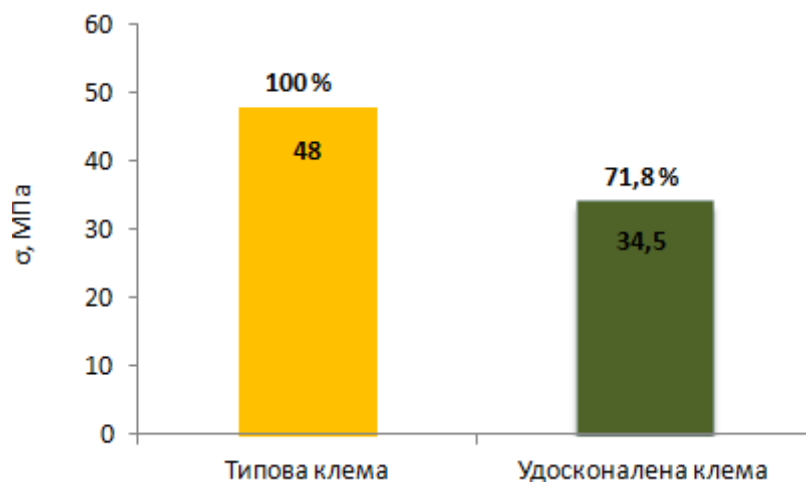


Рис. 3.20 Порівняння напруженого стану типової клеми та удосконаленої клеми рейкового скріплення типу КБ

На підставі вище проведених досліджень встановлено, що середні значення напружень, які виникають у прутках удосконаленої клеми на 28% менше ніж напруження в прутках типової клеми. Це пояснюється тим, що додатковий виток у запропонованій клемі перерозподіляє напруження у прутках клеми, що виникають від дії динамічних сил, що передаються від коліс рухомого складу. Надалі можна припустити, що така конструкція удосконаленої клеми менше релаксуватиме (втрачати свої пружні властивості), з одночасним надійним забезпеченням силової роботи вузла скріплення типу КБ.

3.5 Висновки до розділу

Аналіз попередніх теоретичних досліджень роботи вузла проміжного рейкового скріплення показав, що для визначення напружених процесів, що виникають в елементах скріплень, необхідно створити модель конструкції залізничної колії як систему, яка практично в повній мірі враховувала б геометричні форми та реальні умови роботи конструкції вузла скріплення. Ця система повинна включати безліч пов'язаних між собою елементів з урахуванням їх фізико-механічних властивостей. В результаті аналізу та попередніх розрахунків над проміжними рейковими скріпленнями прийнято МКЕ, з одночасним вибором певного програмного забезпечення, в якому і виконувались розрахунки. Дане програмне забезпечення дозволяє визначити НДС конструкції залізничної колії як загалом, так і поелементно.

Автором роботи використана і знайшла подальший розвиток модель залізничної колії з практично повним та детальним описом елементів вузла проміжного рейкового скріплення типу КБ. Отриману математичну модель, можна використовувати для дослідження міцності проміжних рейкових скріплень, а також для виконання робіт, пов'язаних з проектуванням і розробкою та вдосконаленням нових конструкцій елементів рейкових скріплень.

При дослідженні напруженого стану елементів у вузлі вдосконаленого

					0053.196507.ДР.2021.001	Лист
						55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

проміжного рейкового скріплення типу КБ, до моделі прикладалася система сил, що виникають у складних умовах експлуатації, а саме, у 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, є пружні клеми типу.

Проаналізувавши теоретично-отримані дані, було встановлено, що значення напружень у внутрішньому кільці прутка клеми по внутрішній стороні рейкової нитки в діапазонах кривих малого радіусу на 51,5% менше, ніж значення напружень в частині зовнішнього кільця прутка клеми.

Значення величини напружень в частині внутрішнього кільця прутка клеми по зовнішній стороні рейкової нитки в діапазонах кривих малого радіусу на 71,8% менше, ніж значення напружень в частині зовнішнього кільця прутка клеми. Можна зробити висновок, що значення напружень в прутках удосконаленої клеми, що виникають від дії рухомого складу в діапазонах кривих малого радіусу коливаються в межах від 22,8 МПа до 55,6 МПа.

Порівнюючи дослідження напруженого стану типових клем типу КП-5.2 проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, та удосконаленої клеми рейкового скріплення типу КБ встановлено, що середні значення напружень, що виникають у прутках удосконаленої клеми на 28 % менше.

На основі вище проведених досліджень, можна припустити, що запропонована автором у даній роботі пружна клема більш раціональна та надійніша, як за конструктивними, так і за експлуатаційними характеристиками. Тому дана запропонована конструкція нової клеми може використовуватися і для проміжних рейкових скріплень типу КБ, КПП-5 та SB-3 під введення в постійну експлуатацію, що доказує її універсальність.

					0053.196507.ДР.2021.001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На основі проведеного аналізу літературних джерел встановлено взаємозв'язки між експлуатаційними та конструктивними особливостями роботи проміжних рейкових скріплень. Виділено та проаналізовано основні фактори, які безпосередньо впливають на надійність роботи проміжних рейкових скріплень. Враховуючи недоліки в роботі сучасних проміжних рейкових скріплень, була створена та запропонована конструкція пружної клеми з підвищеною пружністю, з метою використання її в рейковому скріпленні типу КБ65. Розроблена конструкція може адаптуватися для використання при скріпленні типу СКД65-Б та КПП-5. Щоб підвищити пружні властивості клеми відносно існуючої, що використовується у проміжному рейковому скріпленні типу КПП-5 було запроєктовано додатковий виток у верхній частині згину. Одночасно, метою даного допоміжного витка є розвантаження основного (типового) витка, і зменшення згинальних напружень у прутках клеми від сили, що передається через підшву рейки та ізолюючий вкладиш до клеми.

2. Згідно з проведеними теоретичними дослідженнями, пружний хід нової удосконаленої клеми на 5,1 мм (13,6 мм-60%) більше звичайної (8.5 мм). Це дозволило зменшити жорсткість клеми на 0,457 кН/мм (37,5%). Пружна деформація вдосконаленої клеми наприкінці міжремонтного періоду на 0,8 мм (37,3%) менша, ніж у типовій клеми проміжного рейкового скріплення типу КПП-5.

Жорсткість типової клеми протягом усього міжремонтного терміну експлуатації зменшується на 0,308 кН/мм, а удосконаленої на 0,08 кН/мм, тобто інтенсивність зміни пружності типової клеми відносно удосконаленої більше протягом усього міжремонтного терміну на 74%. Вплив релаксації клеми на зменшення сили притискання при удосконаленій клемі на 76,4% менше, ніж при типовій пружній клемі скріплення типу КПП-5.

					0053.196507.ДР.2021.001	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При використанні удосконаленої пружної клеми зменшення сили притискання за рахунок зношення прокладки зменшується на 37,5 %, що компенсується збільшеною пружністю самої клеми, яка пропонується в даній магістерській роботі. Встановлено, що з використанням запропонованої автором клеми термін надійної силової роботи вузла скріплення типу КПП-5 збільшується на 52%.

3. Отримала подальший розвиток математична модель залізничної колії з урахуванням проміжного скріплення типу КБ65, яка враховує кінематичні та силові взаємозв'язки між елементами скріплення, що дозволяє визначити напружений стан найбільш напруженого елемента – клеми у вузлі будь-якого скріплення.

За допомогою математичного моделювання було досліджено та проаналізовано напружений стан удосконаленої конструкції вузла скріплення типу КБ65, зокрема напруження в клемах, як елемента, які першими сприймають частку величини бічної та вертикальної сили, що передається від дії рухомого складу. Дослідивши теоретично-отримані дані, було встановлено, значення напружень у прутках удосконаленої клеми, що виникають від дії рухомого складу в діапазонах кривих малого радіусу, які коливаються в межах від 22,8 МПа до 55,6 МПа.

Порівнюючи дослідження напруженого стану типових клем типу КП-5.2 проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, та удосконаленої клеми рейкового скріплення типу КБ65 встановлено, що середні значення напружень, що виникають у прутках удосконаленої клеми на 28% менше, ніж у типовій клемі типу КП-5.2 проміжного рейкового скріплення типу КПП-5. В основному, на основі вище представлених результатів досліджень встановлено, що запропонована конструкція нової клеми може використовуватися як для вітчизняних клемно-болтових скріплень (КБ65, СКД65-Б), так і для польських проміжних рейкових скріплень типу SB-3 з метою введення її у постійну експлуатацію.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ю. Д. Волошко, Л. Я. Воробейчик, Н. П. Настечик Исследования работы новых конструкций пути под воздействием подвижного состава. Разработка технических условий на проектирование рельсовых скреплений /Отчет о научно исследовательской работе №279 / Д.: 1982, - 29 с.
2. EUROPEAN STANDARD EN 13481-2:2012+A1:2017 (E) "Fastening systems for concrete sleepers", CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Matrix 17, B-1000 Brussels, 2017, - 17 p.
3. Markul, R. and V. Kovalchuk (2017). Investigation of the traffic safety and provision of the performance reliability of the transport infrastructure. Technology_transfer: fundamental principles and innovative technical solutions. Tallinn, Estonia. 1: 45-47.
4. Garnham J. E. Visualization and modelling to understand rail rolling contact fatigue cracks in three dimensions / J. E. Garnham D. I. Fletcher C. L. Davis F. J. Franklin. – Proc Inst Mech Eng, Part F: J Rail Rapid Transit, 2011. – Vol. 225(2), Iss. 165–78.
5. Rezaie F. Experimental and numerical studies of longitudinal crack control for pre – stressed concrete sleepers / F. Rezaie M. R. Shiri S. M. Farman // Engineering Failure Analysis. – Amsterdam, 2012. – Vol. 26. – Iss. 21–30.
6. Kaewunruen S. Dynamic flexural influence on a railway concrete sleeper in track system due to a single wheel impact / S. Kaewunruen A. M. Remennikov // Eng Fail Analyt, 2009 16: Iss. 705–12.
7. 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.
8. А. А. Бондаренко., Д. А. Зяблов., Г. Р. Маёров. Повышение работоспособности промежуточных рельсовых скреплений. // Бондаренко А. А., Зяблов Д. А., Маёров Г. Р. // Путь и путевое

					0053.196507.ДР.2021.001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

хозяйство. - М., 2011. № 8. – С. 28 - 30.

9. 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.
10. В. В. Говоруха Механика деформирования и разрушения упругих элементов промежуточных рельсовых креплений: Монография. – Д.: Изд-во «Лири ЛТД», 2005. – 388 с.
11. Афанасьев В. Ф. Упругие крепления для деревянных и железобетонных шпал //Путь и путевое хозяйство. – М.:, 2000. № 3. – С. 23-25.
12. Бесстыковой путь / Под ред. В. Г. Альбрехта и А. Я. Когана. – М.: Транспорт, 2000. – 408 с.
13. Вериги М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава. / М. Ф. Вериги, А. Я. Коган. М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
14. Говоруха В. В. Современные конструкции промежуточных рельсовых креплений // Геотехническая механика. – Вып. 31. – Днепропетровск, 2002. – С. 49-77.
15. 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.
16. Иванов И. А. Новый тип крепления 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.
17. Інструкція з улаштування та утримання колій залізниць України. / 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.
18. Хвостик Г. С. Крепление рельсов к безбалластному эстакадному основанию // Применение железобетона в верхнем строении

					0053.196507.ДР.2021.001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

железнодорожного пути: Сб. науч. тр.; Под ред. И. В. Амеличева. – М.: Транспорт, 1984. – 120 с.

19. Чернышов М. А. Железнодорожный путь: Учебник для техникумов ж.-д. трансп. / М. А Чернышов, З. Л. Крейнис. 4-е изд. пераб. и доп. – М.: Транспорт, 1985. – 302 с.
20. Ю. П. Нехорошев, В. И. Матвеев "Результаты испытаний скрепления СБ-3"// "Путь и путевое хозяйство", 2009.
21. А. А. Солдатов "Влияние конструкции жестких клем промежуточных скреплений на работу рельсового пути"// ВНИИЖТ, 1985.
22. В. В. Кузнецов, А. А. Еремушкин "Испытание скреплений продолжаются".
23. М. Д. Костюк, В. В. Рибкін, І. О. Бондаренко, Н. М. Іванченко Оцінка параметрів пружної клеми марки КП-5.2. // Вісник ДНУЗТ, Випуск 2 - Д., 2003. – 199 с.
24. Інструкція з укладання та утримання рейкової колії з рейками типу Р65, UIC60 і пружним проміжним скріпленням типу КПП-5 та високоміцними ізолюючими стиками (ЦП-0104) / С. М. Демченко, В. Л. Піскунов, О. В. Саєнко, В. О. Систренський / К. : Транспорт України, 2003. – 46 с.
25. 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.
26. 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.
27. Рибкін В. В. Оцінка впливу величини бічної горизонтальної сили, що передається від дії рухомого складу на особливості роботи елементів

					0053.196507.ДР.2021.001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

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.

28. 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.
29. 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.
30. Е. П. Блохин, В. В. Рыбкин Комплексные ходовые и динамические и прочностные по воздействию на путь, стендовые статистические на действие продольной силы, ударно-определятельные испытания электровоза ДС3-001 / Отчет о научно-исследовательской работе № 442 / Д.: 2004, - 196 с.
31. В. П. Гнатенко, В. В, Рибкін, А. П. Татуревич Условия обращения опытного образца магистрального пассажирского тепловоза ТЕП150-001, разработанные на основании экспериментальных исследований его воздействия на путь и стрелочные переводы. / Отчет о научно-исследовательской работе № 450 / Д.: 2006, - 102 с.
32. 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.
33. 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.

					0053.196507.ДР.2021.001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

34. 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.
35. Настечик М. П. Дослідження напруженого стану в елементах вузла скріплення типу КПП-5 під дією рухомого складу / М. П. Настечик, Р. В. Маркуль // Вісник ДНУЗТу, Д. – 2015 № 2. С. – 146-156.
36. М. Ф. Вериге, 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.