

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені  
академіка В. Лазаряна

На правах рукопису

КАЛЕНИК Костянтин Леонідович

УДК 625.151.2:625.033.36

УДОСКОНАЛЕННЯ НОРМАТИВІВ УТРИМАННЯ БОКОВОГО  
НАПРЯМКУ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ЗА ШИРИНОЮ КОЛІЇ ТА У  
ПЛАНІ

Спеціальність 05.22.06 – Залізнична колія

ДИСЕРТАЦІЯ

на здобуття наукового ступеня кандидата

технічних наук

Науковий керівник: доктор  
технічних наук, професор  
РИБКІН Віктор Васильович

Дніпропетровськ 2012 р.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	7
<b>РОЗДІЛ 1</b>	14
<b>РОЗВИТОК НОРМАТИВІВ УТРИМАННЯ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ЗА ШИРИНОЮ КОЛІЇ ТА У ПЛАНІ</b>	14
1.1 Історичний огляд розвитку нормативів утримання стрілочних переводів	14
1.2 Аналіз досліджень присвячених впливу відступів від норм утримання на взаємодію колії та рухомого складу	18
1.2.1 Теоретичні дослідження	18
1.2.2 Експериментальні дослідження	24
1.3 Критерії встановлення допустимих швидкостей руху по стрілочних переводах	30
1.3.1 Динаміко-кінематичні характеристики стрілочних переводів	30
1.3.2 Критерії міцності рейкових елементів стрілочних переводів	31
1.3.3 Критерії стійкості елементів стрілочного переводу боковому навантаженню	32
1.3.4 Критерії безпеки руху	33
1.4 Аналіз матеріалів розслідування сходів рухомого складу в межах бокового напрямку стрілочних переводів	34
1.5 Висновки по розділу	36
<b>РОЗДІЛ 2</b>	
<b>ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ШИРИНИ КОЛІЇ І ПОЛОЖЕННЯ У ПЛАНІ ТА ЗА РІВНЕМ БОКОВОГО НАПРЯМКУ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ</b>	38

2.1	Методика досліджень	38
2.2	Результати досліджень	46
2.2.1	Стан бокового напрямку за шириною колії	46
2.2.2	Стан бокового напрямку у плані	49
2.2.3	Стан бокового напрямку за рівнем	53
2.2.4	Взаємозв'язок між відступами за шириною колії та ординатами перевідної кривої	55
2.3	Аналіз результатів досліджень	56
2.3.1	Відповідність натурального стану стрілочних переводів чинним нормативам по ширині колії	57
2.3.2	Відповідність натурального стану стрілочних переводів діючим нормативам по ординатах перевідної кривої	58
2.4	Висновки по розділу	59
<b>РОЗДІЛ 3</b>		
<b>МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ КОЛІЇ ТА ЕКІПАЖУ В МЕЖАХ СТРІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ</b>		60
3.1	Розробка математичної моделі взаємодії колії та екіпажу в межах стрілочного переводу	60
3.1.1	Обґрунтування математичного апарату досліджень та розрахункової схеми моделі	61
3.1.2	Система диференціальних рівнянь взаємодії колії та екіпажу в межах стрілочного переводу	66

3.1.3 Особливості моделювання взаємодії колії та рухомого складу в межах стрілочного переводу	72
3.2 Обґрунтування використання розробленої математичної моделі для досліджень взаємодії колії та рухомого складу	78
3.2.1 Обґрунтування використання програмного забезпечення для інтегрування систем диференціальних рівнянь	78
3.2.2 Аналіз результатів моделювання	83
3.3 Висновки по розділу	86
<b>РОЗДІЛ 4</b>	87
<b>ДИНАМІЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ</b>	
4.1 Методика експериментальних досліджень	87
4.1.1 Дослідний поїзд та швидкості його руху	89
4.1.2 Схема встановлення приладів на дослідному стрілочному переводі	90
4.1.3 Методика обробки результатів експериментальних досліджень	93
4.2 Стан дослідного стрілочного переводу за напрямком у плані та профілі і за шириною колії	96
4.3 Верифікація математичної моделі за результатами експериментальних досліджень	99
4.3.1 Чисельна верифікація	100
4.3.2 Якісна верифікація	106
4.4 Висновки по розділу	109

## **РОЗДІЛ 5**

### **ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВЗАЄМОДІЇ КОЛІЇ ТА РУХОМОГО СКЛАДУ В МЕЖАХ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ, ЯКІ НЕ ВРАХОВАНІ В ЧИННИХ НОРМАТИВАХ** 110

5.1	Методика досліджень	110
5.2	Аналіз впливу ширин колії та положення у плані стрілочних переводів на взаємодію колії та рухомого складу	113
5.2.1	Вплив ширини колії у характерних ділянках	113
5.2.2	Вплив нерівностей у плані	118
5.3	Аналіз впливу нерівностей у плані на допустиму ширину колії для вписування рухомого складу	123
5.4	Висновки по розділу	129

## **РОЗДІЛ 6**

### **РОЗРОБКА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НОРМАТИВІВ УТРИМАННЯ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ПО ШИРИНІ КОЛІЇ ТА У ПЛАНІ** 130

6.1	Методика розробки нормативів	131
6.1.1	Критерії для призначення нормативів утримання стрілочних переводів	136
6.1.2	Визначення найбільш несприятливого напрямку руху, стану колії в профілі та плані	138
6.2	Розрахунки допустимих відступів по ширині колії та у плані в межах бокового напрямку	143
6.2.1	Допустимі відступи по ширині колії	143
6.2.2	Допустимі відступи за напрямком у плані	148

6.3 Визначення ступенів відступів від допусків утримання по ширині колії та за напрямком у плані	152
6.4 Техніко-економічна ефективність запропонованих нормативів	156
6.5 Висновки по розділу	162
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	163
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	166
ДОДАТОК А	179
ДОДАТОК Б	192
ДОДАТОК В	201
ДОДАТОК Г	213
ДОДАТОК Д	218

## ВСТУП

Залізничний транспорт є однією з найважливіших ланок Української економіки. Саме залізничним транспортом виконується абсолютна більшість вантажних перевезень в найбільш потужних галузях української промисловості: вугільній та металургійній. Крім того, завдяки своєму вигідному географічному положенню, українські залізниці виконують значний обсяг транзитного вантажообігу.

Одним з стратегічних напрямків технічної політики Укрзалізниці є модернізація та використання нових ресурсозберігаючих підходів при поточному утриманні інфраструктури. Залізнична колія є структурним елементом інфраструктури, який безпосередньо забезпечує процес перевезень пасажирів та вантажів.

Стрілочні переводи є дуже відповідальною ланкою залізничного транспорту взагалі і колійного господарства зокрема. Стан стрілочних переводів суттєво впливає на пропускну спроможність лінії. Тому від технічного стану стрілочного переводу залежить злагодженість всіх ланок процесу вантажних та пасажирських перевезень на залізничному транспорті.

Стрілочні переводи працюють в більш важких умовах експлуатації, в порівнянні зі звичайною конструкцією колії, це обумовлене як самою конструкцією переводу так і рівнем вертикального та горизонтального навантаження від рухомого складу, що передається на рейкові елементи переводу. Тому ефективне використання ресурсів конструкції стрілочного переводу, з безумовним забезпеченням безпеки руху, є запорукою забезпечення безперервного процесу перевезень з встановленими швидкостями руху.

**Актуальність теми.** Стратегічним напрямком розвитку колійного господарства є використання ресурсозберігаючих технологій утримання залізничної колії, для досягнення найбільшого економічного ефекту від її експлуатації. Досягнення цієї мети можливо за рахунок модернізації

конструкції, використання ефективних методів та технологій утримання, а також удосконалення нормативів утримання залізничної колії. Удосконалення нормативів утримання є найбільш відповідальною ланкою з перелічених шляхів підвищення ефективності експлуатації колії, бо саме нормативи утримання дають змогу використовувати потенціал тієї чи іншої конструкції колії, а також раціональні обсяги робіт з її поточного утримання.

Аналіз результатів розслідування сходів рухомого складу показав, що абсолютна більшість сходів фіксується при маневрових роботах в межах станцій. Абсолютна більшість 61,54 % сходів виникає через причини, що обумовлені станом бокового напрямку стрілочних переводів за шириною колії та у плані. Ця обставина свідчить про необхідність проведення аналізу впливу ширини колії та положення у плані бокового напрямку на безпеку руху.

Діюча система нормативів утримання стрілочних переводів враховує лише норми та допуски утримання за шириною колії та у плані. В цій системі не існують, як це прийнято для звичайної колії, нормованих ступенів відступів. Ці нормативи були розроблені без врахування впливу особливостей взаємодії колії та рухомого складу в межах стрілочних переводів на безпеку руху. Крім того в основу діючих нормативів були покладені результати досліджень стрілочних переводів лише на дерев'яних брусах. Тому задача удосконалення нормативів утримання бокового напрямку по ширині колії та у плані за критеріями безпеки руху та впливу на колію є актуальною. Вирішенню цієї задачі і присвячена дисертація.

***Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.*** Тема дисертації пов'язана з планом виконання науково–дослідних робіт кафедри «Колія та колійне господарство» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.А. Лазаряна в сфері удосконалення нормативів утримання залізничної колії. Автор дисертації приймав участь як співвиконавець в науково–дослідній роботі, що виконувались за завданням Міністерства транспорту та зв'язку України, за

темою «Проведення досліджень та встановлення допустимих швидкостей руху по стрілочних переводах, що мають відхилення від встановлених допусків по ширині колії» (державний реєстраційний номер 0108U010674).

**Мета і задачі досліджень.** Метою даної дисертаційної роботи є обґрунтування нормативів утримання бокового напрямку стрілочних переводів по ширині колії та у плані за критеріями безпеки руху та впливу на колію рухомого складу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. провести експлуатаційні дослідження стану бокового напрямку стрілочних переводів на залізобетонних брусах по ширині колії та за напрямком у плані;
2. розробити математичну модель взаємодії колії та рухомого складу в межах бокового напрямку стрілочного переводу, яка б дозволяла моделювати геометрію колії у плані реального окреслення;
3. провести динамічний експеримент на стрілочному переводі для обґрунтування використання розробленої математичної моделі у подальших дослідженнях;
4. визначити особливості взаємодії колії та рухомого складу в межах стрілочних переводів, які не враховувались в раніше розроблених нормативах утримання;
5. з врахуванням виявлених особливостей провести теоретичні дослідження по розробці нових нормативів утримання стрілочних переводів за шириною колії та у плані;
6. розробити практичні рекомендації щодо нормативів утримання бокового напрямку стрілочних переводів та визначити економічну ефективність від їх впровадження.

**Об'єкт досліджень** - ширина колії та положення у плані залізничної колії в межах бокового напрямку стрілочних переводів.

**Предмет досліджень** - вплив стану бокового напрямку стрілочних переводів по ширині колії і у плані на безпеку руху та дію рухомого складу на колію.

**Методи досліджень.** У роботі використано комплексний метод досліджень, який включає теоретичну і експериментальну частини. Для теоретичних досліджень застосовували методи математичного моделювання взаємодії колії та рухомого складу, основою яких є системи нелінійних звичайних диференціальних рівнянь, а також методи математичної статистики для обробки результатів експлуатаційних досліджень та динаміко-міцностних випробувань стрілочного переводу. У експериментальній частині було визначено напружено-деформований стан стрілочного переводу з врахуванням його стану у плані та профілі для верифікації математичної моделі, крім того були проведені експлуатаційні дослідження стану бокового напрямку стрілочних переводів на залізобетонних брусах. Всі теоретичні дослідження виконувались на ПЕОМ у операційній системі АлтЛінукс на базі вільного програмного забезпечення. Математичне моделювання взаємодії виконувались у системі Scilab. Обробку експериментальних даних проводили з допомогою програми Calc системи OpenOffice, використовуючи методи математичної статистики.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступному.

1. Вперше визначено ступінь відповідності стану стрілочних переводів типу Р65 на залізобетонних брусах марки 1/9 та 1/11 за шириною колії та ординатам перевідної кривої чинним нормативам.
2. Удосконалена методика математичного моделювання взаємодії колії та рухомого складу в межах бокового напрямку стрілочних переводів. Методика відрізняється від існуючих тим, що боковий напрямок вводиться до математичної моделі піввагона не у вигляді прямої ділянки з імітацією дії відцентрової сили, а за допомогою ординат зовнішньої та внутрішньої рейкової ниток бокового напрямку стрілочного переводу

відповідно. Дана методика дозволила досягти якісного збігу результатів моделювання з експериментальними.

3. Встановлено вплив стану бокового напрямку стрілочних переводів за шириною колії та у плані на взаємодію колії та рухомого складу. На основі цих результатів удосконалено діючі нормативи утримання стрілочних переводів.

4. Вперше використано диференційований підхід до контролю стану колії в межах бокового напрямку стрілочних переводів в залежності від встановленої швидкості руху. Даний підхід дозволив більш повно, в порівнянні з діючим, використовувати експлуатаційні ресурси конструкції стрілочного переводу за рахунок врахування впливу швидкості руху на силову взаємодію колії та рухомого складу.

***Практичне значення отриманих результатів*** полягає в тому, що розроблені нормативи утримання за шириною колії та у плані дають можливість більш повно, в порівнянні з попередніми, використовувати принципи ресурсозбереження при експлуатації бокового напрямку стрілочних переводів.

Розроблені й удосконалені наукові рішення дозволяють підвищити ефективність експлуатації стрілочних переводів, що є важливим у сучасних ринкових умовах. А саме в даній дисертації:

- 1) розроблені нормативи утримання бокового напрямку стрілочних переводів за шириною колії та у плані рекомендовані до впровадження як доповнення додатка 8 “Допустимі швидкості руху поїздів” нормативного документу “Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України”, ЦП/0269;
- 2) запропоновані методи контролю ширини колії в межах бокового напрямку стрілочних переводів рекомендовані до впровадження як доповнення розділу 3.8 “ Утримання стрілочних переводів” нормативного документу “Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України”, ЦП/0269 ;

3) результати досліджень використовуються у навчальному процесі при підготовці спеціалістів і магістрів на кафедрі «Колія та колійне господарство», а також при підготовці фахівців колійного господарства Укрзалізниці в центрі підвищення кваліфікації Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій** підтверджується результатами натурних експлуатаційних досліджень стану колії, адекватно обраним математичним апаратом, проведенням експериментальних досліджень з достатнім збігом, як чисельним так і якісним, одержаних теоретичних та практичних результатів, позитивними відгуками начальників дистанцій колії залізниць України.

**Особистий внесок здобувача.** Усі наукові положення, розробки й результати досліджень, що виносяться на захист, отримані особисто автором. У наукових працях, що опубліковані в співавторстві, особистий внесок автора такий: у роботі [90] – розроблено методику моделювання бокового напрямку стрілочного переводу; у [91] – наведено недоліки діючої системи контролю ширини колії та ординат перевідної кривої в межах бокового напрямку; у [92] – проведено аналіз особливостей впливу відступів по ширині колії та ординатам перевідної кривої в межах бокового напрямку стрілочних переводів на взаємодію, а також кореляційний аналіз відступів по ширині колії та ординатам перевідної кривої; у [93] – розроблено математичну модель взаємодії колії та вантажного піввагону в межах бокового напрямку стрілочних переводів; у [94] – проаналізовано вплив ширини колії та ухилу її відводу по зовнішній нитці перевідної кривої на взаємодію; у [95] – встановлено вплив швидкості руху в межах бокового напрямку на взаємодію в межах нерівності у плані; у [96] – наведено результати експлуатаційних досліджень бокового напрямку стрілочних переводів по ширині колії та за напрямком у плані та відповідність їх натурального стану діючим нормативам утримання; у [97] – розроблено

нормативи утримання бокового напрямку стрілочних переводів по ширині колії та у плані за критеріями безпеки руху та допустимого впливу на колію; у [103] - встановлено вплив нерівностей у плані на допустиму ширину колії в межах бокового напрямку стрілочних переводів .

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати дисертації докладалися на: 69 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Дніпропетровськ, травень 2009 р.); Міжнародній науково-практичній конференції ОАО «РЖД». “Инфраструктура 2009” ( ВНИИЖТ, Росія, м. Щербінка, листопад 2009 р.); 70 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Дніпропетровськ, квітень 2010 р.); 71 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Дніпропетровськ, квітень 2011 р.); курсах факультету підвищення кваліфікації для начальників дистанцій колії Українських залізниць(Дніпропетровськ, ДНУЗТ, листопад 2010 р.); на кафедральному науковому семінарі кафедри «Колія та колійне господарство» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, жовтень 2010 р.); у повному об’ємі дисертаційна робота доповідалася на міжкафедральному семінарі кафедр «Колія та колійне господарство» і «Проектування та будівництво доріг» (Дніпропетровськ, травень 2012 р.)

**Публікації.** Основні положення дисертації опубліковані у 9-и наукових працях, у тому числі: 5 – у фахових виданнях, затверджених ВАК України, 4 роботи є тезами наукових міжнародних конференцій.

## РОЗДІЛ 1

### РОЗВИТОК НОРМАТИВІВ УТРИМАННЯ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ЗА ШИРИНОЮ КОЛІЇ ТА У ПЛАНІ

#### 1.1 Історичний огляд розвитку нормативів утримання стрілочних переводів

Стрілочний перевід є дуже відповідальною конструкцією залізничної колії, яка працює в специфічних та більш важких умовах експлуатації в порівнянні зі звичайною колією. Важкі умови експлуатації обумовлюють інтенсивне накопичення залишкових деформацій по ширині колії та за напрямком у плані. Визначення допустимих значень залишкових деформацій, з точки зору безпеки руху та впливу на колію, вирішується шляхом розробки нормативів утримання стрілочних переводів. Нормативи утримання повинні враховувати особливості взаємодії колії та рухомого складу в межах стрілочних переводів, а також особливості їх експлуатації. Удосконалення нормативів утримання дозволяє підвищити економічну ефективність використання стрілочних переводів при безумовному забезпеченні безпеки руху. Тому питанню розробки нормативів утримання приділялась значна увага з моменту створення перших стрілочних переводів.

Необхідність регламентації ряду розмірів ширини колії в межах стрілочних переводів відмічалось вже у 1900-1912 р в трудах з'їздів інженерів служби колії російських залізниць [3]. Однак єдині норми утримання стрілочних переводів були відсутні до 1933 р. В 1933 - 1934 р. М. А. Чернишовим було поставлене питання о необхідності встановлення єдиних норм утримання стрілочних переводів та були дані єдині конкретні пропозиції. А в 1936 р., на основі робіт проф. И. Я. Маноса [4], галузевою нарадою інженерів-колійників були прийняті норми та допуски по ширині колії та жолобам між рейковими елементами в межах стрілочних переводів.

Зауважимо, що до прийняття нормативів утримання стрілочних переводів у 1936 допуски утримання стрілочних переводів за шириною колії були відсутні. Ширина колії допускалась лише 1524 мм.

Таблиця 1.1

Норми ширини колії в межах стрілочних переводів від 1936 р.

Типи стрілочних переводів	Місто виміру ширини колії	Норма утримання по ширині колії, мм
Всі типи стрілок з криволінійними вістряками.	В стиках рамних рейок	1524
	На відстані 1218 мм від вістря	1526
	На відстані 2000 мм від вістря для переводів Р50 та Р43	1530
	У вістря вістряка	1536
	В корні вістряка по боковій колії	1536
	В корні вістряка по прямій колії	1524
Всі типи стрілок з прямими вістряками	У вістря вістряка	1541
Всі типи стрілочних переводів марки 1/11.	Середина перевідної кривої	1536
Всі типи стрілочних переводів марки 1/9	В корні вістряка по прямій колії	1528
В усіх стрілочних переводах	В хрестовині та у кінці перевідної кривої	1524

Допуски утримання ординат упорної нитки в межах перевідних кривих були відсутні до прийняття інструкції [5] у 1956 р. Допуски утримання як за шириною колії так і за ординатами перевідних кривих враховували лише допуски на виготовлення деталей з яких складається стрілочний перевід. Лише у межах хрестовинового вузла допуски утримання по ширині колії були змінені з  $\pm 1$  до  $\pm 2$  на основі експлуатаційних та теоретичних досліджень, виконаних стрілочною лабораторією ЦНИИ МПС під керівництвом Іващенко Г. І. [6]. Теоретичною основою цих досліджень був апарат математичної статистики. Нормативи утримання стрілочних переводів за

шириною колії та за напрямком у плані, що були розроблені на протязі 1936-1956 р. практично без змін поміщались у всі наступні інструкції по утриманню залізничної колії до 1987 р.

У 1985 році, після проведення досліджень стрілочною лабораторією ВНДІЗТу [35] під керівництвом Глюзберга Б. Е., були прийняті нові допуски утримання ширини колії та ординат перевідної кривої (табл 1.2) . Також був обґрунтований та прийнятий показник, що безпосередньо відповідає за безпеку в межах перевідної кривої - різниця відступів у суміжних ординатах.

Таблиця 1.2

Рекомендації допусків утримання стрілочних переводів по ширині колії та по ординатах від 1985 р.

Місце виміру	Допуски, мм	
	діючі	що пропонуються
Ширина колії		
Стик рамних рейок	+3/-2	+3
Вістря вістряків	+2	+4/-2
Корінь вістряків:	+2	+3
прямий напрямок		
боковий напрямок	+2	+4/-2*
Середина перевідної кривої	+3/-2	+10/-2**
Ординати		
Перевідна крива	+2	+2/-10*** за умовою, що різниця відступу у суміжних ординатах не перевищує 2

\* - За наявності бокового зносу дозволяється утримувати ширину колії більшу на величину зносу, але не більше 1529 мм.

\*\* - За наявності бокового зносу дозволяється утримувати ширину колії більшу на величину зносу, але не більше 1535 мм.

\*\*\* - За наявності бокового зносу дозволяється утримувати ординати меншими, але не більше ніж 5 мм.

При постійно зростаючій вантажонапруженості, осьовому навантаженні утримувати колію в межах стрілочних переводів по діючим тоді нормативам стало взагалі неможливо. Мала величина допусків (до 4 мм)

призводила до частих перешивань ширини колії та ординат перевідної кривої в межах стрілочних переводів. Тому у період 1986 - 1989 р. силами вчених колійників ДПТУ (Татуревич А. П., Рибкін В. В., Ковтун П.В.) та ВНДІЗТу (Желнін Г. Г.) був проведений відповідний комплекс досліджень [19, 34] направлений на удосконалення діючих на той час нормативів. За результатами цих і більш пізніх досліджень доц. кафедри “Колія та колійне господарство” ДПТУ Орловського А. М. були прийняті нині діючі допуски утримання ширини колії(табл. 1.3) [2].

Таблиця 1.3

Допуски утримання за шириною колії звичайних і криволінійних стрілочних переводів колії від 22 грудня 2005 р.

Місце виміру	Категорія колії	Допустимі відхилення від нормативної ширини колії, мм	
		в бік збільшення	в бік зменшення
Передній стик рамної рейки	Головні	+6	-3
	Пр.-відпр.	+6	-4
	Інші	+10	-4
Вістря вістряка, корінь прямого вістряка, корінь вістряка бокової колії	Головні	+6	-3
	Пр.-відпр.	+6	-3
	Інші	+10	-3
Середина перевідної кривої	Головні	+10	-3
	Пр.-відпр.	+10	-3
	Інші	+12	-3
З'єднувальні колії прямого напрямку	Головні	+6	-3
	Пр.-відпр.	+6	-4
	Інші	+10	-4
Хрестовина	Головні	+4	-4
	Пр.-відпр.	+4	-4
	Інші	+6	-4

Примітки: 1. При утриманні ширини колії на стрілочних переводах в межах встановлених допусків допустима швидкість руху встановлюється згідно з ПТЕ і діючими нормами без додаткових обмежень (див. Д.8.2).

2. При перевищенні встановлених допусків за шириною колії порядок експлуатації стрілочних переводів і швидкості руху по ним встановлюються за окремими вказівками ЦП УЗ

## 1.2 Аналіз досліджень присвячених впливу відступів від норм утримання на взаємодію колії та рухомого складу

### 1.2.1 Теоретичні дослідження

Перші дослідження присвячені впливу ширини колії на взаємодію колії та рухомого складу в межах стрілочних переводів належать українському інженеру Холодецькому А. А. Теоретичною основою цих досліджень є загальновідомі залежності при ударі двох абсолютно жорстких тіл. Вперше було запропоновано оцінювати ударну взаємодію колеса та елементів стрілочних переводів по втраті кінетичної енергії

$$E_k = \frac{m_{np} \cdot v^2 \cdot \sin^2 \beta_y}{2} \quad (1.1)$$

де:  $m_{np}$  - приведена маса екіпажу, кг;

$v$  - швидкість екіпажу, м/с;

$\beta_y$  - кут удару

Розвиваючи методи оцінки впливу ширини колії на взаємодію, видатний вчений колійник Г. М. Шахунянц [43] для порівняльних розрахунків рекомендував використовувати відносну умовну величину втрати кінетичної енергії при ударі колеса в рейкові елементи

$$\omega = \sqrt{v^2 \cdot \sin^2 \beta_y} \quad (1.2)$$

В наведених вище методах розрахунку набігання колеса на рейкові елементи супроводжується ударом, при цьому автори зневажають силами тертя між колесом та колією. Таке припущення було б допустимим, якщо б не виникало повороту візка навколо вертикальної осі. Однак за час, який необхідний, щоб направляюче зусилля зросло від нуля до максимальної величини, колісна пара проходить відстань 0,5-2 м. Одночасно з ростом направляючого зусилля змінюється кут між напрямком руху екіпажу та

поздовжньою віссю колії. В результаті чого виникає розсіювання енергії в точках взаємодії коліс з рейками.

Вперше методика визначення бокової сили при набіганні колеса на рейкові елементи була розроблена В. Н. Даніловим [44]. Його методика дозволила врахувати силу тертя між колесом та рейкою, пружність конструкції переводу, а також реальні розміри та маси ходових частин кузова екіпажа. При цьому в розрахунках приймалось припущення, що жорсткість коліс і візка в порівнянні з жорсткістю переводу дуже великі, тому їх пружність в розрахунках не враховувалась. Направляюча сила при ударній взаємодії визначалась за формулою

$$Y_{y\partial} = v \cdot \sin\beta_y \cdot \sqrt{m_{np} \cdot \mathcal{K}_k} \quad (1.3)$$

де:  $\mathcal{K}_k$  — контактна жорсткість колії в поперечному горизонтальному напрямі.

Недолік цієї методики полягає в неврахуванні поперечного зміщення візка та кузова. Крім того не врахована кривизна колії в точці набігання.

Оригінальний підхід до досліджень умов проходження колісною парою по стрілочних переводах був розроблений Іващенко Г. І. [6]. Цей підхід базується на методах математичної статистики та теорії імовірності при визначенні положення колісної пари в рейковій колії у межах хрестовиноного вузла та стрілки. У цих дослідженнях вірогідність положення колісної пари у даному положенні визначається по залежностях типу (1.4).

$$F_{\delta}(y) = \int_0^{\delta_{\max}} \int_0^x f_{\delta B}(y | \delta_1 + \delta_2 = x) f_{\delta_1 + \delta_2}(x) dy dx \quad (1.4)$$

де  $f_{\delta B}(y)$  - крива розподілу можливого однобічного зазору між ребордою колеса й робочою гранню рейки, величина можливого однобічного зазору не повинна перевищувати значення  $(\delta_1 + \delta_2)$ ;

$f_{\delta_1 + \delta_2}(x)$  - крива розподілу сумарного зазору між ребордами коліс однієї колісної пари й рейкових ниток.

Ця методика досліджень дозволила врахувати більшість факторів не тільки при їх максимально несприятливому для взаємодії стані, але й у

всьому їх експлуатаційному діапазоні. Цей же метод в своїх дослідженнях використовував Л. Г. Крисанов [16]. В своїх розрахунках він врахував зміну експлуатаційних умов роботи залізниць, а також зміну нормативів по допустимим розмірам елементів колісної пари.

Недолік статистичного підходу Іващенко Г. І полягає в відсутності врахування впливу вертикальних і горизонтальних нерівностей колії в межах стрілочного перевалу на положення колісної пари у колії.

Детальні дослідження ударної взаємодії були проведені проф. Волошко Ю. Д.[10]. В своїх дослідженнях він показав існування двох фаз горизонтального удару при набіганні: перша імпульсна та друга фаза загальних деформацій. Було детально проаналізовано вплив обох фаз ударної взаємодії на: рейкові елементи, скріплення та підрейкову основу. Крім того велика увага була приділена впливу контактної жорсткості системи колесо рейка, жорсткості систем рейка-скріплення-підрейкова опора, приведених мас елементів колії на характер та величину сил взаємодії.

Перша робота, в якій використовувалась багатомасова математична модель екіпажу (рис 1.2), що описується системою диференційних рівнянь, для дослідження взаємодії колії та рухомого складу в межах стрілочного перевалу була виконана під керівництвом проф. Яковлева В. Ф. [45].

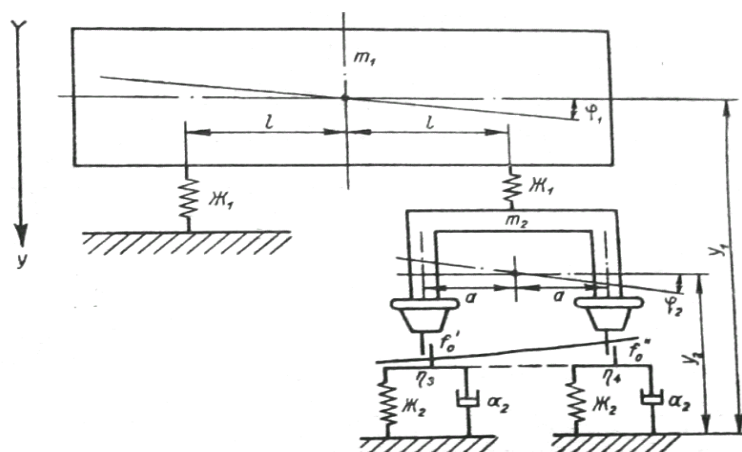


Рис. 1.2. Схема математичної моделі

В цих дослідженнях моделювався вхід екіпажу на боковий напрямок стрілочного перевалу в протишерсному напрямі при різних кута удару в вістряк. Також досліджувався вплив синусоїдальних нерівностей у плані по

прямим ділянкам колії. Велику увагу було приділено впливу розрахункових характеристик колії та рухомого складу на взаємодію, а саме жорсткість колії, жорсткості ресорного підвішування, величини сил тертя у контакті колесо-рейка та рейка-скріплення, мас візка та кузова. Основним недоліком цих досліджень є моделювання одnobічного контакту екіпажу з колією (див. рис. 1.2), що спричинило завищені показники взаємодії. Прискорення отримані теоретично значно перевищували зафіксовані експериментальні [27].

В роботі [42] була розроблена просторова математична модель піввагона на візках МТ-50. Це дало змогу оцінити вплив пружно-дисипативних параметрів колії, швидкості руху, куту удару у вістряк на стійкість проти перекинення. Отримані результати свідчать про пряму залежність між кутом удару у вістряк, швидкістю руху та величиною горизонтальних сил. Вертикальна жорсткість практично не впливала на коефіцієнт стійкості та горизонтальні сили, в свою чергу горизонтальна жорсткість при ударі значно впливала на величину горизонтальних сил. Недоліком математичної моделі, що використовувалась в цих дослідженнях, була відсутність врахування моменту опору повороту візка в шкворневому вузлі.

У дослідженнях Ніколаєва В. Е. [46], була розроблена просторова математична модель вантажних піввагонів МТ-50 та 18-100. Ця модель була розроблена на базі моделі Ромена Ю. С. [8, 20]. Але на відміну від моделі Ромена Ю. С. за середню лінію приймалась упорна нитка перевідної кривої. Положення внутрішньої нитки задавалась сумарним зазором між колесами та рейковими елементами. Недоліком цієї моделі є спосіб отримання геометрії упорної нитки для вводу у модель. Положення упорної нитки було отримане за допомогою хорди, довжина якої дорівнює довжині жорсткої бази відповідного візка, а як відомо з досліджень ВНДІЗТу [72] довжина хорди є фільтром, що вносить похибку при визначенні геометрії колії.

В роботі Решетилова С. І. [13] також використовувалась математична модель, розроблена на базі системи диференціальних рівнянь розроблених Роменом Ю. С. В цих дослідженнях Решетилів С. І приділив велику увагу особливостям контактування колеса і рейкових елементів. Вперше в межах стрілочного переводу моделювався двохточковий контакт колеса з рейковими елементами. Положення у плані бокового напрямку стрілочного переводу вводилось за допомогою кривизни колії, як і в роботах Ніколаєва В. Е.[46]

Особливу увагу слід приділити дослідженням Ковтуна П. В. та Рибкіна В. В. [34], бо по результатам цих досліджень були прийняті нині діючі нормативи утримання. Автори розробили оригінальну методику досліджень. Методика включала дві взаємопов'язані складові: експлуатаційні та теоретичні дослідження. В цій роботі автори моделювали цикл роботи стрілочного переводу за даними, які вони безпосередньо отримували шляхом вимірювань з колії. У якості об'єктів досліджень були обрані 59 звичайних стрілочних переводів типу Р65 марки 1/11 колії 1520 мм, які були укладені в головних коліях на дерев'яних брусах та щебеневому баласті. Обміри виконувались кожного кварталу, а також перед та після робіт по перешивці колії на протязі 3 років. За цей час по дослідних стрілочних переводах було пропущено до 400 млн. т. бруто вантажу. На основі факторного аналізу було визначено, що найбільш суттєвий вплив на накопичення залишкових деформацій по ширині колії та ординатам перевідної кривої оказує фактор пропущеного тоннажу. За результатами цих досліджень розроблені факторні моделі інтенсивності накопичення залишкових деформацій колії по ординатах та ширині колії. Ці дослідження показали, що експлуатаційний цикл роботи стрілочного переводу можливо розбити на 3 етапи (рис. 1.3): стабілізація, характеризується великою інтенсивністю зростання залишкових деформацій; період нормальної роботи; період “старіння” - велика інтенсивність залишкових деформацій.

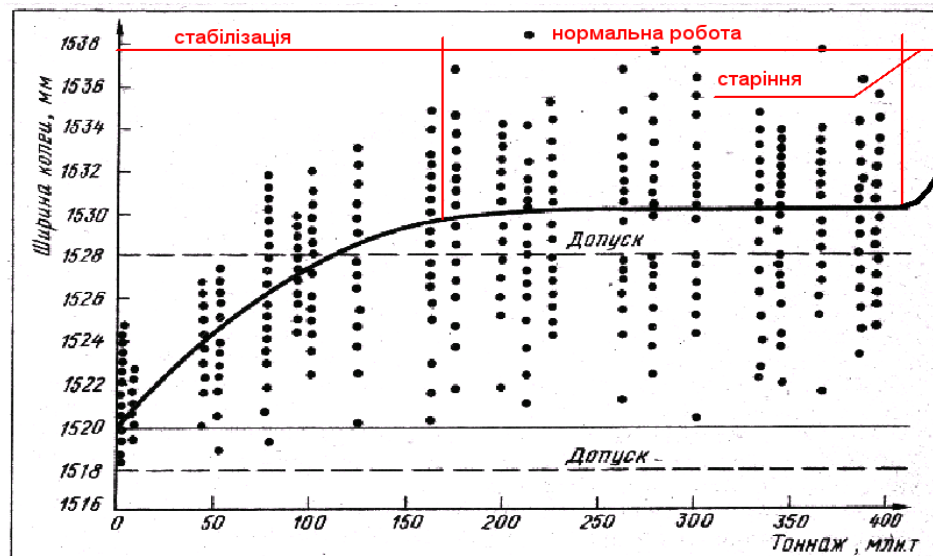


Рис. 1.3. Зміна ширини колії в середині перевідної кривої.

В роботі Желніна Г. Г. [27] використовувалась математична модель розроблена на базі системи диференційних рівнянь Ромена Ю. С. Желнін Г. Г. при моделюванні взаємодії велику увагу приділив зміні бокової жорсткості колії по довжині стрілочного переводу. На основі своїх досліджень [58-59] автор дослідив зміну бокової жорсткості колії в межах бокового напрямку (табл. 1.4)

Таблиця 1.4

Коефіцієнти зміни жорсткості по довжині бокового напрямку

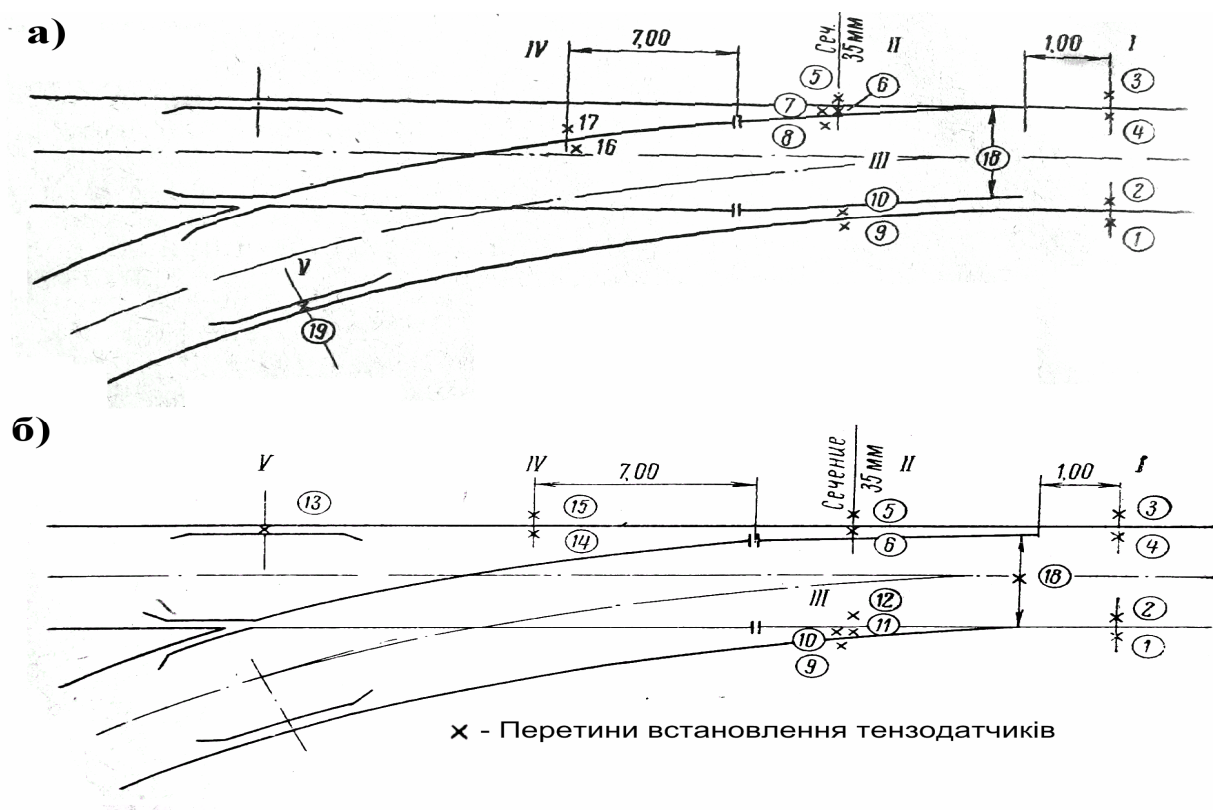
Передній виліт рамної рейки	Вістряк		Перевідна крива	Хрестовина
	В зоні прилягання	Від зони прилягання до кореня		
1,0	Від 1,0 до 1,85	0,7	1,2	10,0

Також Желніним Г. Г. була розроблена, на базі робіт Єршкова О. П. [69], система диференційних рівнянь, що описує поперечні деформації рейкових ниток стрілочного переводу. Розроблена математична модель відрізнялась від попередніх робіт врахуванням зміни жорсткості, маси, моментів інерції рейкових елементів по довжині стрілочного переводу.

## 1.2.2 Експериментальні дослідження.

Перші експериментальні дослідження по виявленню впливу ширини колії на напружено-деформований стан стрілочного переводу типу Р50 марки 1/15 були виконані ЛПЗТом [17] під керівництвом проф. Амеліна С.В. Заїзди дослідного поїзда на боковий напрямок стрілочного переводу виконувались спочатку по стрілці з типовим шаблоном, а на другому етапі ширина колії в межах бокового напрямку зменшувалась. Результати цих досліджень показали позитивний ефект від звуження колії.

У наступних дослідженнях науковців ЛПЗТу [18] для виявлення впливу ширини колії на напружено-деформований стан, у звичайному стрілочному переводі типу Р50 марки 1/11 під час другого етапу досліджень (на першому етапі ширина колії приймалась згідно проекту) була зменшена в межах бокового напрямку на 6 мм. Схема встановлення тензометричних датчиків вказана на рис.1.4.



а) боковий напрямок; б) прямий напрямок.

Рис. 1.4 - Схема встановлення тензодатчиків:

Розглянемо основні результати цих досліджень окремо для прямого та бокового напрямку.

1. Прямий напрямок: зменшення ширини колії призводить до зниження сил вертикальної взаємодії колії та рухомого складу; рівень бокових сил практично однаковий в обох випадках.
2. Боковий напрямок: величина напружень у вістряку при звуженій ширині колії в порівнянні з проектною шириною колії зростає; в межах перевідної кривої отримані аналогічні результати.

Ці результати мають дещо суперечливий характер. Розглянемо прямий напрямок: відомо, що зростання ширини колії в прямих ділянках колії призводить до зростання бокових сил, а результати цих досліджень свідчать про відсутність різниці в величині бокових сил при зміні ширини колії. Перейдемо до бокового напрямку: згідно результатів теоретичних розрахунків, викладених у цих же дослідженнях, зміна ширини колії на 6 мм не змінювала схему вписування рухомого складу (примусова), а тому й не було передпосилань до зміни напружень чи бокових сил в межах бокового напрямку, але експерименти показали зростання напружень при зменшенні ширини колії. Отже необхідно вяснити, які недоліки досліджень [17-18] призвели до появи протиріч отриманих результатів. На нашу думку зазначені дослідження мали наступні недоліки:

- 1) мала кількість тензометричних датчиків та перетинів в яких вони встановлюються, для надання надійних висновків по результатам досліджень. Відомо, що вертикальна та горизонтальна сили взаємодії між колесом та рейковими елементами змінюються безперервно, а тому по одному дослідному перетину в межах вістряка чи перевідної кривої неможливо оцінити вплив ширини колії чи інших характеристик;
- 2) до та після випробувань контролювалась лише ширина колії, контроль стану колії в плані та профілі не проводився, хоча саме він міг

впливати на результати експерименту. Також зауважимо, що в дослідженнях не вказано як саме виконувалась зміна ширини колії.

Наступні дослідження були проведені сумісно ЛПЗТом та ВНДІЗТом [70]. До цих досліджень ширина колії в межах бокового напрямку складала 1530 мм, а середній ухил відводу ширини колії складав більше 6 мм/м, що значно перевищувало діючі тоді нормативи. Як було вказано раніше, при цій ширині колії забезпечувалось примусове вписування найбільш довгобазових екіпажів 50...60-х років 20 ст. - паровозів серії СО. Але на протязі 60-х років парк локомотивів значно оновився, а паровози серії СО практично не експлуатувались. Тому у 70-х роках були знов виконані розрахунки на вписування найбільш несприятливих екіпажів в межах бокового напрямку стрілочних переводів Єлсаковим Н. Н [70]. Розрахунки Єлсакова Н. Н. показали, що ширина колії у вістря вістряка може бути зменшена для типу Р65 до 1524 мм і до 1528 для Р50, а в межах перевідної кривої до 1520 та 1524 для марки 1/11 та 1/9 відповідно. Результати цих досліджень не показали значної різниці в зміні напружено-деформованого стану стрілочного переводу при звуженні ширини колії в межах бокового напрямку. Лише в межах вістряка були протилежні результатам попередніх експериментальних досліджень [17-18]. В цих дослідженнях зі звуженням ширини колії напруження зменшувались. Ця обставина, як і у попередніх дослідженнях, була обумовлена відсутністю контролю стану колії за напрямком у плані і профілі під час проведення експерименту.

Нормативи утримання стрілочних переводів по ширині колії та по ординатах перевідної кривої, що діяли з 1936 р., колійникам було дуже складно витримувати, бо значно зросли швидкості руху, осьові навантаження та вантажонапруженість. Тому виникла необхідність перегляду нормативів утримання. Цим питанням займалися вчені-колійники ВНДТу [35]. У рамках цієї роботи був виконаний комплекс досліджень: експлуатаційні, експериментальні та теоретичні. Під час експлуатаційного етапу було досліджено: ширину колії, ординати перевідної кривої на кожному брусі.

Обсяг досліджень: 150 стрілочних переводів марки 1/11 типу P50 та P65. В результаті цього етапу досліджень встановлено, що більшість стрілочних переводів експлуатується зі значними відступами від допусків утримання. Зауважимо, що на нашу думку ці дослідження мали наступні недоліки.

1. Вимір ширини колії та ординат перевідної кривої виконувався на кожному брусі, але при укладці брусів існують допуски зміщення їх осей, тому ця обставина могла внести значні похибки у кінцеві результати.
2. У єдину вибірку обсягом 150 стрілочних переводів було об'єднано різні типи стрілочних переводів при різних умовах їх експлуатації. Це не дає змоги виділити характер зміни ординат чи ширини колії по довжині для різних експлуатаційних умов та типів стрілочних переводів.

Об'єктом експериментальних досліджень, по впливу ширини колії на взаємодію колії та рухомого складу, були стрілочні переводи марки 1/11 типу P75, P65, P50 та P50 марки 1/9. Результати, що стосуються хрестовинового вузла в межах прямого напрямку вказують на прямопропорційну залежність між напруженнями у контррейці та шириною колії, ці висновки також підтверджуються результатами викладеними у [52]. В межах прямого напрямку до хрестовини результати носять дещо суперечливий характер: при збільшенні ширини колії зростають вертикальні прискорення, але за тими ж результатами зростання ширини колії з 1520 мм до 1528 мм не призводить до зростання рамної сили та горизонтальних прискорень буксових вузлів, а навпаки при зростанні ширини колії з 1524 мм до 1528 мм рамна сила зменшується. Така ж картина по боковому напрямку: найбільші напруження у кромці рейки в межах перевідної кривої отримані для ширини колії 1520 мм, а максимальні рамні сили для стрілочного переводу типу P50 отримані не для ширини колії 1540 мм, а для 1530 мм. На нашу думку ці суперечності в результатах експериментальних досліджень обумовлені наступними обставинами: в експерименті по прямому та боковому напрямку ширина

колії змінювалась тричі 1520 мм, 1524 мм, 1528 мм для прямого та 1520 мм, 1530 мм, 1540 мм для бокового відповідно. Але при жодній зміні, як до, так і під час експерименту, не контролювався стан стрілочного переводу в плані та профілі, який може значно впливати на результати експериментальних досліджень.

Зазначені недоліки досліджень ВНДІЗТу [35], були усунені в дослідженнях [19]. В цих дослідженнях вперше було вирішено встановити вплив стану стрілочного переводу у профілі та плані на взаємодію колії та рухомого складу. Ці дослідження проходили під сумісним керівництвом вчених Татуревича А. П. (ДПТ) та Желніна Г. Г. (ВНДІЗТ). Дослідження мали комплексний характер: експлуатаційні, експериментальні та теоретичні (математична статистика та математичне моделювання взаємодії колії та рухомого складу) Методика цих досліджень передбачала створення штучних нерівностей у плані та профілі в межах переднього вильоту рамної рейки та перевідної кривої. Контроль стану колії у плані та профілі виконувався на всіх етапах експерименту, що дало змогу аналізувати результати враховуючі стан стрілочних переводів на кожному етапі дослідження. Результати досліджень свідчили про пряму залежність між величиною нерівності у профілі та вертикальними силами, а також між амплітудою нерівності у плані та горизонтальними силами. В результаті цих досліджень був встановлений якісний зв'язок між станом стрілочних переводів у плані і у профілі та показниками безпеки руху. На основі цих досліджень розроблений проект допустимих швидкостей руху по стрілочних переводах, що мають відступи від допусків утримання, а також розроблені ступені відступів від норм утримання. Але й ці дослідження мали деякі недоліки.

1. Відсутність у складі експериментального поїзду порожнього піввагона, бо загальновідомо, що саме порожній вагон найбільш нестабільний на нерівностях у плані та профілі. Ця обставина могла дещо скорегувати розроблені нормативи.

2. Для теоретичного дослідження впливу відступів у плані та профілі використовувались окремо дві “плоскі” моделі вантажного піввагону: горизонтальна та вертикальна відповідно. Хоча експериментальні результати свідчили про необхідність використання саме просторової моделі піввагона для аналізу одночасного впливу нерівностей у плані та профілі на безпеку руху.
3. Положення у плані упорної нитки перевідної кривої контролювалося методом стріл, що не дало змогу при створенні штучної нерівності у плані проаналізувати її форму та довжину.
4. Довжина хорди, якою контролювався стан у плані становить 5 м. Хоча з досліджень [72] відомо, що довжина хорди є фільтром, який дозволяє контролювати нерівності певної довжини. Тому спочатку необхідно було провести дослідження направленні на виявлення оптимальної довжини хорди для фіксування абсолютної більшості нерівностей у плані в межах бокового напрямку.
5. Розроблені нормативи, що стосуються положення у плані, були дані як різниця суміжних стріл вигину від хорди довжиною 5 м, а загальноприйнятою є практика контролю положення у плані по ординатах перевідної кривої. Для контролю по методу стріл необхідно розробити методику розрахунку рихтування упорної нитки, а для методу ординат існує перевірена досвідом експлуатації методика виправлення.
6. Не була врахована можливість збігу нерівностей у плані та профілі в межах стрілочного переводу.

Слід також відмітити експлуатаційні дослідження стану прямого напрямку стрілочних переводів на залізобетонних брусах в профілі та у плані проведені під керівництвом Мойсеєнко К. В.[36]. Автор велику увагу приділив технології проведення досліджень. В дослідженнях вперше показані так звані “довгі” нерівності, які формуються кількома стрілочними переводами. Розроблена автором методика досліджень дозволила досить

докладно аналізувати такі параметри нерівностей у плані та профілі: форма, довжина, амплітуда.

### 1.3 Критерії встановлення допустимих швидкостей руху по стрілочних переводах.

#### 1.3.1 Динаміко-кінематичні характеристики стрілочних переводів

Багаторічний досвід проектування та експлуатації стрілочних переводів свідчить про доцільність використання динаміко-кінематичних характеристик геометрії стрілочних переводів для призначення допустимих швидкостей руху по них на етапі проектування. В практиці проектування [73] та призначення допустимих швидкостей руху використовувались наступні критерії:

- втрата показника кінетичної енергії при вході на бокову колію та при набіганні на направляючі елементи хрестовини (див. формулу 1.2)
- прискорення, що миттєво виникають при набіганні колеса на вістряк

$$j_0 = \frac{v_6^2}{R_в} \quad (1.5)$$

де:  $v_6$  - швидкість руху на бокову колію, м/с;  $R_в$  - радіус вістряка, м;

- непогашені прискорення  $\gamma$ , що діють в межах перевідної кривої (формула аналогічна 1.5).

Значення перерахованих характеристик (табл. 1.5) приймаються на основі досвіду експлуатації стрілочних переводів

Таблиця 1.5

Рекомендовані динаміко-кінематичні характеристики стрілочних переводів

Показник	Відцентрові прискорення		Показник кінетичної енергії	
	перевідна крива $\gamma$ , м/с <sup>2</sup>	вхід на стрілку $j_0$ , м/с <sup>2</sup>	удар у вістряк $w_о$ , м/с <sup>2</sup>	удар у елементи хрестовини $w_к$ , м/с <sup>2</sup>
Значення	0.4 - 0.6	0.3 - 0.5	0.21 - 0.25	0.4 - 1.0

Зауважимо, що за цими характеристиками (див. табл. 1.5) спроектовані та експлуатуються всі стрілочні переводи в межах Українських залізниць.

### **1.3.2 Критерії міцності рейкових елементів стрілочних переводів**

Основною задачею випробувань стрілочного переводу на міцність є визначення напружень, які виникають у його рейкових елементах, тому що від величин напружень залежить безпека руху поїздів. У частинах переводу, де напруження перевищують допустимі, через невеликий проміжок часу можуть з'явитися тріщини втоми, що в подальшому, за умови раптового виходу з ладу елемента, може призвести до сходу рухомого складу з рейок. Допустимі напруження в рейках встановлювались на основі розрахунків наступних п'яти видів їх несучої здатності [75]:

- 1) статичної при недопущенні пластичних деформацій в підшві;
- 2) циклічної при змінних напруженнях і недопущення утворення тріщин втоми в підшві та шийці рейки;
- 3) з врахуванням наявності тріщин при недопущенні повного крихкого руйнування всього перерізу;
- 4) статичної контактної при недопущенні (чи регламентації) місцевих пластичних деформацій в зоні контакту головки з колесом;
- 5) циклічної контактної при недопущенні в границях ресурсу (чи регламентації ймовірності) утворення тріщин контактної втоми в голівці.

Одним з основних показників, який характеризує дію рухомого складу на колію – напруження у кромці підшви рейки. Допустима величина цих напружень встановлена з умови недопущення пластичних деформацій в підшві рейки при дії нормальних сумарних напружень згину і кручення рейки під рухомим навантаженням і від повздовжніх деформацій при зміні температури. При цьому допустима величина напружень у кромці підшви рейки визначалась за формулою:

$$[\sigma_k] = \frac{[\sigma_{0.2}^p]}{k_3} - \sigma_t, \quad (1.6)$$

де  $[\sigma_{0.2}^p]$  - мінімальна умовна границя текучості рейкової сталі в МПа, що визначена при розтягу стандартних взірців як напруження, при якому залишкове подовження взірця досягає 0,2%;  $\sigma_t$  - максимальні температурні напруження в рейках, МПа;  $k_3$  - коефіцієнт запасу, прийнято 1,3.

В табл. 1.5. наведені діючі в межах України нормативи допустимих напружень у рейкових елементах стрілочних переводів [40].

Таблиця 1.5

Допустимі величини напружень, що визначаються під час натурних випробувань стрілочного переводу на міцність

Напруження	Одиниця вимірювання	Величина
– у зовнішніх кромках підшов вістряків та осердя хрестовини з рухомими елементами	МПа	275
– у зовнішній кромці підшов рамних рейок, рейок з'єднувальної частини, ходових рейок біля контррейок	МПа	240
– у головці контррейки	МПа	330

### 1.3.3 Критерії стійкості елементів стрілочного переводу боковому навантаженню.

Вперше цей критерій був розроблений та обґрунтований проф. Веріго М. Ф. [44]. Суть цього критерію полягає в неперевищенні боковими силами, що діють від коліс рухомого складу, допустимого опору підрейкової основи, який забезпечує відсутність залишкових деформацій рейко-шпальної решітки. Допустима бокова сила на підрейкову опору  $Y_n$  по цьому критерію визначається із наступної умови

$$Y_n \leq \alpha P \quad (1.7)$$

де:  $\alpha$  - коефіцієнт запасу, залежить від пружних властивостей підрейкової основи;

$P$  - вертикальне навантаження на підрейкову опору, кН.

Детальна методика розрахунку допустимої бокової дії за цим критерієм дана у [75]. Нормування по цьому критерію можливо двома шляхами: нормування величини бокової сили від коліс рухомого складу на рейку, та допустимих горизонтальних переміщень рейкових елементів та підрейкових опор. Такий підхід до нормування використаний у нині діючих технічних вказівках [39]. Згідно цього затвердженого документу прийняті такі допустимі величини бокових сил та переміщень рейкових елементів та перевідних брусів (табл. 1.6).

Таблиця 1.6

Величини характеристик, що відповідають за стійкість стрілочних переводів залишковим деформаціям у поперечному напрямі

1. Горизонтальні (поперечні) сили, що діють на рейкові елементи в межах стрілочних переводів: - залізобетонні бруси – дерев'яні бруси	кН кН	120 100
2. Горизонтальні переміщення брусів	мм	1,5
3. Горизонтальні переміщення рамних рейок та рейок з'єднувальної частини	мм	4,0

### 1.3.4 Критерії безпеки руху

Критерії забезпечення безпеки руху є головними серед усіх по яким встановлюються допустимі швидкості руху. Проблемі визначення та обґрунтування критеріїв безпеки руху присвячено багато робіт [21, 77, 41]. Але всі розробки по недопущенню вкочення колеса на головку рейки базуються на залежностях типу (1.7)

$$K_{cm} = \frac{\sum P_{cm}}{\sum P_e} \quad (1.8)$$

де:  $\sum P_{cm}$  - сили, що стримують колесо на рейці;

$\sum P_e$  - сили, що сприяють вкоченню колеса на головку рейки.

Перші фундаментальні дослідження в цій сфері належать проф. Веріго М. Ф. В його роботі [44] розроблена та обґрунтована умова стійкості колеса на рейці, яка отримана з розв'язку рівняння рівноваги всіх діючих на колісну пару та колію сил і моментів цих сил.

Перший отриманий експериментальним шляхом коефіцієнт запасу стійкості колеса на рейці був одержаний під керівництвом Лисюка В. С [77]. Для коліс вантажних піввагонів він складає 0,86, а для локомотивів 1,23, зауважимо, що ці значення отримані по зворотній залежності типу (1.8).

Сучасний підхід до нормування показників безпеки руху, крім відношення бокових до вертикальних (чи навпаки), враховує час дії критичних значень цього відношення. Ця обставина обумовлена тим, що колесо вкочується не миттєво а на протязі деякого часу. Результати, які наведені у роботі [41] свідчать, що найменша зафіксована довжина сліду від вкочування колеса на рейку складає 0,6 м.

Діючим на сьогодні нормативним документом [40], встановлено окремо значення коефіцієнту запасу стійкості для локомотивів - 1,4, вантажних - 1,3 та пасажирських вагонів - 1,6.

#### **1.4 Аналіз матеріалів розслідування сходів рухомого складу в межах бокового напрямку стрілочних переводів**

Даний аналіз проводився по результатам роботи [71]. В цій роботі було проаналізовано 78 сходів в кривих ділянках колії радіусом 350 м і менше починаючи з 1994 по всіх залізницях України. Абсолютна більшість сходів фіксується при маневрових роботах в межах станцій. Проаналізуємо розподіл сходів в залежності від радіусу перевідних кривих, що наведений на рис. 1.5

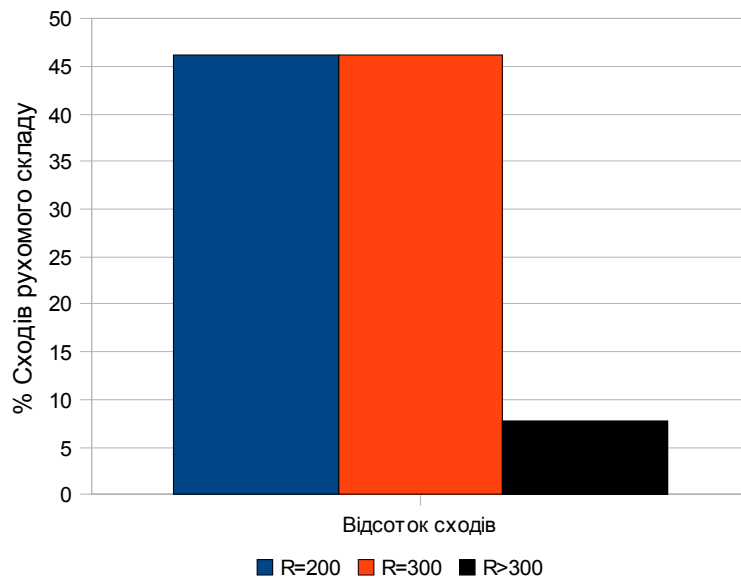


Рис. 1.5. Розподіл сходів в залежності від радіусу перевідної кривої.

Наведені результати (рис. 1.5) свідчать, що для радіусів 200 та 300 м відсоток сходів від загальної кількості однаковий — по 46%, а при радіусах більше 300 м лише 8%.

Перейдемо до розподілу сходів по причинах, що їх викликали за висновками відповідних комісії. Результати наведені на рис. 1.6

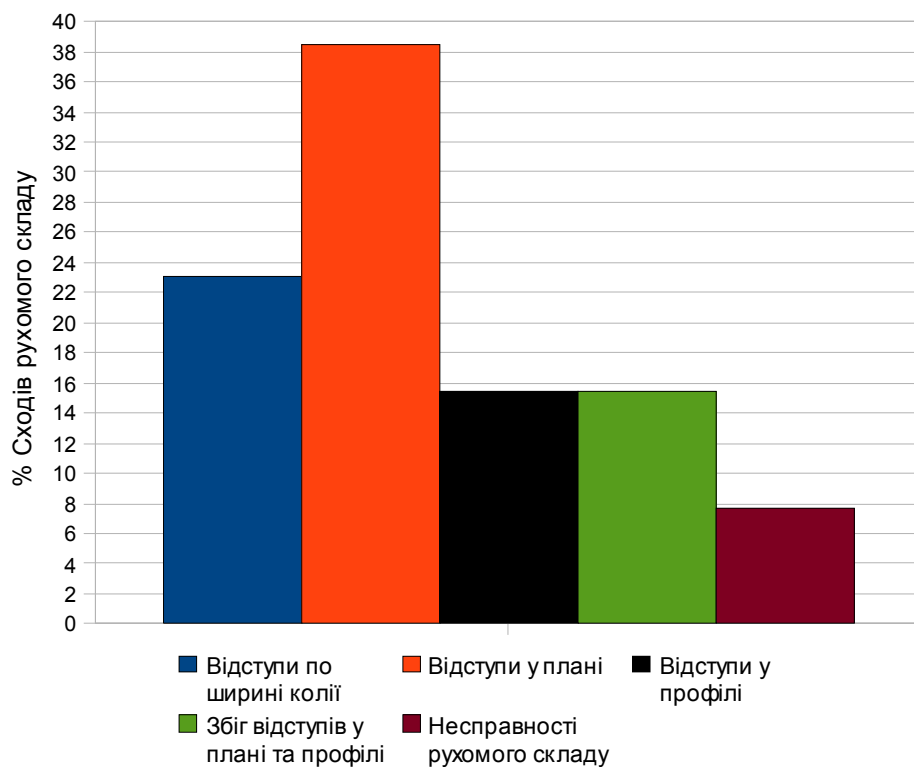


Рис. 1.6. Розподіл сходів в залежності від причин

Розподіл по причинах свідчить, що більшість сходів 61,54 % обумовлена станом бокового напрямку стрілочних переводів по ширині колії та у плані. Кількість сходів обумовлена станом у профілі, а також збігом несправностей у плані та профілі однакова - 15%.

Отже проведений аналіз засвідчив про необхідність проведення першочергового аналізу впливу ширини колії та положення у плані бокового напрямку на безпеку руху.

### **1.5 Висновки до першого розділу**

З наведеного у даному розділі аналізу можна зробити наступні висновки.

1. Проведенні раніше експериментальні дослідження по впливу ширини колії на взаємодію колії та рухомого складу проводились без врахування геометричного стану дослідних переводів у плані та профілі до, під час та після експериментів. У експериментальних дослідженнях по впливу стану у плані стрілочних переводів на безпеку руху використовувався метод стріл для визначення нерівностей колії у плані, хоча цей метод може вносити досить суттєві похибки при визначенні параметрів нерівностей.
2. Розроблені раніше математичні моделі взаємодії екіпажів з стрілочними переводами мали досить суттєвий недолік: геометричний стан у плані стрілочного переводу вводився до моделі кривизною, яка визначалась за допомогою хорди, довжина якої дорівнювала жорсткій базі візка. Ця обставина може вносити суттєві похибки при моделюванні в межах стрілочних переводів, що мають нерівності у плані.
3. В жодному з раніше проведених експлуатаційних досліджень не досліджувався стан бокового напрямку стрілочних переводів на залізобетонних брусах по ширині колії та у плані.

4. Проведений аналіз матеріалів розслідування сходів рухомого складу в межах бокового напрямку стрілочних переводів засвідчив про першочергову необхідність аналізу впливу стану по ширині колії, у плані і профілі на взаємодію та безпеку руху.
5. Практично всі раніше розроблені редакції нормативів утримання стрілочних переводів за шириною колії та за напрямком у плані були розроблені без врахування впливу якісної картини взаємодії на безпеку руху та дію рухомого складу на колію.

Враховуючі наведені висновки, автор даної роботи вбачає своїми завданнями наступні:

- провести експлуатаційні дослідження стану бокового напрямку стрілочних переводів на залізобетонних брусах по ширині колії та за напрямком у плані;
- розробити математичну модель взаємодії колії та рухомого складу в межах стрілочного переводу, яка б дозволяла моделювати геометрію у плані реального окреслення;
- провести динамічний експеримент на стрілочному переводі для обґрунтування використання розробленої математичної моделі у подальших дослідженнях;
- визначити особливості взаємодії колії та рухомого складу в межах стрілочних переводів, які не враховувались в раніше розроблених нормативах утримання;
- з врахуванням виявлених особливостей провести теоретичні дослідження по удосконаленню діючих нормативів утримання стрілочних переводів за шириною колії та у плані;
- розробити практичні рекомендації щодо нормативів утримання бокового напрямку стрілочних переводів;
- виконати розрахунки економічної ефективності розроблених нормативів.

## РОЗДІЛ 2

### ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ШИРИНИ КОЛІЇ І ПОЛОЖЕННЯ У ПЛАНІ ТА ЗА РІВНЕМ БОКОВОГО НАПРЯМКУ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ

#### 2.1 Методика досліджень

Ширина та положення колії у плані є основними геометричними характеристиками залізничної колії, що забезпечують безпеку руху поїздів. Діюча на сьогодні система норм та допусків утримання стрілочних переводів [2] була розроблена за результатами досліджень стрілочних переводів на дерев'яних брусах.

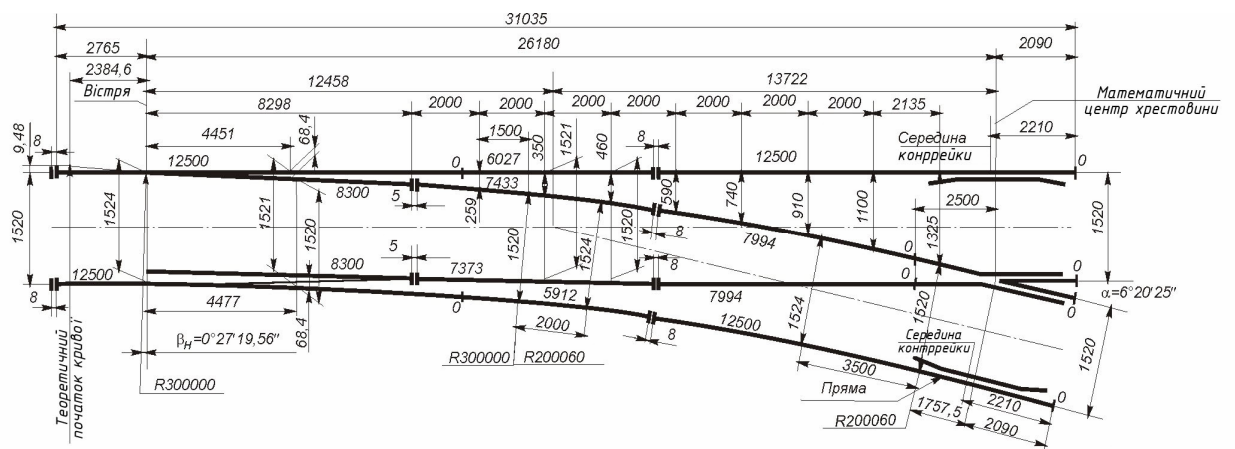
Результати попередніх експлуатаційних досліджень стрілочних переводів на дерев'яних брусах наведено в [33,34,56], прямого напрямку на залізобетонних брусах - в [36]. Дослідження бокового напрямку стрілочних переводів типу Р65 на залізобетонних брусах (55% від загальної кількості) раніше не проводились. Тому було вирішено провести дослідження фактичного стану бокового напрямку стрілочних переводів марки 1/9-1/11 на залізобетонних брусах для:

- 1) аналізу відповідності натурального стану чинним нормативам;
- 2) теоретичних досліджень впливу відступів утримання на показники безпеки руху та дію на колію;

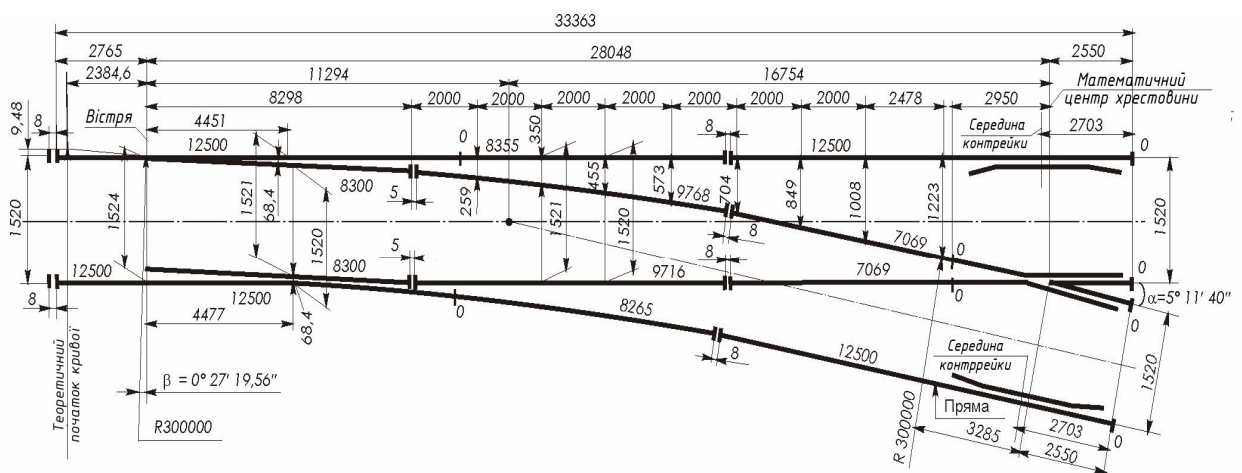
Крім того в експлуатаційних дослідженнях необхідно було виявити стрілочні переводи з максимальними відступами від норм утримання. З практики експлуатації колії загальновідомо, що максимальні відступи від норм утримання спостерігаються на ділянках з великою вантажонапруженістю. Тому для досліджень було обрано стрілочні переводи, які укладені на головних та станційних коліях ділянки Придніпровської

залізниці, яка має вантажнапруженість парної та непарної головних колій 64 та 80 млн. т.бруто/км на рік відповідно. Для всіх стрілочних переводів, які досліджувались, швидкість становила 40 км/год. Навесні 2010 р. для вирішення вище зазначених задач були проведені експлуатаційні дослідження.

Стрілочні переводи марки 1/9-1/11 (рис. 2.1-2.2 відповідно) на залізобетонних брусах мають однакову конструкцію стрілки, що дало можливість проводити обміри по одній методиці.



2.1. Схема геометричних розмірів стрілочного переводу типу Р65 марки 1/9, проекти 2215, М2215, 1160, 2434



2.3. Схема геометричних розмірів стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11, проекти 1740, М1740, У1740, Дн290, Дн 330, 2433

Методика вимірювань включала наступні етапи:

1. розбивка стрілочного переводу від переднього стику рамної рейки до прямої вставки перед хрестовиною з шагом один метр;
2. обмір ширини колії та рівня в отриманих перетинах;
3. вимір ординат в межах перевідної кривої.

Схема розбивки стрілочних переводів обох марок наведена на рис. 2.3

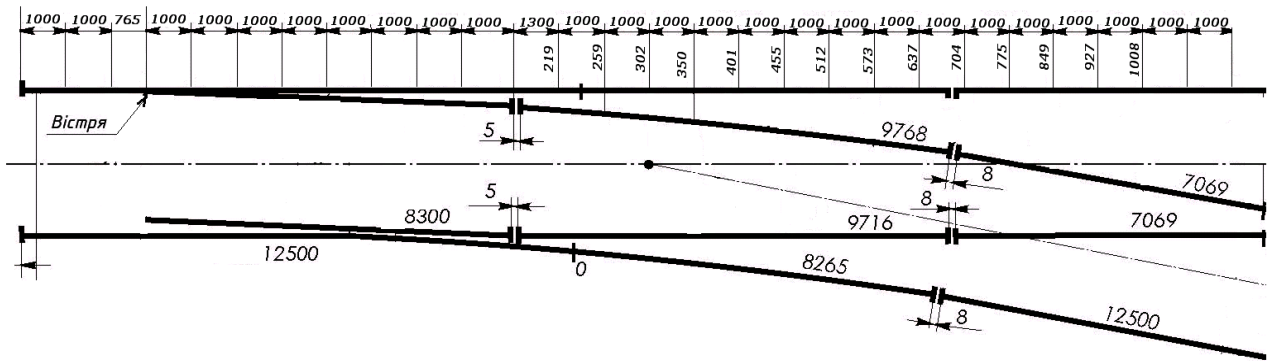


Рис. 2.3 Схема розбивки бокового напрямку стрілочного переводу по перетинах

Головна задача наукового дослідження - отримати надійні висновки про властивості дослідних об'єктів, які повно виражаються лише генеральною сукупністю цих об'єктів. В даному випадку під генеральною сукупністю розуміються всі стрілочні переводи на залізобетонних брусах. За даними Головного управління колійного господарства [38], станом на 1.01.2010 в Україні експлуатується 25708 стрілочних переводів на залізобетонних брусах. За наведеною вище методикою, без врахування втрат на пропуск поїздів, час виміру одного переводу складає приблизно 30 хвилин. Отже для виміру всієї генеральної сукупності стрілочних переводів на залізобетонних брусах необхідно 12854 годин безперервної праці чи 1607 робочих днів тривалістю 8 годин. Тому практично провести такий обсяг експлуатаційних досліджень неможливо. Щоб зменшити обсяг досліджень та розповсюдити результати на всю генеральну сукупність використовують апарат математичної статистики. Методика, що обґрунтовує кількість елементів вибірки наведена в [83]. Суть її полягає в наступному:

- 3) визначення трьох вихідних параметрів: імовірності, допустимої похибки, міра мінливості;
- 4) за методикою визначають достатню величину вибірки;

Для технічних об'єктів допустима імовірність приймається на рівні 0.95, а допустима похибка на рівні 5...10%. Згідно методики, наведеній у [83], обсяг вибірки можливо встановити двома шляхами: за номограмою достатньо великих чисел чи за формулою

$$n \geq \frac{v \cdot x^2}{e^2} \quad (2.1)$$

де:  $v$  – міра мінливості по вибірці;  $e$  - допустима похибка;  $x$  – розрахунковий параметр.

Міра мінливості визначається за формулою

$$v = \frac{s}{\bar{X}} \quad (2.2)$$

де:  $s$  – середнє квадратичне відхилення по вибірці;  $\bar{X}$  - середнє по вибірці.

Дослідження достатньої величини вибірки експлуатаційних досліджень стрілочних переводів виконувались окремо по ширині колії та ординатах перевідної кривої для марок 1/9 та 1/11. Результати досліджень згідно наведеної вище методики представлені в табл.2.1.

Таблиця 2.1

**Обсяг експлуатаційних досліджень.**

Марка стрілочного переводу	Мінімально необхідна кількість вимірів по		Кількість проведених вимірів
	ширині колії	ординатам	
1/11	20	28	29
1/9	22	21	24

Отже можемо зробити висновок, що виконаний обсяг експлуатаційних досліджень є достатній для розповсюдження результатів досліджень на всю генеральну сукупність стрілочних переводів на залізобетонних брусах, що працюють в схожих експлуатаційних умовах з стрілочними переводами, що досліджувались. Крім того зауважимо, що наведена вище методика на протязі

більше 30 років використовується колієвипробувальної науково - дослідною лабораторією ДПТУ для обробки результатів експериментальних досліджень по впливу рухомого складу на колію [84].

Кожний закон розподілу має свої особливості визначення середнього значення та середньоквадратичного відхилення [78,80]. Тому перед подальшою обробкою результатів експлуатаційних досліджень необхідно визначити по якому закону розподіляються ширина колії та ординати в кожному перетині по довжині бокового напрямку стрілочного переводу. З попередніх досліджень [34, 16] відомо, що в усіх випадках результати експлуатаційних досліджень у кожному перетині розподілені по нормальному закону. В наших дослідженнях ми теж приймаємо гіпотезу: ширина колії та ординати в кожному перетині розподілені по нормальному закону. Для перевірки цієї гіпотези будемо використовувати методику колієвипробувальної науково-дослідної лабораторії ДПТУ для обробки результатів експериментальних досліджень по впливу рухомого складу на колію [84]. Суть цієї методики полягає в визначенні міри крутості - ексцесу та міри косості - асиметрії нормального розподілення та порівняння з еталонними значеннями. Порядок дослідження наступний: визначаємо асиметрію  $A$  та ексцес  $E$

$$A = \frac{1}{ns^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 \quad (2.3)$$

$$E = \frac{1}{ns^4} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 - 3 \quad (2.4)$$

де:  $n$  – кількість елементів вибірки ;  $X_i$  -і-тий елемент вибірки. Визначаємо дисперсії асиметрії та ексцесу

$$D(A) = \frac{6(n-1)}{(n+1) \cdot (n+3)} \quad (2.5)$$

$$D(E) = \frac{24n \cdot (n-2) \cdot (n-3)}{(n+1)^2 \cdot (n+3) \cdot (n+5)} \quad (2.6)$$

Виконуємо порівняння асиметрії та ексцесу з критеріями узгодження нормального розподілення

$$[A] \leq 3\sqrt{D(A)} \quad (2.7)$$

$$[E] \leq 5\sqrt{D(E)} \quad (2.8)$$

У випадку коли умови (2.7) та (2.8) виконується закон розподілення ширини колії та ординат перевідної кривої у перетинах, в яких виконувались вимірювання, є нормальним. На рис. 2.4-2.7 наведені результати розрахунку асиметрії та ексцесу ординат перевідної кривої та ширини колії для стрілочних переводів марки 1/11 та 1/9 відповідно. Червоним кольором позначені допустимі значення відхилень асиметрії та ексцесу для нормального закону розподілу згідно залежностей (2.8-2.9).

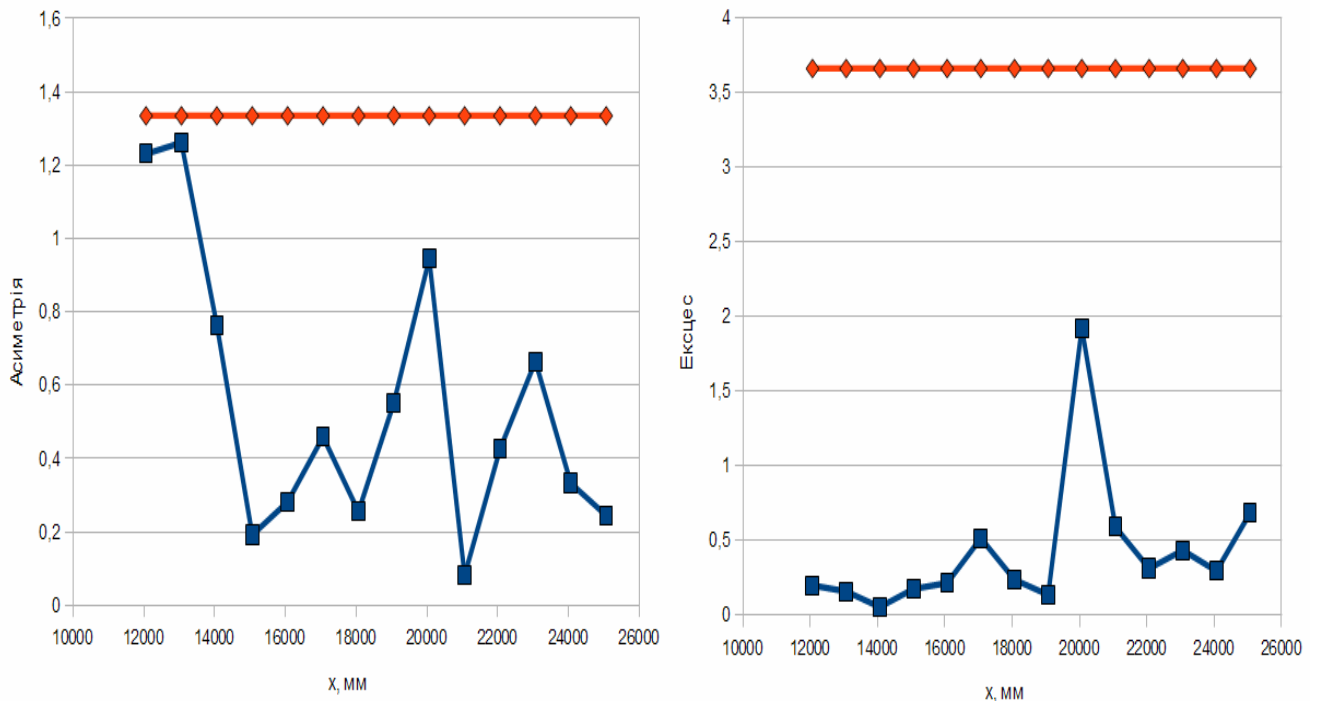


Рис.2.4 Асиметрія та ексцес ординат перевідної кривої для марки 1/11

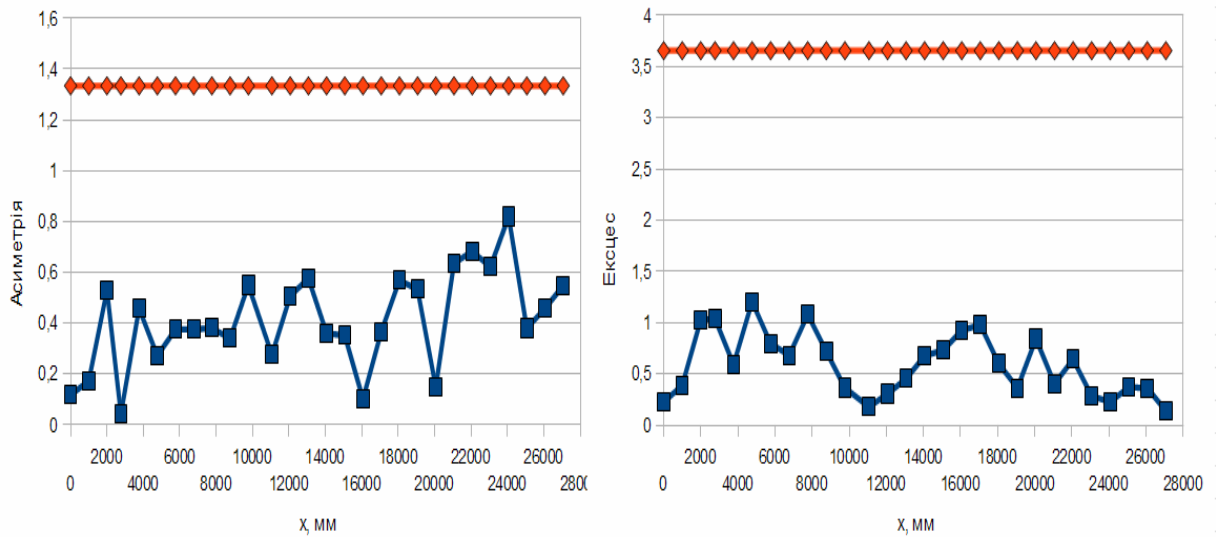


Рис.2.5 Асиметрія ширини колії для марки 1/11

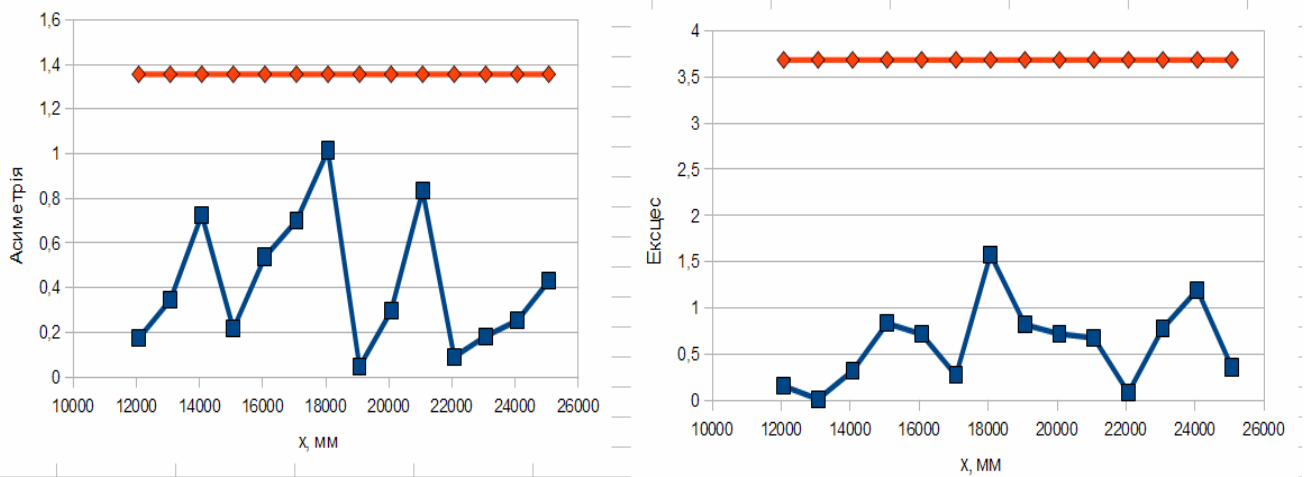


Рис.2.6 Асиметрія та ексцес ординат перевідної кривої для марки 1/9

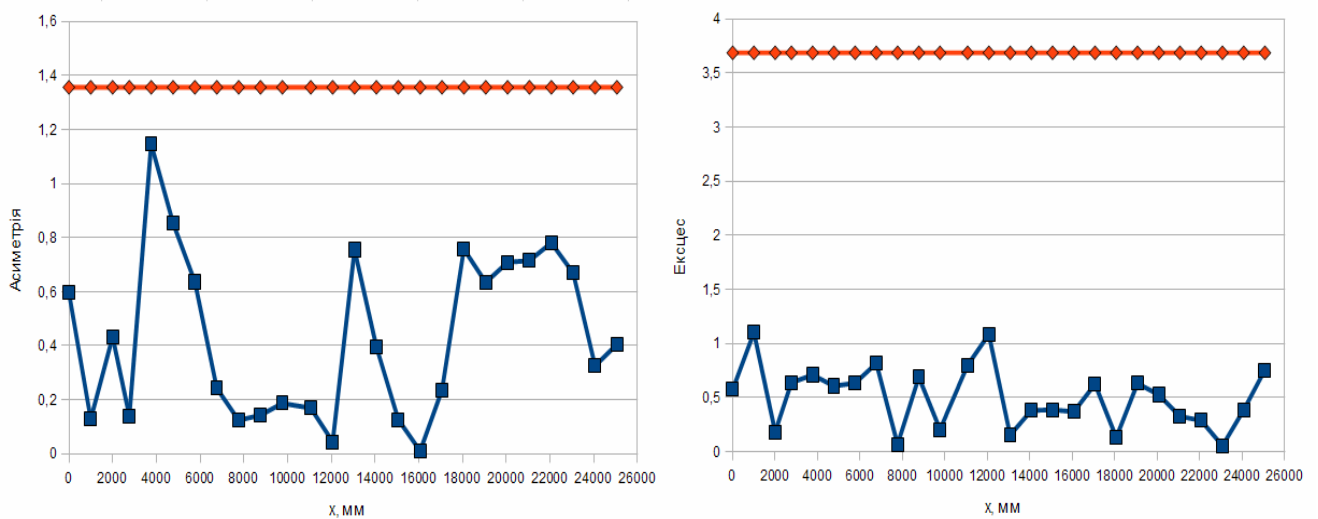


Рис.2.7 Асиметрія та ексцес ширини колії для марки 1/9

Наведені на рис. 2.4-2.7 свідчать, що в усіх перетинах умови (2.7-2.8) виконуються. Тому можна стверджувати, що ширина колії та ординати

перевідної кривої в межах бокового напрямку стрілочних переводів у кожному перетині, що досліджувався, розподілені по нормальному закону. При нормальному законі розподілу формули для визначення середнього значення та середньоквадратичного відхилення по вибірці мають вигляд

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2.9)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2.10)$$

## 2.2 Результати досліджень

### 2.2.1 Стан бокового напрямку за шириною колії

Розглянемо результати досліджень, що стосуються ширини колії. Повністю всі результати наведені в додатку А, а в цьому пункті наведені лише основні результати. Враховуючі результати попередніх досліджень [92,94-95] в межах бокового напрямку стрілочного переводу було виділено 3 характерні ділянки:

- 2 від переднього стику рамної рейки (далі ПСРР) до вістря вістряка (далі ВВ);
- 3 стрілка;
- 4 перевідна крива (далі ПК).

В таблиці 2.1 представлено чисельні значення ширини для кожної ділянки бокового напрямку.

**Ширина колії в межах бокового напрямку стрілочних переводів, що досліджувались, мм**

Ділянка стрілочного переводу	Марка 1/11			Марка 1/9		
	мін.	макс.	сер. знач.	мін.	макс.	сер. знач.
ПСРР-ВВ	1520	1538	1530	1524	1544	1532
Стрілка	1520	1547	1536	1515	1547	1536
Перевідна крива	1520	1546	1533	1523	1547	1537

Для розрахунків максимально імовірних значень був обраний загальноприйнятий для статистичних досліджень в колійному господарстві рівень значимості  $p=0,994$ , якому відповідає наступна формула для визначення максимально імовірного значення по вибірці

$$X_{\max}^{im} = \bar{X} + 2,5S \quad (2.11)$$

Шаг вимірювань 1м надав можливість проаналізувати не тільки чисельні значення, а і якісний характер зміни ширини колії по боковому напрямку. Статистичні характеристики ширини колії по довжині бокового напрямку стрілочних переводів марки 1/11-1/9 представлені на рис. 2.8-2.9 відповідно.

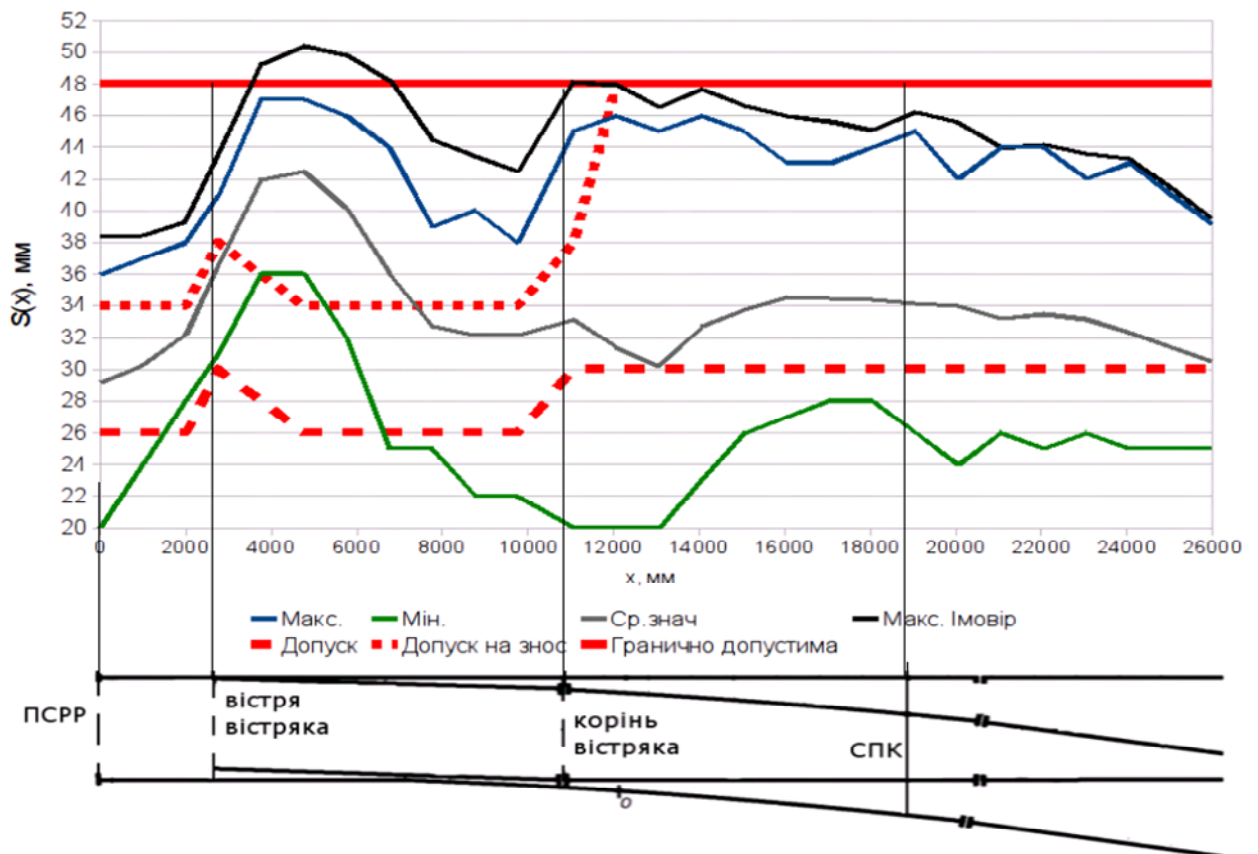


Рис. 2.8. Ширина колії по боковому напрямку стрілочного переводу марки 1/11

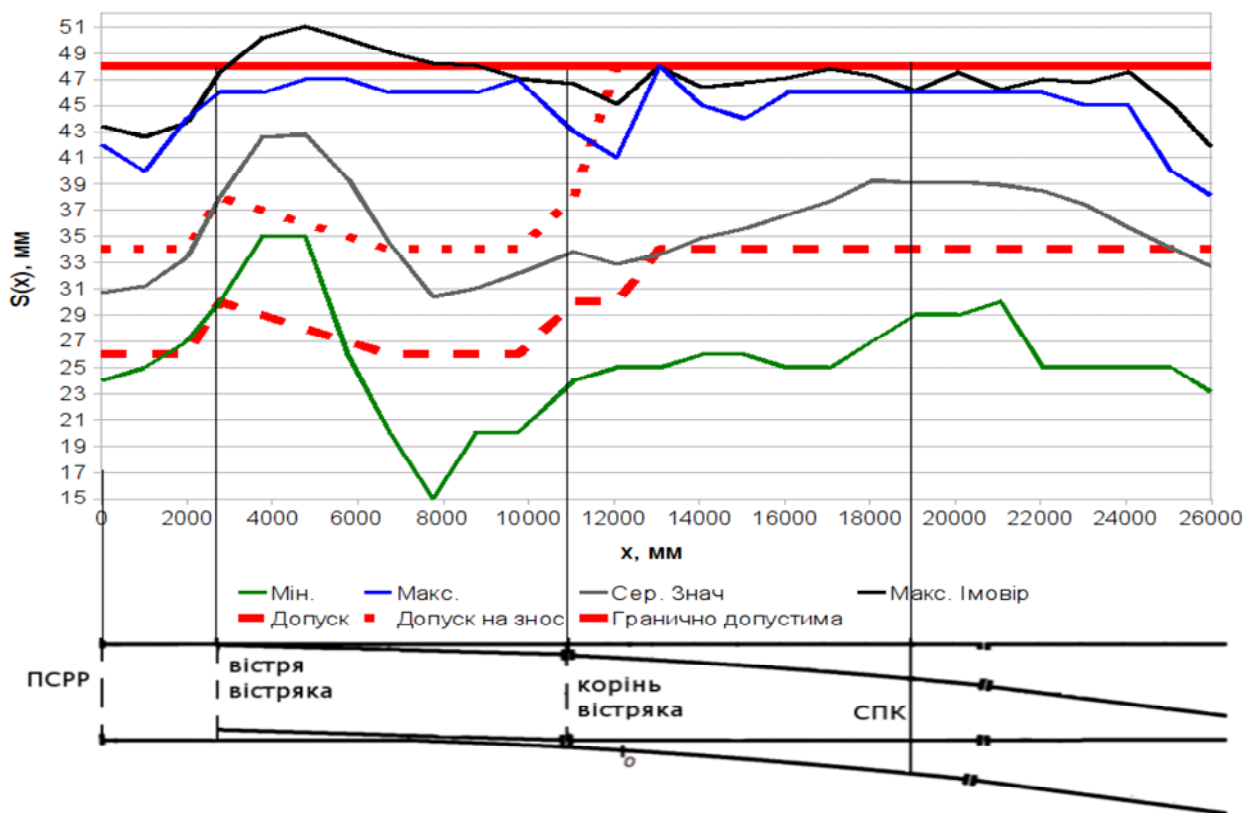


Рис. 2.9. Ширина колії по боковому напрямку стрілочного переводу марки 1/9

Результати, що представлені на рис. 2.8-2.9, свідчать про значні відступи від допусків утримання по всій довжині бокового напрямку стрілочних переводів. Навіть по середнім та мінімальним значенням присутні відступи від допусків. На наш погляд таке положення по ширині колії бокового напрямку обумовлене одночасною дією багатьох факторів, основними з яких є: підвищена дія бокових сил на рейкові елементи в порівнянні з іншими зонами стрілочного переводу; недосконала конструкція рейкових скріплень; недотримання допусків при виготовленні елементів ВБК; нестача робочої сили (роботи по регулюванню ширини колії виконуються повністю вручну). Окрему увагу слід приділити зоні набігання на вістряк. В цій зоні стрілочних переводів максимальні імовірні значення ширини колії перевищують 1548 мм, тобто виникає імовірність прямої загрози безпеці руху. На нашу думку причина таких відступів - це одночасний збіг двох факторів: велике бокове навантаження при вході рухомого складу на бокову колію та слабкий опір конструкції вузла вістряк-рамна рейка та вузла скріплення КБ залишковим деформаціям від цього навантаження (рис. 2.10).

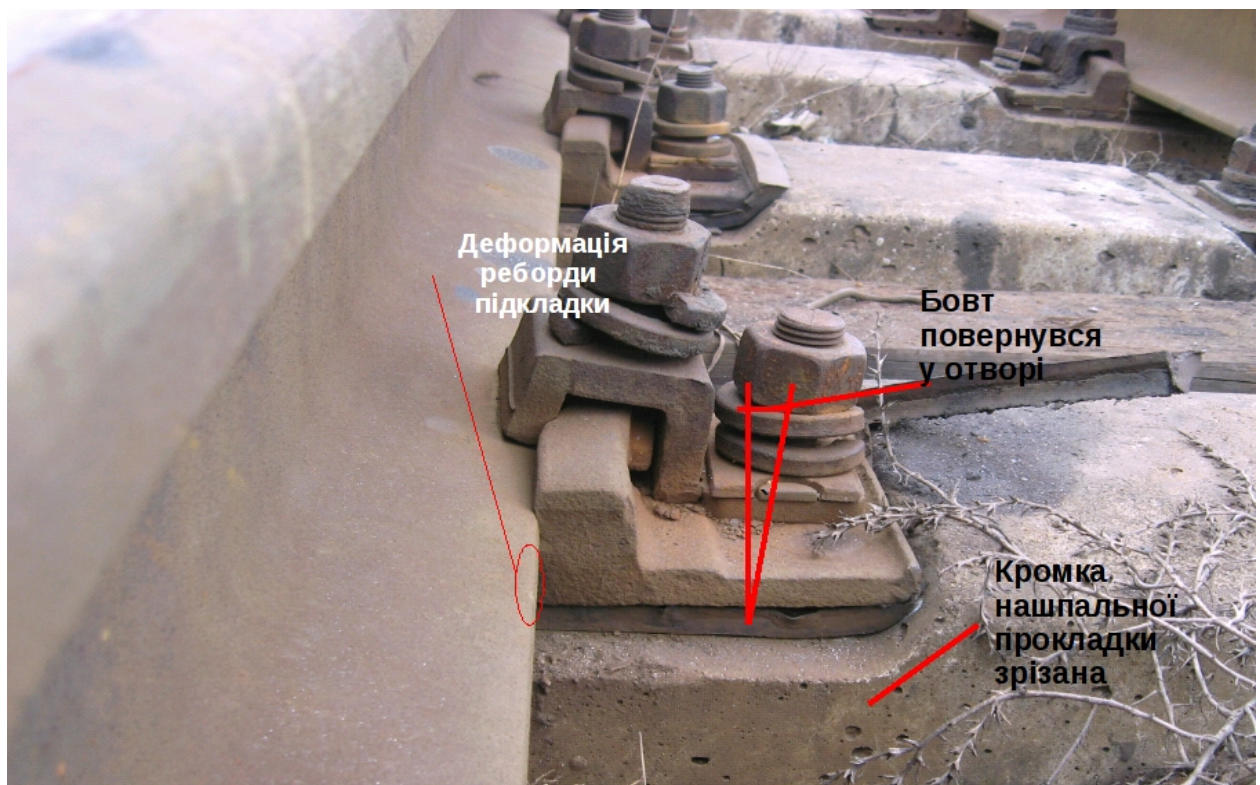


Рис. 2.10. Стан скріплення КБ при його експлуатації в межах бокового напрямку стрілочних переводів.

Тому ми вважаємо за доцільне конструктивне посилення вузла вістряк-рамна рейка та проміжного скріплення КБ, що надасть змогу зменшити величину залишкових деформацій по ширині колії.

### 2.2.2 Стан бокового напрямку у плані

Перейдемо до результатів досліджень, що стосуються положення у плані - ординат перевідної кривої. На рис. 2.11-2.12 показані мінімальні, середні, та максимально імовірні відступи ординат перевідної кривої для марки 1/11 та 1/9 відповідно.

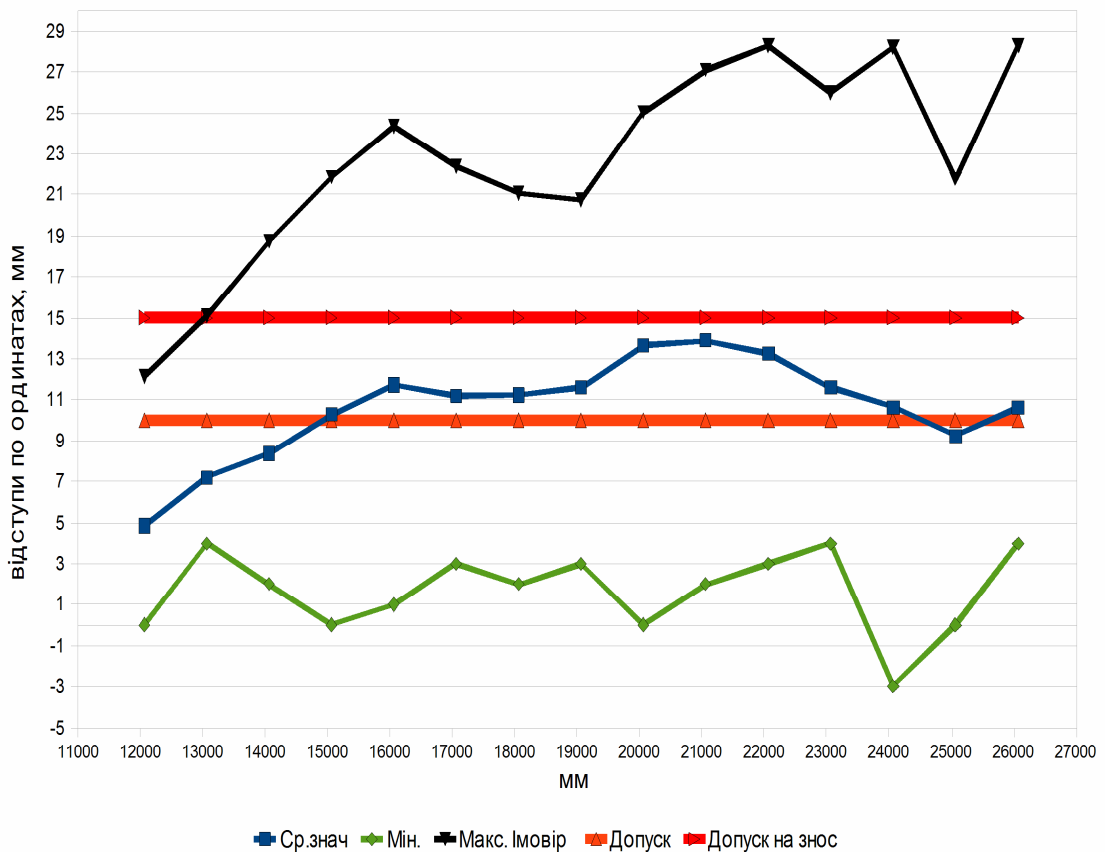


Рис. 2.11 Відступ ординат перевідної кривої стрілочного переводу марки 1/11

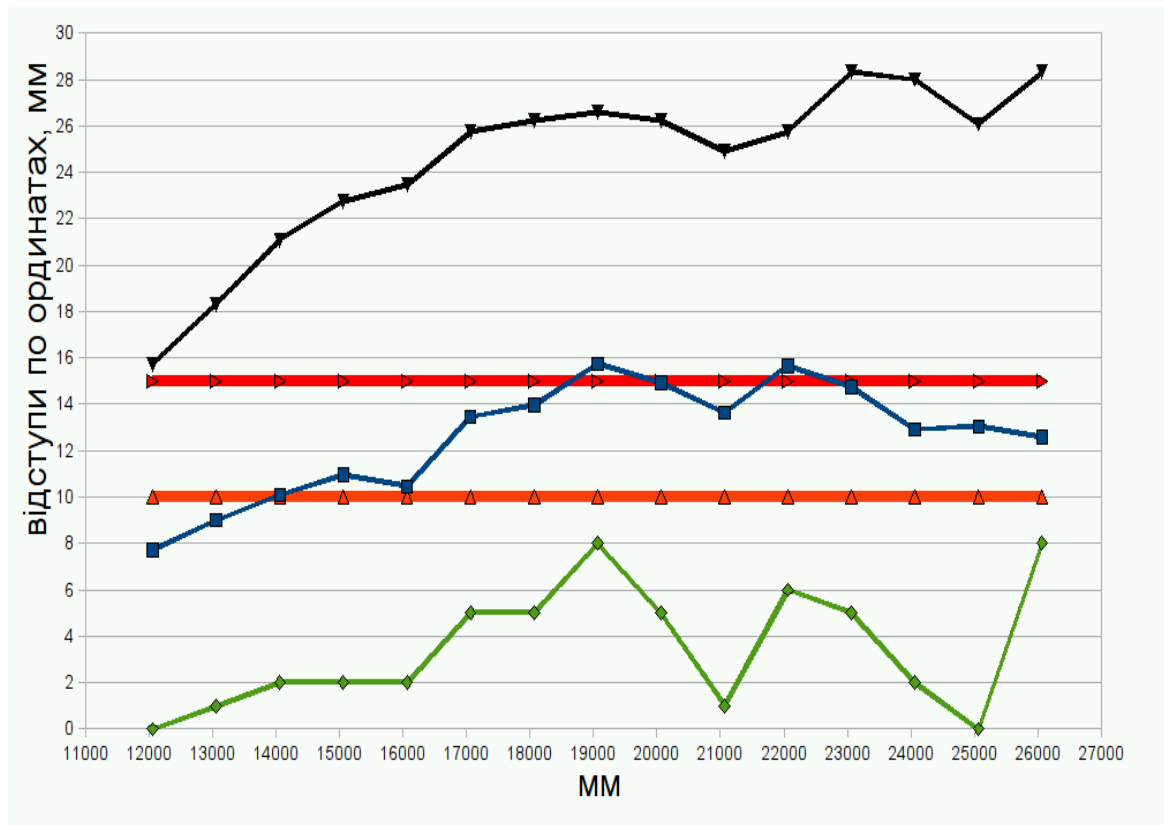


Рис. 2.12 Відступ ординат перевідної кривої стрілочного переводу марки 1/9

Результати досліджень ординат представлені на рис. 2.11-2.12 свідчать про значні відступи від проектного положення перевідної кривої. На наш погляд причини таких відступів, ті ж самі, що і для ширини колії. Практично у всіх випадках відступи направлені на зовні перевідної кривої. Динаміка зміни середніх значень цього показника по довжині перевідної кривої практично однакова для обох марок. Плавність положення у плані, згідно діючих нормативних документів [2], контролюється різницею відступів у суміжних ординатах. Проаналізуємо результати по цьому показнику. На рис. 2.13-2.14 показані мінімальні, середні, максимально імовірні різниці відступів у суміжних ординатах перевідної кривої для марки 1/11 та 1/9 відповідно.

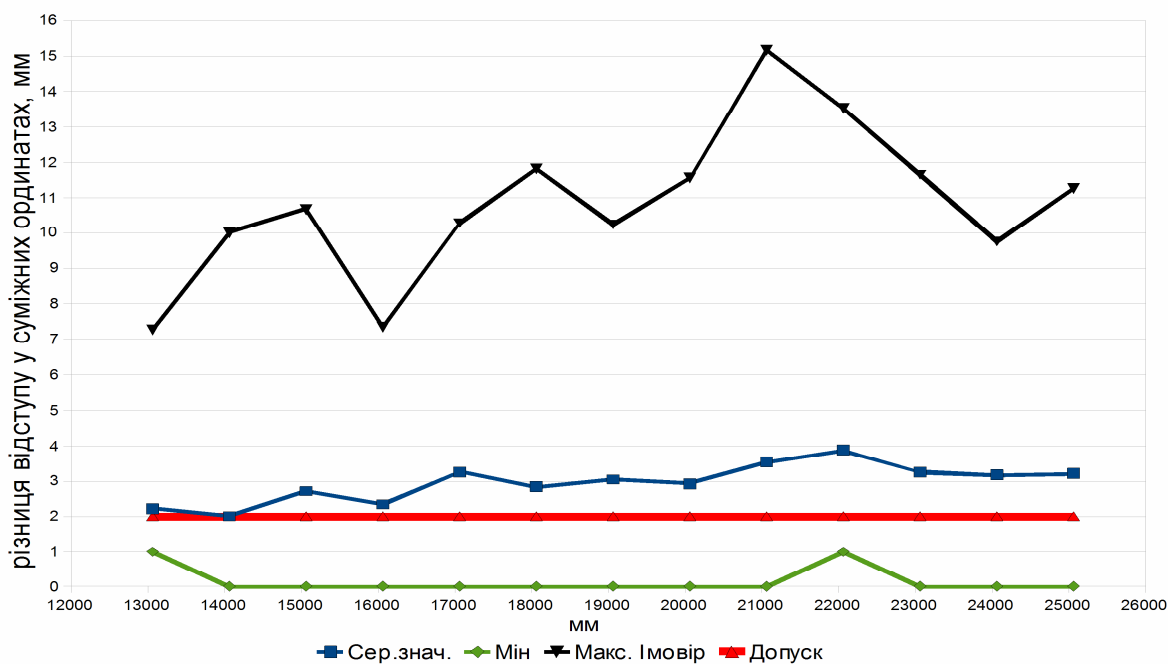


Рис. 2.13 Різниця відступу у суміжних ординатах перевідної кривої стрілочного переводу марки 1/9

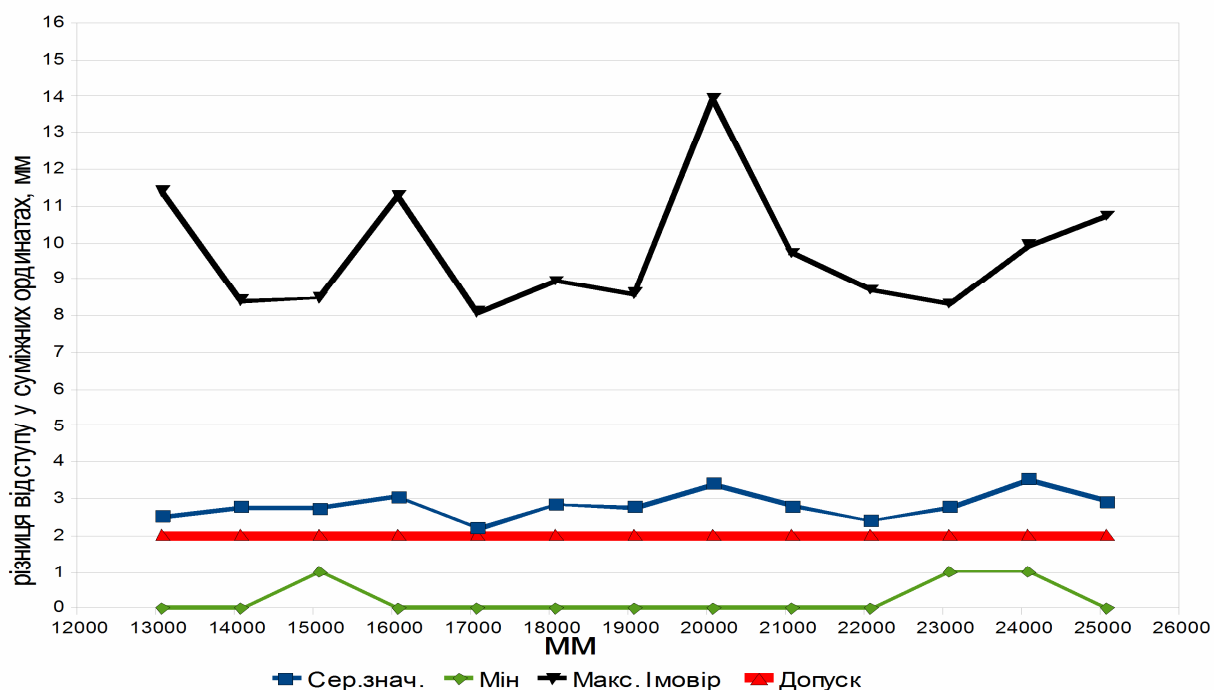


Рис. 2.14 Різниця відступу у суміжних ординатах перевідної кривої стрілочного переводу марки 1/11

Представлені на рис. 2.13-14 результати свідчать про незначні відступи (1-1.5 мм) по середнім значенням від встановлених допусків - 2 мм, але по максимальним імовірним присутні значні відступи: 14-15 мм. Також

слід зауважити, що динаміка зміни цього показника по довжині перевідної кривої практично однакова для обох марок.

Крім показників, що характеризують амплітуду нерівності у плані в межах перевідної кривої (відступ за ординатами та різниця відступів у суміжних ординатах) окремої уваги заслуговує аналіз форми та довжини нерівності. Тому що вплив нерівності на взаємодію колії та рухомого складу залежить саме від сукупності цих характеристик нерівності: амплітуда, довжина, форма. По результатах натурних вимірів були виділені характерні нерівності у плані в межах перевідної кривої. Форма та розміри нерівностей наведені на рисунку 2.15.

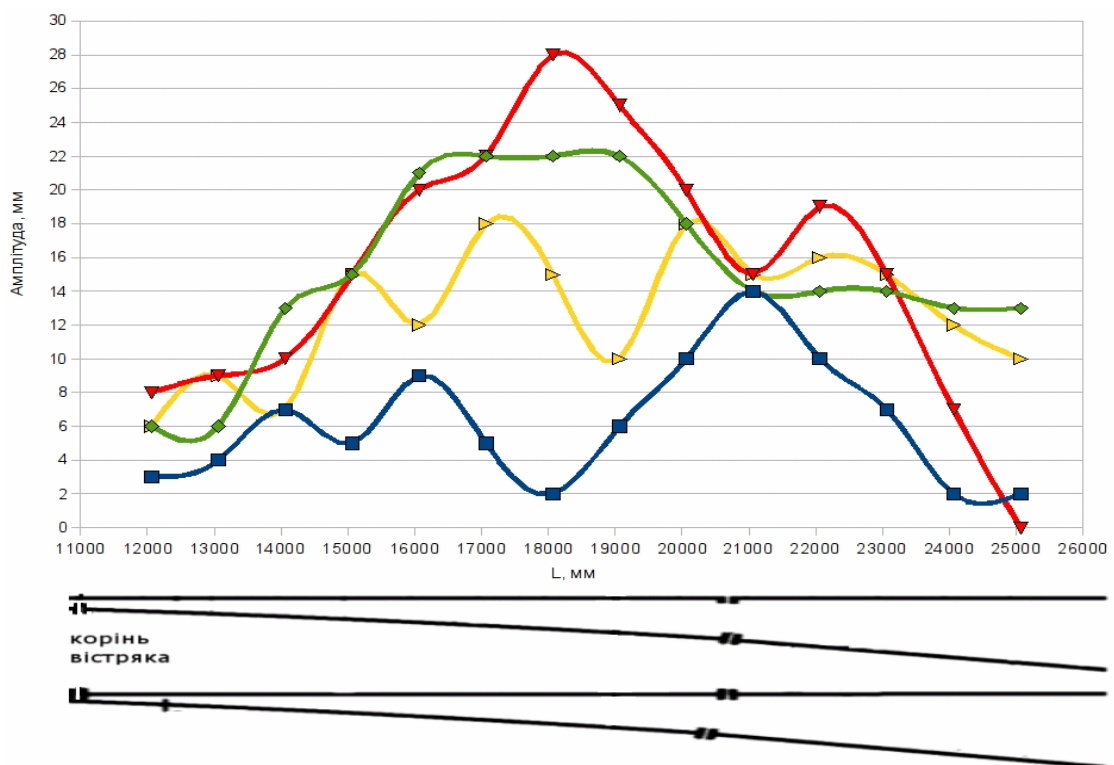


Рис. 2.15 Характерні нерівності у плані в межах перевідної кривої

Нерівності у плані в межах перевідної кривої найчастіше мають складну форму, але в деяких випадках зустрічаються нерівності, які добре апроксимуються звичайною синусоїдою. Довжина нерівностей у плані найчастіше складає не менше 10 м, але іноді фіксувались нерівності довжиною 6 м.

### 2.2.3 Стан бокового напрямку за рівнем

Результати експериментальних досліджень [19] засвідчили про значний вплив стану стрілочного переводу за рівнем на показники безпеки руху в межах бокового напрямку стрілочних переводів. Крім того при проведенні нами експлуатаційних досліджень було встановлено, що в межах кожного стрілочного переводу є нерівності за рівнем. Тому було вирішено дослідити крім ширини колії та плану, ще й стан бокового напрямку за рівнем. На рис. 2.16 показані мінімальні, середні, максимальні фактичні, максимально імовірні відступи по рівню бокового напрямку стрілочних переводів, що досліджувались.

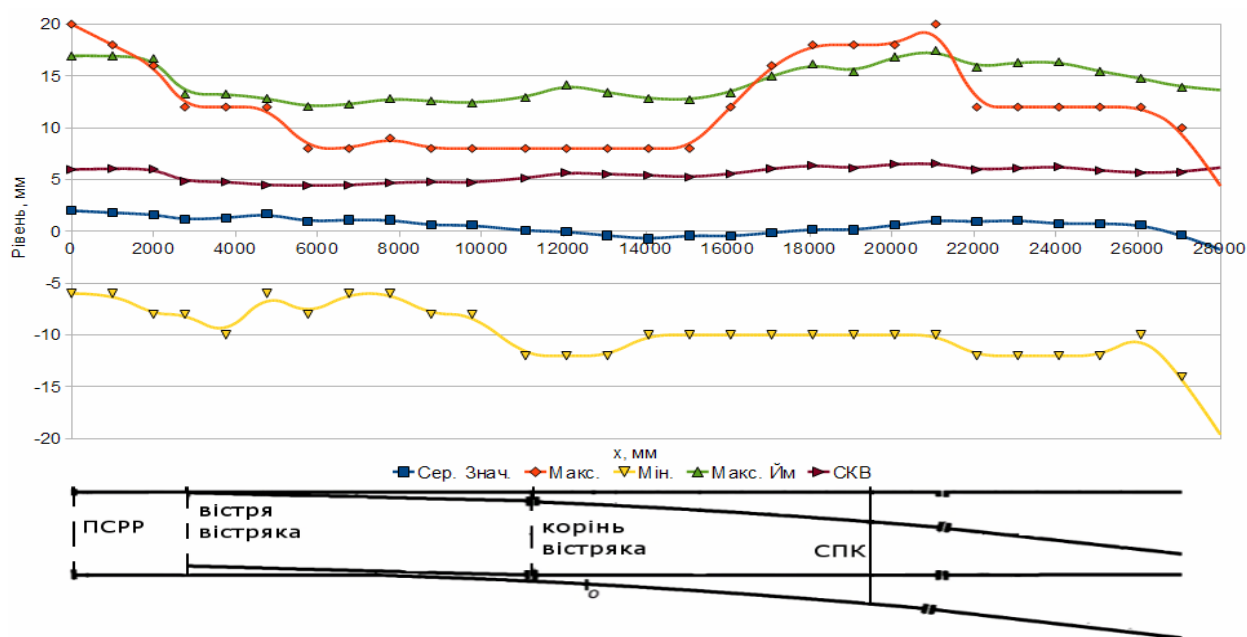


Рис. 2.16 Стан бокового напрямку за рівнем.

Представлені на рис. 2.16 результати свідчать про присутність значних відступів за рівнем від прямолінійного положення. Середні значення по вибірці коливаються біля прямолінійного положення. СКВ значно перевищують середні значення, що свідчить про значний вплив випадкових факторів. Випадковим фактором у даному випадку є процес укладання стрілочного переводу на щебеневий баласт, а також стан цієї основи. Ця обставина дає змогу зробити висновок: положення за рівнем бокового

напрямку стрілочних переводів перш за всього залежить від якості укладки цих переводів. Зауважимо, що найбільші відхилення за рівнем спостерігались у стиках (див. рис. 2.16). У більшості випадків відхилення більші 15 мм були обумовлені руйнуванням брусів у стику від дії імпульсного динамічного навантаження, приклад такого руйнування представлений на рис. 2.17



Рис. 2.17 Руйнування залізобетонного бруса у стику.

#### **2.2.4 Взаємозв'язок між відступами по ширині колії та ординатами перевідної кривої**

Виміри ширини колії та ординат перевідної кривої в одному і тому ж перетині дали змогу проаналізувати зв'язок між цими показниками. В межах перевідної кривої, якщо ширина колії формується за рахунок зовнішньої нитки, то відступ по ширині колії повинен мати тісний кореляційний зв'язок з відступом по ординатам і навпаки, коли ширина колії формується за рахунок

внутрішньої нитки то коефіцієнт кореляції повинен характеризуватись як несуттєвий.

Першочерговою задачею при виконанні кореляційного аналізу є встановлення ступеня значимості коефіцієнту кореляції для даного обсягу вибірки. Згідно [30] цей етап доцільно проводити за допомогою номограми найменших значень коефіцієнтів кореляції, яка показана на рис 2.18. Номограма поділена на 3 зони значимості коефіцієнту кореляції: А – не значимий; В – значимий; С – дуже значимий. Залежно від кількості вимірювань та величини коефіцієнту кореляції визначається ступінь значимості коефіцієнту кореляції.

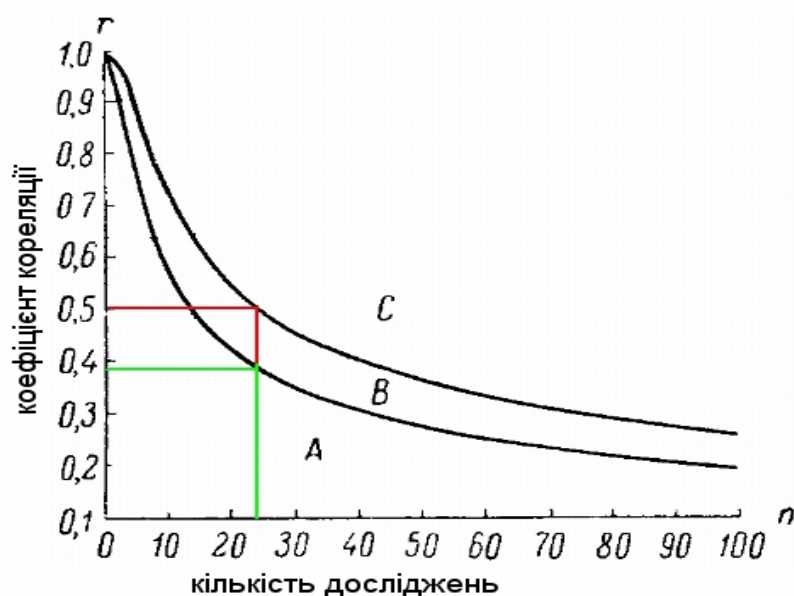


Рис. 2.18 Номограма значимості коефіцієнта кореляції.

В наших дослідженнях найменша величина вибірки складає 24 стрілочних перевода. Згідно номограми (рис. 2.18) не значимим є коефіцієнт кореляції до 0,38, значимим 0,38 – 0,5, дуже значимим більше 0,5.

На рис. 2.19 показаний відсотковий розподіл значимості коефіцієнтів кореляції між відступами за шириною колії та ординатами по вибірках для стрілочних переводів марки 1/9 та 1/11 відповідно

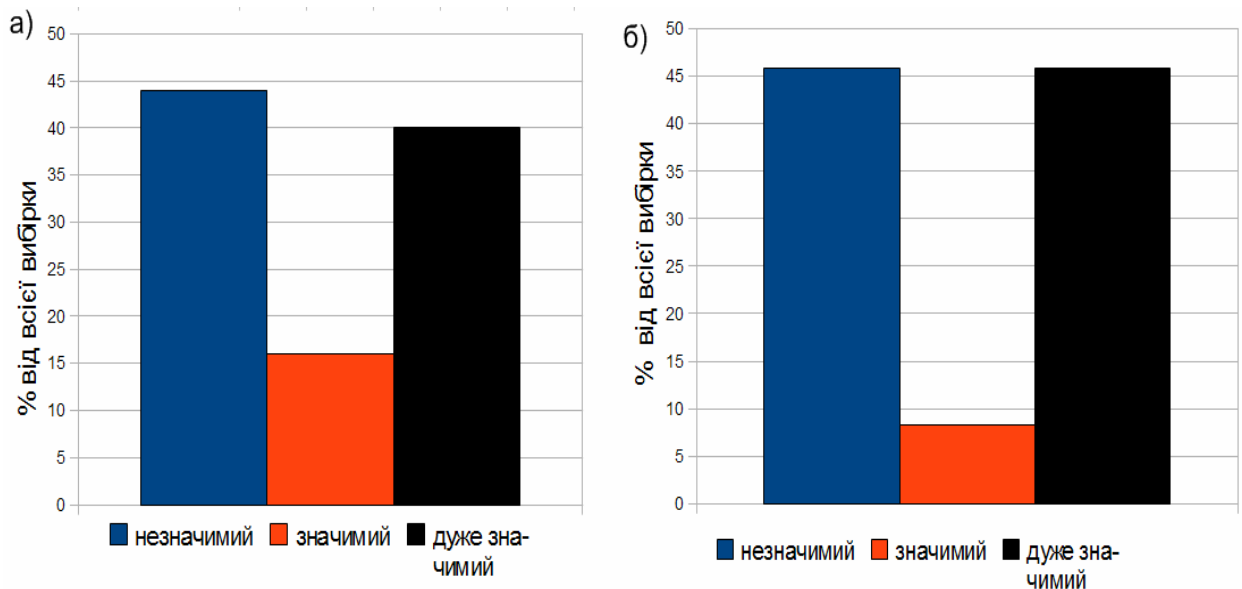


Рис. 2.19 Розподіл значимості кореляції стрілочних переводів: а) – 1/11; б) – 1/9.

Наведені на рис. 2.19 результати свідчать, що для обох марок стрілочних переводів кількість стрілочних переводів у яких лінійний зв'язок між відступами за шаблоном та ординатами характеризується, як дуже значимий і складає 40-46%. Цей факт свідчить про існування зв'язку між відступами по ширині колії та ординатами перевідної кривої. Отже в подальших дослідженнях необхідно враховувати цей зв'язок при аналізі впливу відступів по ширині колії та у плані на безпеку руху та дію рухомого складу на колію в межах бокового напрямку стрілочних переводів.

### 2.3 Аналіз результатів досліджень.

Нормативи утримання стрілочних переводів повинні відповідати діючим умовам експлуатації, існуючому рівню механізації колійних робіт, а також фактичній чисельності штату робітників, які безпосередньо виконують їх поточне утримання при безумовному забезпеченні безпеки руху. Тобто забезпечувати максимальний економічний ефект при експлуатації стрілочних переводів при забезпеченні безпеки.

Одним із способів перевірки відповідності діючих нормативів утримання стрілочних переводів вказаним вимогам є порівняння їх фактичного стану з допустимим по діючим нормативам. Для діючих нормативів утримання стрілочних переводів [2] допустимим станом є допуски їх утримання.

### 2.3.1 Відповідність натурального стану стрілочних переводів чинним нормативам по ширині колії.

Перевіримо відповідність натурального стану стрілочних переводів на відповідність діючим допускам утримання [2] за шириною колії. Для цього результати експлуатаційних досліджень були оброблені наступним чином. Для кожного перетину був розрахований процент перевищення встановлених нормативів утримання від всієї вибірки. Результати показані на рис. 2.20

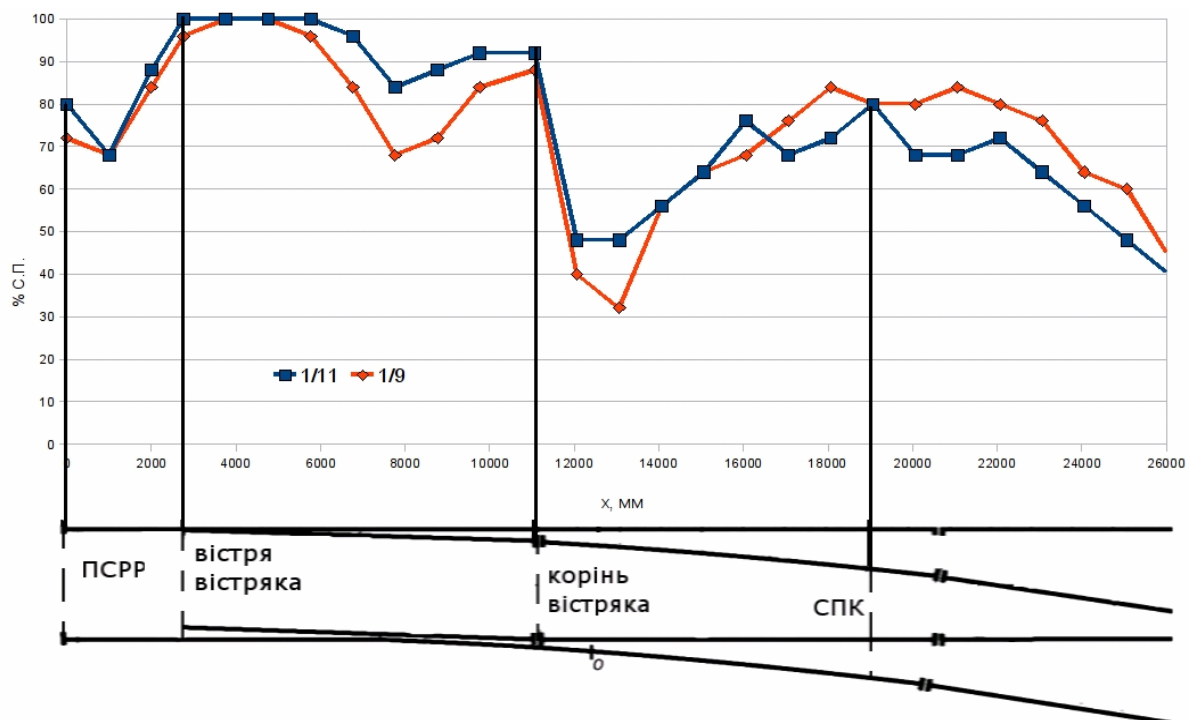


Рис.2.20. Відсоток стрілочних переводів, що мають відступи від допусків утримання за шириною колії.

Результати (рис. 2.20) дають право стверджувати: найбільший відсоток відступів мають стрілочні переводи в межах двох ділянок - зона стрілки та перевідна крива, найменший відсоток в зоні 2м від кореню вістряка.

Отримані результати вказують на невідповідність діючих допусків утримання умовам експлуатації стрілочних переводів. Розроблена методика досліджень також надала змогу проаналізувати діючу методику контролю ширин колії по перетинах. За результатами цього етапу досліджень можливо стверджувати, що діюча методика [2] є недостатньою для виявлення всіх відступів від допусків утримання по довжині бокового напрямку стрілочного переводу.

### 2.3.2 Відповідність натурального стану стрілочних переводів діючим нормативам по ординатам перевідної кривої.

Перевіримо відповідність натурального стану стрілочних переводів на відповідність чинним допускам утримання [2] (допускається різниця відступу у суміжних ординатах  $\pm 2\text{мм}$ ) по ординатах перевідної кривої. Методика досліджень таж сама, що і для ширини колії. Результати показані на рис. 2.21

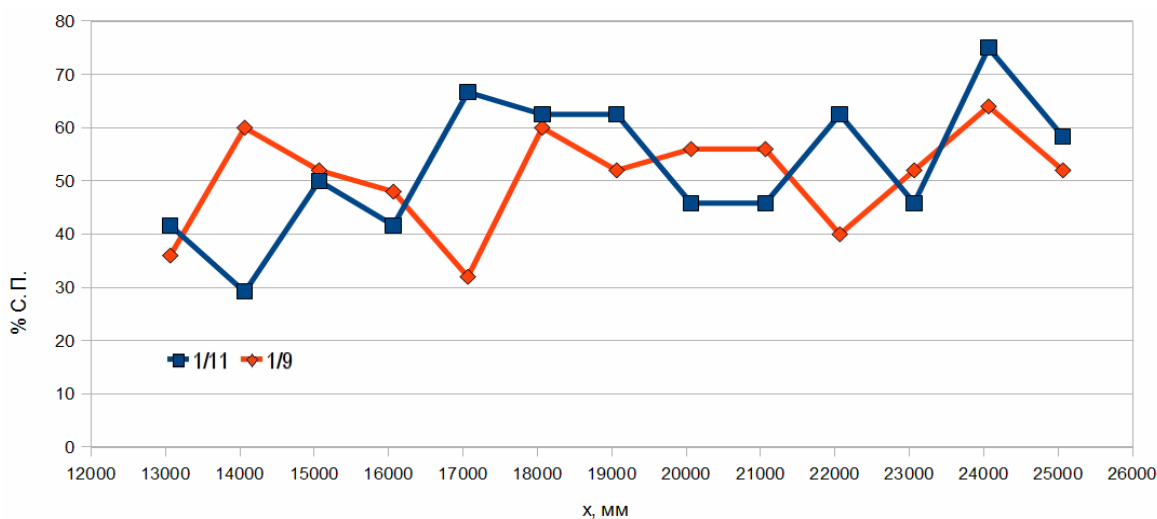


Рис.2.21. Відсоток стрілочних переводів, що мають відступи від допусків утримання у плані

Отримані результати (рис. 2.21) не дозволяють виявити характерні ділянки у стрілочних переводах по нормативу різниці відступів у суміжних ординатах. Ці результати, як і у випадку з шириною колії, вказують на невідповідність умов експлуатації чинним нормативам, щодо умов експлуатації бокового напрямку стрілочних переводів.

## 2.4 Висновки по розділу.

За результатами, викладеними у даному розділі, можливо зробити наступні висновки.

1. Розроблена методика проведення експлуатаційних досліджень дозволяє проводити детальний аналіз зміни ширини колії та ординат перевідної кривої по довжині бокового напрямку.
2. Проведений статистичний аналіз засвідчив, що обсяг натурних досліджень є достатнім для надання висновків для всієї генеральної сукупності стрілочних переводів на залізобетонних брусах, типу Р65.
3. Статистичні дослідження по визначенню закону розподілу ширини колії та ординат перевідної кривої показали, що в кожному перетині ці показники розподілені по нормальному закону.
4. Стрілочні переводи утримуються зі значними відступами від допусків утримання по ширині колії та ординатам перевідної кривої. Максимальні ймовірні відступи по ширині колії досягають 1550 мм і більше, а по різниці відступу у суміжних ординатах 14 мм.
5. В межах кожного стрілочного переводу одночасно присутні відступи по ширині колії, у профілі та плані.
6. Отримані результати вказують на невідповідність чинних допусків утримання колії бокового напрямку стрілочних переводів умовам експлуатації.

## РОЗДІЛ 3

### МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ КОЛІЇ ТА ЕКІПАЖУ В МЕЖАХ СТРІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ

#### 3.1 Розробка математичної моделі взаємодії колії та екіпажу в межах стрілочного перевалу.

Аналіз опублікованих результатів досліджень в області взаємодії колії та рухомого складу показує, що на перших етапах розвитку математичного моделювання в цій галузі переважно досліджувались не просторові, а плоскі коливання екіпажів в вертикальній, поздовжній та горизонтальній площині [7, 11].

Перші фундаментальні дослідження теорії коливань рухомого складу були проведені В. А. Лазаряном та його учнями. Ними були розроблені системи диференціальних рівнянь руху вагонів по інерційній колії. В цих дослідженнях підрейкова основа відповідала гіпотезі В. З. Власова [7], Н. Н. Леонтьєва, Н. П. Петрова, Г. М. Шахунянца та модифікаціям цих гіпотез .

Найбільш повно робота системи «екіпаж-колія» була розроблена та реалізована в роботах Ю. С. Ромена [98]. Екіпаж був представлений просторовою моделлю, а колія розбивалась окремо на рейки, скріплення, шпали. Модель колії враховувала дію поздовжніх температурних сил, а також вплив на стійкість колії дії горизонтальних сил від рухомого складу. Математична реалізація даної моделі представляла гібридну систему звичайних диференціальних рівнянь та у частинних похідних.

Значний вклад у дослідження взаємодії колії та рухомого складу зробили вчені: П. С. Анисимова, Ю. М. Бороненко, Г. П. Бурчак, М. Ф. Веріго, С. В. Вершинський, Л. О. Грачева, В. Н. Данілов, А. Я Коган, С. С.Крепкогорський, Н. Н. Кудрявцева, А. А. Львов, Б. В. Медел, Ю. С.

Ромен, А. Н. Савоськина, М. М. Соколова, В. Д. Хусидов, В. Н. Філіпов, І. І. Челнокова та інші.

### **3.1.1 Обґрунтування математичного апарату досліджень та розрахункової схеми моделі.**

Аналіз сучасних тенденцій удосконалення конструкції, методів поточного утримання та норм утримання колії свідчить, що використання лише експериментальних методів досліджень є нераціональним, тому що вимагає значних трудових та матеріальних витрат. Найбільш ефективним є системний підхід, який дозволяє раціонально використовувати теоретичні та експериментальні методи. В сучасній науці найбільш поширеним теоретичним напрямком досліджень стає математичне моделювання. В порівнянні з натурним експериментом математичне моделювання має наступні переваги:

- 1) економічність та збереження ресурсів реальної системи;
- 2) можливість розділити дослідження на структурні питання, що відносяться до об'єктів дослідження;
- 3) можливість моделювання гіпотетичних, тобто не реалізованих в природі явищ (перш за все на етапах проектування);
- 4) можливість реалізації небезпечних чи важко досяжних режимів роботи системи (моделювання сходу з рейок рухомого складу);
- 5) універсальність технічного та програмного забезпечення для реалізації моделі.

Якщо математична модель процесу, що досліджується, досить повно відображає реальний аналог, то в експериментальних дослідженнях доцільно визначати лише вихідні дані для теоретичних досліджень, а також для перевірки основних особливостей поведінки математичних моделей. Такий метод проведення теоретичних досліджень дозволяє значно економити фінансові та трудові ресурси.

Аналіз розвитку досліджень взаємодії колії та рухомого складу в межах стрілочного перевалу наведено в розділі 1. З цього аналізу можливо виділити наступні методи досліджень:

- 1) динаміко-кінематичні;
- 2) статистичні;
- 3) методи математичного моделювання за допомогою систем диференціальних рівнянь;

Перші два методи є аналітичними [43, 44], тобто рішення можливо отримати у вигляді формули. Але як відомо [79, 45], аналітичні моделі мають дуже обмежену галузь застосування у дослідженнях, пов'язаних з взаємодією колії та рухомого складу. Обмеженість аналітичних моделей пов'язана з необхідністю спрощення характеристик динамічних систем, їх нелінійності, а також особливостей взаємодії при моделюванні. Розглянемо особливості перших двох методів, що стосуються вирішення задач даного дослідження, окремо.

Динаміко-кінематичні методи, що базуються на теорії удару абсолютно жорстких тіл, не дозволяють аналізувати масові, інерційні характеристики тіл при взаємодії, а також пружно дисипативні характеристики зв'язків між тілами. Також суттєвим недоліком цих методів є неможливість моделювання реального окреслення колії у плані по довжині стрілочного перевалу. Тобто за допомогою динаміко-кінематичних методів неможливо оцінити вплив відступів колії у плані та за шириною колії при русі екіпажу в межах стрілочних переводів.

За допомогою статистичних методів досліджень можливо чисельно оцінити імовірність величини показників взаємодії при відступах від норм утримання колії. Але загальним недоліком статистичних методів при вирішенні задач по взаємодії колії та рухомого складу є неможливість аналізу якісних динамічних показників взаємодії: траєкторії руху, сили взаємодії, прискорення тощо. Неврахування динамічного характеру взаємодії може призвести до хибних результатів та висновків.

Методи математичного моделювання взаємодії колії та рухомого складу за допомогою систем диференційних рівнянь позбавлені недоліків, які присутні у перших двох методах. Ці методи є найбільш сучасним математичним забезпеченням дослідницьких робіт у галузі динамічної взаємодії колії з рухомих складом. Використання систем диференційних рівнянь дозволяє отримати як чисельний так і якісний збіг поведінки математичної моделі з реальною одиницею рухомого складу. Використання цих методів є загальноприйнятою практикою при розробці норм допустимих швидкостей руху [47], оцінці відступів утримання колії у плані, профілі та за шириною колії [99], а також при проектуванні нового рухомого складу [7]. Тому ми вважаємо за доцільне використовувати у подальших дослідженнях саме методи математичного моделювання взаємодії колії та рухомого складу в межах стрілочного переводу, основою яких є системи диференційних рівнянь.

При математичному моделюванні будь-якого реального процесу завжди виникають похибки. Ці похибки обумовлені самим намаганням спростити реальний процес за допомогою математики. Розрахункова схема будь якої складності не дозволяє повністю відобразити картину динамічної взаємодії колії та рухомого складу, тому що для цього необхідно виходити на молекулярний рівень, але при цьому дуже зростають обчислювальні операції, загальна точність розрахунку не зростає. Тому завжди необхідно намагатися обирати схему мінімальної складності, яка б забезпечила необхідну точність розрахунку.

Використання тієї чи іншої розрахункової схеми викликає похибки у розрахунках, тому обґрунтування прийнятих допущень має важливе значення. Допущення вибираються таким чином, щоб при встановленні головних закономірностей того чи іншого динамічного процесу похибка розрахунків була мінімальною. При обґрунтуванні спрощення розрахункової схеми взаємодії основну роль грає задача дослідження. В нашому випадку математична модель необхідна для оцінки впливу стану стрілочних переводів

по ширині колії та за напрямком у плані на показники безпеки руху та дію рухомого складу на колію. Для досягнення поставленої задачі нам необхідно отримати вертикальні та горизонтальні сили взаємодії між колесом екіпажу та рейковими елементами стрілочного переводу. Для отримання горизонтальних сил в межах бокового напрямку найбільш поширеною та апробованою [13, 27, 46] є розрахункова схема екіпажу (рис. 3.1) розроблена Роменом Ю. С.

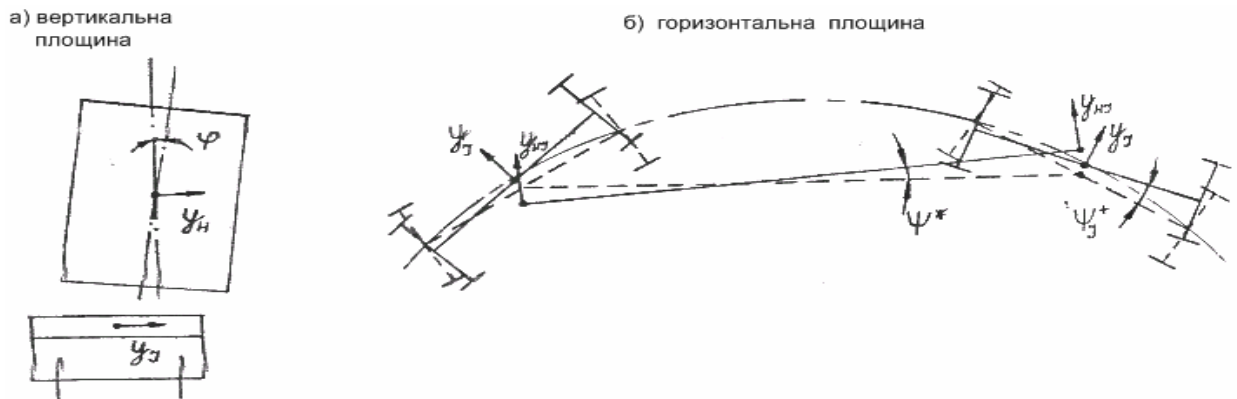


Рис. 3.1 Розрахункова схема екіпажу Ромена Ю. С.

Розрахункові схеми для визначення вертикальних сил в межах стрілочних переводів бувають двох видів: плоскі (рис. 3.2) - не враховують коливання від бокового коливання кузова [19] та псевдопросторові – не враховують вплив бокових сил та виляння екіпажу.

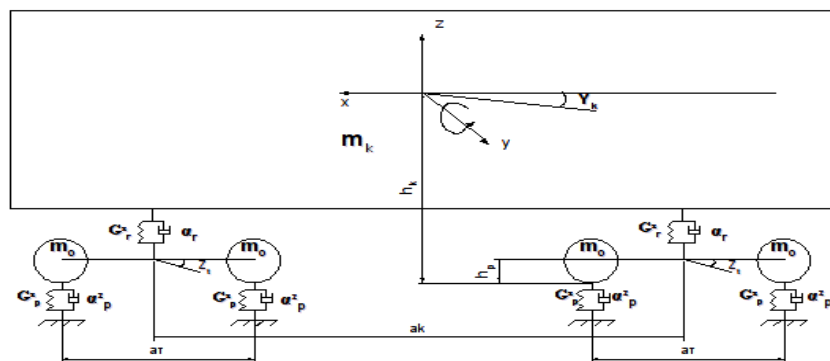


Рис. 3.2 Плоска розрахункова схема для визначення вертикальних сил

Згідно результатів експлуатаційних досліджень [96], наведених у розділі 2, на кожному стрілочному переводі присутні нерівності, як у плані так і у профілі. Тому для досліджень необхідно було розробити просторову розрахункову схему екіпажу. Модель піввагону представлена механічною

системою (рис. 3.3), що складається з 5 твердих тіл (кузов та 4 колісних пари). Верхня будова колії в моделі є безмасовою балкою з перемінною жорсткістю по довжині у вертикальній та горизонтальній площині.

Переміщення визначаються за допомогою ортогональної системи координат, вісь  $x$  якої спрямована уздовж колії, вісь  $y$  — горизонтальна, вісь  $z$  — вверх. Кутіві переміщення тіл визначаються за допомогою кутів  $X$  — навколо осі  $x$ ,  $Y$  — навколо осі  $y$ ,  $Z$  — навколо осі  $z$ . Загалом механічна система має 27 степенів вільності. В моделі прийняті наступні спрощення:

- 1) рух піввагону розглядається без врахування сили тяги;
- 2) колісні пари та рама візка приймаються абсолютно жорсткими;
- 3) кузов коливається разом з надресорною балкою.

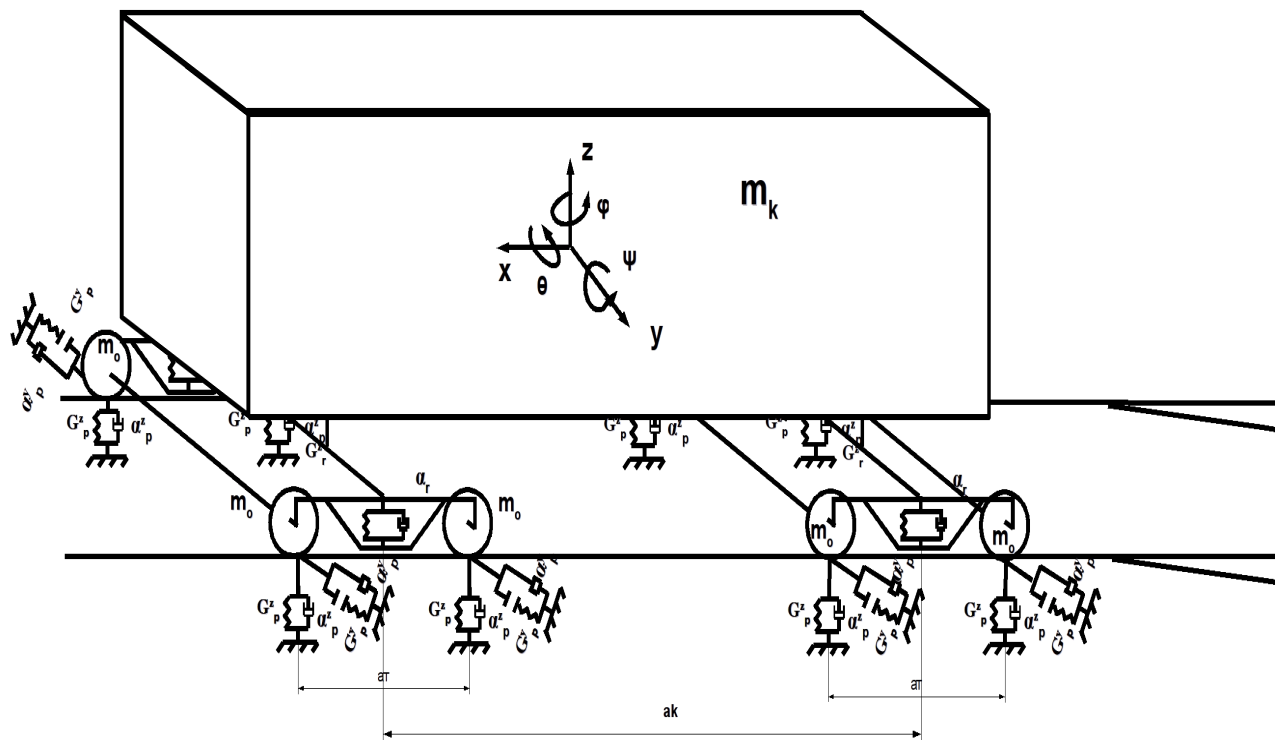


Рис 3.3. Схема просторової математичної моделі вантажного піввагона.

Всі позначення наведені на рис. 3.3 представлені у додатку Б. Прийнята розрахункова схема дозволяє враховувати всі види коливань: бокова качка, галопування, виляння, боковий відніс, підстрибування, а також пружно-дисипативні параметри екіпажу та колії і інерційні екіпажу. Інерційні параметри колії не враховувались, бо задача дослідження впливу інерційних

параметрів колії не ставилась, крім того дослідження проф. Желніна Г. Г. [27] свідчать про неістотний вплив інерційних параметрів колії на сили взаємодії в межах бокового напрямку. Візок у боковій площині приймається абсолютно жорсткий, бо задача визначення рамних сил не ставилась, для досягнення мети даного дослідження потрібна саме бокова сила. Отже, як слідує з наведеного вище розроблена модель є достатньою для досягнення мети дослідження.

До моделювання необхідно обирати ту одиницю рухомого складу, яка б мала найбільший кількісний силовий вплив на стрілочні переводи. Тому був обраний найбільш розповсюджений тип рухомого складу в межах України - вантажний піввагон на візках 18-100.

### 3.1.2 Система диференціальних рівнянь взаємодії колії та екіпажу в межах стрілочного перевodu.

Взаємодія колії та рухомого складу в межах стрілочного перевodu описується рівняннями Лагранжу другого роду

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_s} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_s} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_s} = Q_s. \quad (3.1)$$

Де:  $T$  – кінетична енергія системи;

$\Pi$  – потенційна енергія системи;

$Q_s$  – узагальнена сила по координаті;

$q_s$  – узагальнена координата.

Диференціальні рівняння, які відповідають даній розрахунковій схемі (див. рис. 3.3) складені на основі принципу д'Аламбера.

Розглянемо рівняння у вертикальній площині. Рівняння підстрибування кузова мають вигляд:

$$\frac{d^2 z_k}{dt^2} \cdot m_k = - \sum_{i,j=1}^2 P_{i,j}. \quad (3.2)$$

Рівняння підстрибування колісної пари

$$\frac{d^2 z_{kn}}{dt^2} \cdot m_{kn} = - \sum_{i,j,k=1}^2 P_{i,j,k} \cdot \quad (3.3)$$

Рівняння галопування кузова

$$\frac{d^2 \psi_k}{dt^2} \cdot I_{y_k} = 0.5 \cdot a_k \cdot \left( \sum_{j=1}^2 P_{1,j} - \sum_{j=1}^2 P_{2,j} \right) \quad (3.4)$$

Рівняння галопування першого візка

$$\frac{d^2 \psi_{e1}}{dt^2} \cdot I_{y_e} = 0.5 \cdot a_m \cdot \left( \sum_{i,k=1}^2 P_{1,1,k} - \sum_{k=1}^2 P_{1,2,k} \right) \cdot \quad (3.5)$$

Рівняння галопування другого візка

$$\frac{d^2 \psi_{e2}}{dt^2} \cdot I_{y_e} = 0.5 \cdot a_m \cdot \left( \sum_{i,k=1}^2 P_{2,1,k} - \sum_{k=1}^2 P_{2,2,k} \right) \cdot \quad (3.6)$$

Рівняння бокової качки кузова

$$\frac{d^2 \theta_k}{dt^2} \cdot I_{x_k} = h \cdot \sum_{i=1}^2 Y u_i + b_p \cdot \sum_{i=1}^2 (P_{i,2} - P_{i,1}) \cdot \quad (3.7)$$

Рівняння бокової качки першої колісної пари

$$\frac{d^2 \theta_{kn}}{dt^2} \cdot I_{x_{kn}} = \frac{P_{11} \cdot b_p}{2} - P_{111} \cdot S_0 - \frac{P_{12} \cdot b_p}{2} + P_{112} \cdot S_0 \cdot \quad (3.8)$$

Рівняння бокової качки другої колісної пари

$$\frac{d^2 \theta_{kn}}{dt^2} \cdot I_{x_{kn}} = \frac{P_{11} \cdot b_p}{2} - P_{121} \cdot S_0 - \frac{P_{12} \cdot b_p}{2} + P_{122} \cdot S_0 \cdot \quad (3.9)$$

Рівняння бокової качки третьої колісної пари

$$\frac{d^2\theta_{kn}}{dt^2} \cdot Ix_{kn} = \frac{P_{21} \cdot b_p}{2} - P_{211} \cdot S_0 - \frac{P_{22} \cdot b_p}{2} + P_{212} \cdot S_0; \quad (3.10)$$

Рівняння бокової качки четвертої колісної пари:

$$\frac{d^2\theta_{kn}}{dt^2} \cdot Ix_{kn} = \frac{P_{21} \cdot b_p}{2} - P_{221} \cdot S_0 - \frac{P_{22} \cdot b_p}{2} + P_{222} \cdot S_0; \quad (3.11)$$

В наведених рівняннях прийняті наступні позначення:

$i, j, k$  - номер візка, колісної пари та колеса відповідно;  $h$  - відстань між центром мас кузова та центром п'ятника над осями колісних пар;  $S_0$  - відстань між кругами кочення коліс;  $b_p$  - половина відстані між ресорними комплектами;  $a_k$  — половина бази кузова;  $a_t$  - половина бази візка;  $m_k$  - маса кузова;  $m_{kn}$  — маса колісної пари;  $G_z^p$  - жорсткість ресорного комплекту у вертикальній площині;  $Y^w$  — поперечна сила від кузова, яка діє на шкворинь візка, визначається за формулою:

$$Y_i^w = G_y^p (y_{ti} - y_{ki}) + Ft \cdot \text{sign}(\dot{y}_{ti} - \dot{y}_{ki}). \quad (3.12)$$

Де:  $G_y^p$  - жорсткість ресорного комплекту у вертикальній площині;  $Ft$  – сила тертя у шкворні;  $y_{ki}$  – переміщення кузова над  $i$ -тим шкворнем;  $y_{ti}$  – переміщення  $i$ -того візка;

$P_{ijk}$  — сила в системі колесо-колія визначається за формулою:

$$P_{i,j,k} = G_z^n \cdot (z_{i,j,k} - \eta_{l,n} \pm S_0 \cdot X_{i,1}^{kn}) + \alpha_z^n \cdot (z_{i,j,k} - \eta_{l,n} \pm S_0 \cdot \dot{X}_{i,1}^{kn}) - m_{kn} \cdot \eta_{l,n}'' \quad (3.13)$$

де:  $\eta_{l,n}$  - ордината вертикальної нерівності левої або правої рейкових ниток;  $z_{i,j,k}$  - пружне переміщення системи колесо-рейка;  $P_{ij}$  — сила в відповідному ресорному комплекті визначається за формулою:

$$P_{i,j} = G_z^p \cdot \left( z_{i,j} - (z_{i,j,1} + z_{i,j,1}) \pm b_p \cdot X^k \right) \pm S_0 \cdot \left( X_{i,1}^{kn} - X_{i,2}^{kn} \right) + F_z^k \cdot \text{sign} \left( \dot{z}_{i,j} - (\dot{z}_{i,j,1} + \dot{z}_{i,j,1}) \pm b_p \cdot \dot{X}^k \right) \pm S_0 \cdot \left( \dot{X}_{i,1}^{kn} - \dot{X}_{i,2}^{kn} \right) \quad (3.14)$$

де:  $z_{i,j}$  - пружне переміщення відповідної ресори.

Перейдемо до рівнянь взаємодії у горизонтальній площині. Рівняння бокового відноса кузова має вигляд:

$$\frac{d^2 y_{k1}}{dt^2} + \frac{d^2 y_{k2}}{dt^2} = 2 \left[ (Y_{u1} + Y_{u2}) - m_k (h_k - h_t) \frac{d^2 \varphi_k}{dt^2} - m v^2 \frac{k_1 + k_2}{2} \right] / m_k \quad (3.15)$$

Рівняння вилання кузова має вигляд:

$$\frac{d^2 y_{k1}}{dt^2} - \frac{d^2 y_{k2}}{dt^2} = \frac{2 a_k^2}{I_{zk}} (Y_{u1} + Y_{u2}) - v^2 (k_1 - k_2) \quad (3.16)$$

Рівняння бокового відносу першого візка має вигляд:

$$\frac{d^2 y_{t1}}{dt^2} = \left( \sum_{i,j=1}^2 Y_{1ij} - Y_{u1} - m v^2 k_1 \right) / m_t \quad (3.17)$$

Рівняння бокового відносу другого візка має вигляд:

$$\frac{d^2 y_{t2}}{dt^2} = \left( \sum_{i,j=1}^2 Y_{2ij} - Y_{u2} - m v^2 k_2 \right) / m_t \quad (3.18)$$

Рівняння вилання першого візка має вигляд:

$$\frac{d^2 \varphi_{t1}}{dt^2} = \left[ a t \sum_{j=1}^2 (Y_{11i} - Y_{12i}) + M_{t1} - M_{tr1} \right] / I_{zt} \quad (3.19)$$

Рівняння вилання першого візка має вигляд:

$$\frac{d^2\varphi_{t2}}{dt^2} = \left[ at \sum_{j=1}^2 (Y_{21i} - Y_{22i}) + M_{t2} - M_{tr2} \right] / I_{zt} \quad (3.20)$$

В наведених рівняннях прийнятті наступні позначення:

$h_t$  – висота п'ятника над осями колісних пар ;  $h_k$  – висота центру мас кузова над осями колісних пар ;  $k_i$  – кривизна колії під і-тою колісною парою;  $I_{zk,t}$  - моменти інерції кузова та візка відповідно відносно вертикальної осі;  $\varphi_{k,t}$  – кут виляння кузова та візка відповідно;  $Y_{lij}$  – бокова сила від колеса на рейку;  $y_{ki}$  – поперечне переміщення кузова над і-тим шкворнем ;  $y_{ti}$  – поперечне переміщення і-того візку;  $M_{ti}$  – момент від дії поздовжніх сил тертя коліс і-того візку визначається за формулою:

$$M_{ti} = -x \cdot \sum_{i,j,k=1}^4 P_{i,j,k} \left( S_0^2 \frac{1}{v} \dot{\varphi} + 2S_0 \frac{\mu}{R} y_{ti} \right) \quad (3.21)$$

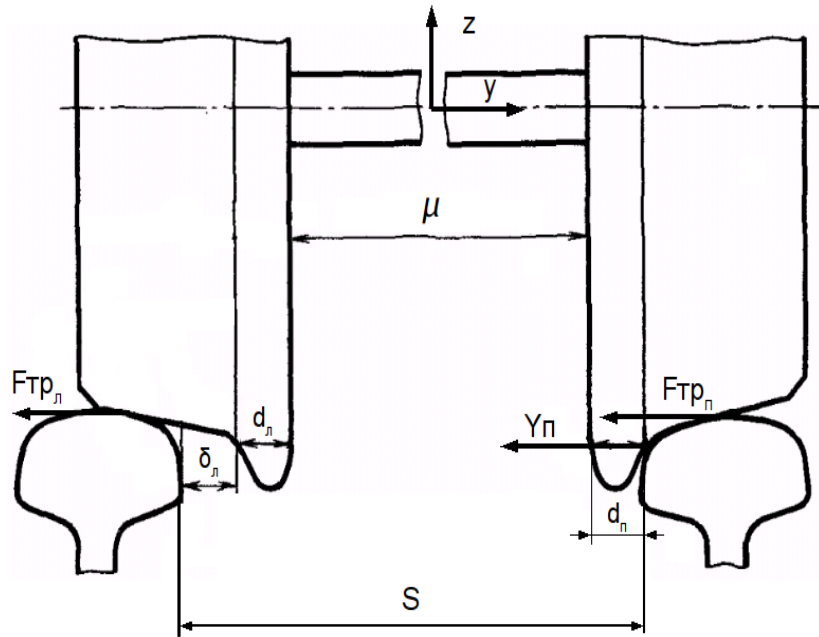
$M_{tri}$  - момент тертя у і-тому шкворені визначається за формулою:

$$M_{tri} = A_{tr} \cdot \text{sign}(\varphi_k - \varphi_{ti}) \quad (3.22)$$

Де:  $A_{tr}$  - амплітудне приведенне значення момента тертя у шкворені, що визначалось по результатам натурних експериментів під керівництвом проф. Ромена Ю. С [64].

Особливу увагу в математичній моделі було приділено блоку, який описує взаємодію колісної пари та рейкової колії. Наближення результатів теоретичних досліджень динаміки екіпажу до його реальних динамічних властивостей визначається в першу чергу коректністю та ступенем наближення алгоритму описання взаємодії колісної пари з рейковою колії до тих фізичних процесів, які існують в реальних умовах руху та мають найбільший вплив на рівень сил між колесом і рейкою. Рух колісної пари в рейковій колії визначається силами, що обумовлені її взаємодією з рейками та елементами екіпажу, а також геометричними параметрами колісної пари

та рейкової колії. На рис. 3.4 показана схема до визначення положення осі екіпажу в межах рейкової колії та відповідно сил взаємодії.



$F_{тр}$  - проекція на поперечну вісь  $y$  сил тертя між рейкою та колесом зліва та справа відповідно;  $S$  – ширина колії;  $\delta_{лп}$  – зазор між робочими гранями рейки та гребеня зліва та справа відповідно;  $Y_{п}$  – направляюча сила між рейкою та колесом

Рис.3 4. Схема для визначення сил взаємодії між віссю екіпажу та рейковою колією в межах бокового напрямку стрілочного переводу.

Сили взаємодії між рейковою колією та віссю екіпажу відповідно до схеми на рис. 3.4 визначаються за допомогою наступних залежностей:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{для } \delta_{л} > y \geq \delta_{п}: \\ H_{л} = F_{трл} \\ H_{п} = F_{трп} + Y_{п} \\ \text{для } \delta_{л} > y < \delta_{п}: \\ H_{л} = F_{трл} \\ H_{п} = F_{трп} \\ \text{для } \delta_{л} \leq y < \delta_{п}: \\ H_{л} = F_{трл} + Y_{л} \\ H_{п} = F_{трп} \end{array} \right. \quad (3.23)$$

де  $H_{лп}$  – бокова сила між рейкою та колесом зліва та справа відповідно;

Направляюча сила між рейкою та колесом визначається за формулою

$$Y_{л,п} = z_r \cdot G_{п}^y \quad (3.24)$$

де:  $z_r$  — поперечна деформація рейки;  $G_{п}^y$  - поперечна жорсткість рейки.

Сила тертя  $F_{тр}$  визначається за наступною формулою:

$$F_{тр} = x \cdot P \cdot \frac{u}{v} \quad (3.25)$$

де  $x$  – коефіцієнт Кріпа;  $P$  – вертикальне навантаження від колеса на рейку;  $u$  – швидкість проковзування колеса по рейці;  $v$  – швидкість руху екіпажу

### **3.1.3 Особливості моделювання взаємодії колії та рухомого складу в межах стрілочного переводу**

Моделювання взаємодії залізничного екіпажу та стрілочного переводу при русі на бокову колію має свої особливості, основними з яких є імпульсна зміна кривизни колії та присутність кута у плані в місці зустрічі вістряка з рамною рейкою (початковий стрілочний кут  $\beta_n$ ). По даному напрямку у математичному моделюванні взаємодії колії та рухомого складу було виконано ряд досліджень [13, 19, 27 45, 46], теоретичною основою більшості з яких є запропонована Ю.С. Роменом математична модель взаємодії в кривих довільного обрису [8]. В цій моделі, згідно рівнянь (3.17-3.18), вплив кривизни задається відцентровою силою, яка починає діяти з початку кривої ділянки. Відцентрова сила визначається у загальноприйнятому вигляді:

$$F_e = m_t \cdot v^2 \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.26)$$

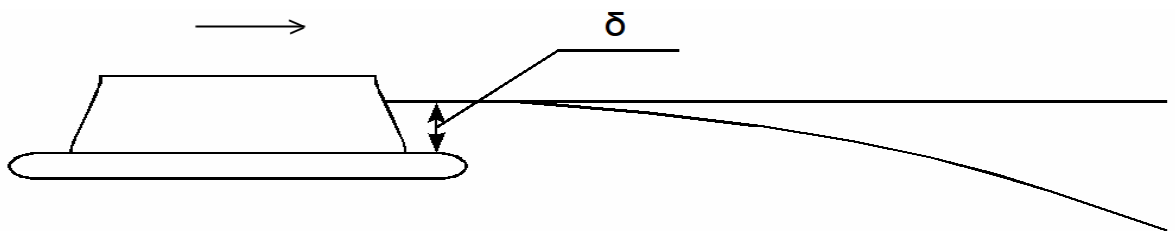
де:  $v$  — швидкість рухомого складу ;

$$\frac{d^2y}{dx^2} \approx \frac{1}{R}$$

спрямовує рух.

Як бачимо, в цьому рівнянні одним зі збуджуючих чинників є кривизна колії. Ця обставина вносить похибку при моделюванні взаємодії в межах бокового напрямку стрілочного переводу, тому що відцентрова сила, обумовлена кривизною колії, починає діяти лише з моменту контакту набігаючого колеса першої осі з криволінійним вістряком, який направляє рух. Розглянемо більш детально цей процес окремо для силової взаємодії згідно залежностей прийнятих у рівнянні (3.17) та фізично існуючі динамічні залежності при вписуванні рухомого складу на боковий напрямок стрілочного переводу, розбивши його на етапи:

1. Колесо рухається прямолінійно за межами бокового вістряка (рис. 3.5).



$\delta$  — зазор між гребенем та головкою рейки чи вістряком.

Рис. 3.5. Схема руху за межами вістряка.

Згідно [43] та фізичних залежностей дія відцентрової сили  $F^b$  відсутня.

2. Колесо рухається прямолінійно в межах бокового напрямку, контакт між колесом та вістряком відсутній (рис. 3.6).

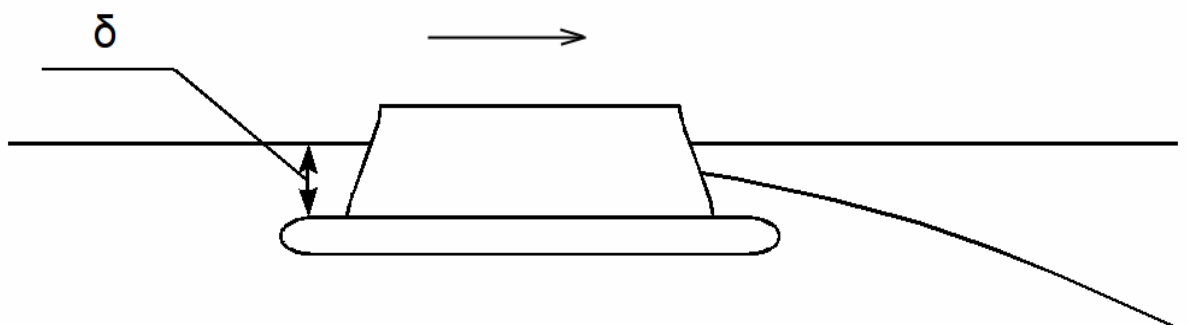


Рис. 3.6. Схема руху в межах вістряка до контакту.

Згідно (3.17) на рухомий склад починає діяти  $F^B$  в результаті чого вибирається зазор  $\delta$ , а як відомо [20] зазор визначає накопичення кінетичної енергії при зміщенні осі поперек колії, далі виникає набігання колеса на вістряк під кутом, який визначається накопиченою при вибранні зазору  $\delta$  енергією та параметрами математичної моделі. Насправді в цій фазі руху на колесо  $F^B$  не діє, а отже і вибирання зазору  $\delta$  не виникає та відповідно набігання колеса на вістряк.

3. Відбувається контакт колеса з направляючим криволінійним вістряком, колесо змінює напрямок руху (рис. 3.7).

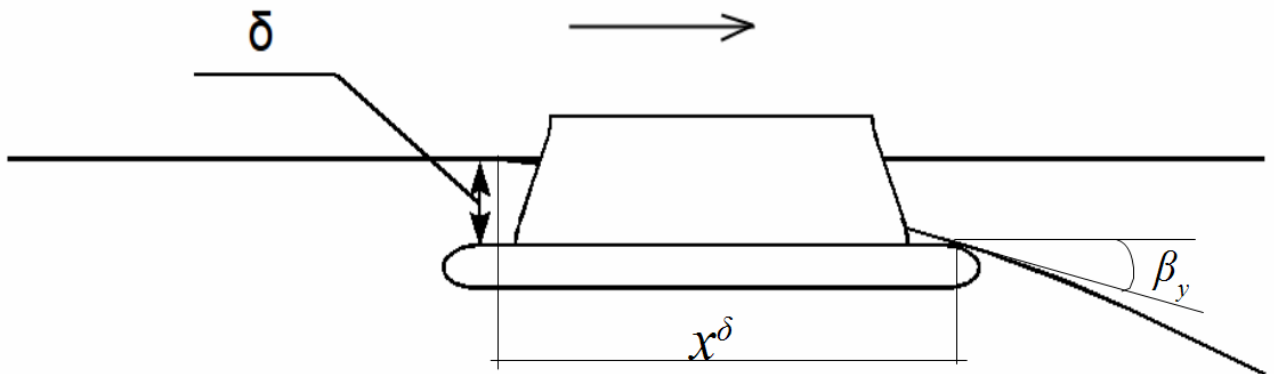


Рис. 3.7. Схема контакту колеса та вістряка

На даному етапі колесо набігає на вістряк під кутом удару  $\beta_y$ :

$$\beta_y = \arcsin\left(\sin^2(\beta_H) + \frac{2 \cdot \delta}{R_0}\right) \quad (3.27)$$

де:  $\beta_H$  — початковий стрілочний кут;  $R_0$  — початковий радіус вістряка, м.

Відстань від вістря вістряка до точки контакту набігаючого колеса і вістряка  $x_\delta$ , знаходиться за формулою:

$$x_\delta = \frac{\delta_0}{\sqrt{\sin^2(\beta_H) + \frac{2 \cdot \delta_0}{R}}} \quad (3.29)$$

де:  $\delta_0$  — зазор з яким входить рухомий склад на бокову колію.

В результаті зміни напрямку руху колеса при набіганні на вістряк на колесо починає діяти відцентрова сила. Ця обставина не була врахована в попередніх дослідженнях при розробці математичних моделей взаємодії в межах бокового напрямку стрілочних переводів [13, 19, 27, 46].

Таким чином, за допомогою математичних моделей, в основі яких лежить рівняння типу (3.17), неможливо врахувати вплив зазору  $\delta$  та кута удару  $\beta_y$  на динамічну взаємодію рухомого складу та стрілочного переводу, але їх можливо врахувати, включивши до математичної моделі відповідні співвідношення.

Крім того, в раніше розроблених математичних моделях взаємодії в межах бокового напрямку, які основані на системі диференціальних рівнянь Ромена Ю. С. [8], крива ділянка колії вводилась до моделі у вигляді прямої, а вплив кривої на рухомий склад моделювався лише відцентровим прискоренням, що діє на кузов (рис. 3.8)

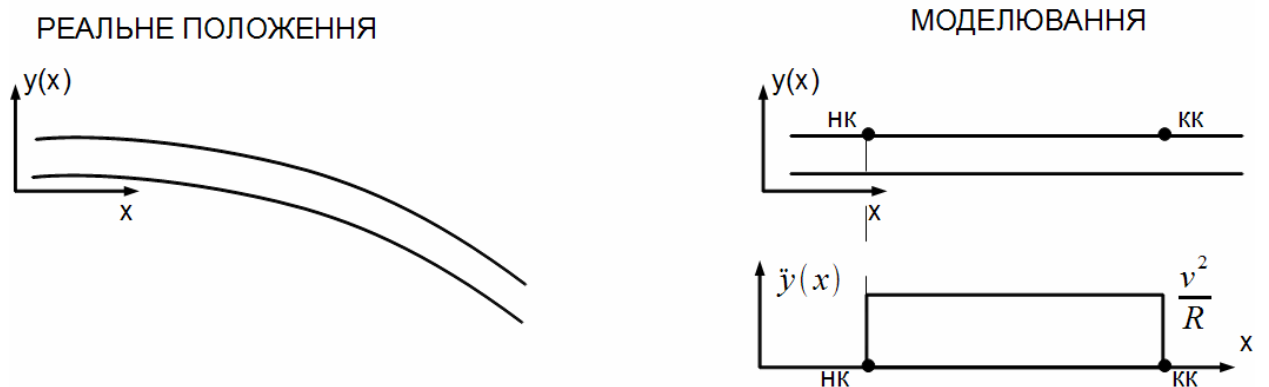


Рис. 3.8. Загальноприйнята методика моделювання кривих ділянок колії

Розроблена в рамках даної роботи методика моделювання кривих ділянок колії передбачає введ до моделі натурального положення у плані бокового напрямку стрілочних переводів (рис. 3.9). Відцентрове прискорення визначається безпосередньо під час моделювання, а не вводиться окремо до моделі, як це було прийнято в попередніх дослідженнях [13, 19, 27, 46].

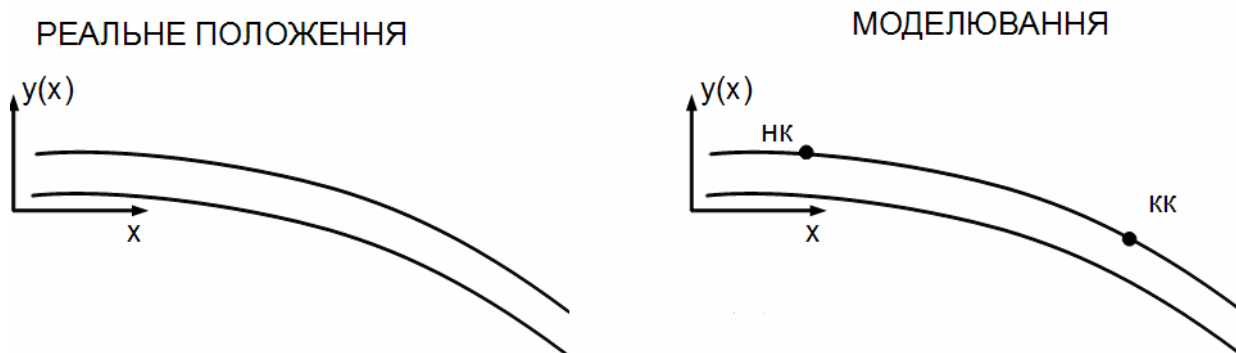


Рис. 3.9. Розроблена методика моделювання кривих ділянок колії

Слід зауважити, що подібна методика, але для звичайних кривих ділянок колії розроблена і використовується при дослідженнях взаємодії рухомого складу та колії проф. Хусідовим В. В. [86]

З врахуванням вищенаведених особливостей взаємодії при прямуванні екіпажу на бокову колію стрілочного перевалу було створено просторову математичну модель взаємодії колії та вантажного піввагону на візках 18-100 в межах стрілочного перевалу з метою аналізу силових динамічних процесів в колії та їх впливу на безпеку руху поїздів.

Як відомо, точність вихідних даних моделі в значній мірі залежить від коректності вводу до неї збуджуючих процесів, тому при створенні моделі велика увага приділялась збуджуючим вхідним факторам, які в більшій мірі залежать від геометрії колії. Окремо увагу необхідно приділити самому вводу до моделі кривизни бокового напрямку. В моделі Романа Ю. С. кривизна колії в межах бази візка (1.85м) приймається постійною, але як бачимо з рис. 3.10 при вході візка на боковий напрямок кривизна для набігаючої та другої осі відрізняються. Ця обставина спричиняє похибку при визначенні місця набігання на направляючий вістряк.

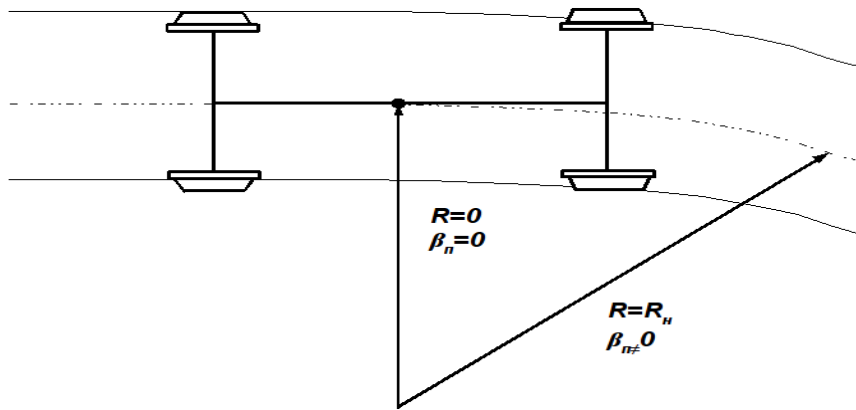


Рис. 3.10. Схема входу візка у перевідну криву

Тому нами окремо визначається кривизна колії, кут набігання для першої та другої осі. В даному випадку формули для визначення кута набігання та координати центру колісної пари відносно осі колії набувають вигляду:

$$\gamma_{i,j} = \varphi_{i,j} - \psi_i + at \cdot \frac{d\varphi_{i,j}}{dx} \quad (3.30)$$

де:  $\gamma_{i,j}$  — кут набігання колісної пари  $\varphi_{i,j}$  — кут нахилу дотичної до середньої лінії колії, яка перетинає колісну пару;  $\psi_i$  — кут повороту візка.

Бокове переміщення колісної пари визначиться з наступного виразу:

$$y_{i,j} = y_i - a_t \cdot \gamma_{i,j} \quad (3.30)$$

Комп'ютерна реалізація математичної моделі виконувалась на базі операційної системи Linux в програмі чисельного моделювання Scilab [87]. Інтегрування системи диференціальних рівнянь виконувалось на основі метода Рунге-Кутта-Фельберга 4-5-го порядку точності з автоматичної оцінкою похибки.

Коли обрана схема математичної моделі та складена система диференціальних рівнянь, що описує цю математичну модель взаємодії колії і рухомого складу необхідно особливу увагу приділити задачі визначення чисельних значень, що відповідають реальним об'єктам: маса та моменти інерції кузова, візка тощо. Для цього було проаналізована наступні джерела [15, 19, 48, 64, 75]. Вихідні дані представлено у додатку Б.

## **3.2 Обґрунтування використання розробленої математичної моделі для досліджень взаємодії колії та рухомого складу**

### **3.2.1 Обґрунтування використання програмного забезпечення для інтегрування систем диференційних рівнянь.**

На сьогоднішній день більшість моделей взаємодії розроблені за допомогою наступних мов програмування: Fortran, C++. Розробка математичної моделі в цих мовах є дуже трудомісткою через необхідність створення для кожної структурної ланки моделі (нерівність, нерівнопружність, система диференційних рівнянь) своєї реалізації за допомогою чисельних методів (сплайни, чисельне інтегрування, використання фрагменто-нелінійних функцій). Крім того кожна реалізація ланки моделі повинна мати чисельну стійкість, що також потребує вагомих витрат часу.

Використання математичних пакетів з готовими та апробованими бібліотеками чисельних методів дозволяє значно економити час на розробку моделі. Використання платних математичних пакетів з закритим вихідним кодом не дозволяє автору моделі самостійно опрацьовувати реалізації чисельних методів. Цього недоліку позбавлені пакети з відкритим вихідним кодом: Octave, Scilab[87].

Відомо, що основними чисельними методами, які використовуються для моделювання взаємодії колії та рухомого складу є сплайнова інтерполяція - для моделювання нерівностей колії та інтегрування систем диференційних рівнянь. У Scilab використовуються два різновиди чисельної реалізації сплайнів: лінійний сплайн та кубічний сплайн. Для чисельного рішення систем диференційних рівнянь в Scilab передбачена функція:

`ODE([type],y0,t0,t [,rtol [,atol]],f [,jac] [,w,iw])`

для неї обов'язковими вхідними параметрами є:

`y0` - вектор початкових умов;

$t_0$  - початкова точка інтервалу інтегрування;

$t$  - координати вузлів сітки, в яких відбувається пошук рішень;

$f$  - зовнішня функція, що визначає систему диференціальних рівнянь;

$y$  - вектор рішень;

`type` - параметр за допомогою якого можна вибрати метод рішення або тип розв'язуваної задачі, вказавши в одному з полів: "Adams" - застосовують при рішенні диференціальних рівнянь або систем методом прогнозу-корекції Адамса; "Stiff" - зазначають при вирішенні жорстких задач; "Rk" - використовують при рішенні диференціальних рівнянь або систем методом Рунге-Кутта четвертого порядку; "Rkf" - зазначають при виборі методу Рунге-Кутта-Фельберг; "Fix" - той же метод Рунге-Кутта, але з фіксованим кроком;

`rtol`, `atol` - відносна і абсолютна похибки обчислень;

$J$  - матриця, що уявляє собою якобіан правої частині жорсткої системи диференціальних рівнянь, задають матрицю у вигляді зовнішньої функції виду  $J = J(t, y)$ ;

$w$ ,  $iw$  - вектори, призначені для збереження інформації про параметри інтегрування, які застосовують для того, щоб наступні обчислення виконувалися з тими ж параметрами.

При вводі зовнішнього збудження до моделі екіпажу (нерівностей та нерівнопружності колії), а також при моделюванні сил сухого чи фрикційного тертя у в'язях моделі постає проблема обчислювальної стійкості та точності інтегрування. Тому перше, що слід перевірити це коректність алгоритмів зазначеної програми, які використані для інтегрування системи диференціальних рівнянь моделі. Згідно монографії [48] цей етап доцільно проводити на прикладах розрахунку механічних систем, для яких вирази, що описують перехідні процеси, можуть бути отримані аналітичним шляхом. У якості приклада обрана одномасова механічна система з в'язким та сухим тертям. Вихідні дані наведено в [48]. Порівняння результатів виконувалось для розв'язку одномасової системи у аналітичному вигляду моделі, яка

розроблена в середовищі розробки програмного забезпечення Borland C++ Builder 4.0, та моделі, розробленій в Scilab. У якості методу інтегрування диференціальних рівнянь та систем, що описують механічні системи в Scilab використовувався метод Рунге-Кутта-Фельберга, як найбільш стійкий для задач з суттєвими нелінійностями, якими є задачі взаємодії. Розглянемо динамічну одномасову систему зображену на рис. 3.11

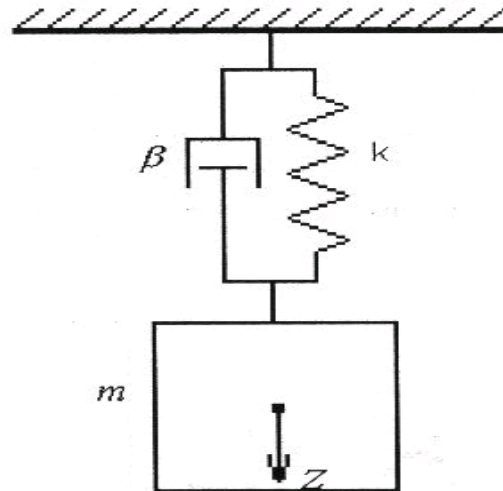


Рис. 3.11. Лінійна пружно-в'язка система

Диференціальне рівняння коливань такої системи під дією сили тяжіння має наступний вигляд

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} + \beta \frac{dz}{dt} + kz = mg \quad (3.31)$$

де  $m$  – маса тіла, кг;  $z$  – переміщення тіла, м;  $k$  – жорсткість в'язі, Н/м;  $\beta$  – в'язкість в'язі Нм/с, м;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>. Розв'язок цього рівняння має вигляд

$$z(t) = \frac{mg}{c} \left[ 1 - e^{-nt} \left( \cos(\sqrt{p^2 - n^2} t) + \frac{n}{\sqrt{p^2 - n^2}} \sin(\sqrt{p^2 - n^2} t) \right) \right] \quad (3.32)$$

де:  $n = \beta/m$ ;  $p^2 = k/m$ .

Результати розрахунку для заданої механічної системи представлено на рис. 3.12

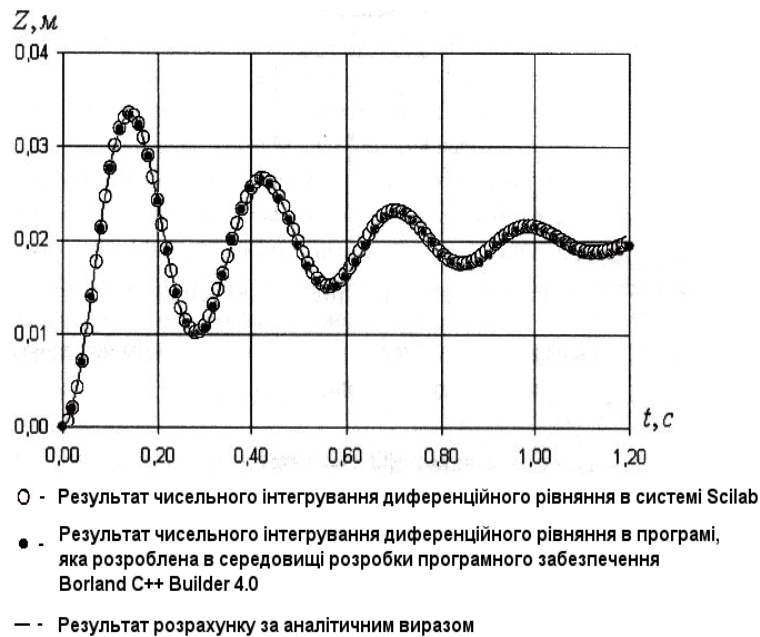


Рис. 3.12. Перехідний процес коливань системи з в'язким тертям

З наведених на рис. 3.12 результатів видний добрий збіг чисельного інтегрування як в середовищі розробки програмного забезпечення Borland C++ Builder 4.0 так і в програмі чисельного моделювання Scilab з результатами отриманими аналітичним шляхом.

Розглянемо нелінійну систему з демпфером сухого тертя, зображену на рис. 3.13.

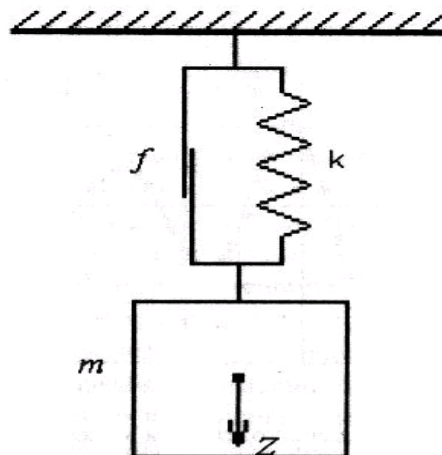


Рис. 3.13. Нелінійна система з демпфером сухого тертя

Диференційне рівняння коливань динамічної системи з сухим тертям під дією сили тяжіння виглядає так:

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} + F \operatorname{sign}(z) + kz = mg \quad (3.33)$$

де:  $F$  – сила сухого тертя, Н;

Метод аналітичного рішення рівняння (3.33) наведено в [7]. Сам аналітичний вираз є дуже громістким, тому він в даній роботі не приводиться.

Результати для механічної системи з сухим тертям виглядають наступним чином (рис. 3.14)

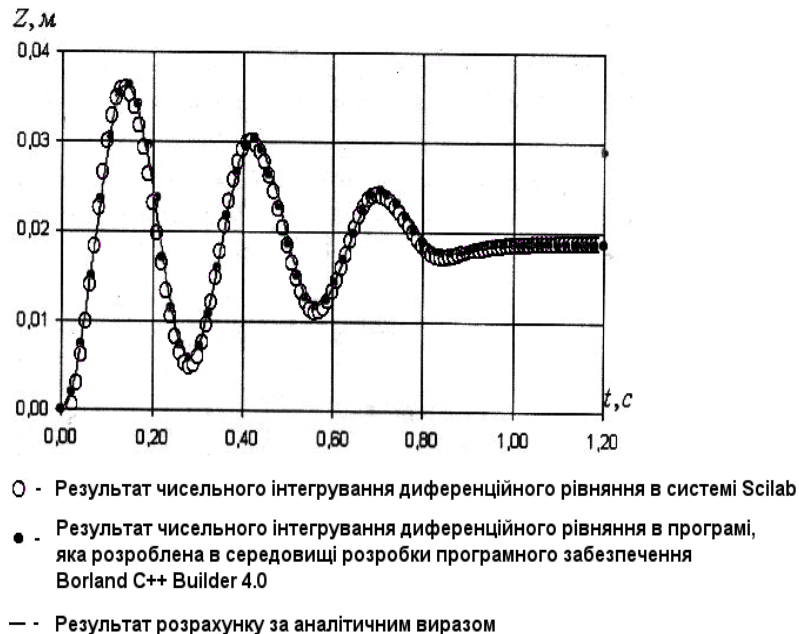


Рис. 3.14. Перехідний процес коливань системи з сухим тертям

Наведені на рис. 3.14 результати також свідчать про добрий збіг чисельної реалізації інтегрування в середовищі розробки програмного забезпечення Borland C++ Builder 4.0 і в програмі чисельного моделювання Scilab з результатами отриманими аналітичним шляхом. Всі наведені вище результати (рис. 3.12, 3.14) надають право стверджувати, що Scilab може використовуватися для розробки математичних моделей основою яких є системи диференційних рівнянь. Програмний код математичної моделі

взаємодії колії та піввагона в межах бокового стрілочного перевodu та піввагона наведено у додатку Б.

### 3.2.2 Аналіз результатів моделювання.

Наукову апробацію дана модель пройшла в рамках наукових конференцій ДПТУ та ВНДІЗТУ [90-91].

Вхідними даними до моделі є геометрія перевідної кривої найбільш масового проекту стрілочного перевodu № 1740. Ширина колії в межах бокового напрямку приймалась постійною. Розрахунки виконувались для найбільш несприятливих умов входу екіпажу на бічний напрямок стрілочного перевodu:

- зазор між набігаючим колесом і вістряком максимально можливий (при ширині колії 1548 мм зазор складає 61мм);
- ширина колісної пари розраховувалась з найбільшими допусками по насадці коліс та зносу гребенів (рис. 3.15);

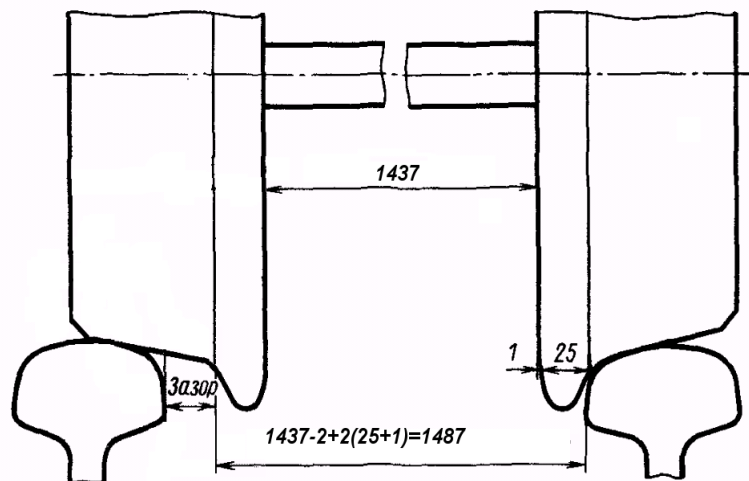


Рис. 3.15. Схема для визначення ширини колісної пари

- протишерсний напрямок руху;
- максимально допустима швидкість руху.

Для обґрунтування наведених у підрозділі 3.1.3 особливостей взаємодії, результати моделювання по розробленій моделі (адаптована модель) порівнювались з результатами отриманими на моделі, що не враховує особливості взаємодії (неадаптована модель). Параметри колії та рухомого складу приймалися однаковими, також моделювався однаковий зазор при вході на бокову колію в обох випадках. Перейдемо до результатів розрахунку (рис. 3.16)

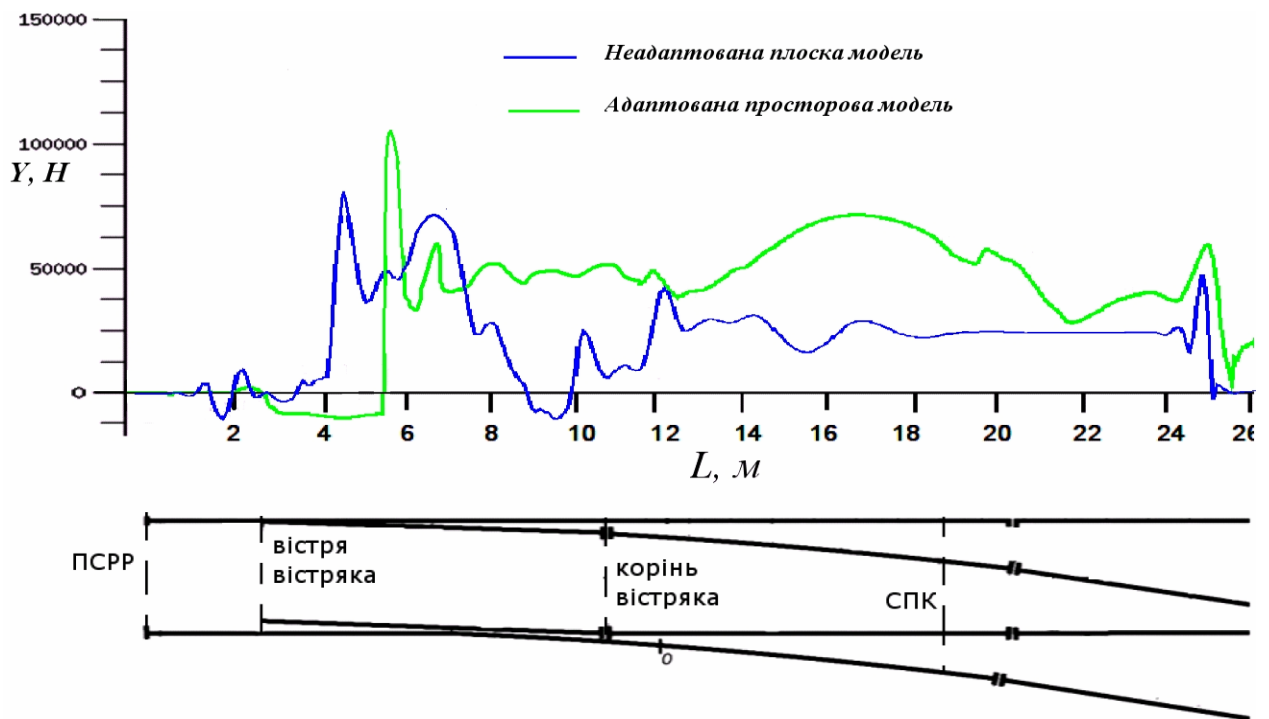


Рис. 3.16. Результати моделювання.

Результати (рис. 3.16) свідчать, що в обох випадках ми бачимо імпульсну зміну бокової сили при зустрічі колеса, що набігає з вістряком, але місце контакту з вістряком колеса, що набігає для адаптованої та не адаптованої моделі відрізняється практично на 1 м. Це викликано саме завчасною дією відцентрового прискорення у моделях, які не були адаптовані для досліджень в межах бокового напрямку. Ще раз зауважимо, що в цих моделях відцентрове прискорення починає діяти на елементи піввагона, ще до початку фізичного контакту колеса з вістряком, що прямо протиречить фізиці цього процесу.

З практики експлуатації колії відомо [31], що в місцях з підвищеним боковим впливом від рухомого складу на колію виникають значні відступи

від норм утримання за шириною колії. В межах стрілочного переводу таким місцем є боковий напрямок. На рис. 3.17 представлена зміна ширини колії, за даними експлуатаційних досліджень (див. розділ 2), та бокової сили в межах бокового напрямку

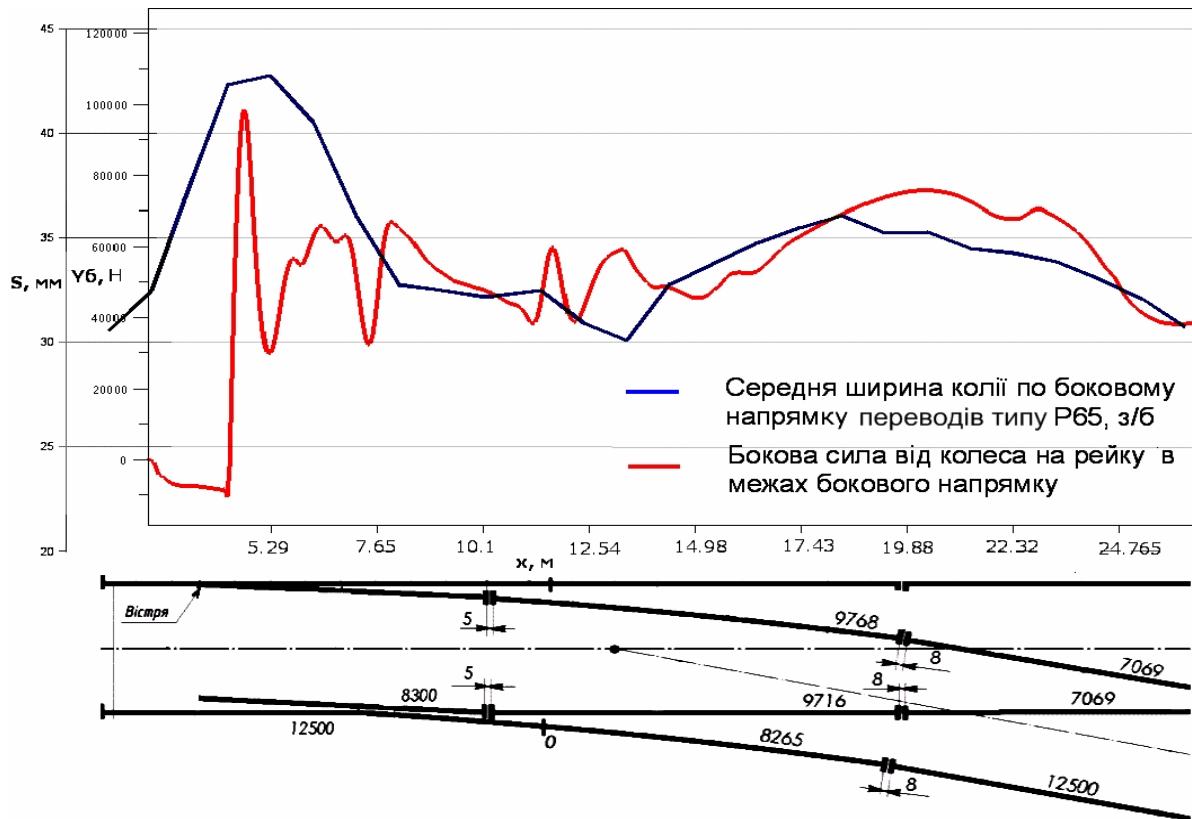


Рис. 3.17. Зміна бокової сили та середньої ширини колії в межах бокового напрямку по результатам експлуатаційних досліджень.

За результатами наведеними на рис. 3.17 можливо візуально виділити дві зони з підвищеним боковим навантаженням на упорну нитку: зона набігання на вістряк та перевідна крива. Отже приблизно такий же характер повинна мати ширина колії по довжині бокового напрямку, з тими ж характерними ділянками. Наведені результати свідчать про збіг характеру зміни бокової сили та ширини колії в межах бокового напрямку.

Отже на основі викладених результатів можемо зробити висновок, що врахування особливостей взаємодії колії та рухомого складу в межах бокового напрямку стрілочних переводів, дозволяє отримати характер

взаємодії, який відповідає натурним умовам експлуатації стрілочних переводів.

### **3.3 Висновки по розділу.**

По результатам викладеним у даному розділі можливо зробити наступні висновки:

- 1) для досліджень взаємодії колії та рухомого складу в межах стрілочних переводів на сьогодні найбільш ефективним та таким, що дозволяє комплексно проаналізувати вплив відступів по ширині колії та за напрямком у плані є методи математичного моделювання, основою яких є системи диференційних рівнянь;
- 2) використання «плоских» математичних моделей рухомого складу для досліджень по взаємодії в межах стрілочних переводів є недостатнім, бо в межах кожного стрілочного переводу є одночасно нерівності у плані та профілі, а як показують експериментальні дослідження [99] саме збіг цих видів нерівностей найбільш загрозливий для безпеки руху;
- 3) врахування обґрунтованих у даному розділі роботи особливостей взаємодії, а також методики вводу геометрії у плані бокового напрямку стрілочних переводів до математичних моделей екіпажів дозволяє підвищити точність моделювання взаємодії в межах стрілочних переводів;

## РОЗДІЛ 4

### ДИНАМІЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

#### 4.1 Методика проведення експериментальних досліджень

Дослідний стрілочний перевід укладено в колію 25 березня 2009 року на головній непарній колії ст. Запоріжжя-Вантажне Придніпровської залізниці (перевід № 11). Основні відмінності стрілочного переводу проекту Дн 345 від типового проекту 1740 та його аналогів полягають в наступному:

- 1) – використовуються вістряки з привареними рейковими закінченнями (довжина прямого гостряка збільшилася до 18 935 мм, криволінійного – до 18 985 мм), що обумовило збільшення довжини прямої рамної рейки до 20 855 мм, криволінійної – до 20 768 мм;
- 2) – відсутність стиків по прямому напрямку (конструкція рейкових елементів у межах стиків передбачає можливість їх зварювання алюмінотермітним способом) та суттєве зменшення кількості стиків по боковому (залишилося лише два ізоляційні стики в перевідній кривій);
- 3) дотичний тип вістряка;
- 4) довжина переднього вильоту рамної рейки, прямої вставки, передньої та хвостової частин хрестовини; практична та теоретична довжини переводу;
- 5) конструкція хрестовини дослідного переводу (креслення Дн 235.00.000).

Загальний вигляд дослідного стрілочного переводу Дн 345 представлено на рис. 4.1



Рисунок 4.1 – Дослідний стрілочний перевід проекту ДН 345.00.000

#### 4.1.1 Дослідний поїзд та швидкості його руху.

Визначення показників напружено-деформованого стану дослідного переводу виконувалося під дією спеціального дослідного поїзда, сформованого згідно вимог [40], який рухався по переводу в режимі вибігу. Під час руху по боковому напрямку переводу поїзд складався з двох електровозів (половина поїздок – ВЛ11, половина – ЧС7), двох пасажирських вагонів на візках КВЗ-ЦНИИ № 045 13651 і № 045 13 594 (12,75 т/вісь) та чотирьох чотиривісних піввагонів на візках 18-100, завантажених щебенем (23...23,5 т/вісь). У разі руху по прямому напрямку – поїзд складався з двох електровозів (за швидкостях до 80 км/год включно – ВЛ11, за більших швидкостей – ЧС7 № 298 та № 171), вантажних вагонів, що застосовувалися під час випробувань переводу по боковому напрямку, та двох пасажирських вагонів № 046 31065 та № 047 81613 (14,9 т/вісь та 14,25 т/вісь), з

конструктивною швидкістю 160 км/год. За швидкостей більше 80 км/год вантажні вагони з дослідного поїзда вилучались. Зауважень до технічного стану рухомого складу у працівників вагонного та локомотивного господарства не було. Схеми дослідних поїздів дано на рис. 4.2.

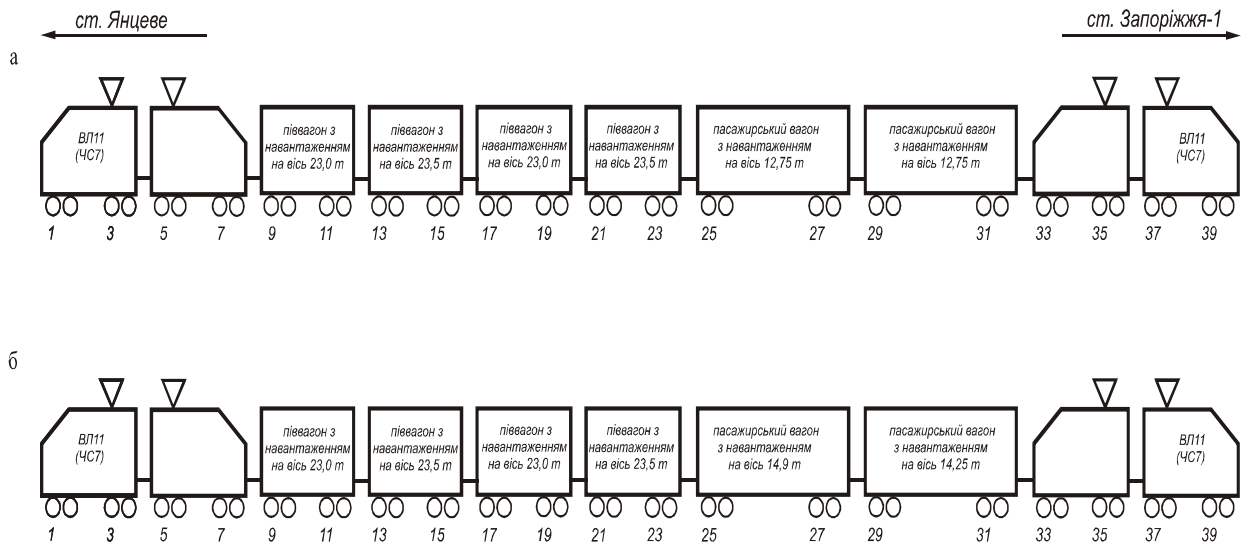


Рисунок 4.2 – Схеми дослідного поїзда: а – боковий напрямок; б – прямий напрямок (цифрами вказано номери осей)

Поїздки по дослідному переводу виконувались човником (туди і назад) зі швидкостями:

1. по прямому напрямку – 5, 40, 80, 120, 140 і 160 км/год;
2. по боковому напрямку – 5, 15, 25, 40, 50 і 60 км/год.

Кількість поїздок та швидкості, з якими вони виконувались, наведені в таблиці 4.1. Кількість поїздок у протишерстному та пошерстному напрямках відрізнялися між собою не більше ніж на одиницю.

Таблиця 4.1

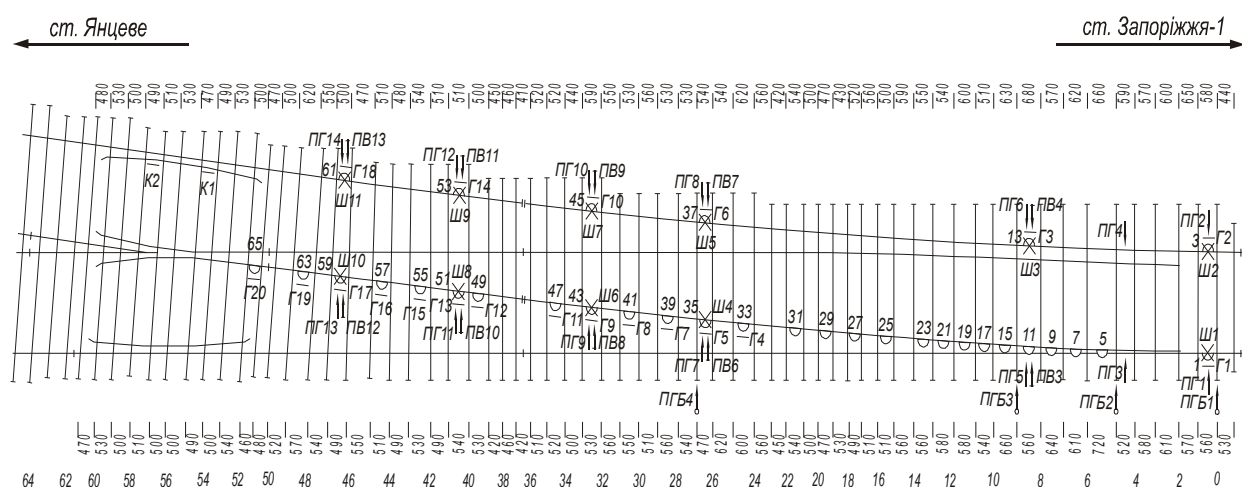
**Кількість поїздок та швидкості, з якими вони виконувались.**

Напрямок переводу	Швидкості руху дослідного поїзда, км/год										Всього
	5	15	25	40	50	60	80	120	140	160	
Прямий	10	–	–	8	–	–	8	7	7	11	51
Боковий	16	14	16	14	16	16	–	–	–	–	92
Разом											143

#### 4.1.2 Схема встановлення приладів на дослідному стрілочному переводі

Прилади на дослідному переводі розташовувалися відповідно з вимогами [40] у місцях, де величини значень показників, що досліджуються, повинні бути близькі до екстремальних або якомога частіше в разі відсутності даних про особливості взаємодії (вістряк, перевідна крива).

Схема встановлення приладів розроблена доцентом кафедри «Колія та колійне господарство» ДНУЗТу Мойсеєнко К. В. ( рис. 4.3). Фотографія встановлення тензометричного обладнання в межах дослідного стрілочного переводу предствлена на рис. 4.4



Умовні позначення:

- ⊖ 7 – прилад для вимірювань напружень у кромках підшви рейки та вістряка;
- Г – прилад для вимірювань напружень у кромці головки рейки;
- К – прилад для вимірювань напружень у контррейці;
- ↑ПВ – прилади для вимірювання відповідно вертикальних і горизонтальних переміщень рейки;
- ПГ↑ – прилади для вимірювання відповідно вертикальних і горизонтальних переміщень бруса;
- ×Ш – прилад для вимірювань вертикальних сил, що діють на рейки;
- ПГБ – прилад для вимірювання горизонтальних переміщень бруса;

Рисунок 4.3 – Схема встановлення приладів по боковому напрямку дослідного переводу



Рис. 4.4. Тензометричне обладнання в межах дослідного стрілочного переводу.

Для реєстрації напружень у металевих частинах стрілочного переводу і вертикальних сил, що передаються від коліс на рейки, використовувалися тензорезистори КФ5П1-20-200-А-12 прямокутні з базою 20 мм опором  $200,0 \pm 0,4$  Ом виробництва ПКФ «Веда» (ТВ 3.06 України 7710-0001-93). Датчики одноразового застосування.

Процеси реєструвалися та розшифровувалися за допомогою вимірювально-інформаційних систем «ПОНІЛ ДИИТ – 1» (свідоцтво про державну повірку № 904 від 13.04.2009) та «ПОНІЛ – Ц» (свідоцтво про державну метрологічну атестацію № 17/991 від 10.09.2009), з використанням вагона-лабораторії № 045 72053, що знаходився поблизу дослідного переводу на колії № 9. Основні характеристики ВІС «ПОНІЛ ДИИТ – 1» наведено в таблиці 4.2

**Основні характеристики ВІС «ПОНІЛ-1»**

Найменування вимірювального каналу (ВК)	Кількість каналів	Одиниці вимірювання	Діапазон вимірювань	Межі інтервалу, в якому знаходиться відносна похибка вимірювань, %
ВК напружень без підсилення	80	МПа	0...350	$\pm \left[ 4,9 + \frac{1,4(\sigma_{гр} - \sigma_{вим})}{\sigma_{вим}} \right]$
ВК напружень з підсиленням	24	МПа	0...100	$\pm \left[ 4,9 + \frac{1,8(\sigma_{гр} - \sigma_{вим})}{\sigma_{вим}} \right]$
ВК переміщень	32	мм	0...10	$\pm \left[ 3,0 + \frac{2,2(L_{гр} - L_{вим})}{L_{вим}} \right]$

Умовні позначення  $\sigma_{гр}$ ,  $\sigma_{вим}$  – гранична та одержана під час вимірювань величина напружень,  $L_{гр}$ ,  $L_{вим}$  – гранична та одержана під час вимірювань величини переміщень.

Основна похибка ВІС «ПОНІЛ - Ц» в діапазоні 0...385 МПа складає  $\pm 2$  %.

Напруження у підшвах рейки та вістряків визначалися тензорезисторами, які наклеювалися в межах зовнішньої кромки (на відстані 5...7 мм від кромки) у перерізі рейки або вістряка, що знаходився посередині шпального ящика. Напруження в головці рейки визначалося в її неробочій грані датчиком, розташованим в одному перерізі з тензорезистором, розміщеним на підшві. Переміщення рейкових елементів переводу та брусів визначалися за допомогою прогиномірів типу ЦНИИ. Приклад улаштування датчиків на рамній рейці дослідного стрілочного переводу представлено на рис. 4.5

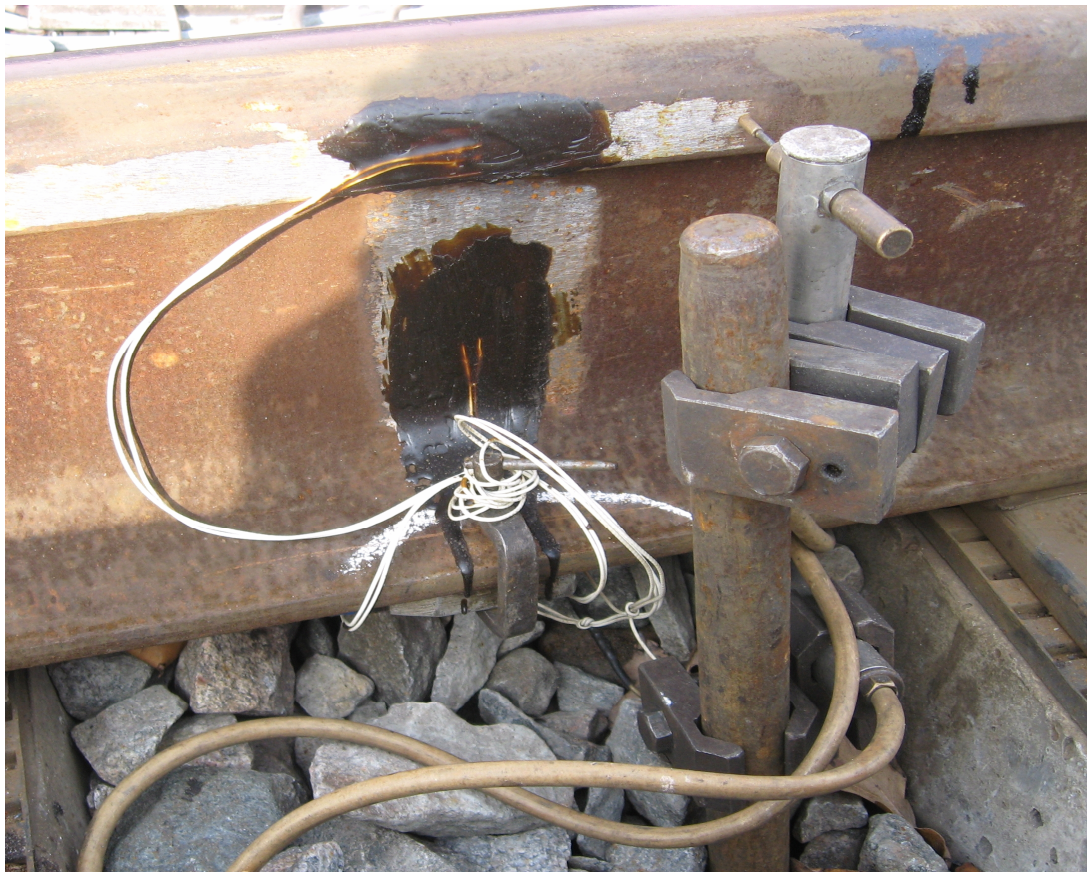


Рис. 4.5. Улаштування датчиків на рамній рейці.

#### **4.1.3 Методика обробки результатів експериментальних досліджень.**

Методика статистичної обробки одержаних результатів детально розглянута та обґрунтована у роботі [50]. Методика базується на твердженні, що у більшості випадків показники напружено-деформованого стану переводу – це випадкові величини, які підпорядковуються закону нормального розподілу (якщо закон розподілу відрізняється від нормального – у цьому випадку аналізуються тільки екстремальні експериментальні значення).

Показання кожного приладу об'єднувалися в окремі вибірки залежно від швидкості дослідного поїзда, його напрямку руху (ПРШ або ПШ) та типу рухомого складу. Для кожної такої вибірки за стандартною методикою визначалися основні характеристики випадкової величини: статистичні

середнє значення (математичне сподівання) та середнє квадратичне відхилення. Ці величини використовувалися для розрахунку максимальних імовірних значень показників напружено-деформованого стану переводу при прийнятому в розрахунках колії на міцність рівні імовірності не перевищення 0,994.

Одержані результати розглядалися окремо для рамних рейок, вістряка, з'єднувальної частини та хрестовинного вузла відповідно до типу рухомого складу та його швидкості за таким алгоритмом: спочатку для кожного приладу визначалося найбільше значення по групах осей, далі – найбільше з обох напрямків (ПШ та ПРШ), і на останку визначався прилад з найбільшим максимальним імовірним (або спостереженим) значенням, яке й порівнювалося з відповідною допустимою величиною. Результати обробки отриманих експериментально показників взаємодії колії та рухомого складу в межах бокового напрямку наведено у додатку В.

Вертикальні сили визначалися за методикою Колієвипробувальної ГНДЛ, для їх реєстрації використовувалися підсилювачі.

Величини бокових сил розраховувалися за методикою Єршкова О.П. [69] з корективами доцента кафедри «Колія та колійне господарство» ДНУЗТу Мойсеєнко К. В. Основою для визначення бокових сил є експериментально отримані напруження у кромці підшви та головки рейки. Нижче наведені основні рівняння методики.

$$H = B \cdot \sigma_H^n \quad (4.1)$$

де  $H$  – бокові сили, що виникають у колії;

$B$  – коефіцієнт для визначення бокових сил;

$\sigma_H^n$  – напруження, що виникають у зовнішній кромці підшви рейок від дії бокових сил;

Коефіцієнт  $B$  визначається по формулі:

$$B = 4 \cdot W_z^n \cdot \sqrt[3]{\frac{\beta_y^n}{4 \cdot E \cdot J_z}} \quad (4.2)$$

де  $W_z^n$  – горизонтальний момент опору рейок щодо крайніх волокон підошви, для рейок типу Р65 - 76,8 см<sup>3</sup>;

$E$  – модуль пружності рейкової сталі;

$\beta_y^n$  – згинальна жорсткість рейки по підошві в горизонтальній площині, отримана з урахуванням тертя;

$J_z$  – горизонтальний момент інерції рейки, для Р65  $J_z = 576$  см<sup>4</sup>;

Механічні напруження, що виникають у кромці підошви рейок від дії бічних сил, визначається по формулі:

$$\sigma_H^n = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \cdot \frac{\vartheta_n}{\vartheta_z} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \sigma_P^n + \frac{h_1}{h_1 + h_2} \cdot \sigma_H^{ysl} + \frac{h_2}{h_1 + h_2} \cdot \frac{\vartheta_n}{\vartheta_z} \cdot \sigma_{нар}^z \quad (4.3)$$

Значення напружень  $\sigma_P^n$  і  $\sigma_H^{ysl}$  одержуємо по формулах (4.4 і 4.5):

$\sigma_P^n$  – напруження, що виникають у крайці підошви рейки від дії вертикальних сил;

$\sigma_{нар}^z$  - експериментальні напруження в зовнішній грані головки рейок;

$\sigma_H^{ysl}$  – різниця напружень, що виникають у внутрішній і зовнішній крайках підошви рейки від дії бічних сил.

$$\sigma_P^n = \frac{\sigma_{нар}^n + \sigma_{вн}^n}{2} \quad (4.4)$$

$$\sigma_H^{ysl} = \frac{\sigma_{нар}^n - \sigma_{вн}^n}{2} \quad (4.5)$$

де  $\sigma_{нар}^n, \sigma_{вн}^n$  – експериментальні напруження в зовнішній і внутрішній кромці підошви рейки;

$\vartheta_n, \vartheta_z, z_1, z_2, h_1, h_2$  – геометричні характеристики рейки зазначені на рис. 4.6.

Зазначені вище формули отримані з умови рівноваги всіх сил, прикладених до рейки.

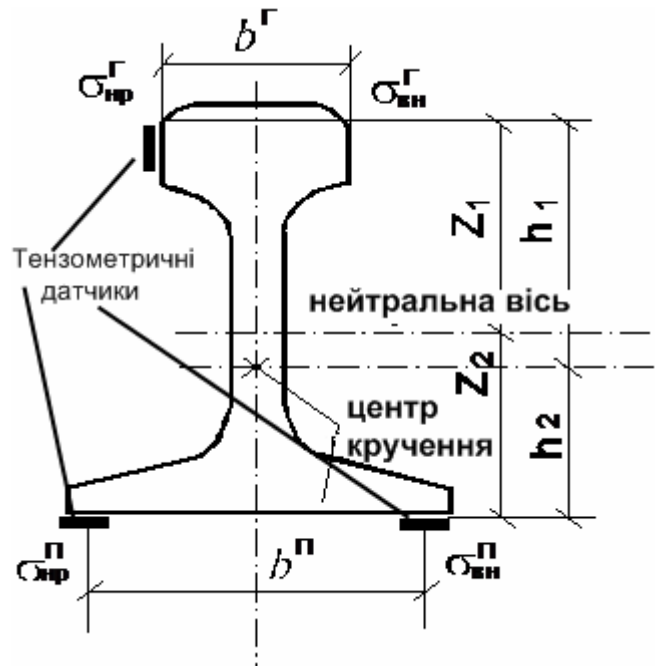


Рис. 4.6. Схема до визначення бокових сил від коліс рухомого складу на рейку.

#### 4.2 Стан дослідного стрілочного переводу за напрямком у плані та профілі і за шириною колії

Перед початком (28.10.09) та в кінці випробувань (12.11.09) стан дослідного переводу оцінювався шляхом натурного обміру за допомогою колійного шаблона та штангенциркуля ПШВ-1. Визначенню підлягали: ширина колії, рівень, неприлягання гостряків до рамних рейок, упорних накладок та стрілочних подушок, положення бокової колії за ординатами, жолоби в хрестовині та контррейці, величини зносу металевих частин. Ширина колії та рівень вимірювалися по осях брусів та в місцях, визначених «Інструкцією з улаштування та утримання колії залізниць України» (ЦП/0138). Шостого листопада 2009 року стан головної непарної колії та дослідного переводу перевірявся вагоном-колівимірником КВЛ (ПС-52). Результати обох обмірів між собою відрізнялися несуттєво – це дозволяє стверджувати, що випробування не вплинули на стан та положення

дослідного стрілочного переводу. На рисунку 4.7 – 4.10 наведено результати обмірів дослідного стрілочного переводу.

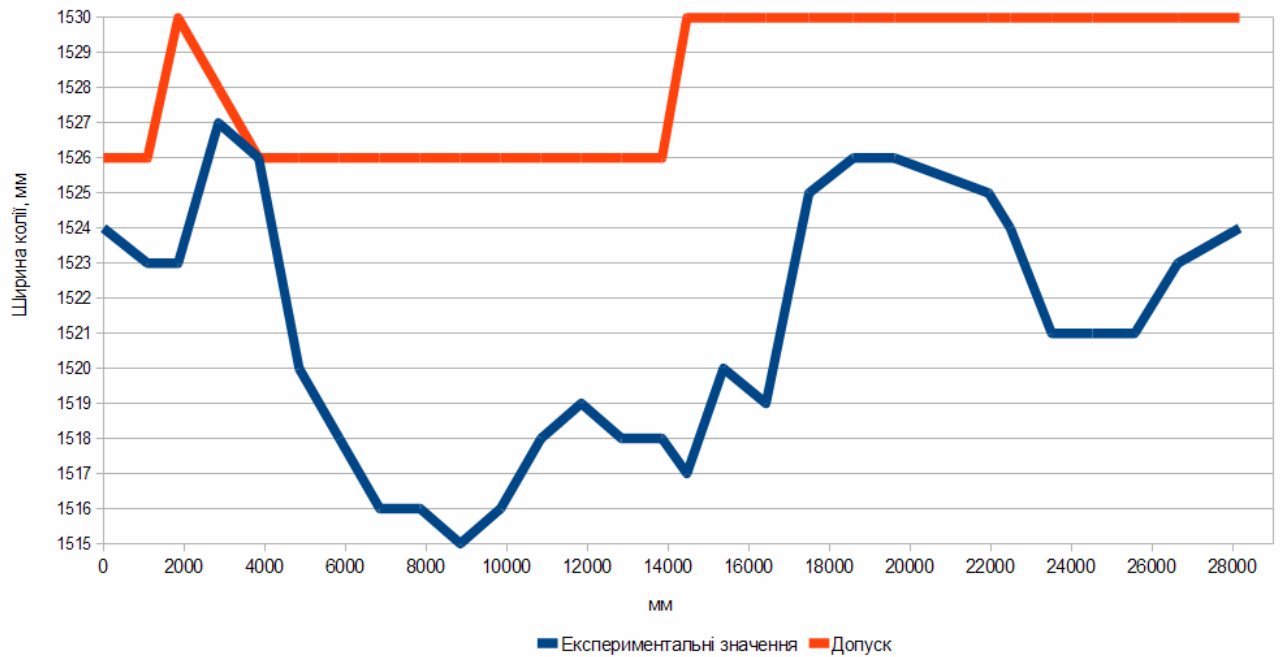


Рис. 4.7. Стан бокового напрямку дослідного стрілочного переводу за шириною колії.

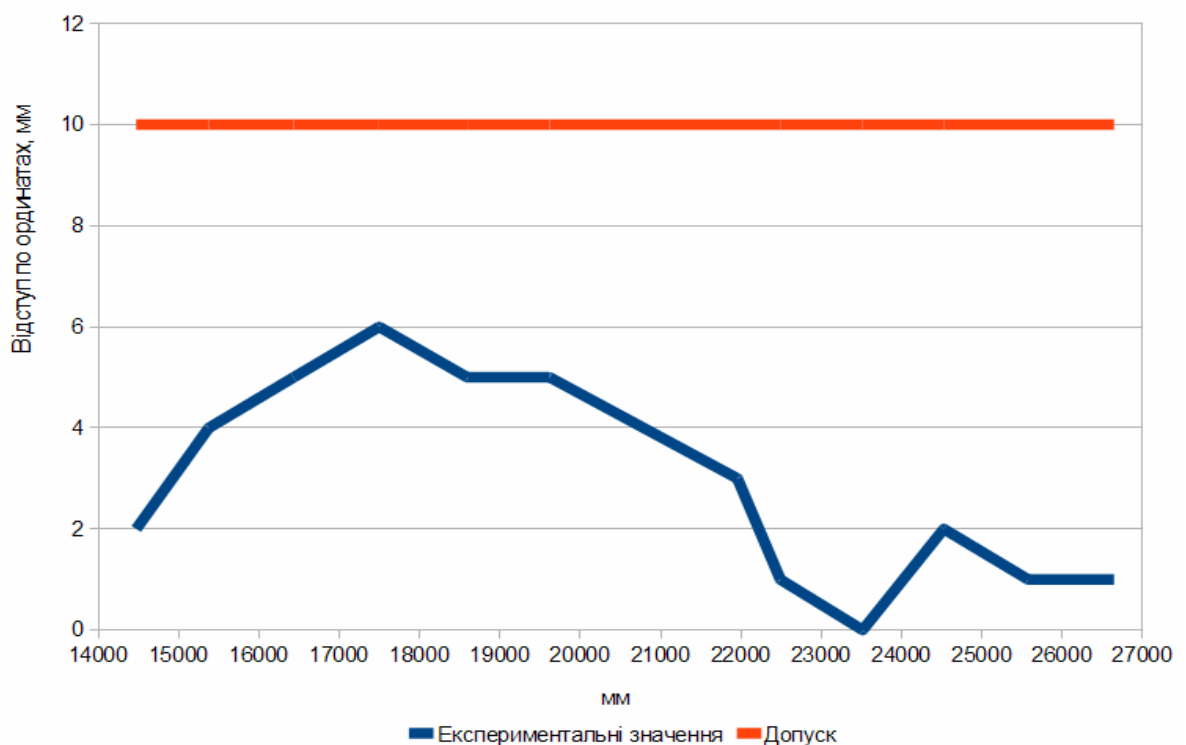


Рис. 4.8. Відступи по ординатах перевідної кривої дослідного стрілочного переводу.

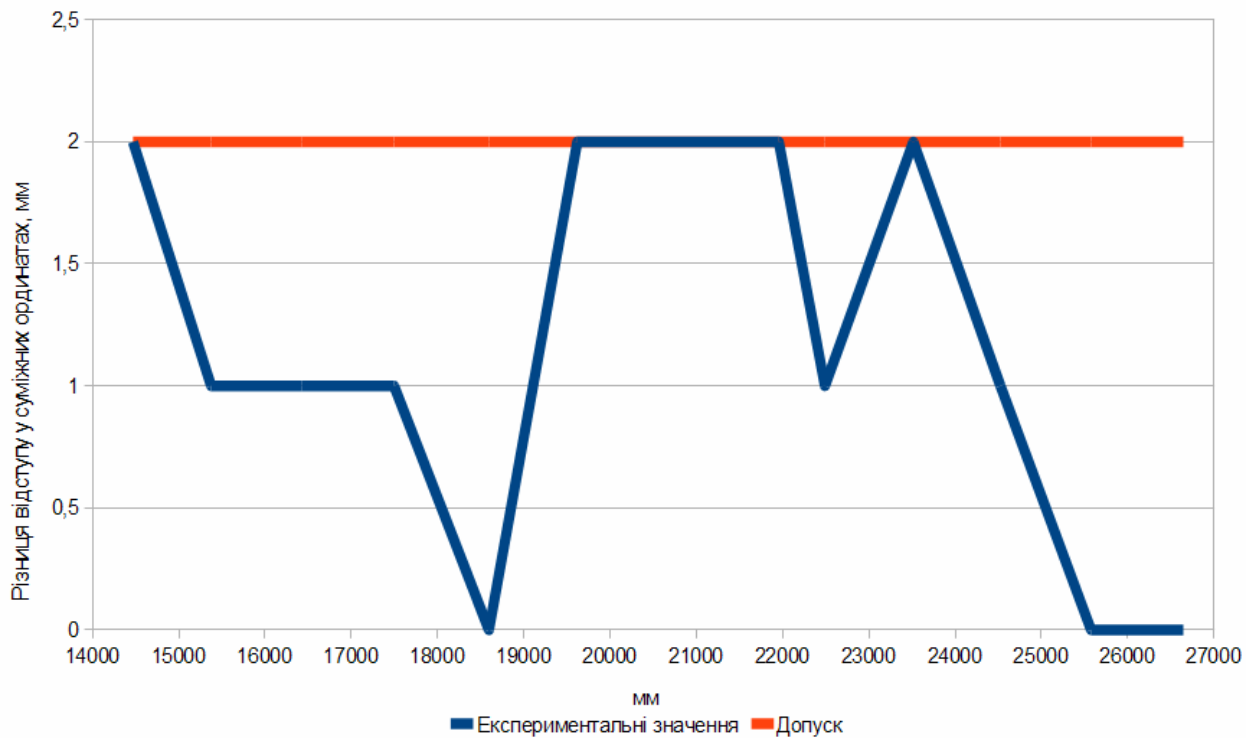


Рис. 4.9. Різниця відступу у суміжних ординатах перевідної кривої дослідного стрілочного переводу.

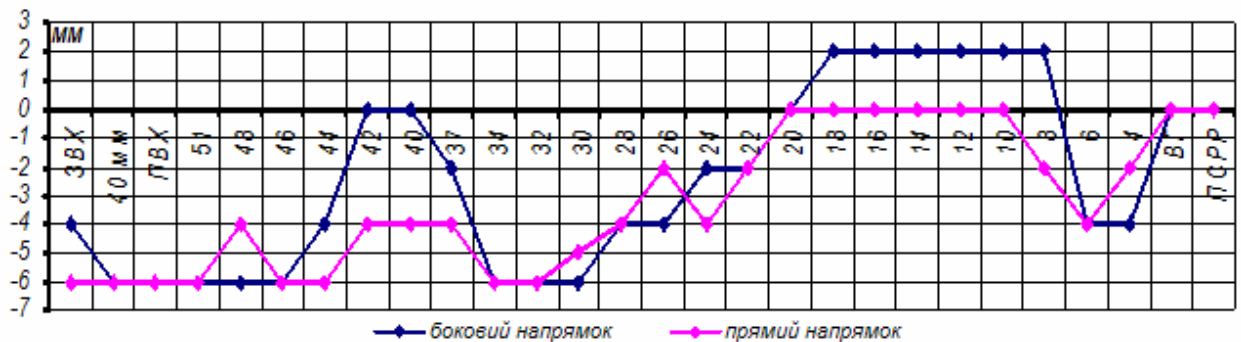


Рис. 4.10. Стан дослідного стрілочного переводу за рівнем.

Проведені натурні обміри дослідного стрілочного переводу дають змогу зробити наступні висновки:

- 1) за шириною колії по боковому напрямку відступи відносно допусків, наведених у [2], практично відсутні, по прямому напрямку наявне збільшення ширини колії зверх допуску на 2 мм у межах хрестовинного вузла (1526 мм) та звуження зверх допуску на 1–2 мм у межах рамних рейок на ділянці від 14 до 20 бруса (1515–1516 мм);
- 2) за рівнем по боковому напрямку спостерігається перекіс 8 мм довжиною 7 м, по прямому напрямку відступів немає;

- 3) розміри жолобів у хрестовині та контррейках відповідають нормативу.
- 4) положення переводу у вертикальному профілі та плані дуже добре, осідання відсутні (нема стиків – нема осідань);
- 5) величини ординат перевідної кривої відповідають вимогам [2], але більшість їх значень менші за нормативні на 2...8 мм;
- 6) вертикальний та горизонтальний знос металевих елементів відсутній;
- 7) по боковому напрямку зазор між гостряком та рамною рейкою і упорними накладками не перевищував 1 мм, по прямому – 3 мм.

Неприлягання до подушок у обох гостряках не перевищувало 3 мм;

Оцінка стану дослідного переводу вагоном-колієвимірником підтвердила дані, одержані шляхом натурального обміру.

Наведені вище дані дали змогу зробити висновок, що стан дослідного переводу та ділянок колії, що прилягають, повністю відповідав вимогам «Тимчасової інструкції з організації швидкісного руху пасажирських поїздів. Вимоги до інфраструктури та рухомого складу», затвердженої наказом Укрзалізниці від 12.07.02 № 360-Ц, та дозволяв реалізувати швидкість дослідного поїзда до 200 км/год включно по прямому напрямку.

#### **4.3 Верифікація математичної моделі за результатами експериментальних досліджень**

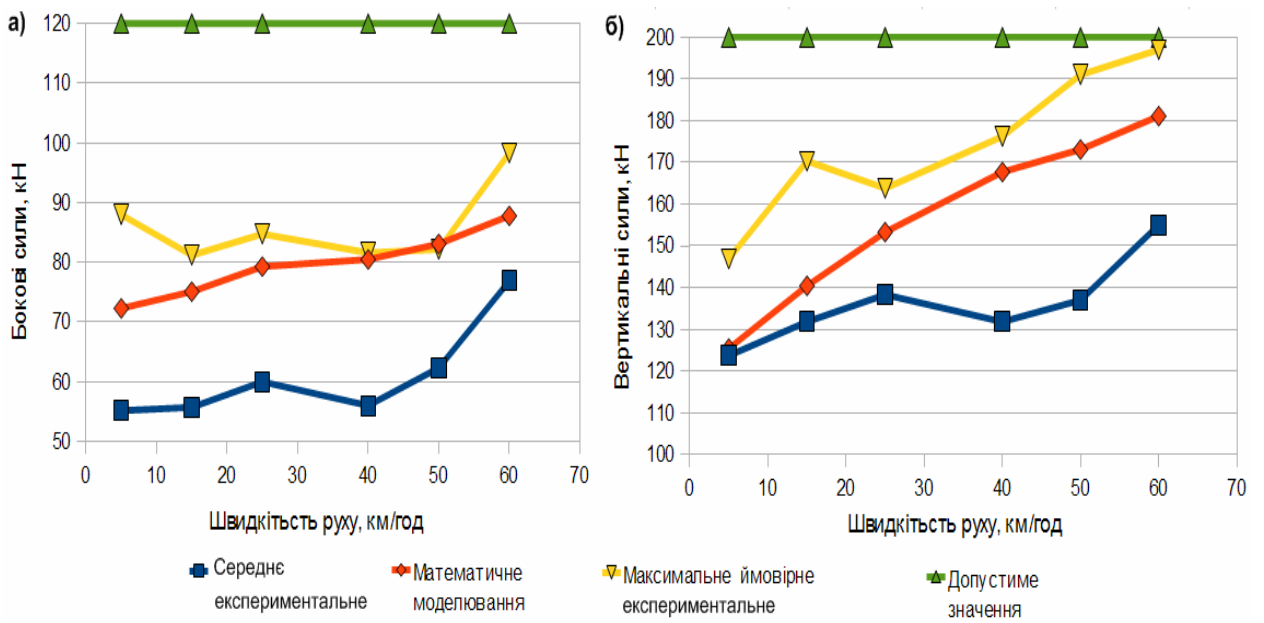
Загальноприйнятою методикою обґрунтування використання математичною моделі для досліджень з питань безпеки руху є порівняння теоретичних результатів моделювання з експериментальними [15, 47, 48]. Для кожної швидкості визначаються максимальне імовірне та середнє значення за результатами експериментальних та теоретичних досліджень. Якщо значення отримані за допомогою математичної моделі знаходяться в межах діапазону обмеженого середнім та максимальним імовірним то вважається що математична модель з достатньою чисельною точністю

відображає взаємодію. Але для забезпечення надійності висновків та практичних рекомендацій щодо нормативів утримання стрілочних переводів, отриманих за результатами математичного моделювання взаємодії, необхідно крім чисельної верифікації провести додатково якісну. Якісна верифікація включає порівняння результатів моделювання з експериментальними по довжині дослідної ділянки. Розроблена в рамках даного експериментального дослідження стрілочного переводу схема встановлення тензометричного обладнання по довжині бокового напрямку дозволяє провести якісне обґрунтування розробленої математичної моделі.

#### **4.3.1 Чисельна верифікація**

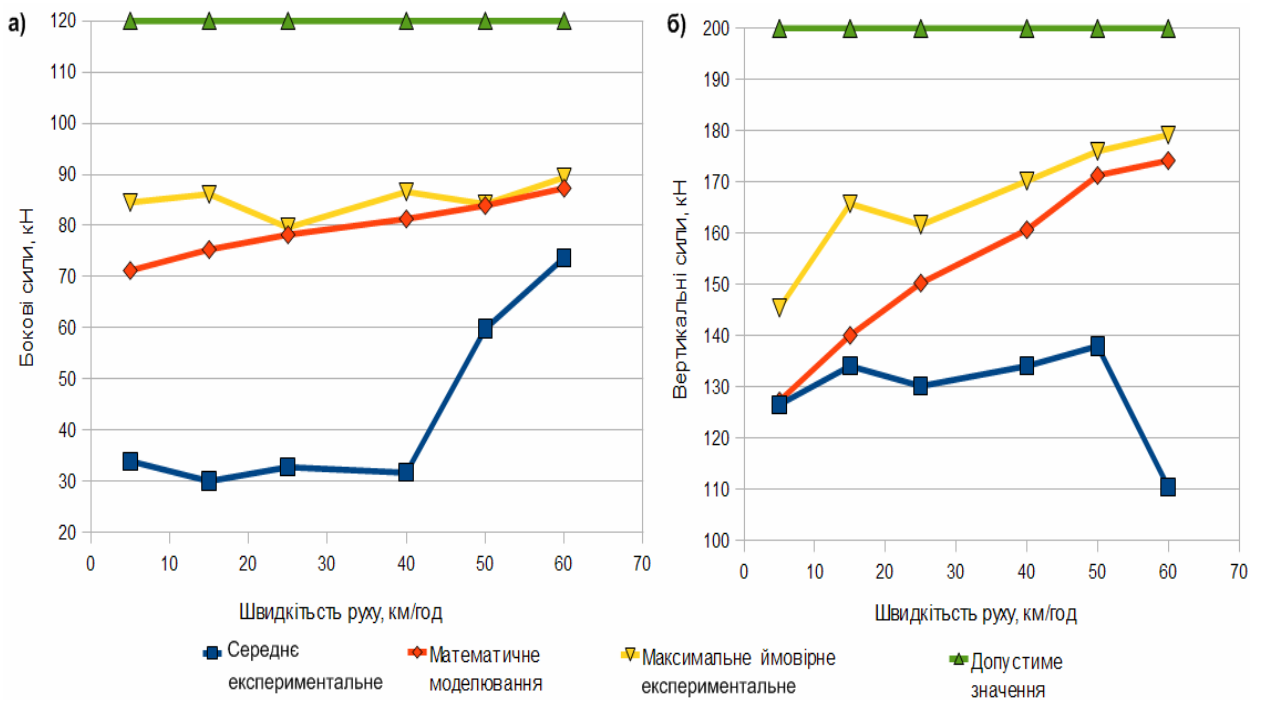
Мета даної дисертаційної роботи передбачає розробку нормативів утримання за шириною колії та у плані бокового напрямку стрілочних переводів як на залізобетонних так і на дерев'яних брусах. Тому верифікація математичної моделі взаємодії вантажного піввагону та колії в межах стрілочного переводу проводилася окремо для залізобетонної та дерев'яної підрейкових основ. Вихідні дані для верифікації математичної моделі в межах стрілочних переводів на дерев'яних брусах були взяті з робіт [14, 19, 42], а для залізобетонної підрейкової основи – по результатах експериментальних досліджень представлених раніше у даному розділі. Верифікації підлягали основні показники силової взаємодії колії та рухомого складу: вертикальні та бокові сили, коефіцієнти запасу стійкості та поперечні прискорення кузова.

Розглянемо результати верифікацію математичної моделі взаємодії вантажного піввагона та стрілочного переводу на залізобетонних брусах. Результати верифікації по бокових та вертикальних силах, а також по коефіцієнту стійкості колеса на рейці для завантаженого піввагона для ПШ та ПРШ напрямків руху представлено на рис. 4.11...4.16.



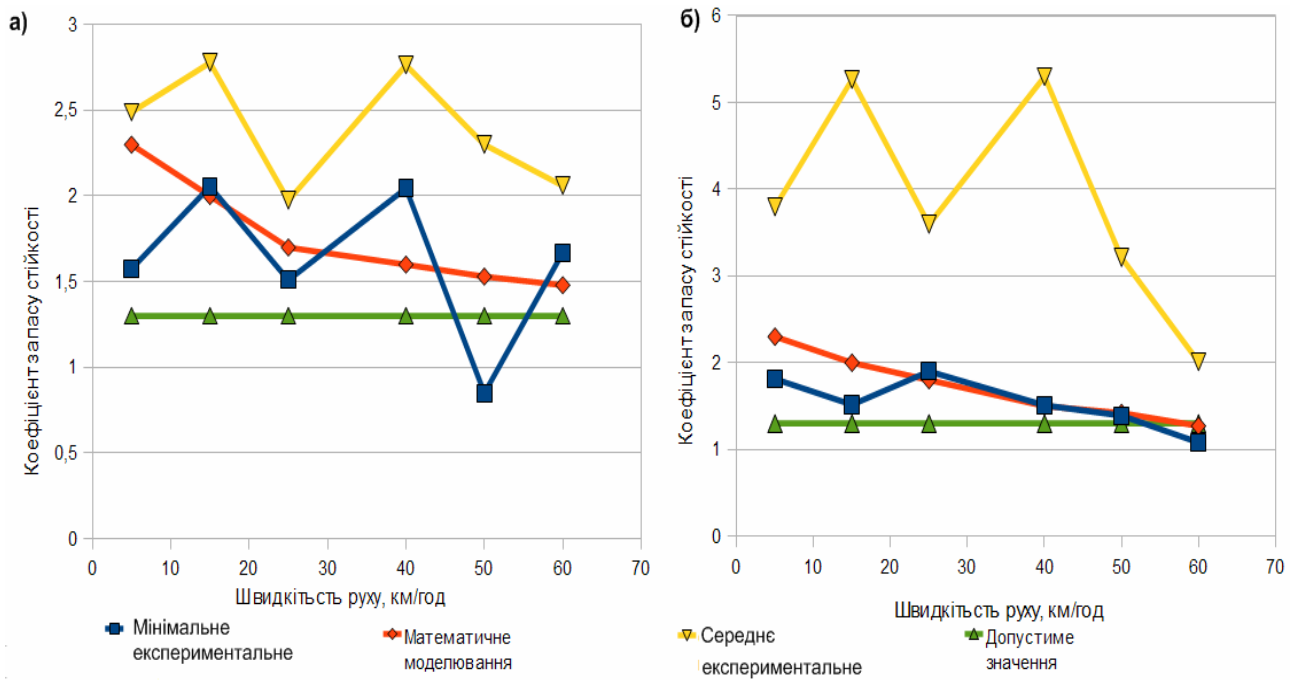
а) бокові сили; б) вертикальні сили

Рис. 4.11. Результати верифікації, ПШ напрямок руху рамні рейки



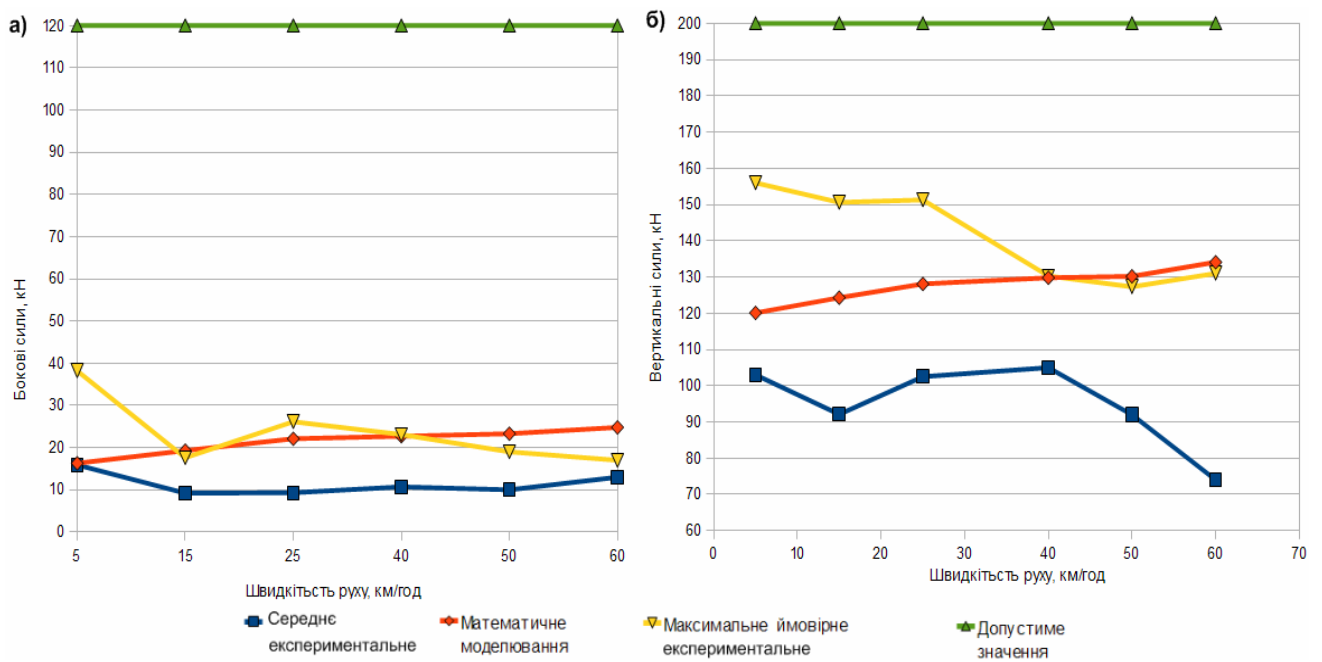
а) бокові сили; б) вертикальні сили

Рис. 4.12. Результати верифікації, ПШ напрямок руху перевідна крива



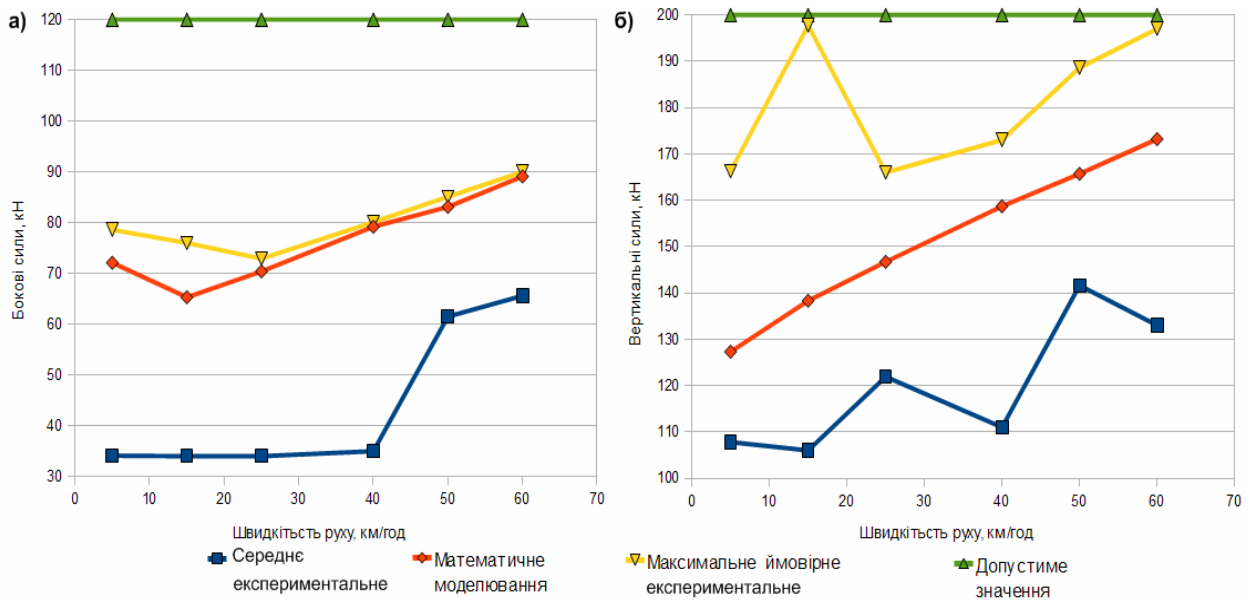
а) рамні рейки; б) перевідна крива

Рис. 4.13. Коэффициент запаса стійкості колеса на рейці, ПШ напрямку руху



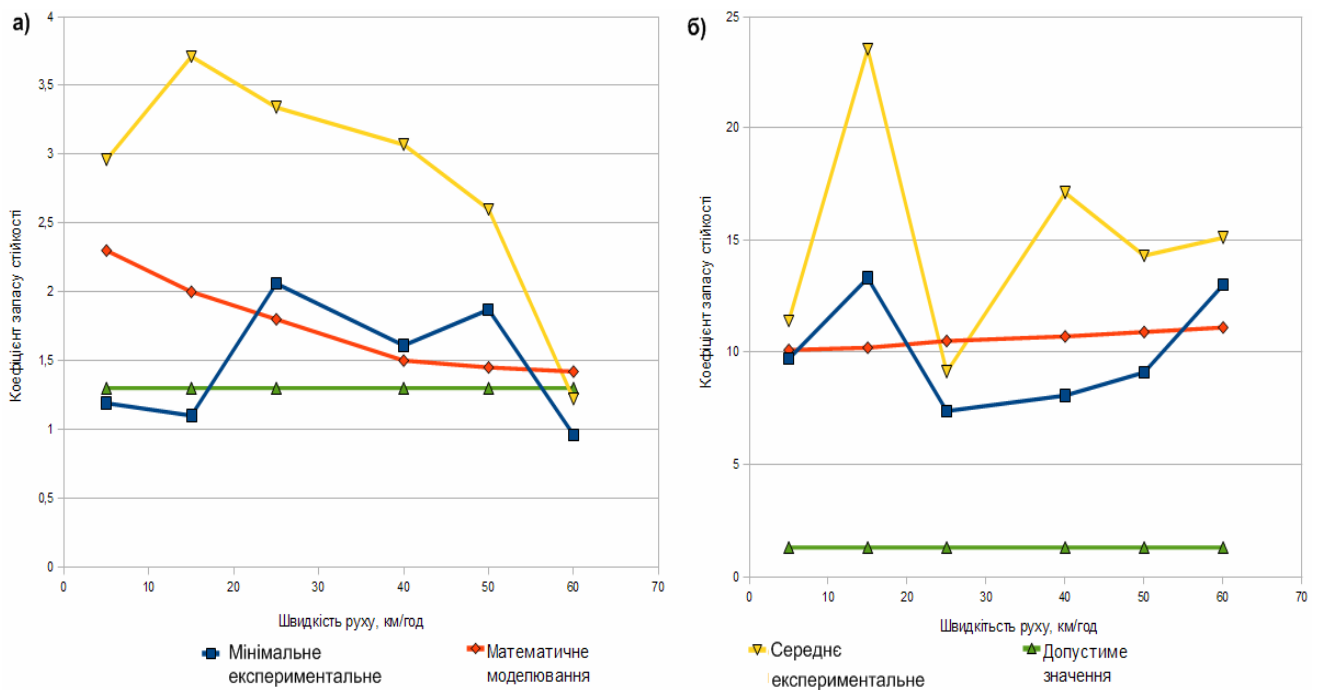
а) бокові сили; б) вертикальні сили

Рис. 4.14. Результати верифікації, ПРШ напрямку руху рамні рейки



а) бокові сили; б) вертикальні сили

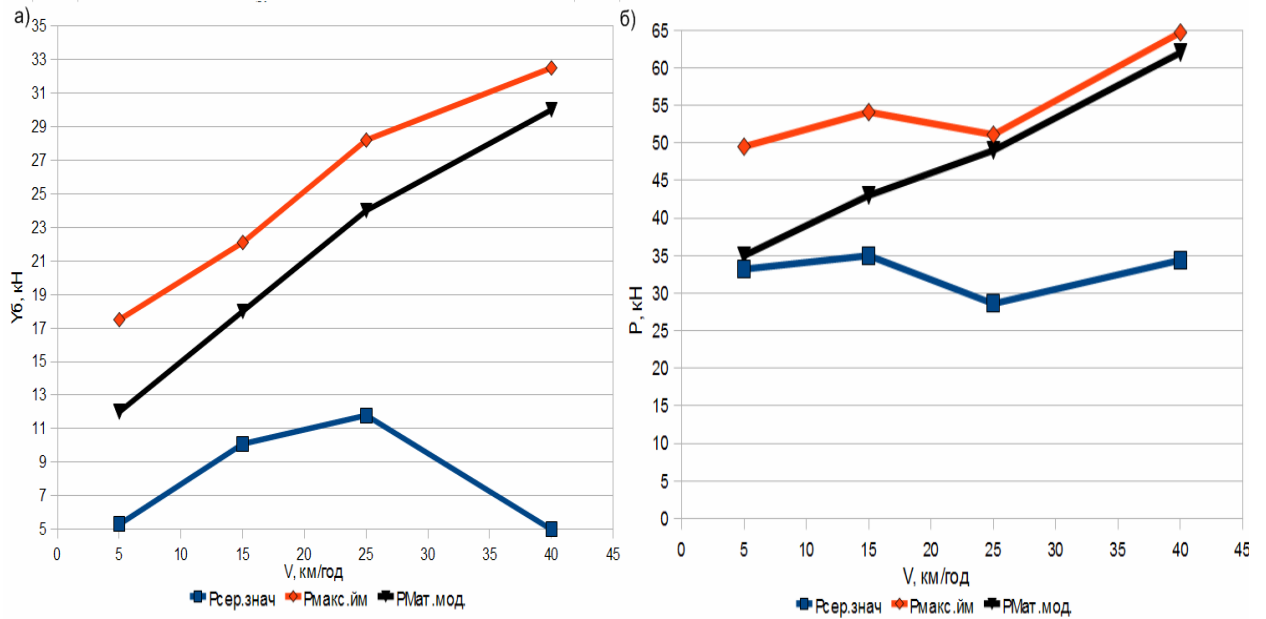
Рис. 4.15. Результати верифікації, ПРШ напрямок руху перевідна крива



а) перевідна крива; б) рамні рейки

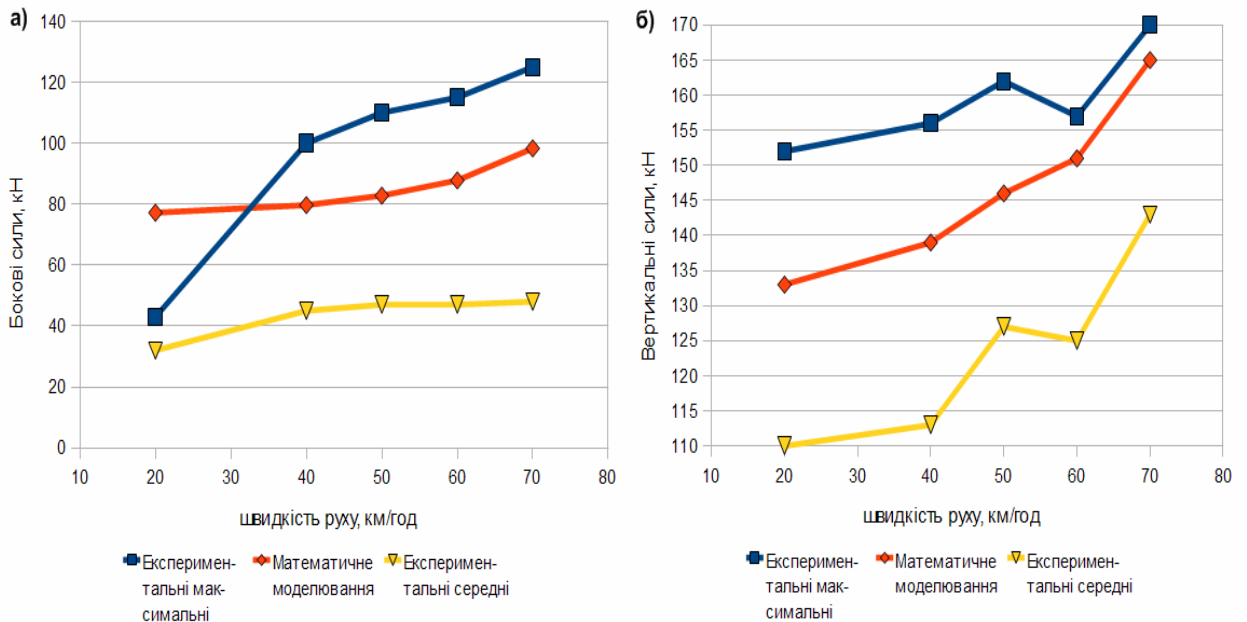
Рис. 4.16. Коефіцієнт запасу стійкості колеса на рейці, ПРШ напрямок руху

Для порожнього піввагона порівняння теоретичних результатів проводилось по результатах експериментальних досліджень колісвипробувальної лабораторії ДНУЗТу, проведених під керівництвом Мойсеєнко К. В [62]. Ці результати представлені на рис. 4.17.



а) бокові сили; б) вертикальні сили  
Рис. 4.17. Бокова сила, порожній піввагон.

Перейдемо до верифікації математичної моделі взаємодії вантажного піввагона та стрілочного переводу на дерев'яних брусах. Результати верифікації представлено на рис. 4.18...4.19.



а) бокові сили; б) вертикальні сили  
Рис. 4.18. Результати верифікації, стрілочні переводи на дерев'яних брусах

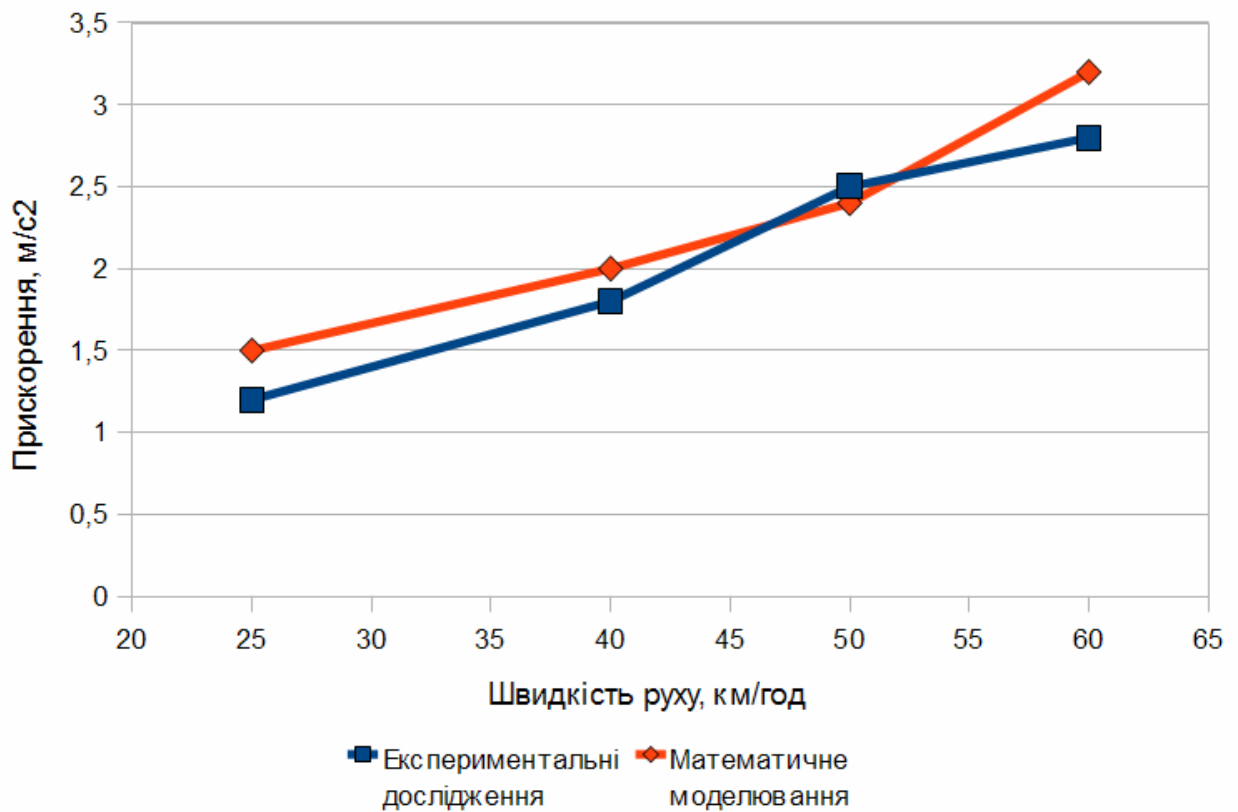


Рис. 4.19. Результати верифікації, поперечні прискорення кузова

Проведена чисельна верифікація (рис. 4.11...4.19) свідчить, що результати отримані за допомогою розробленої математичної моделі взаємодії вантажного піввагона з стрілочним переводом знаходяться в діапазоні значень отриманих під час динамічного експерименту, як для рамних рейок так і для перевідної кривої. Лише іноді теоретичні результати дещо більші, а для коефіцієнту запасу стійкості менші за експериментальні, але цю обставину можливо віднести до забезпечення запасу на безпеку руху при розробці практичних рекомендацій щодо нормативів утримання по результатам моделювання. Наведений аналіз дає можливість зробити висновок: розроблена математична модель з достатньою чисельною точністю відображає взаємодію в межах бокового напрямку стрілочних переводів

### 4.3.2 Якісна верифікація

Порівняння якісного збігу є необхідним, бо дозволяє оцінити збіг характеру зміни бокових чи вертикальних сил з експериментальними. Збіг теоретичного та експериментального характеру зміни сил взаємодії по довжині бокового напрямку дасть змогу точніше проаналізувати вплив стану колії на безпеку руху. Підвищення точності оцінки впливу стану колії за шириною колії та у плані і профілі на взаємодію колії та рухомого складу в межах стрілочних переводів є однією з заборук обґрунтованого удосконалення нормативів утримання колії. Отже, перейдемо безпосередньо до аналізу якісних результатів моделювання. На рис. 4.20-4.21 показана зміна бокової сили отримана теоретично та експериментально в межах бокового напрямку при протишерсному (ПРШ) та пошерсному (ПШ) напрямках руху відповідно.

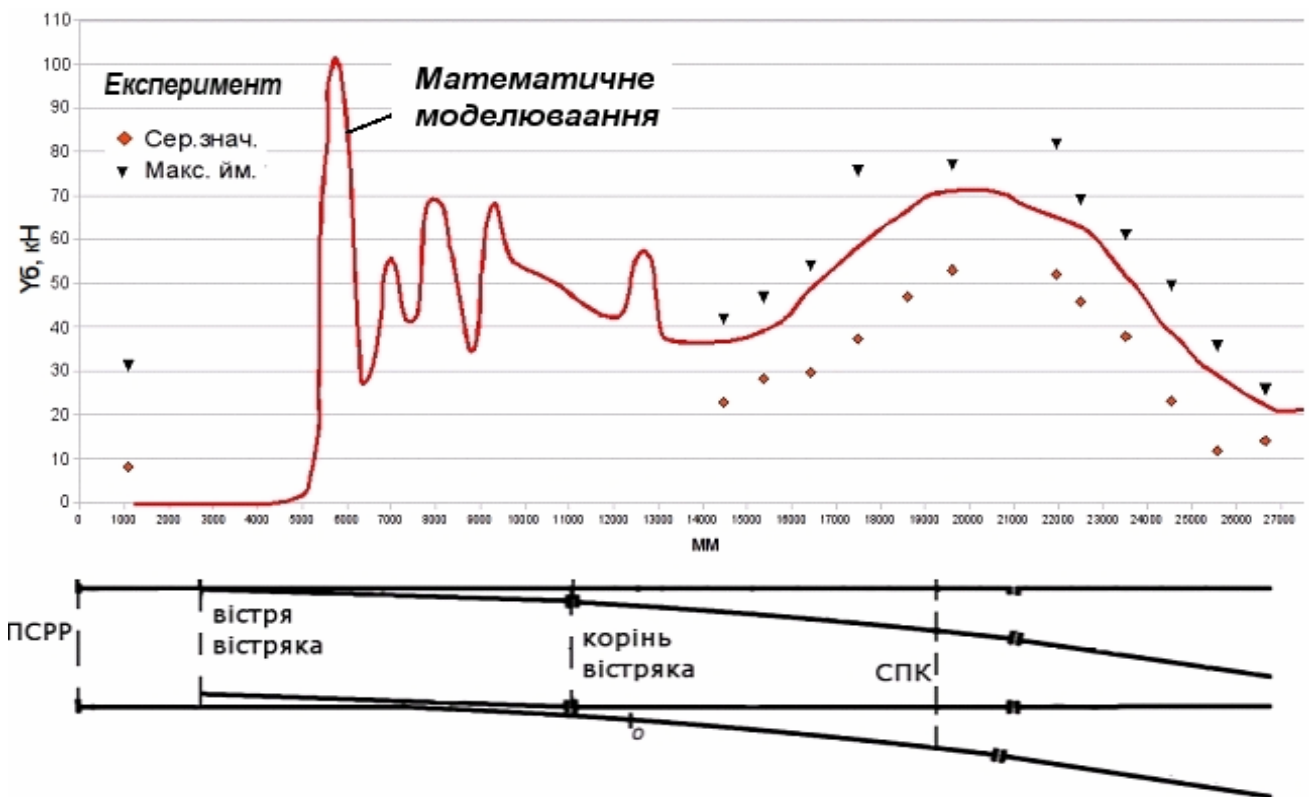


Рис. 4.20. Бокова сила в межах бокового напрямку, напрямок руху ПРШ.

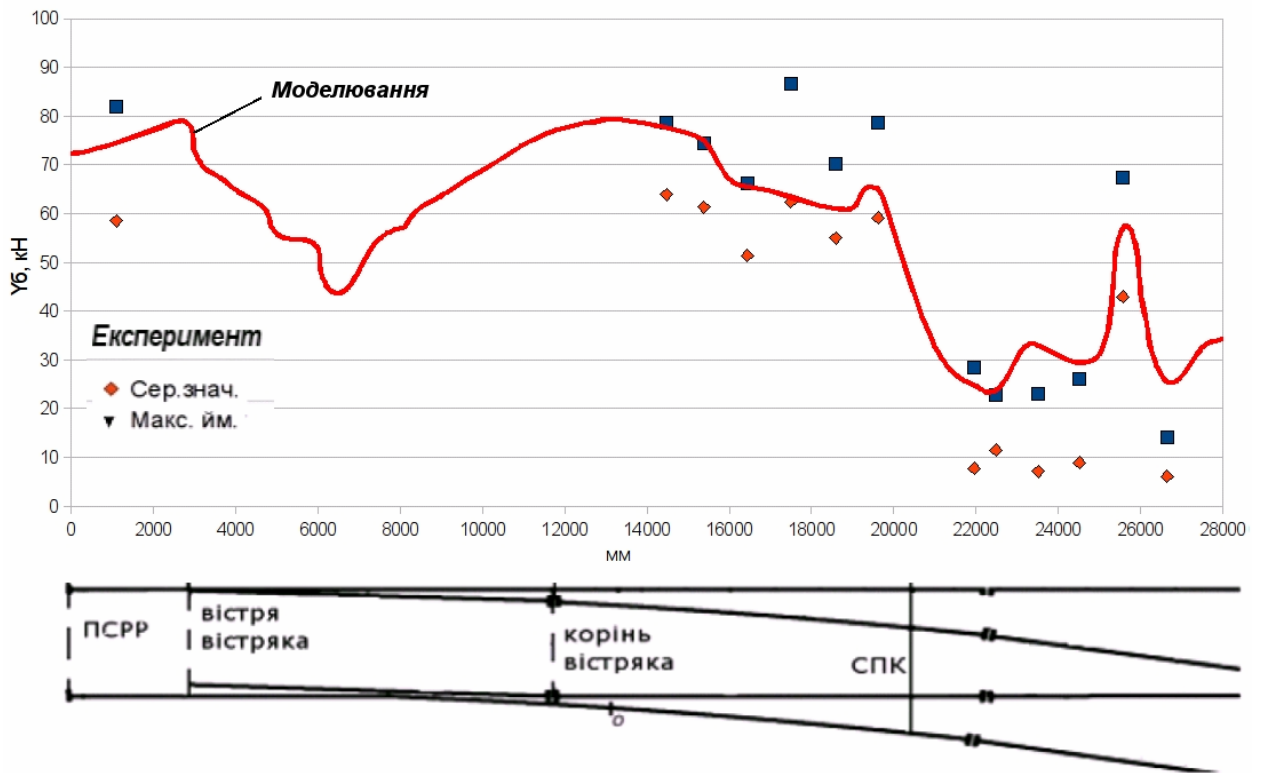


Рис. 4.21. Бокова сила в межах бокового напрямку, напрямок руху ПШ.

Порівняння, що представлено на рис. 4.20-4.21 вказує на добрий якісний збіг результатів в межах бокового напрямку, які отримані теоретично та експериментально. Лише для поперсного напрямку руху перед серединою перевідної кривої бокова сила дещо вище ( до 15 кН) ніж експериментально отримана, але це можливо віднести у запас по забезпеченню безпеки рух.

Перейдемо до аналізу показників безпеки руху. На рис. 4.22-4.23 показана зміна коефіцієнта запасу стійкості отриманого теоретично та експериментально в межах бокового напрямку при ПРШ та ПШ русі. Коефіцієнт запасу стійкості визначався згідно затвердженої у колійному господарстві України методики [39]

$$K_{cm} = \frac{P}{Y} \quad (4.21)$$

Де:  $P$  – вертикальне навантаження від колеса на рейку;

$Y$  – горизонтальне навантаження від колеса на рейку у тому ж перетині, де визначалось вертикальне навантаження від колеса на рейку;

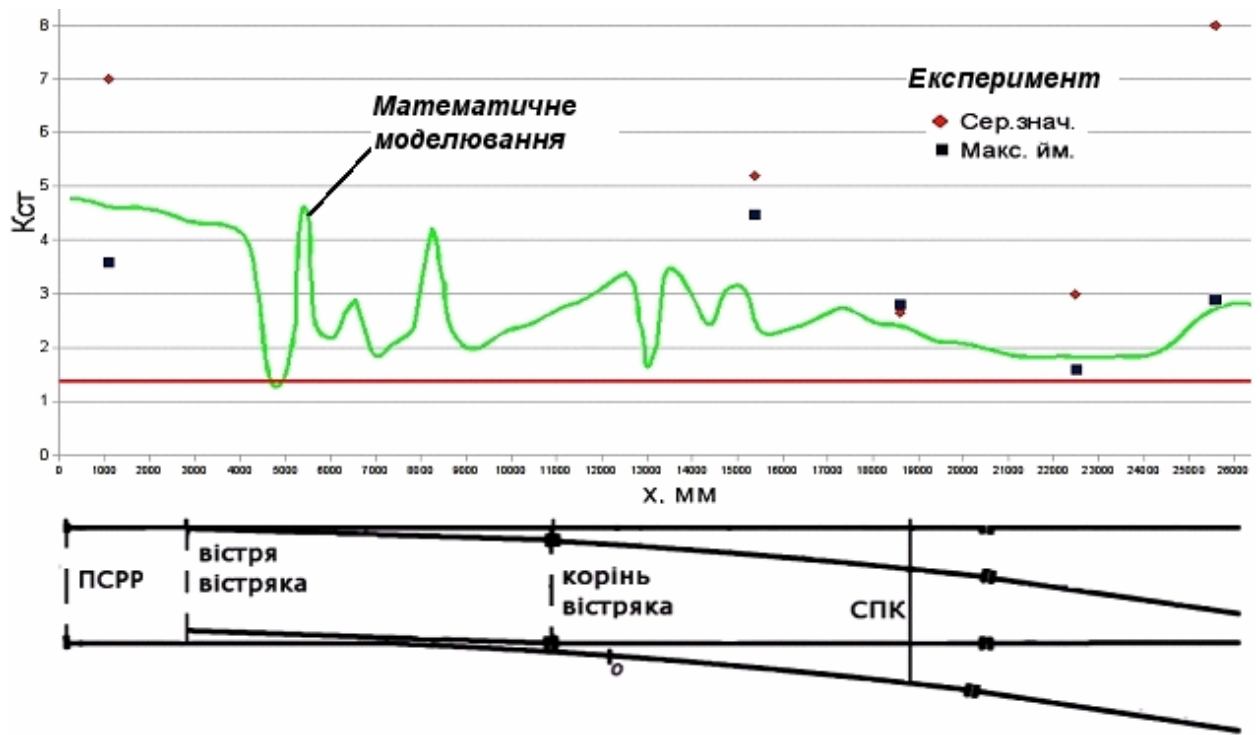


Рис. 4.22. Коефіцієнт запасу стійкості, ПРШ напрямок руху.

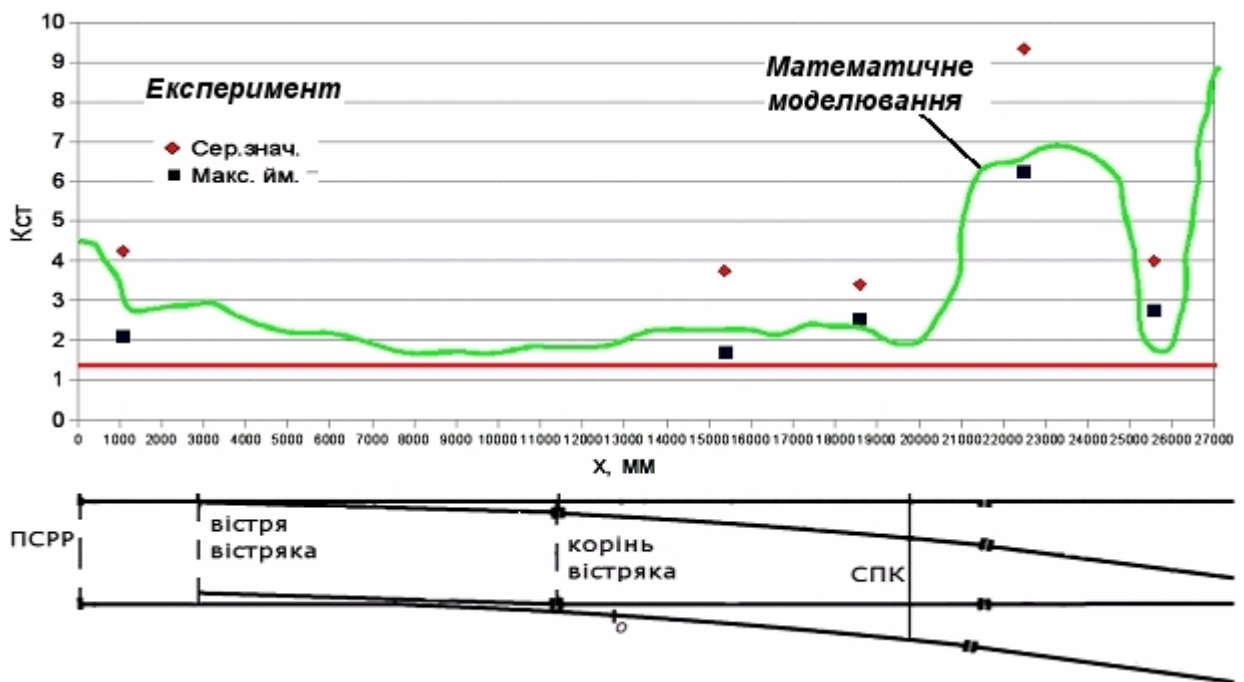


Рис. 4.23. Коефіцієнт запасу стійкості, ПШ напрямок руху.

Порівняння, що представлено на рис. 4.22-4.23 свідчить, що результати отримані при моделюванні дещо менші ніж експериментальні, що слугує забезпеченню запасу при подальших дослідженнях присвячених безпеці руху за допомогою розробленої математичної моделі

#### 4.4 Висновки по розділу

По результатам, викладеним у даному розділі, можливо зробити наступні висновки:

- 1) отриманий збіг чисельних та якісних результатів моделювання з експериментальними дозволяє використовувати розроблену просторову математичну модель вантажного піввагона на візках 18-100 для досліджень по впливу відступів від норм утримання за шириною колії та за напрямком у плані на безпеку руху та вплив на колію.
- 2) для більшості показників взаємодії колії та рухомого складу, які досліджувались під час динамічного експерименту та моделювання, не було зафіксовано перевищення допустимих значень, встановлених згідно [39].

## РОЗДІЛ 5

### **ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВЗАЄМОДІЇ КОЛІЇ ТА РУХОМОГО СКЛАДУ В МЕЖАХ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ, ЯКІ НЕ ВРАХОВАНІ В ДІЮЧИХ НОРМАТИВАХ**

#### **5.1 Методика досліджень**

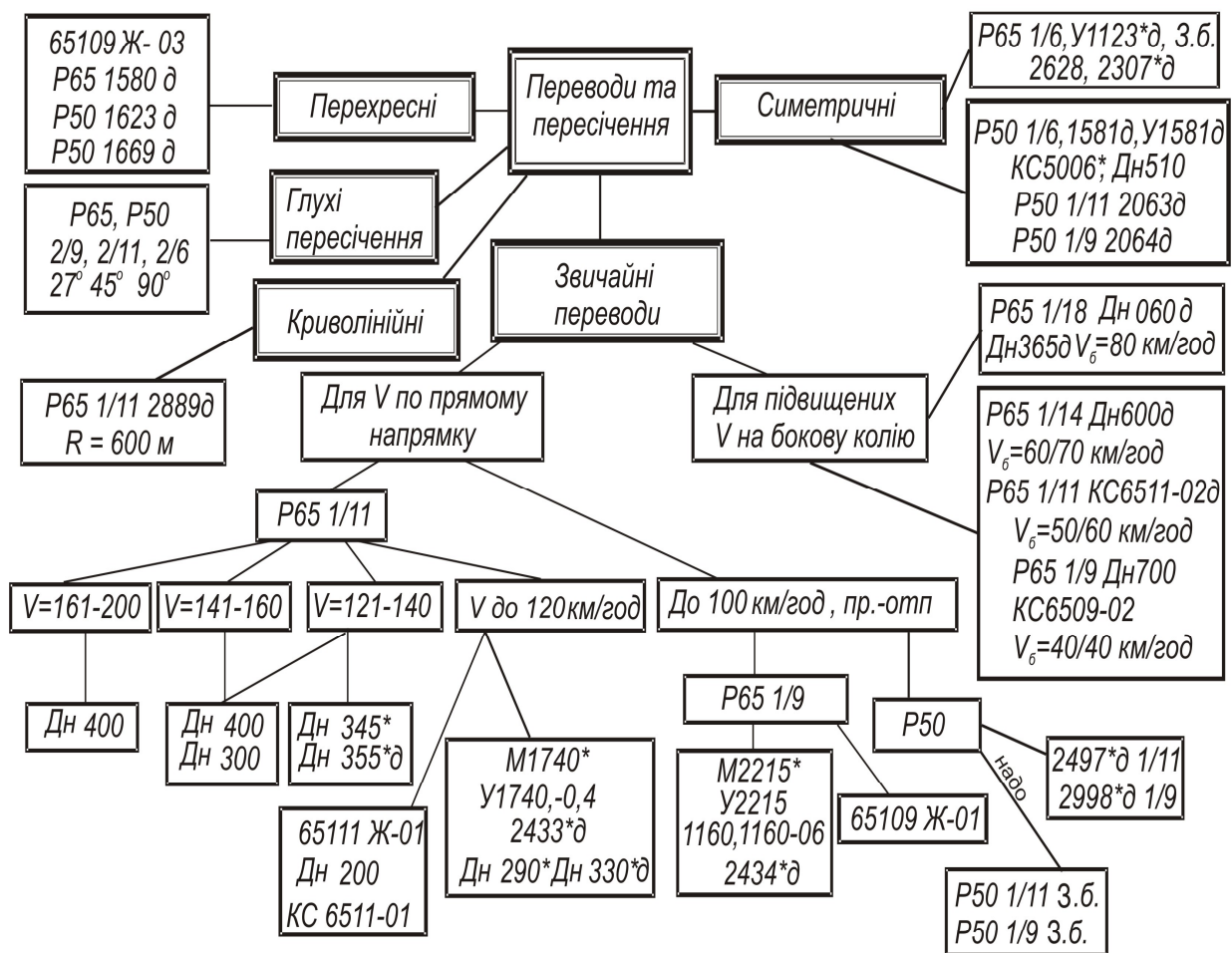
В дослідженнях, присвячених впливу стану стрілочних переводів у плані та профілі на допустимі швидкості руху [19], аналізувались найбільш розповсюджені марки стрілочних переводів: 1/9 та 1/11, які мають радіус перевідної кривої 200 та 300 м відповідно та однакову встановлену швидкість на бокову колію 40 км/год. І по результатах цих досліджень були розроблені рекомендації, щодо допустимих швидкостей руху для всіх проектів стрілочних переводів. На нашу думку розробка рекомендацій по утриманню колії в межах стрілочних переводів лише по результатам досліджень двох марок стрілочних переводів була недостатньою. Тому що в експлуатації знаходяться стрілочні переводи, які мають інакші встановлені швидкості та великі геометричні відмінності в порівнянні з досліджуваними у [19] проектами стрілочних переводів. Для надання обґрунтованих рекомендацій по удосконаленню нормативів утримання необхідно під час досліджень врахувати весь спектр характеристик стрілочних переводів (геометрія, встановлена швидкість, тип, вид підрейкової основи), що експлуатуються на Україні. З метою врахування зазначених характеристик була розроблена відповідна методика досліджень, яка передбачає:

- 1) визначення проектів стрілочних переводів, які мають відмінності у встановленій швидкості руху, та геометричних параметрах;
- 2) для цих проектів проаналізувати вплив ширини колії та нерівностей у плані на взаємодію в межах бокового напрямку;
- 3) визначити особливості взаємодії, які є ключовими при подальшій

розробці нормативів утримання.

Проаналізувавши зазначені вище характеристики стрілочних переводів для колії шириною 1520 мм, які експлуатуються в межах України, до теоретичних досліджень було прийнято 6 проектів стрілочних переводів. Серед яких два симетричні (2063, 2064); проект Дн600 призначений для кривих ділянок колії; проекти 1740 та 2215 та їх аналоги є найбільш розповсюдженими в межах України.

### Класифікація переводів і пересічень колії 1520 мм



Переводи, що позначені \*, мають по декілька варіантів виготовлення з різним конструктивним оформленням окремих елементів

Рис. 5.1. Класифікація стрілочних переводів колії шириною 1520 мм.

Встановлена, згідно [2], швидкість руху по боковому напрямку для обраних проектів стрілочних переводів знаходиться в діапазоні 40...80

км/год. Діапазон розрахункових непогашених відцентрових прискорень, що діє в межах перевідної кривої, для цих проектів становить 0.4...0.7 м/с<sup>2</sup>. Характеристики переводів представлені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

**Характеристики бокового напрямку стрілочних переводів**

№ проекту	R, м	M	Встановлена швидкість, км/год	Тип	Відцентрове прискорення, м/с <sup>2</sup>	Тип підрейкової основи
1740, 2433	300	1/11	40	P65	0.41	Залізобетонна, дерев'яна
2215, 2434	200	1/9	40	P65	0.62	Залізобетонна, дерев'яна
2064	422	1/9	50	P50	0.46	Дерев'яна
Дн600	623	1/14	60	P65	0.45	Дерев'яна
Дн060	962	1/18	80	P65	0.51	Дерев'яна
2063	540	1/11	70	P50	0.7	Дерев'яна

При дослідженнях впливу ширини колії моделювався найбільш несприятливий, з точки зору взаємодії, варіант входу колісної пари на бокову колію – зазор між гребенем колеса, що набігає та вістряком максимальний. Товщина гребеню та насадка колісної пари приймалися мінімально допустимими, згідно [1]. Ширина колії в розрахунках приймалась від 1520 до 1548.

Зазор між колісною парою та колією був розрахований за формулою

$$\Delta = S - \mu - 2d \quad (5.1)$$

де S – ширина колії;  $\mu$  – насадка колісної пари; d – товщина гребеня колеса на відстані 18 мм від його вершини;

Результати експлуатаційних досліджень, представлених у другій главі дисертації, засвідчили, що нерівності у плані в межах перевідної кривої обумовлені положенням зовнішньої рейкової нитки. Тому нерівності за

напрямок у плані в межах перевідної кривої моделювались зміщенням зовнішньої рейкової нитки, схема моделювання представлена на рис. 5.2.

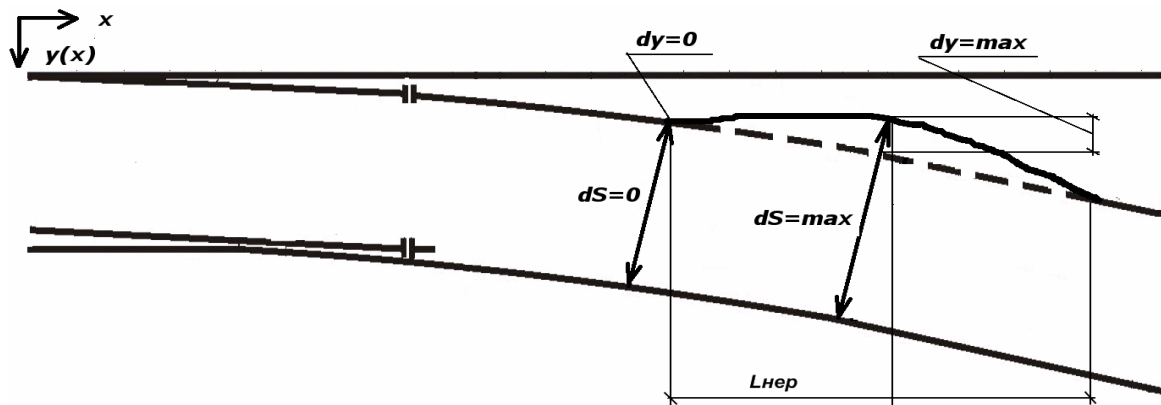


Рис. 5.2. Схема моделювання нерівності у плані по упорній нитці перевідної кривої:

$dS$  - відступ за шириною колії;  $dy$  - відступ за напрямком у плані.

У якості показника впливу ширини колії чи стану за напрямком у плані на взаємодію колії та рухомого складу в межах бокового напрямку стрілочних переводів прийнята величина бокової сили від колеса на рейку. Саме бокова сила характеризує вплив ширини колії та положення колії у плані на взаємодію колії та рухомого складу.

## 5.2 Аналіз впливу ширини колії та положення у плані стрілочних переводів на взаємодію колії та рухомого складу

### 5.2.1 Вплив ширини колії у характерних ділянках

Ширина колії в межах бокового напрямку моделювалась постійною. Хоча ширина колії по результатам експлуатаційних досліджень (рис. 2.8-2.9) та при проектуванні (рис. 2.1-2.3) є зміною по довжині. Зміна ширини колії при проектному положенні здійснюється за рахунок внутрішньої нитки. Впливу положення внутрішньої нитки бокового напрямку на взаємодію колії та рухомого складу несуттєвий. Експериментально ця обставина підтверджується рівнем бокових та рамних сил, які діють на перші за

напрямок руху колісні пари першого візка екіпажу [19, 22]. Крім того на даному етапі досліджень ставилась задача проаналізувати окремо від інших факторів вплив ширини колії в межах бокового напрямку на взаємодію. Саме тому ширина колії моделювалась постійною по довжині бокового напрямку. В дослідженнях, присвячених впливу нерівностей колії у плані (підрозділ 5.2.2), ширина колії в межах бокового напрямку моделювалась змінною (див. рис. 5.2).

Проаналізувавши, результати представлені на рис 3.17 нами вперше було помічено, що характер зміни ширини колії по боковому напрямку стрілочних переводів повторює зміну бокової сили від колеса, що набігає на упорну нитку бокового напрямку. Отримані результати дозволили виділити по характеру взаємодії та зміни ширини колії в межах бокового напрямку дві характерні ділянки: стрілка та перевідна крива.

Розглянемо вплив ширини в межах стрілки. В табл. 5.2 наведені результати розрахунків для досліджуваного діапазону ширини колії в межах зони набігання.

Таблиця 5.2

**Вплив ширини колії в межах ділянки набігання на бокову силу**

S, мм	Величина бокової сили $Y_b$ , кН					
	2433	2063	2064	Дн060	1740	Дн600
1520	81	89	81	84	95	84
1525	85,75	94,5	83,5	90	99	91
1530	90,5	100	86	96	103	98
1535	92,35	105,75	89,3	103,5	108,5	104
1540	94,2	111,5	92,6	111	114	110
1545	100,33	119,31	97,85	115,38	119,63	115
1548	104	124	101	118	123	118

З наведених в табл. 5.2 результатів бачимо, що ширина колії в межах ділянки набігання істотно впливає на бокову силу, причому інтенсивність зростання сили значно вище для стрілочних переводів з встановленою швидкістю руху 60...80 км/год ніж при 40...50 км/год.

Виконаємо аналіз впливу ширини колії в межах другої ділянки - перевідної кривої стрілочних переводів на величину бокової сили. В табл. 5.3 наведені результати розрахунків для досліджуваного діапазону ширини колії в межах перевідної кривої.

Таблиця 5.3

**Вплив ширини колії в межах перевідної кривої на бокову силу**

S, мм	Величина бокової сили $Y_b$ , кН					
	2433	2063	2064	Дн060	1740	Дн600
1520	73,5	79,3	65,4	60	74	73
1525	73,75	79,9	66,45	60,75	74,5	73,1
1530	74	80,5	67,5	61,5	75	73,3
1535	74,4	80,75	67,8	62,65	75,9	73,4
1540	75	81,2	68,3	64	77	73,6
1545	75,63	81,7	68,99	65,88	77,63	77
1548	76	82	69,4	67	78	77,2

Представлені в табл. 5.3 результати свідчать про неістотний вплив ширини колії на бокову силу, але зауважимо, що для стрілочного переводу Дн060 з встановленою швидкістю руху 80 км/год інтенсивність зростання бокової сили від ширини колії більша ніж для стрілочних переводів з встановленими швидкостями 40...70 км/год.

Проаналізуємо детальніше вплив ширини колії по характерних ділянках для кожного проекту стрілочного переводу, що досліджується. Для цього результати розрахунків були оброблені наступним чином: був підрахований відсоток зростання бокової сили в межах стрілки та перевідної кривої для кожного проекту, що досліджувався. Результати представлено на рис. 5.5-5.6 для стрілки та перевідної кривої відповідно.

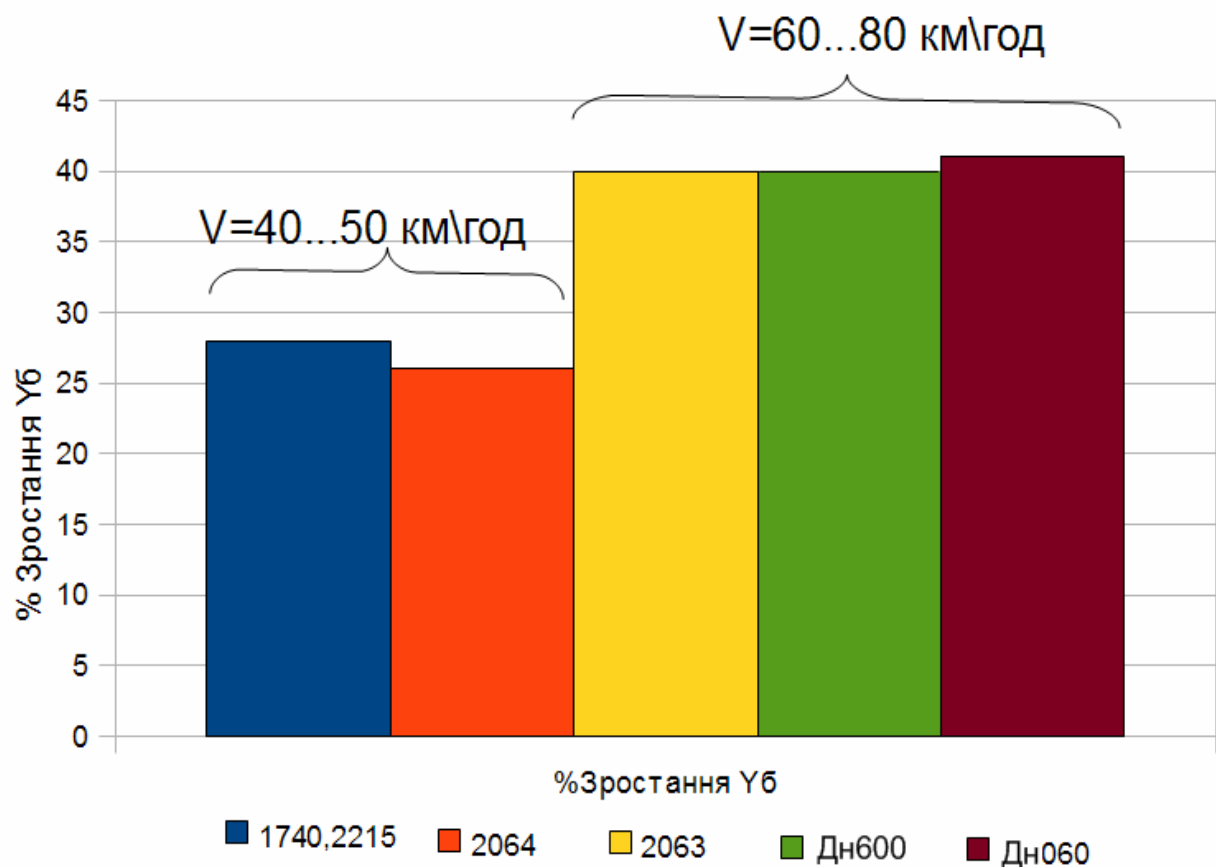


Рис. 5.3. Відсоток зростання бокової сили в межах ділянки набігання.

Як бачимо з рис. 5.3 в межах ділянки набігання бокові сили зростають при зміні ширини колії від 1520 до 1546 мм на 26-42%, в залежності від встановленої швидкості. Такий вплив швидкості свідчить про доцільність диференційованого підходу до призначення нормативів в залежності від швидкості руху. Зауважимо, що такий підхід є загальноприйнятим на залізницях Європейського союзу, США, Канади [32, 100]

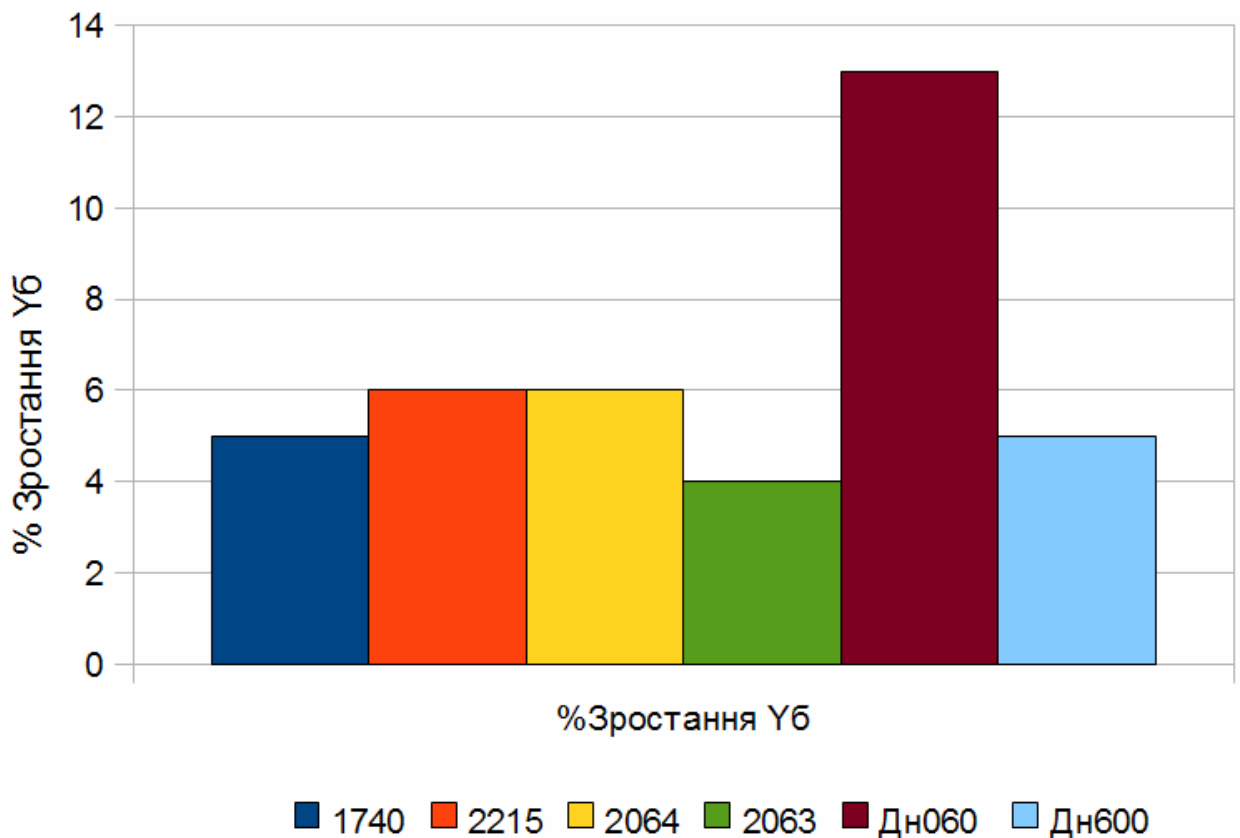


Рис. 5.4. Відсоток зростання бокової сили в межах перевідної кривої.

В межах перевідної кривої бокові сили зростають при зміні ширини колії від 1520 до 1546 мм на 4-6% і тільки для проекту ДН060 з встановленою швидкістю 80 км/год на 13%. Зауважимо, що згідно результатів представлених на рис. 5.4 для стрілочних переводів, що будуть проектуватись з швидкістю 80 км/год та більше по боковому напрямку, необхідно провести додаткові дослідження по впливу ширини колії на взаємодію.

Отже проведений аналіз впливу ширини колії на характер і на величину бокових сил взаємодії колії та рухомого складу дозволив виділити в межах бокового напрямку дві характерні ділянки: стрілка та перевідна крива. До досліджень були прийняті проекти стрілочних переводів встановлена швидкість руху по боковому напрямку яких складає від 40 до 80 км/год з кроком 10 км/год. Такий діапазон встановленої швидкості руху дозволив проаналізувати її вплив на величину бокових сил. Аналіз засвідчив доцільність диференційованого по швидкостях руху підходу до розробки нормативів утримання по ширині колії в межах стрілки. В межах перевідної

кривої ширина колії несуттєво впливає на зростання бокової сили, в середньому на 4-6 %, лише для проекту Дн060 відсоток зростання склав 13%. Подібні висновки, але для звичайної колії, отримані науковцями ВНДІЗТу [67-68]. Врахування вищенаведених результатів дозволить в подальших дослідженнях по удосконаленню нормативів утримання по ширині колії в межах стрілочних переводів науково обґрунтовано скоротити витрати на поточне утримання, при безумовному забезпеченні безпеки руху.

### 5.2.2 Вплив нерівностей у плані.

Перейдемо до аналізу впливу нерівностей у плані в межах перевідної кривої. Згідно чинних нормативних документів [2] положення у плані бокового напрямку стрілочних переводів контролюється ординатами упорної нитки перевідної кривої. Зазначимо, що контроль плавності положення зовнішньої нитки перевідної кривої виконується за допомогою показника різниці відступу у суміжних ординатах. Згідно досліджень [35] проф. Глюзберга Б. Е., цей показник безпосередньо характеризує вплив стану зовнішньої нитки перевідної кривої на безпеку руху

Використання розробленого нами методу моделювання кривих реального окреслення [90, 93] дозволило змодельовати нерівності у плані в межах перевідної кривої шляхом накладання нерівності на проектну геометрію бокового напрямку стрілочних переводів, що досліджувались. Параметри нерівностей були обрані за результатами експлуатаційних досліджень. Сама ж нерівність у плані моделювалась за допомогою дельта функції, подібна методика використовується дослідниками у США [100].

$$y(x) = \frac{A}{\sqrt{(\pi)}} \cdot e^{-x^2} \quad (5.2)$$

де  $A$  - амплітуда нерівності, мм

Результати розрахунків представлені на рис. 5.5 та в табл. 5.4

## Вплив нерівностей у плані в межах перевідної кривої на бокову силу

Різниця відступу у суміжних ординатах, мм	Величина бокової сили $Y_b$ , кН					
	1740	2063	2064	Дн060	2215	Дн600
2	72	89,7	74	70	94	75
4	76,3	102,3	78,15	83	96,5	80
7	81	115	84,8	97,9	99,8	87,5
8	85,5	127,6	91,5	112,6	103	90
10	90	138,8	97,5	131,2	108	95

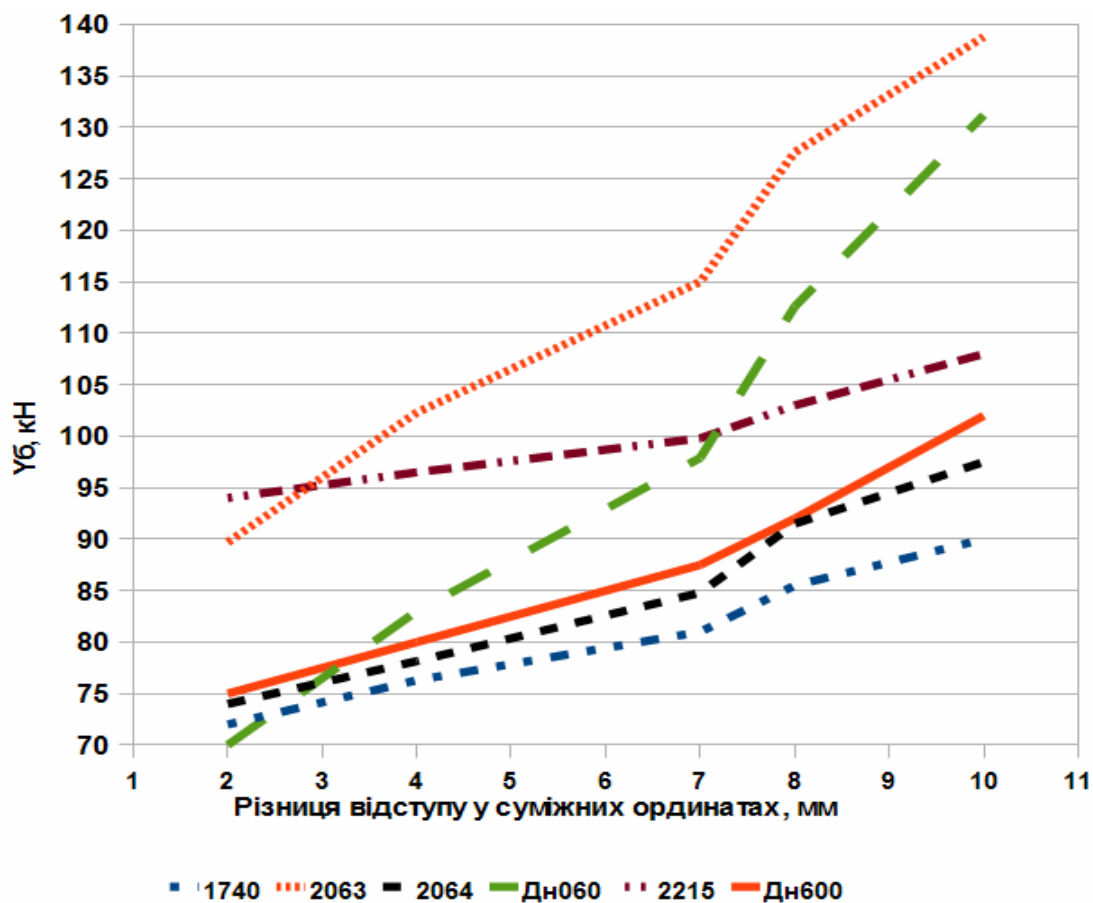


Рис. 5.5. Вплив амплітуди нерівності у плані на бокову силу

Наведені на рис. 5.5 результати свідчать про прямий вплив амплітуди нерівності у плані в межах перевідної кривої на зростання величини бокової

сили. Максимальна бокова сила при амплітуді 10 мм становить 138 кН (проект Дн060), а мінімальна 90 кН (проект 1740) При чому інтенсивність зростання бокової сили істотно залежить від швидкості руху.

Проаналізуємо детальніше вплив швидкості на зростання бокової сили. Для цього результати були оброблені наступним чином:

- для кожного проекту визначимо відсоток зростання бокової сили при зростанні амплітуди нерівності у плані від 2 до 10 мм;
- побудовано залежність зростання бокової сили від встановленої швидкості руху для кожного проекту стрілочного переводу, що досліджувався (рис. 5.8).

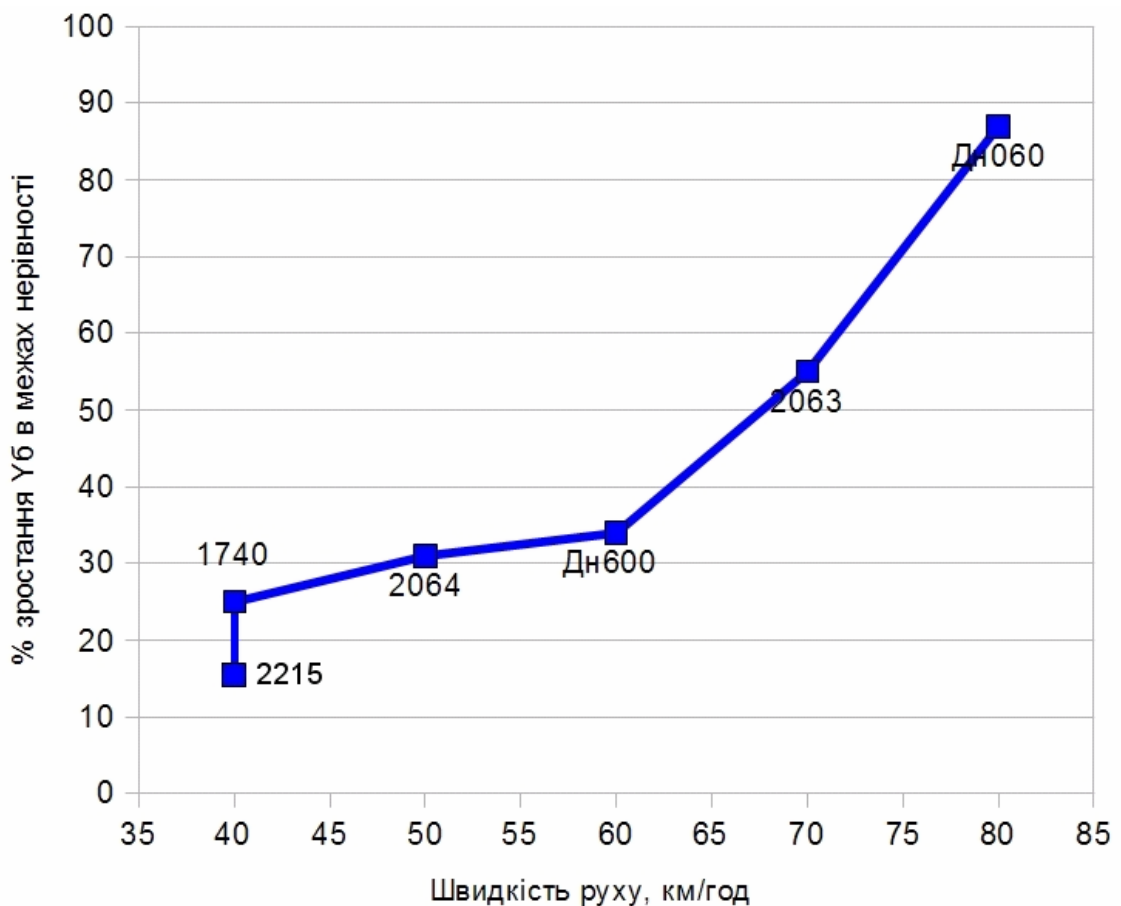


Рис. 5.6. Вплив швидкості руху на зростання бокової сили

Наведені на рис. 5.6 результати свідчать про нелінійний вплив швидкості руху на зростання бокової сили. При встановленій швидкості руху 40...50 км/год крива зростання бокової сили більш полого в порівнянні з

діапазоном 60...70 км/год, але найбільша інтенсивність зростання бокової сили при діапазоні від 70 до 80 км/год. Найменше зростання бокової сили в межах нерівності склало 15% для стрілочного перевалу проекту 2215. Причини такого зростання бокової сили будуть розкриті нижче при аналізі впливу відцентрового прискорення в межах нерівності у перевідній кривій.

Крім аналізу впливу швидкості руху, представляє інтерес вплив відцентрового прискорення на бокові сили. Спочатку проаналізуємо вплив відцентрового прискорення, що діє в межах перевідної кривої при її проектному положенні.

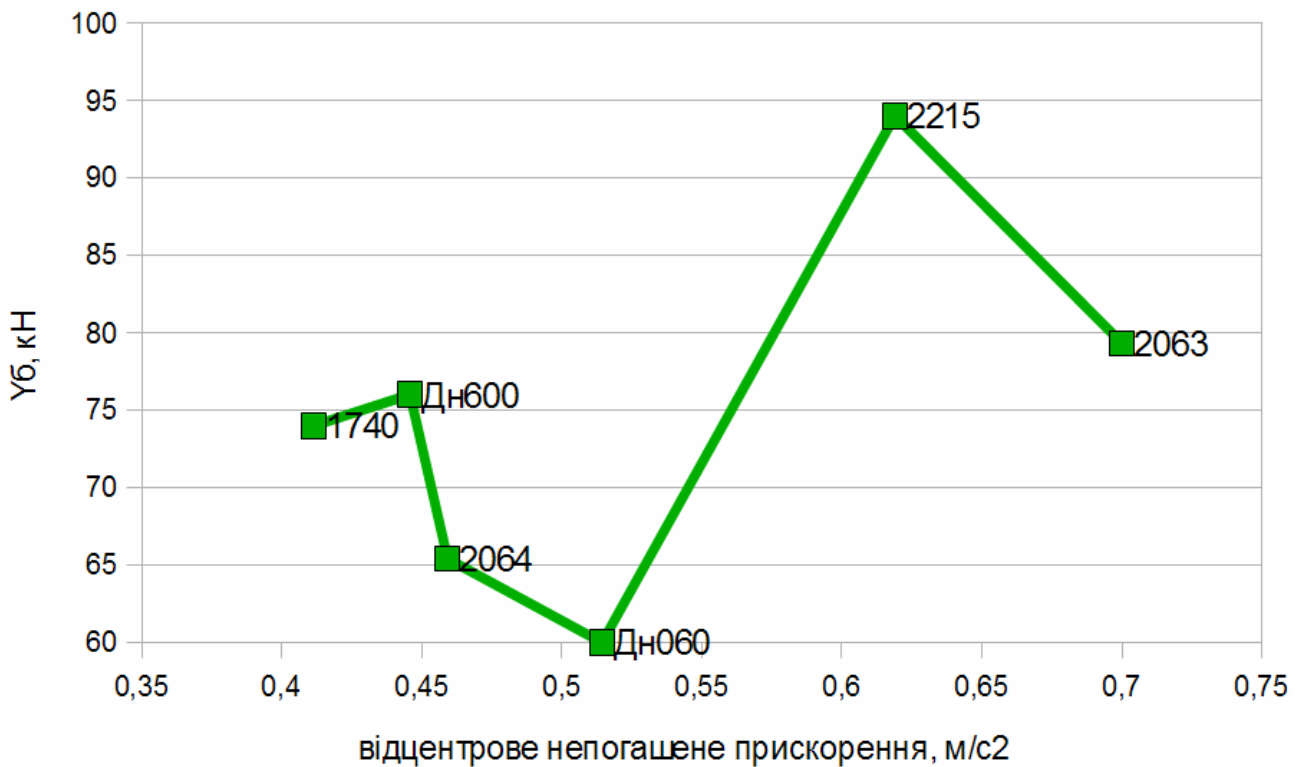


Рис. 5.8. Вплив відцентрового прискорення на бокові сили в межах перевідної кривої

Представлені результати (рис. 5.8) свідчать про неоднозначний вплив відцентрового прискорення на бокову силу в межах перевідної кривої. Найбільша величина бокової сили 94 кН зафіксована при відцентровому прискоренні 0,62 м/с<sup>2</sup>, а найменша 60 кН при 0,51 м/с<sup>2</sup>. Такі неоднозначні результати пояснюються особливостями вписування рухомого складу в криві. Згідно результатів досліджень проф. Єршкова О. П. [31] зі зростанням радіусу зменшується опір повороту візку рухомого складу у кривій ділянці.

Цією обставиною пояснюється найменша сила 60 кН при радіусі перевідної кривої 962,5 м та найбільша 94 кН при радіусі 200 м.

Результати експлуатаційних досліджень показали присутність нерівності у плані в межах перевідної кривої стрілочних переводів. Тому необхідно окремо проаналізувати вплив відцентрових прискорень, які діють в межах нерівностей у плані на зростання бокової сили. Методика досліджень аналогічна методиці по впливу швидкості руху. Непогашені відцентрові прискорення, що діють в межах нерівності у плані визначались по загальновідомому відношенню квадрату швидкості до радіуса. Методика визначення радіуса в межах нерівності наведена у розділі 5.3.

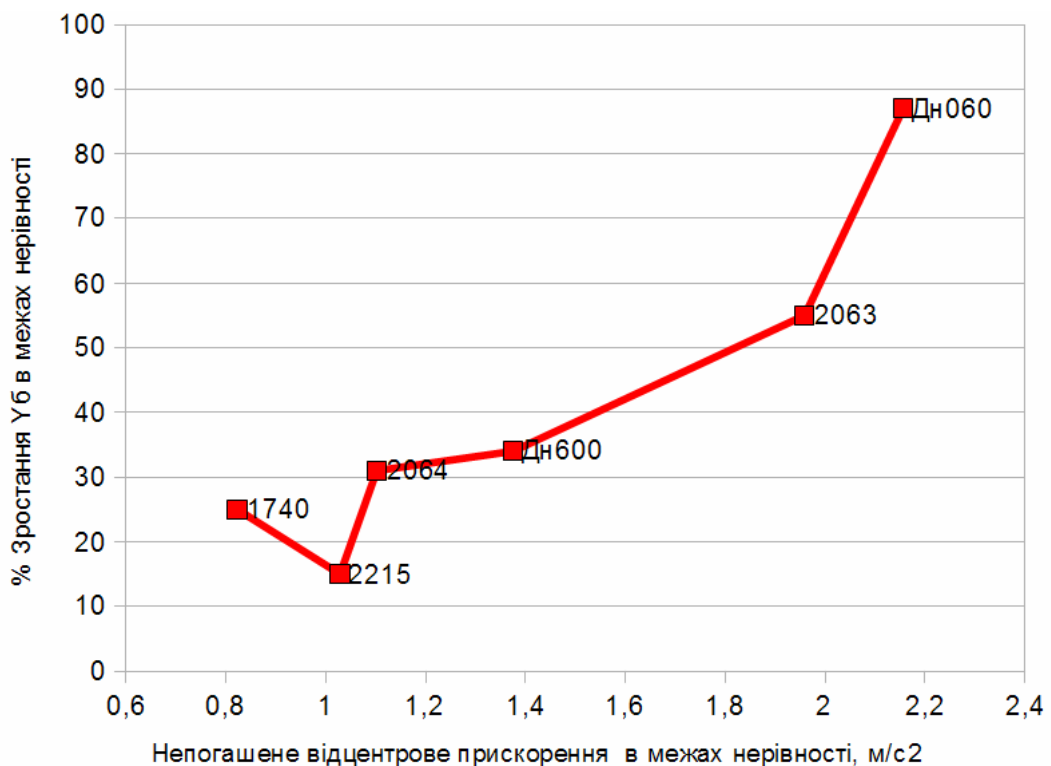


Рис. 5.8. Вплив відцентрового прискорення на зростання бокової сили

Отримані результати (рис. 5.8) свідчать про нелінійний вплив відцентрового прискорення на зростання бокової сили в межах нерівності. Зауважимо що характер результатів практично ідентичний з результатами по впливу швидкості руху.

Отже зі зростанням швидкості руху та відповідно відцентрових прискорень вплив нерівностей у плані в межах перевідної кривої нелінійно зростає. Тому, як і у випадку з шириною колії в межах стрілки, доцільно використовувати диференційований підхід, залежно від встановленої швидкості руху, до призначення нормативів утримання за напрямком у плані бокового напрямку стрілочних переводів. Крім того, за даними [38] 97 % стрілочних переводів, що експлуатуються в Україні мають встановлену швидкість 40 км/год. Тому призначення одних і тих же нормативів для всіх стрілочних переводів може призвести до необґрунтованого, з точки зору взаємодії, зростання обсягу робіт з поточного утримання на абсолютній більшості стрілочних переводів.

### 5.3 Аналіз впливу нерівностей у плані на допустиму ширину колії для вписування рухомого складу

З досліджень [31, 72, 99] відомо, що радіус кривих ділянок колії формується за рахунок власне проектного радіусу та нерівностей у плані, які накладаються на проектний радіус. В такому випадку радіус кривої ділянки можна визначити за наступною залежністю

$$R = \frac{1}{K^n + K^H} \quad (5.3)$$

де  $K^n$  - кривизна при проектному радіусі  $K^n = \frac{1}{R^n}$ , 1/м;

$K^H$  - кривизна в межах нерівності, 1/м;

$$K^H = \frac{8 \cdot A_H}{1000 \cdot l_H^2} \quad (5.4)$$

де  $A_H$  - амплітуда нерівності у плані, мм;

$l_H$  - довжина нерівності у плані, м.

Експериментальні дослідження [19] показали, що в межах нерівності у плані по боковому напрямку стрілочних переводів радіус може зменшуватись на 100 і більше м. Загальновідомо [88], що зі зменшенням радіусу кривої ділянки оптимальна та допустима з умов вписування рухомого складу ширина колії зростає. Дослідження з цього питання проводились вченими ЛПЗТУ та ВНДІЗТУ [70], результати цих досліджень враховано в діючих нормативах [2]. Але досліджень по впливу нерівностей у плані на допустиму ширину колії, по умовах вписування рухомого складу, ще не проводилось. Крім того, результати проведених нами експлуатаційних досліджень бокового напрямку стрілочних переводів [96] свідчать, що в межах кожного стрілочного переводу є нерівності у плані. А за даними аналізу сходів рухомого складу в межах бокового напрямку стрілочних переводів сумарний відсоток сходів, які викликані відступами у плані та по ширині колії складає 61,5 %. Тому необхідно дослідити питання впливу нерівностей у плані на допустиму ширину колії по умовах вписування рухомого складу.

Визначимо як зменшується радіус бокового напрямку стрілочних переводів в межах нерівностей у плані за вищенаведеною методикою (5.3-5.4). До розрахунків був прийнятий діапазон радіусів бокового напрямку від 200 до 1000 м, саме в межах цього діапазону експлуатуються боковий напрямок стрілочних переводів в Україні. Довжина нерівності була прийнята за результатами експлуатаційних досліджень (другий розділ), мінімально зафіксована її величина складає 6 м, саме вона і була прийнята до розрахунків, як найбільш несприятлива для умов взаємодії. Амплітуда нерівності у плані змінювалась від 5 до 30 мм, створюючи тим самим різницю ординат у суміжних перетинах від 3,33 до 20 мм. Результати представлено на рис 5.9.

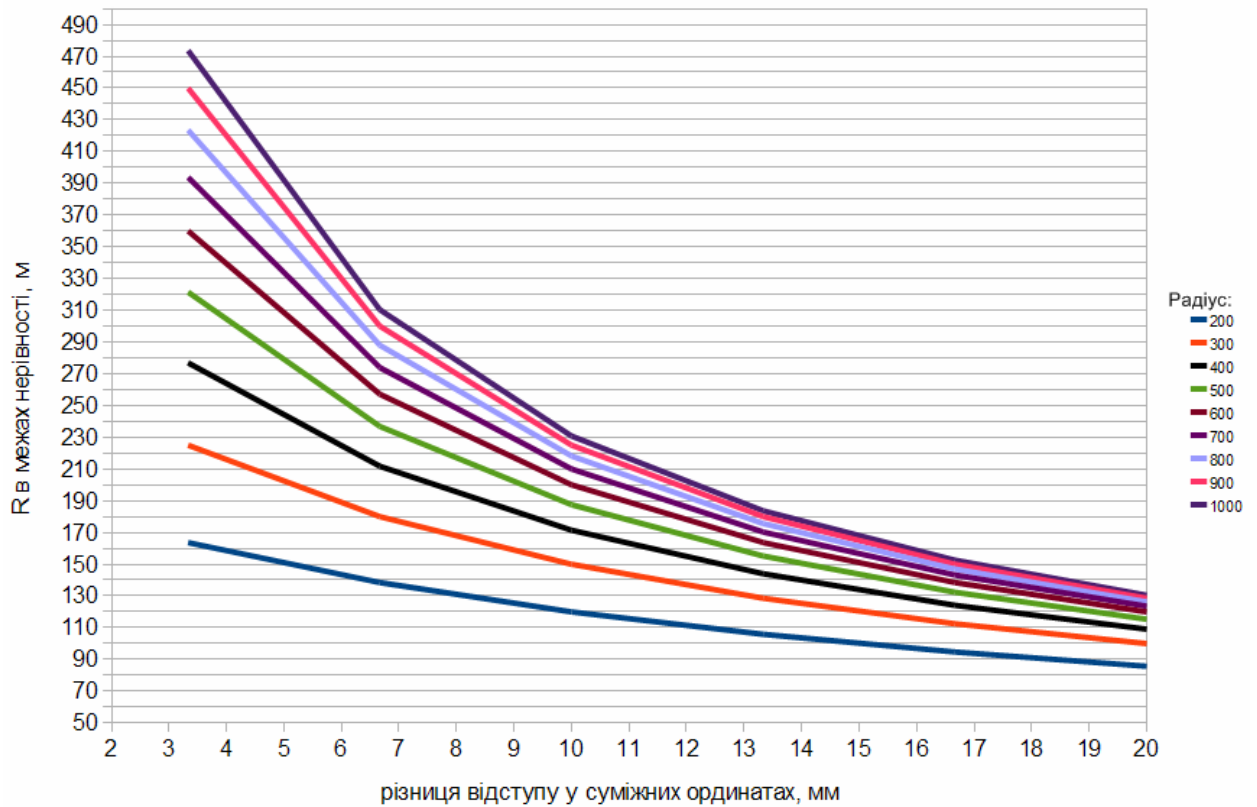


Рис. 5.9 Зменшення радіусу в межах нерівності у плані

Представлені на рис. 5.9 результати свідчать про нелінійне зменшення радіуса в межах нерівності у плані. Інтенсивність зменшення радіуса в межах нерівності зростає з величиною проектного радіуса бокового напрямку стрілочного перевodu. Мінімальний радіус складає 86 м, що відповідає 20 мм різниці відступу у суміжних ординатах для проектного радіуса бокового напрямку 200 м.

Перейдемо до визначення мінімально допустимої ширини колії. За розрахункову схему визначення мінімально допустимої ширини колії у кривих приймають заклинене вписування екіпажу з мінімальним зазором між колесом і рейкою для прямої ділянки, при якому зовнішні колеса крайніх осей жорсткої бази своїми ребордами упираються в зовнішню рейку кривої, а внутрішні у внутрішню рейку (рис. 5.10)

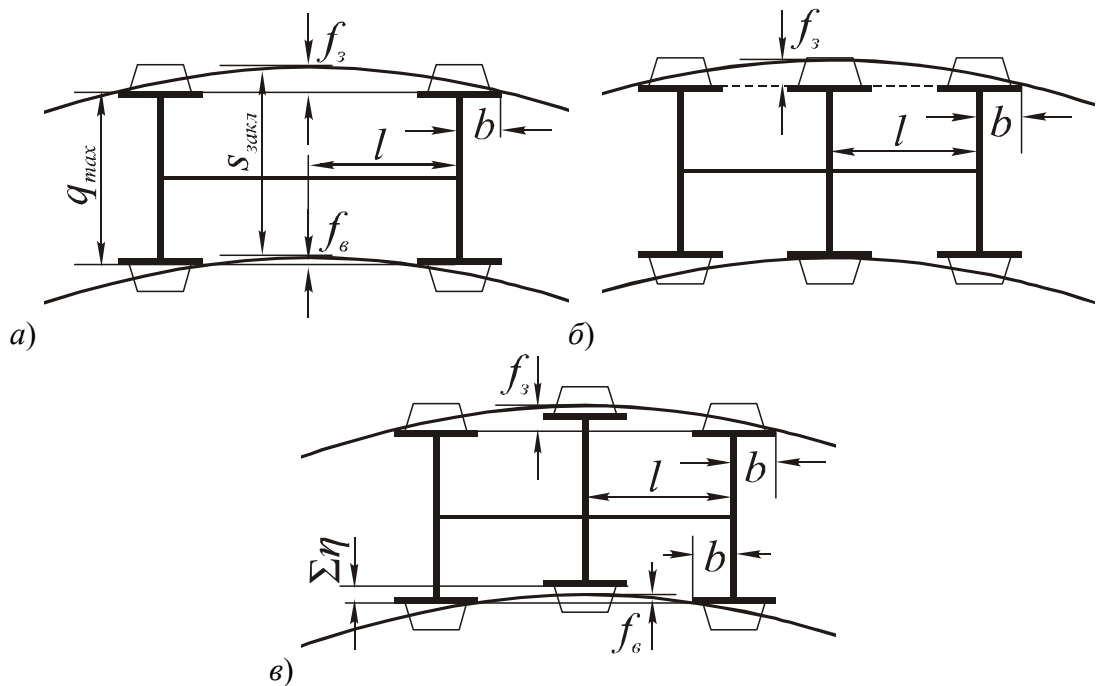


Рис. 5.10 Схема заклиненого вписування: а), б) без розбігів; в) з розбігами

Мінімально допустиму ширину колії можна визначити за узагальненою формулою [88]:

$$S = q_{\max} + f_3 - f_{\text{в}} + 4 - \Sigma\eta \quad (5.5)$$

- де  $q_{\max}$  - максимальна ширина колісної пари, мм;  
 $f_3$  зовнішня стріла вигину рейкової нитки, мм;  
 $f_{\text{в}}$  внутрішня стріла вигину рейкової нитки, мм;  
 4 допуск на звуження рейкової колії, мм;  
 $\Sigma\eta$  сума поперечних розбігів осей, мм.

Стріли вигину визначають за формулою

$$f = \frac{\lambda^2}{2 \cdot R}, \quad (5.6)$$

де  $\lambda$  - відстань від центру повороту візка до точки контакту гребеня колеса з рейкою, мм;

$R$  радіус кривої, мм;

Відстань від центру повороту візка до точки контакту гребеня колеса з рейкою визначається за формулою

$$\lambda = l \pm b \quad (5.7)$$

де  $l$  - відстань від центру повороту візка до осі колісної пари, що

контактує з рейкою, мм;

$b$  - відстань від осі колісної пари до точки контакту гребеня колеса з рейкою (забіг), мм, "+" – для зовнішньої рейки, "-" – для внутрішньої рейки;

Величину забігу  $b$  для випадку незношених гребенів коліс (як для самого несприятливого випадку з точки зору визначення ширини колії) визначається за наступною формулою

$$b = \frac{l \cdot r \cdot \operatorname{tg} \tau}{R_i}, \quad (5.8)$$

де  $r$  - радіус колеса, мм;

$\tau$  - кут нахилу гребеня коліс, мм ( $60^\circ$  - для вагонів,  $70^\circ$  - для локомотивів).

До розрахунків приймалися лише локомотиви, як найбільш несприятливий для вписування вид рухомого складу [88]. Розрахункові характеристики локомотивів наведені у [75]. Спочатку оберемо найбільш несприятливий локомотив для вписування, визначивши допустиму ширину колії при мінімальному радіусі 86 м, який можливий в межах нерівності у плані.

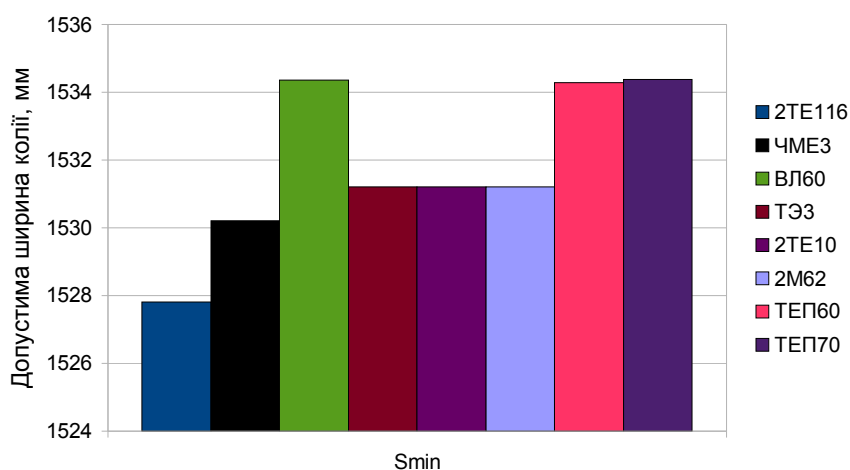


Рис. 5.11 Допустима ширина колії при різниці відступу у суміжних ординатах 20 мм.

Наведені результати на рис. 5.11 свідчать, що найбільш несприятливими для вписування є локомотиви ВЛ60, ТЕП60, ТЕП70.

Визначимо для цих локомотивів залежність між допустимою по умовам вписування (недопущення заклиненого вписування) шириною колії та різницею відступу у суміжних ординатах, за вищенаведеною методикою. Результати розрахунків наведені на рис. 5.12

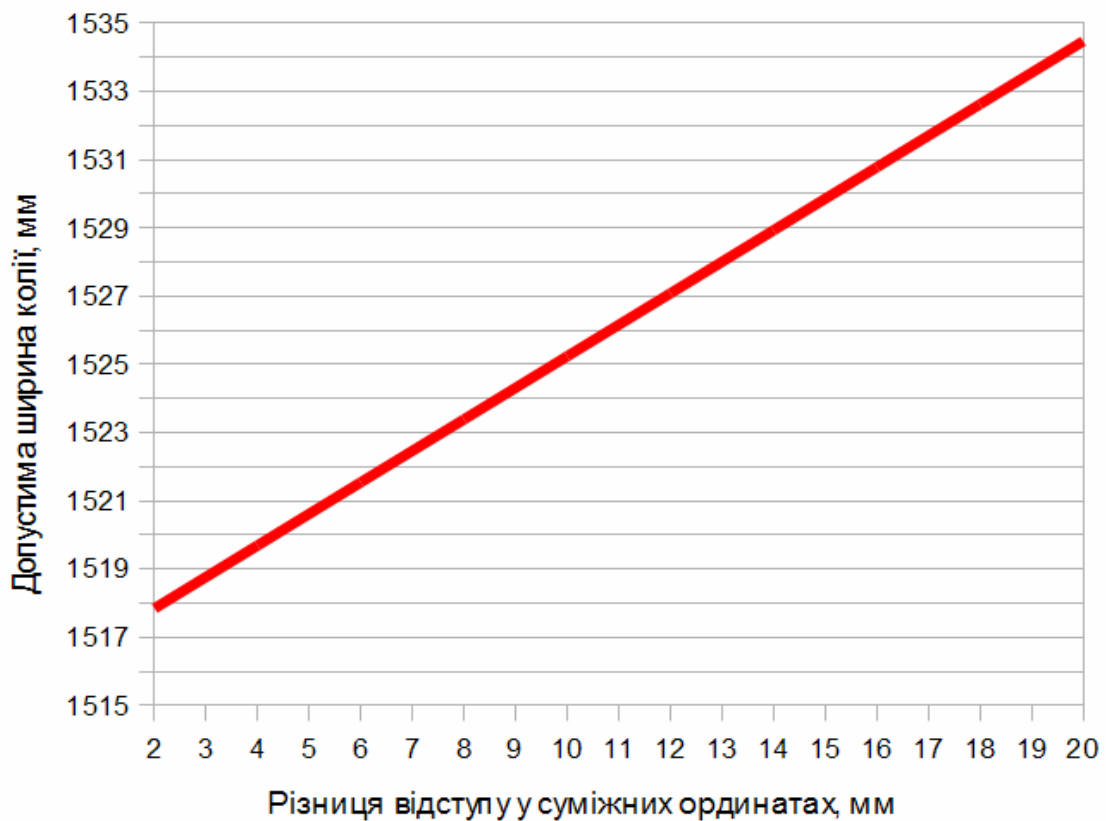


Рис. 5.12 Допустима ширина колії в межах нерівностей у плані

Наведені результати на рис. 5.12 свідчать, що зростання амплітуди нерівності у плані призводить до зростання мінімально допустимої ширини колії для вписування рухомого складу по боковому напрямку стрілочних переводів. Отже при експлуатації колії в межах бокового напрямку стрілочних переводів необхідно враховувати вищенаведену графічну залежність (рис. 5.12) для забезпечення безпеки руху.

## 5.4 Висновки по розділу

Результати досліджень викладенні у даному розділі дають можливість зробити наступні висновки:

- 1) в межах бокового напрямку стрілочних переводів по критерію впливу ширини колії на взаємодію колії та рухомого складу доцільно виділити дві характерні ділянки: стрілка та перевідна крива;
- 2) ширина колії в межах стрілки суттєво впливає на взаємодію колії та рухомого складу (бокова сила підвищується на 25-41%), а в межах перевідної кривої практично не впливає (зростання бокової сили в середньому складає 5%);
- 3) аналіз впливу швидкості руху, як при дослідженнях впливу ширини колії в межах стрілки так і нерівностей у плані на взаємодію, дозволив рекомендувати використання диференційованого підходу, в залежності від встановленої швидкості руху, при розробці нормативів утримання стрілочних переводів;
- 4) в межах нерівностей у плані радіус бокового напрямку може істотно зменшуватись, при чому інтенсивність зменшення зростає з величиною проектного радіусу;
- 5) при експлуатації бокового напрямку стрілочних переводів необхідно враховувати залежність між мінімально допустимою шириною колії та різницею відступу у суміжних ординатах.

## РОЗДІЛ 6

### РОЗРОБКА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НОРМАТИВІВ УТРИМАННЯ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ПО ШИРИНІ КОЛІЇ ТА У ПЛАНІ

Діюча система нормативів утримання стрілочних переводів [2] враховує лише норми та допуски утримання по ширині колії та за напрямком у плані. В цій системі не існують, як це прийнято для звичайної колії, нормовані ступені відступів. Крім того ці нормативи були розроблені за результатами статистичних та експериментальних досліджень стрілочних переводів лише на дерев'яних брусах [19, 34, 35, 56]. Недоліки згаданих досліджень були детально розглянуті у першому розділі.

Окремо слід врахувати результати експлуатаційних досліджень стану бокового напрямку за шириною колії та у плані, наведених у другому розділі, щодо відповідності стану стрілочних переводів діючим нормативам. Ці дослідження засвідчили недосконалість, з точки зору експлуатації стрілочних переводів, діючих нормативів. Колійники при діючих швидкостях руху, осьовому навантаженні, вантажонапруженості не мають можливості утримувати боковий напрямок стрілочних переводів за шириною колії та у плані в межах діючих допусків. Конструкція вузла вістряк-рамна рейка та проміжного скріплення КБ нездатна утримувати ширину та план колії в межах допусків при існуючому рівні бокових сил від рухомого складу. Даний висновок підтверджується результатами наведеними у другому розділі.

Ці обставини стали причиною проведення досліджень з розробки нових нормативів утримання стрілочних переводів по ширині колії та за напрямком у плані

## 6.1 Методика розробки нормативів

Основними вимогами при розробці та удосконаленні нормативів утримання залізничної колії є:

- 1) мінімум експлуатаційних витрат на поточне утримання колії;
- 2) забезпечення безпеки руху при утриманні колії по цих нормативах.

Зміст першої вимоги полягає в забезпеченні необхідного опору колії накопиченню залишкових деформацій. В свою чергу величина та інтенсивність накопичення залишкових деформацій залежить від багатьох факторів:

- рівня сил від рухомого складу на колію, обумовленого станом рухомого складу;
- конструкції колії (типу рейок, виду підрейкової основи, баластного шару, проміжних скріплень);
- стану колії;
- рівня поточного утримання.

Питаннями впливу рівня бокових сил та конструкції колії на накопичення залишкових деформацій колії у плані присвячені роботи проф. Ромена Ю. С. та Єршкова О. П. [31, 98]. В цих роботах була розроблена методика оцінки впливу рухомого складу та стану колії на інтенсивність накопичення залишкових деформацій. Але детальний аналіз цих досліджень показав суттєвий недолік, що не дозволив використовувати ці результати у даних дослідженнях. В своїй моделі рейкошпальної решітки Ромен Ю. С. для моделювання накопичення залишкових деформацій використовував результати натурних експериментів по визначенню опору баластного шару переміщенням шпали, яка була відкріплена від рейки. Результати цих експериментів показали, що при переміщенні шпали поперек колії на 0,2 мм деформації носять пластичний характер, але цей експеримент не врахував пружний опір вузла рейка-скріплення переміщенням шпали. В моделі Ромена Ю. С. залишкова деформація колійної решітки відбувалась при переміщенні

0,2 мм, тобто фактично без врахування опору вузла рейка-скріплення. Математичне моделювання накопичення залишкових деформацій виконувалось за рахунок сил сухого тертя, але експериментальні та теоретичні дослідження проф. Новаковича В. І. [102] показали, що накопичення залишкових деформацій рейко-шпальної решітки відбувається за рахунок сил в'язкого, а не сухого тертя. Крім того в дослідженнях Романа Ю. С. враховується лише можливість накопичення залишкових деформацій всієї решітки, але не враховується накопичення залишкових деформацій рейкових ниток, цей аспект є дуже актуальним для рейок в межах перевідної кривої стрілочних переводів. В межах перевідної кривої, залишковим деформаціям рейко-шпальної решітки чинять опір чотири рейкові нитки, крім того в цій зоні бруси мають більшу довжину, що також сприяє підвищенню опору. Тому питання накопичення залишкових деформацій самої решітки не актуальне, а актуальним є накопичення залишкових деформацій саме рейковими нитками у поперечній площині.

Зазначені вище обставини вказують на методологічні протиріччя у питаннях, присвячених залишковим деформаціям колії у поперечному напрямку. Крім того досі не проводились дослідження по визначенню впливу стану колії на її реологічні властивості Тому, враховуючі вище наведені обставини, розробка нормативів по критеріям мінімуму експлуатаційних витрат в межах цієї дисертаційної роботи не доцільна.

Найбільш відповідальною вимогою при розробці нормативів утримання залізничної колії є вимога забезпечення безпеки руху при утриманні колії по цих нормативах. Крім того, вимоги безпеки руху лімітують вимоги щодо впливу рухомого складу на колію. У випадку коли отримані допуски за критеріями безпеки руху більші ніж по критеріям впливу на колію, то приймаються допуски за критеріями впливу на колію.

Для розробки нормативів утримання необхідно було вирішити наступні задачі:

- 1) визначити який з напрямків руху: пошерсний чи протишерсний (далі ПШ та ПРШ відповідно) є більш несприятливий з точки зору взаємодії;
- 2) визначити вплив нерівностей у профілі на взаємодію, бо в межах кожного стрілочного перевodu є одночасно нерівності у профілі і плані;
- 3) встановити найбільш несприятливий вид нерівностей у профілі в межах бокового напрямку за критеріями безпеки руху;
- 4) визначити допустимі відступи за шириною колії та за напрямком у плані з врахуванням нерівностей у профілі, що не вимагають зменшення встановленої швидкості руху;
- 5) визначити ступені відступів по ширині колії та у плані за критеріями безпеки руху та впливу на колію, що вимагають обмеження швидкості;
- 6) виконати розрахунки економічної ефективності розроблених нормативів.

Дослідження виконувались за допомогою просторової математичної моделі взаємодії вантажного піввагона на візках 18-100 (в порожньому 5,5 т/вісь та навантаженому стані: 23,5 т/вісь) з колією в межах стрілочного перевodu, яка пройшла апробацію на міжнародних наукових конференціях [90, 91] та експериментальну верифікацію (результати наведено у четвертому розділі). Верифікація моделі виконувалась за результатами натурних експериментів по визначенню напружено-деформованого стану стрілочних переводів, проведених кафедрою “Колія та колійне господарство” та коліє-випробувальною науково дослідною лабораторією ДШТу. Схематично методика дослідження представлена на рисунку 6.1

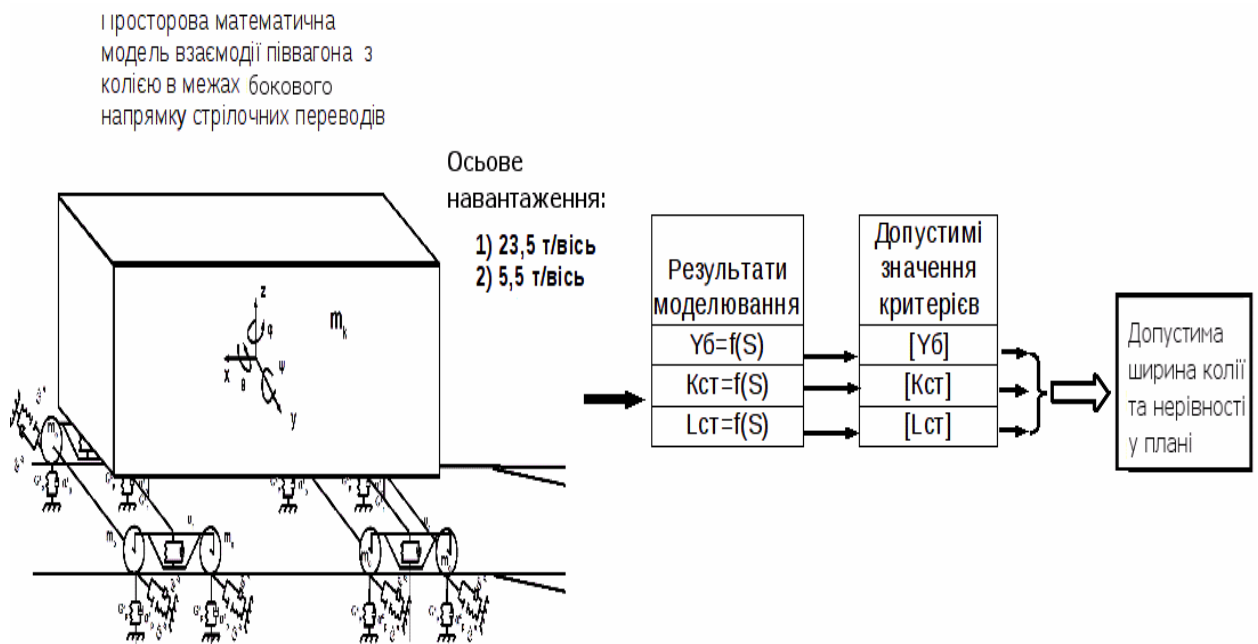


Рис. 6.1. Схема проведення досліджень

Перед виконанням досліджень було проаналізовано результати наукових робіт, що присвячені нормуванню відступів за напрямком колії у плані, профілі та по ширині колії [31, 35, 19, 99]. В жодному з наведених джерел не була наведена конкретна методика по нормуванню допустимих відступів, лише критерії на основі яких відбувається нормування. Тому перше, що необхідно виконати для обґрунтування результатів досліджень по розробці нормативів утримання – це розробити єдину методику, за якою проводяться дослідження. Основні труднощі при розробці методики представляє одночасне врахування нерівностей у плані та профілі в межах стрілочного переводу, бо як показали експлуатаційні дослідження [36, 96] всі стрілочні переводи мають одночасно нерівності як у плані так і у профілі. Для врахування вищенаведених особливостей була розроблена відповідна методика. Суть цієї методики полягає в наступному: при кожному зростанні амплітуди нерівності чи ширини колії результати перевіряються по критеріях безпеки руху та впливу на колію. Для зручності дана методика представлена у вигляді блок-схеми на рис. 6.2. З блок-схеми методики розрахунку бачимо, що вона складена таким чином, що вирішальним фактором при призначенні нормативів є саме критерії безпеки руху.

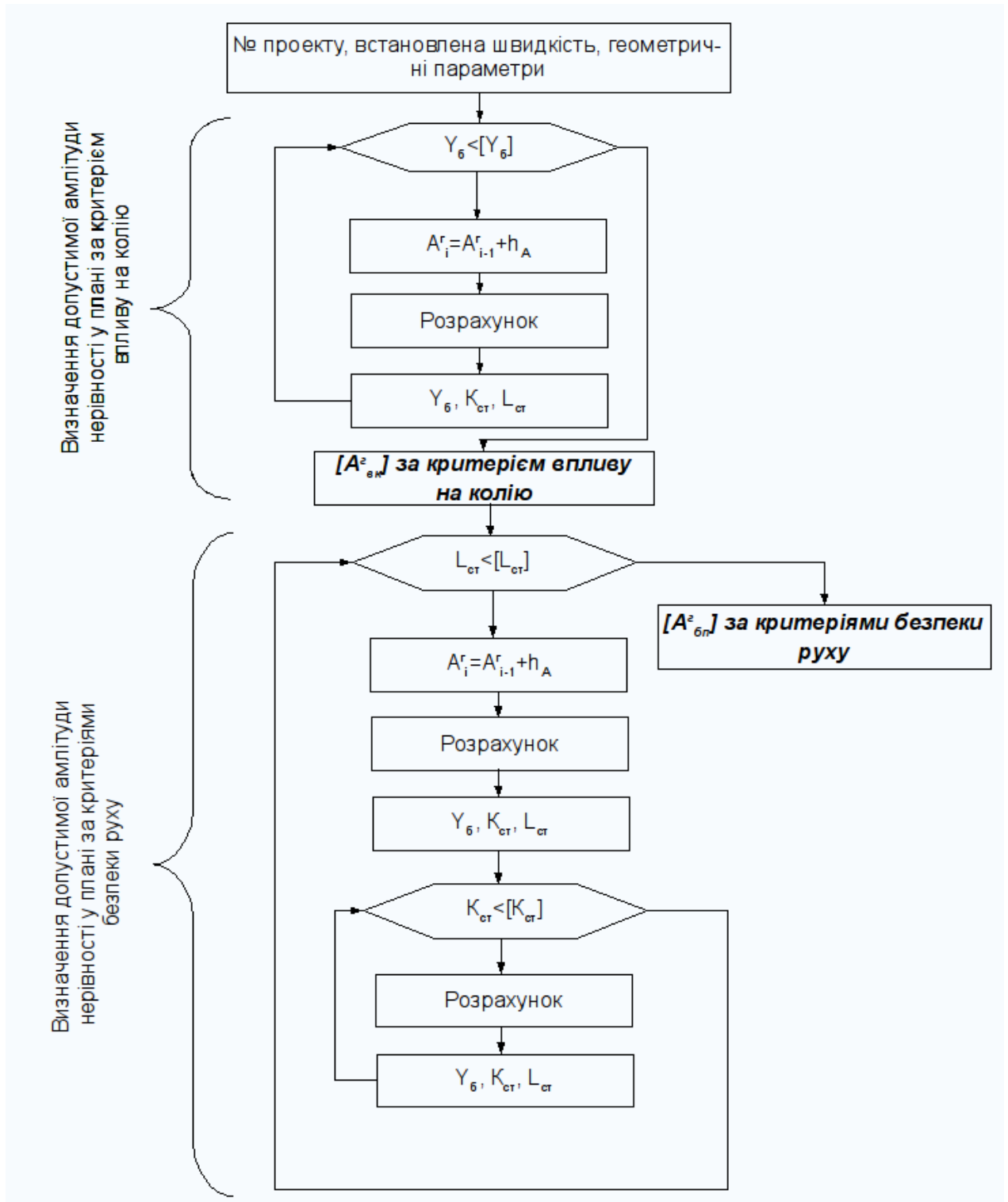


Рис. 6.2. Блок схема методики визначення допустимих відступів за напрямком у плані.

### **6.1.1 Критерії для призначення нормативів утримання стрілочних переводів.**

Щоб обрати критерії для призначення нормативів утримання колії в межах стрілочних переводів, були проаналізовані затверджені технічні вказівки з цього питання [39, 40]. Зауважимо, що вперше за роки незалежності України були розроблені такі нормативи силами вчених кафедри “Колія та колійне господарство” та колієвипробувальної науково дослідної лабораторії ДНУЗТу. Особливу увагу було приділено критеріям безпеки руху. Також аналізувались критерії допустимого впливу на колію, як критерії, що характеризують вплив рухомого складу на накопичення залишкових деформацій колії.

В нормативному документі [40] у якості допустимої величини бокових сил використовуються для рейок типу Р50 - 120 кН, а для Р65 - 150 кН, а у документі [39] цей показник був прийнятий окремо для дерев'яної та залізобетонної підрейкової основ: 100 та 120 кН відповідно. Тому необхідно було проаналізувати та встановити у чьому полягає різниця в передумовах при прийнятті величини допустимої бокової сили у нормативних документах [39].

Зазначені у [40] величини були отримані д.т.н. Желніним Г. Г. [14], виходячи з фіксування перенапружень у згаданих вище типах рейок при зазначених величинах бокових сил. Але слід зауважити, що напруження у кромці рейки формуються під сумісною дією вертикальних та горизонтальних бокових сил. Ця обставина в дослідженнях Желніна Г. Г. неврахована, тому для використання, зазначених вище величин бокових сил, необхідно провести додаткові дослідження по сумісному впливу вертикальних та бокових сил на величину кромкових напружень у рейках. Крім того, встановлення допустимих бокових та вертикальних сил з умов недопущення перенапружень у рейках є недоцільним, бо напруження у кромках підшви завжди фіксуються, як окремий показник при дослідженні

напружено-деформованого стану стрілочних переводів. Головна мета документу [40] це призначення допустимих швидкостей по стрілочному переводу з умов його міцності під впливом рухомого складу. В свою чергу нормативний документ [39] характеризує допустимий вплив рухомого складу та вимоги до безпеки руху при натурних випробуваннях рухомого складу по впливу на колію. Відповідно до мети даної дисертаційної роботи є доцільним використання саме критеріїв призначення допустимих швидкостей руху [39]. Обрані нормативи наведені у табл. 6.1

Таблиця 6.1

**Допустимі значення критеріїв безпеки руху та впливу на колію**

Назва критерія	Характеристика	Допустиме значення
Бокова сила від колеса на рейку	Вплив на колію	$\frac{120}{100}$ кН*
Коефіцієнт запасу стійкості колеса на рейці	Безпека руху	1.3

\* - у чисельнику для залізобетонної підрейкової основи; у знаменнику для дерев'яної.

При використанні затверджених критеріїв безпеки руху, які характеризують миттєве відношення вертикальної до бокової сили, необхідно додатково аналізувати довжину дії цього відношення. Тому що вкочення колеса на рейку відбувається не миттєво, а на протязі деякої довжини (рис. 6.3).

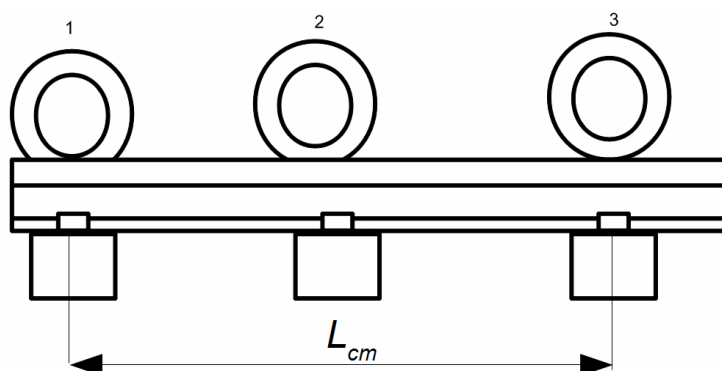


Рис. 6.3. Схема вкочення колеса на рейку.

Згідно досліджень випадків порушення безпеки руху [41], ця довжина складає 0.6-5.0 м. У якості допустимої нами прийнята нижня межа 0.6 м.

### 6.1.2 Визначення найбільш несприятливого напрямку руху, стану колії в профілі та плані.

Визначимо який з напрямків руху ПШ чи ПРШ є більш несприятливий з точки зору взаємодії. Для цього порівняємо результати моделювання руху піввагона у обох напрямках. При русі в ПШ напрямку моделювалась нерівність в плані в межах переднього вильоту рамної рейки та перевідної кривої, а при ПРШ напрямку лише в межах перевідної кривої. Параметри нерівностей у плані у обох зонах бокового напрямку однакові: довжина нерівності 6 м, амплітуда 15 мм (параметри нерівностей за результатами експлуатаційних досліджень [96]). Зміна бокової сили по довжині бокового напрямку наведено на рис. 6.4-6.5 для ПРШ та ПШ напрямку відповідно.

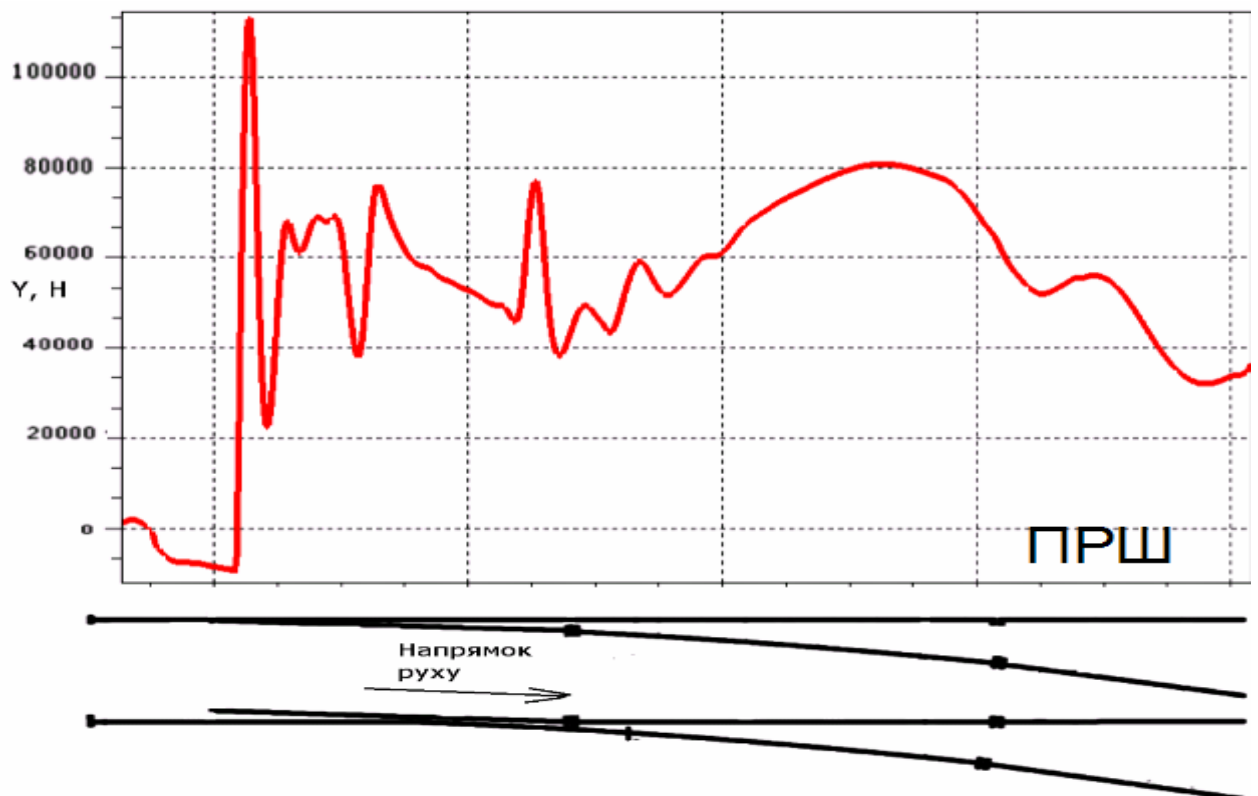


Рис. 6.4. Бокова сила при ПРШ напрямку руху

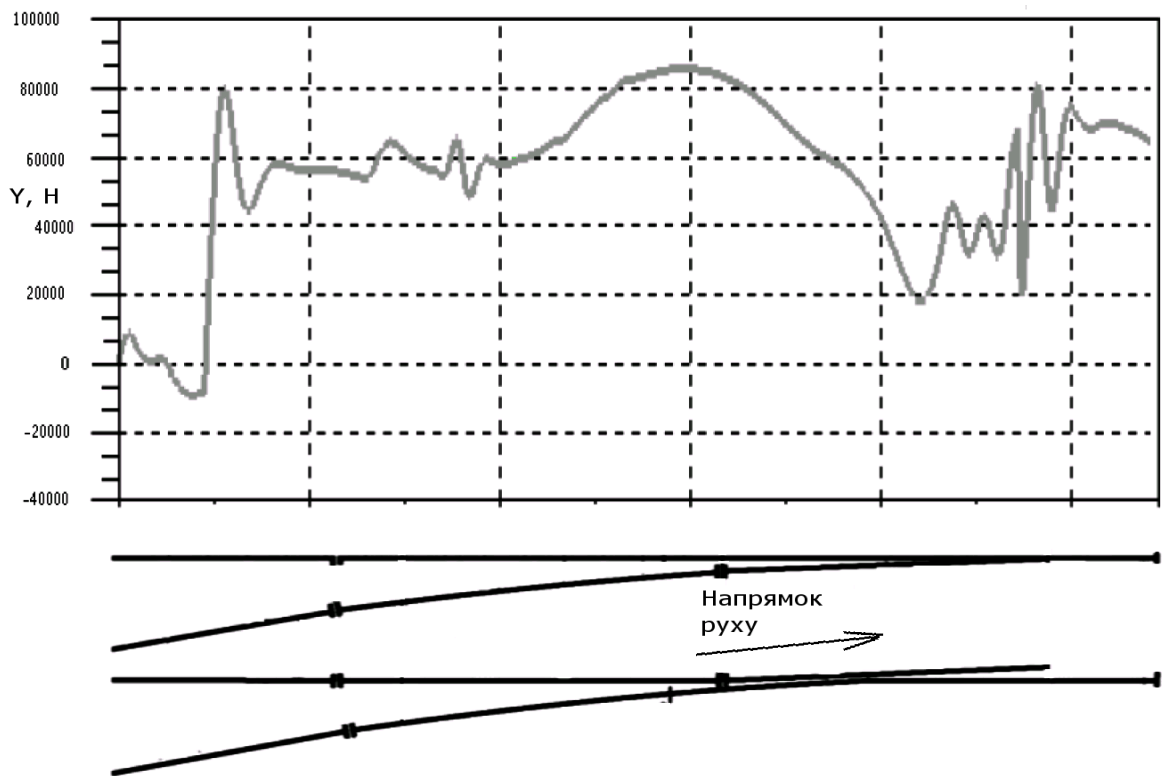


Рис. 6.5 Бокова сила при ПШ напрямку руху.

Аналіз результатів наведених на рис. 6.4-6.5 свідчить наступне:

3. в межах перевідної кривої величина бокової сили більша при ПШ напрямку руху проти ПРШ на 5 кН;
4. в межах стрілки при ПШ напрямку руху бокова сила менша ніж при ПРШ напрямку руху на 10... 70 кН;
5. в межах переднього вильоту рамних рейок бокова сила для ПШ напрямку руху більша на 60...70 кН ніж для ПРШ.

Крім результатів моделювання необхідно враховувати результати експлуатаційних досліджень наведених у другій главі дисертації. Результати експлуатаційних досліджень свідчать, що залишкові деформації в межах стрілки та перевідної кривої завжди більші ніж в межах переднього вильоту. Отже результати теоретичних та експлуатаційних досліджень дають право стверджувати, що найбільш несприятливим є ПРШ напрямку руху. Тому в подальших дослідженнях аналіз буде проводитись для ПРШ напрямку руху.

Перейдемо до визначення найбільш несприятливого, з точки зору безпеки руху, стану колії за у профілі та плані в межах бокового напрямку стрілочних переводів. Результати комплексних досліджень ВНДІЗТу [99] по

визначенню впливу відступів колії від норм утримання у профілі та плані засвідчили, що найбільш небезпечними, з точки зору безпеки руху, є збіг нерівностей у плані та профілі. Ця особливість відображена в чинних нормативних документах [2, 76]. Наведені у другому розділі дисертації результати експлуатаційних досліджень свідчать, що крім нерівностей у плані в межах кожного стрілочного переводу присутні нерівності за рівнем: односторонні просадки, та перекоси. Приклади нерівностей за рівнем наведені на рис. 6.6.

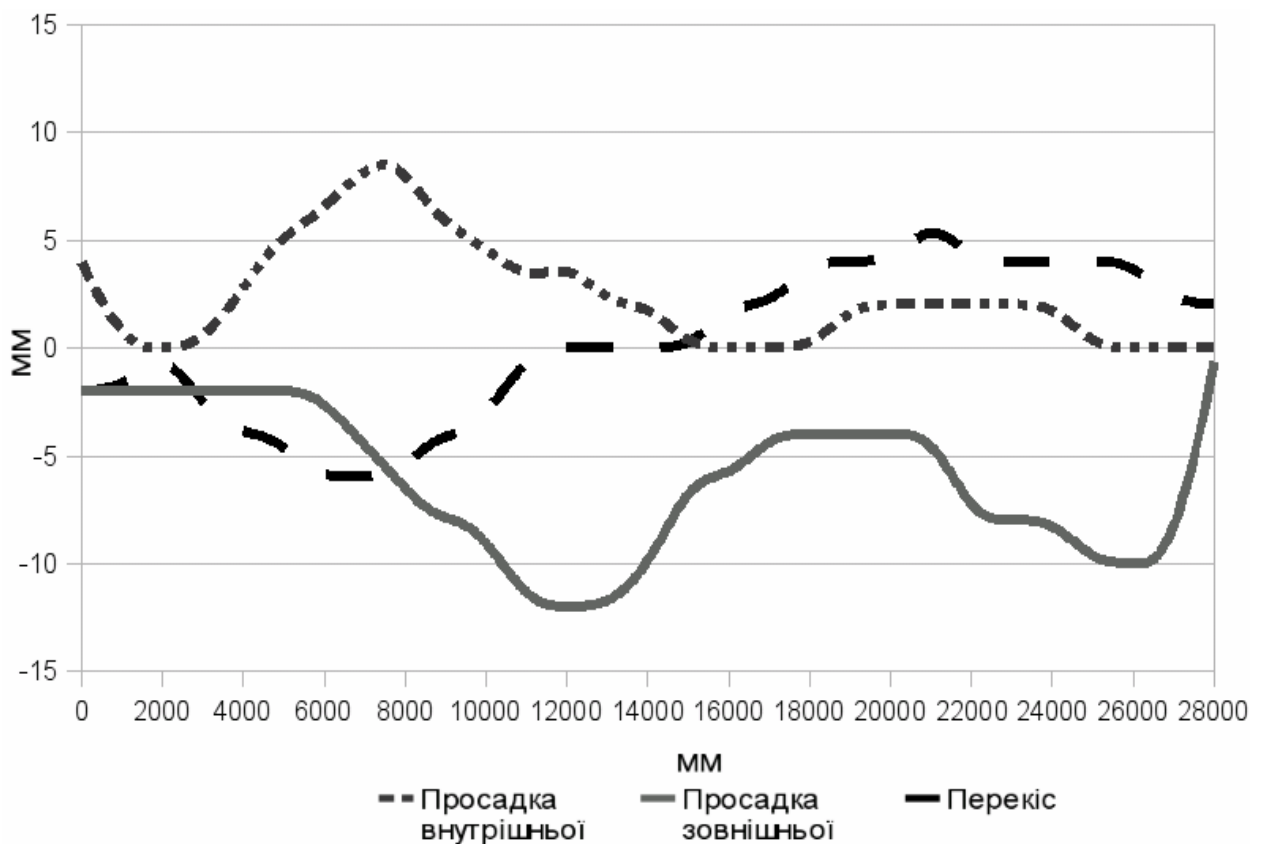


Рис. 6.6. Характерні вертикальні нерівності по боковому напрямку стрілочних переводів Р65 на залізобетонних брусах.

Основні параметри нерівностей по результатам експлуатаційних досліджень наведені в табл. 6.2

### Параметри вертикальних нерівностей

Значення параметру	Перекіс		Одностороння просадка	
	Довжина, м	Амплітуда, мм	Довжина, м	Амплітуда, мм
Мінімальне	8	4	6	2
Середнє	12	5	8	3
Максимальне	14	17	14	12

Одночасна присутність нерівностей у плані та профілі в межах кожного стрілочного перевалу засвідчила необхідність проведення дослідження по визначенню впливу як нерівності у профілі взагалі, так і її форми на безпеку руху. Для цього моделювався збіг нерівностей у плані та профілі в межах перевідної кривої. Параметри нерівності у плані були обрані за результатами експлуатаційних досліджень: довжина 6 м, амплітуда 10 мм. Геометричні параметри перевалу відповідають проекту 1740. До моделювання було прийнято наступні форми вертикальних нерівностей: двостороння, одностороння просадка зовнішньої та внутрішньої нитки, а також перекіс. Критерієм порівняння був коефіцієнт запасу стійкості колеса на рейці. Характеристики нерівностей: довжина 6 м (перекіс 12м), амплітуда 10 мм. Форма нерівностей показана на рис. 6.7.



Рис. 6.7. Форми вертикальних нерівностей.

На рис. 6.8 наведені результати моделювання.

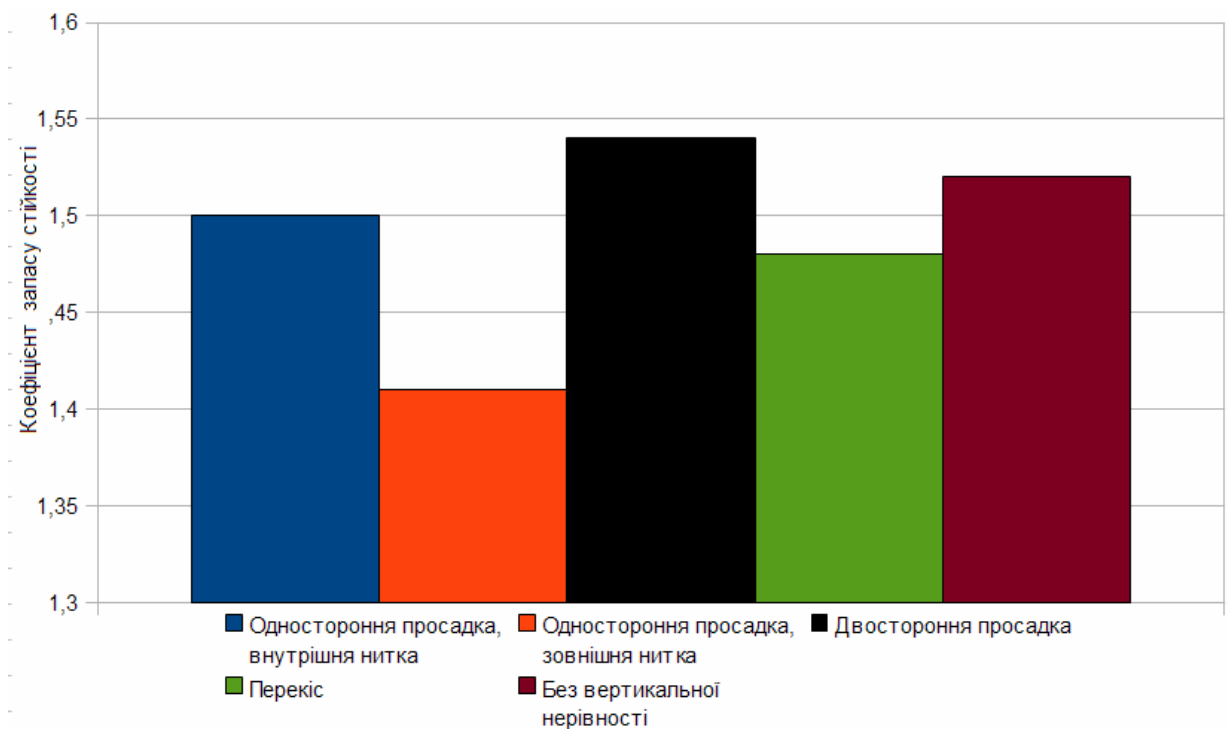


Рис. 6.8. Коефіцієнт запасу стійкості в залежності від виду вертикальної нерівності.

Результати наведені на рис. 6.8 свідчать, що: нерівності у профілі мають негативний вплив на безпеку руху. Найбільш несприятливою по

критеріям безпеки руху є одностороння просадка по зовнішній, упорній нитці. Це обумовлене безпосереднім зменшенням вертикального навантаження на колесо, що набігає на упорну нитку. Тому в наступних етапах дослідження у якості вертикальної нерівності буде прийматись одностороння просадка по зовнішній (упорній) нитці перевідної кривої.

## **6.2 Розрахунки допустимих відступів по ширині колії та у плані в межах бокового напрямку.**

### **6.2.1 Допустимі відступи по ширині колії**

Згідно результатів проведених у п'ятому розділі досліджень боковий напрямок стрілочних переводів доцільно розділити, по критерію впливу ширини колії на взаємодію, на дві характерні ділянки: стрілка та перевідна крива. Також, згідно [95-96], доцільно розділити проекти стрілочних переводів, що досліджуються на дві групи по встановленим швидкостям: 40...50 та 60...80 км/год. Серед усіх проектів стрілочних переводів, що досліджуються, лише два проекти: 1740 та 2215 можуть мати залізобетонну підрейкову основу, всі інші мають дерев'яну. Величини допустимої бокової дії від рухомого складу на рейкові елементи нами було прийнято, згідно діючих нормативних документів [39], окремо для залізобетонної та дерев'яної підрейкових основ. Тому при проведенні досліджень необхідно буде враховувати тип підрейкової основи.

Перейдемо до досліджень в межах ділянки стрілки. Спочатку проведемо аналіз за критеріями, які характеризують поперечний вплив рухомого складу на колію (боковими силами). Під критерієм впливу на колію розуміється допустима величина бокової сили. На рис. 6.9-6.10 наведені результати для дерев'яної та залізобетонної підрейкових основ відповідно.

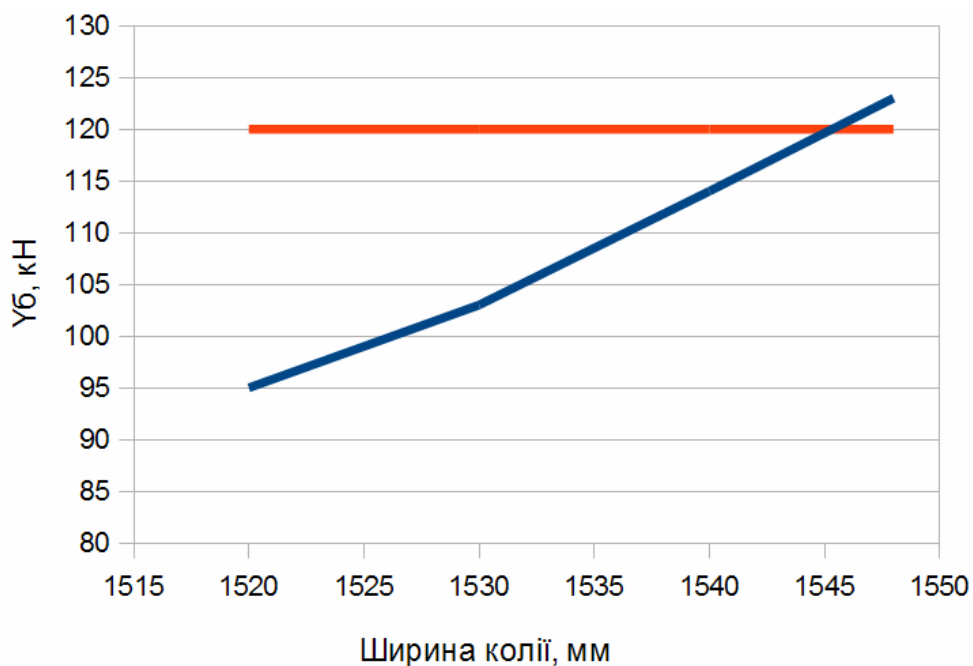


Рис. 6.9. Визначення допустимої ширини колії в межах стрілки для стрілочних переходів проектів 1740 та 2215 на залізобетонних брусах.

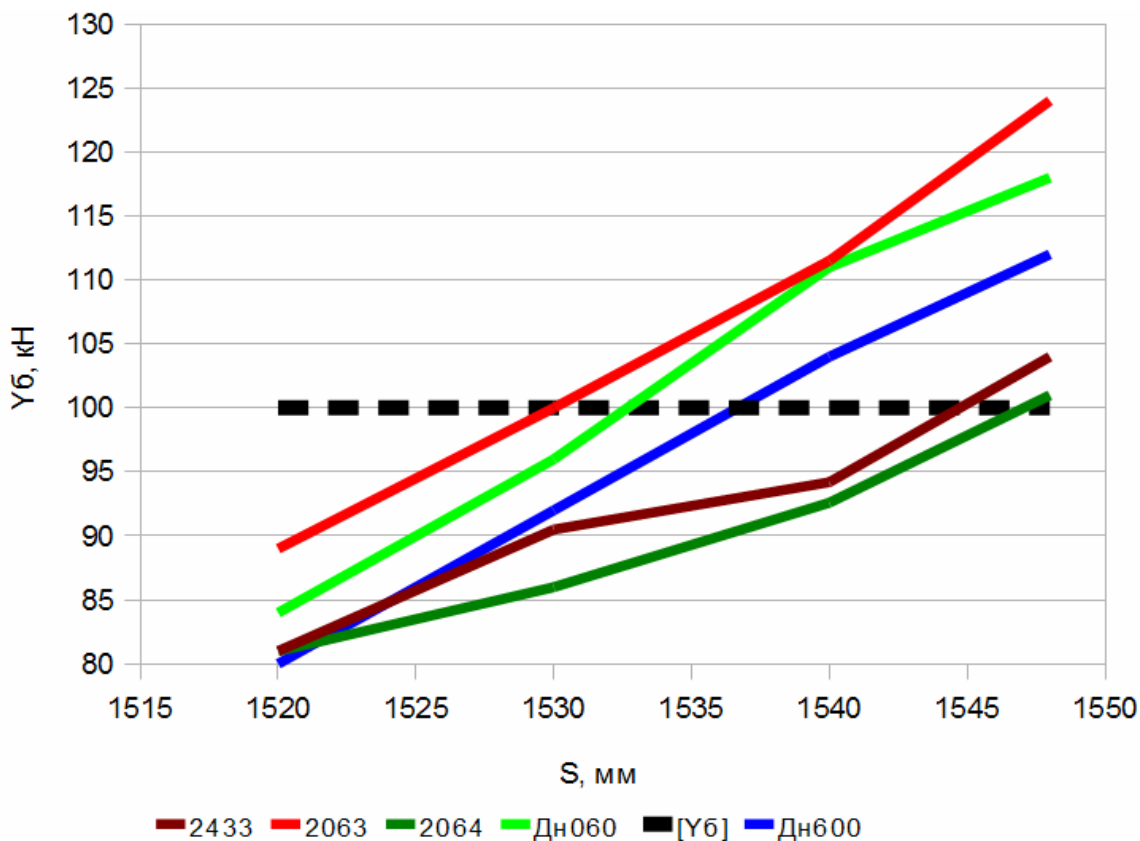


Рис. 6.10. Визначення допустимої ширини колії в межах стрілки для стрілочних переходів на дерев'яних брусах.

Наведені на рис. 6.9 - 6.10 результати свідчать про істотний вплив жорсткості в межах зони набігання на величину бокової сил. Так бокова сила



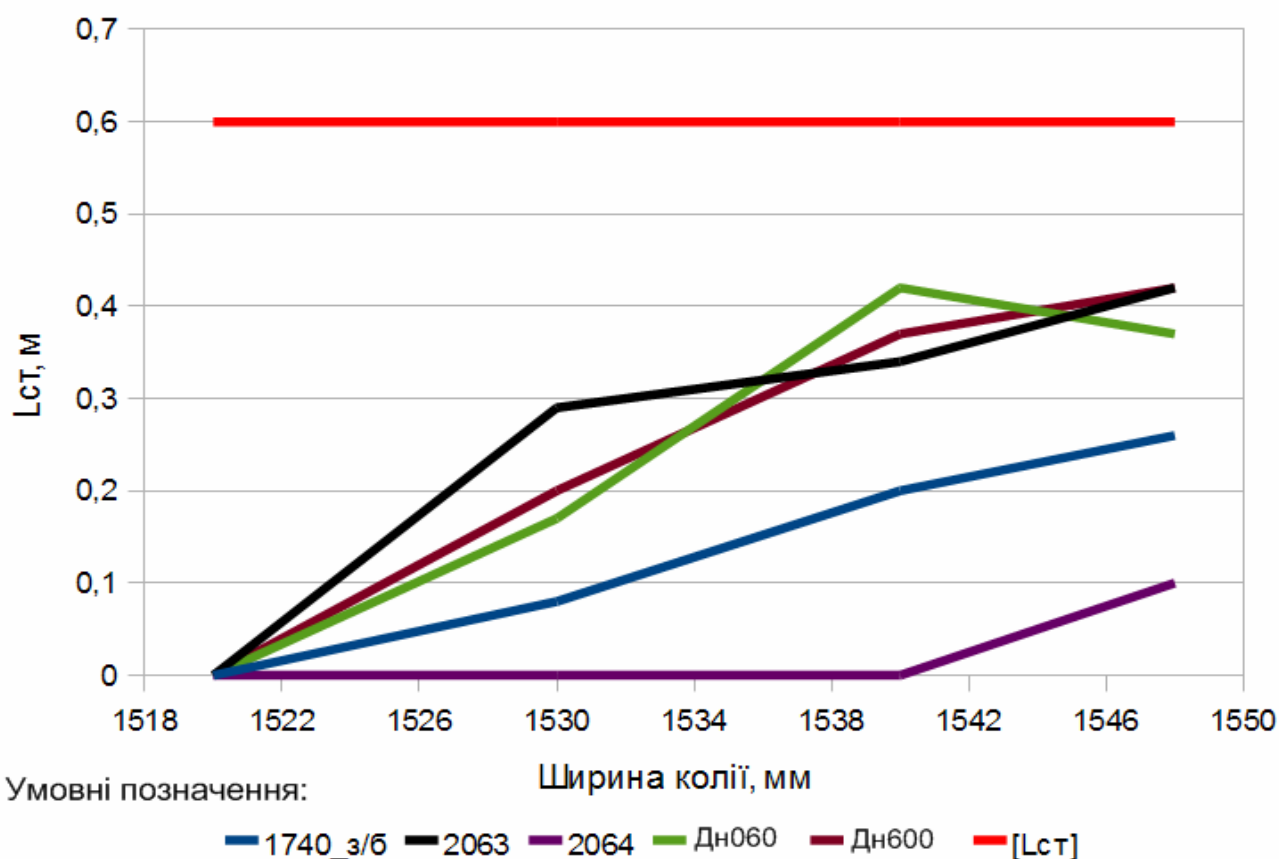


Рис. 6.12. Вплив ширини колії в межах стрілки на довжину ділянки втрати стійкості.

Результати наведені на рис 6.11 свідчать, що для всіх проектів стрілочних переводів, які досліджуються, в межах стрілки коефіцієнт стійкості менше допустимого значення 1.3, але результати наведені на рис. 6.12 свідчать, що для жодного з переводів довжина зони втрати стійкості не перевищує допустиму - 0.6 м. Отже можемо зробити висновок, що в межах ділянки набігання критерієм, який обумовлює призначення допустимих відступів від допусків по ширині колії руху є величина бокової сили.

Перейдемо до встановлення допустимої ширини колії, що не вимагає обмеження швидкості в межах перевідної кривої. Аналіз впливу ширини колії в межах перевідної на взаємодію колії та рухомого складу, проведений у п'ятому розділі, засвідчив, що для жодного з проектів стрілочних переводів, які досліджуються, бокові сили не перевищують допустиме значення 100 кН, в діапазоні ширини колії 1520...1546 мм. Проведемо аналіз по критеріям безпеки руху. Результати наведено на рис.6.13 та 6.14

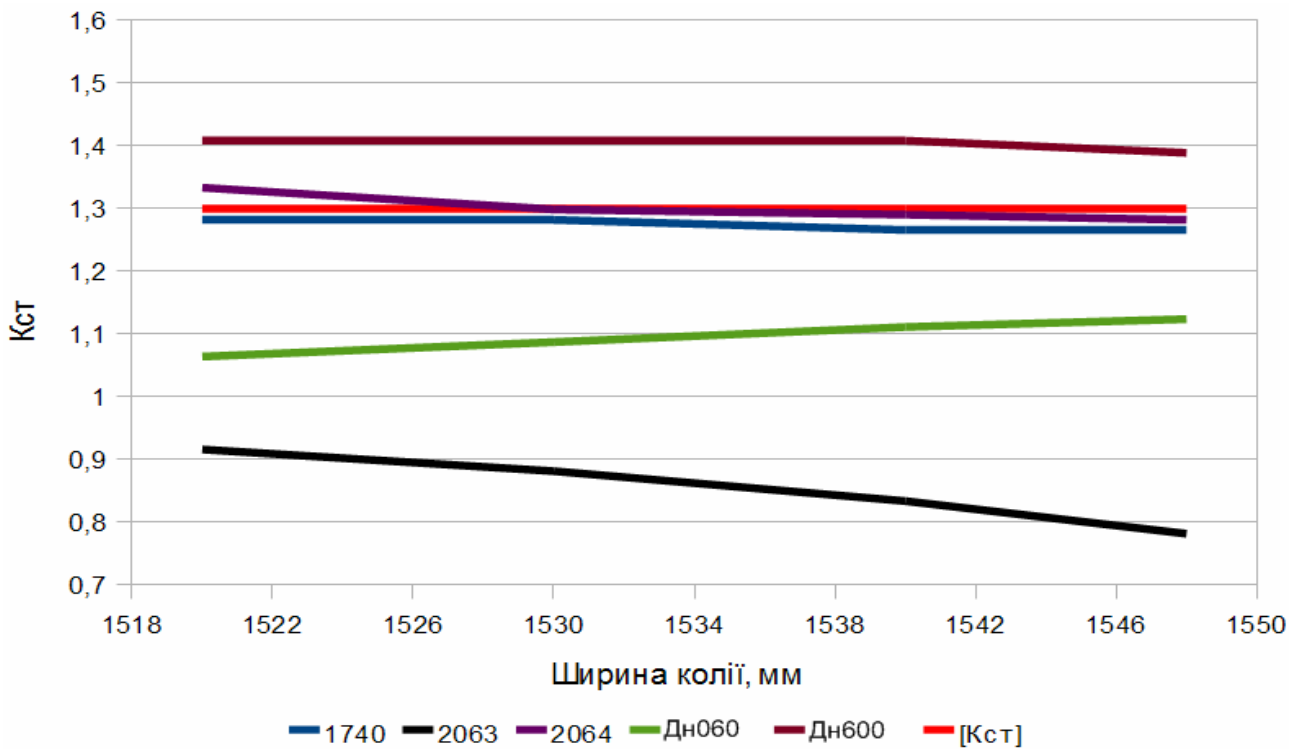


Рис. 6.13. Вплив ширини колії в межах перевідної кривої на коефіцієнт запасу стійкості

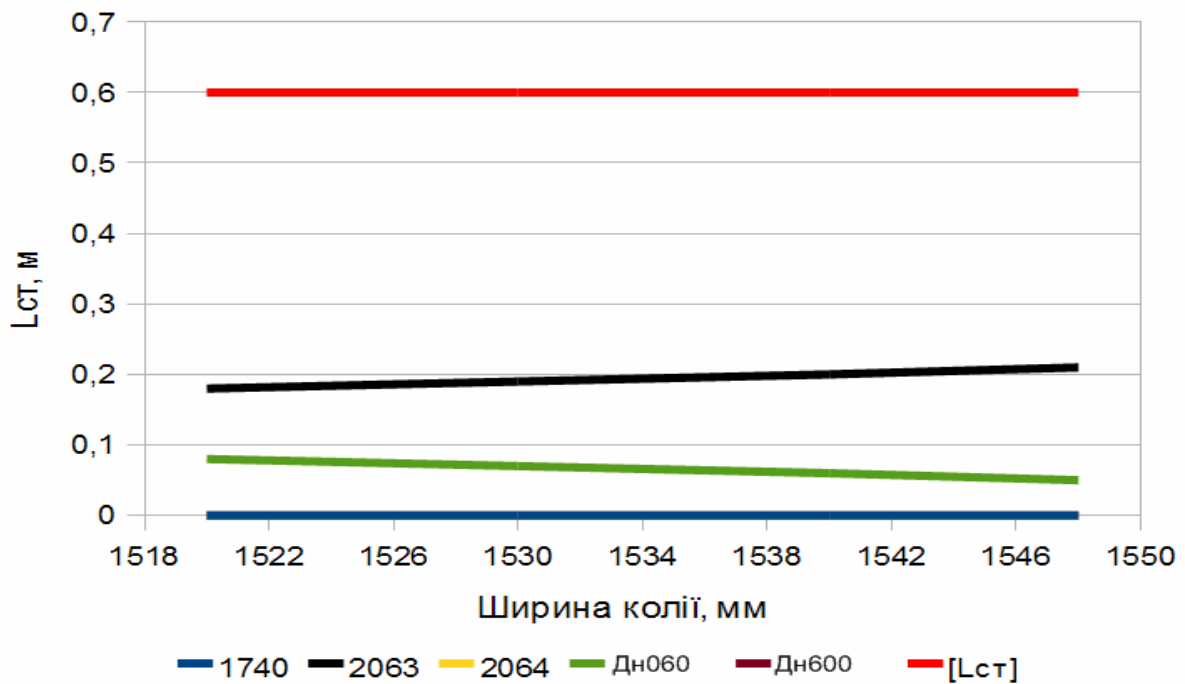


Рис. 6.14. Вплив ширини колії в межах перевідної кривої на довжину ділянки втрати стійкості.

Отримані в межах перевідної кривої результати дають право зробити наступний висновок: для всіх проектів стрілочних переводів, що досліджувались, безпека руху забезпечується в межах діапазону ширини колії

1520-1546. Отже підстави для обмеження швидкості руху в межах перевідної кривої до ширини колії 1546 мм не має.

Результати, які стосуються впливу ширини колії в межах обох характерних ділянок на безпеку руху свідчать, що у більшості випадків спостерігається втрата стійкості, але довжина ділянки втрати стійкості завжди менше допустимої величин. Для прикладу на рис. 6.15 наведена зміна коефіцієнта запасу стійкості по довжині бокового напрямку для проекту 1740.

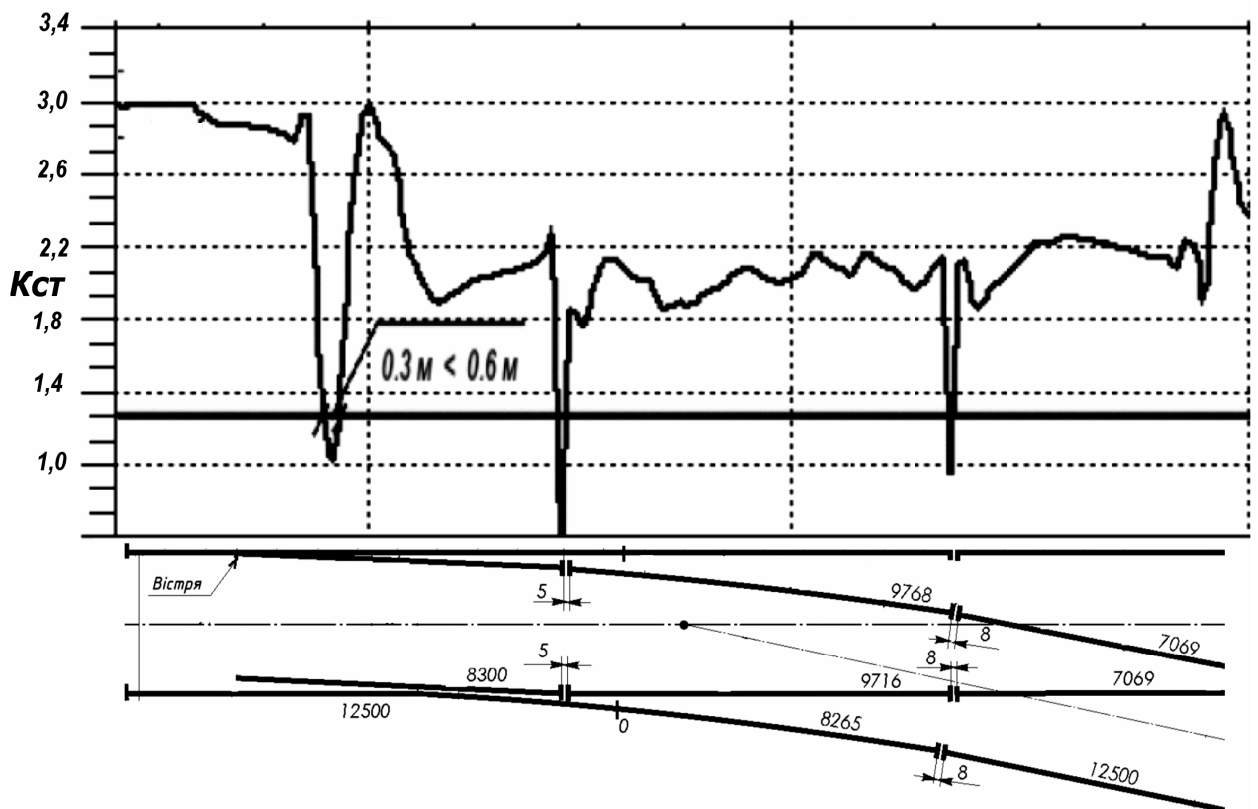


Рис. 6.15. Коефіцієнт стійкості при русі по боковому напрямку на колесі, що набігає на упорну нитку

Як бачимо з результатів представлених на рис. 6.15 коефіцієнт запасу стійкості є меншим за допустиме значення в межах стрілки та стиків перевідної кривої, але довжина ділянки втрати стійкості менше 0.6 м.

### 6.2.2 Допустимі відступи за напрямком у плані

Для зручності аналізу відступів у плані по розробленій методиці розрахунків нормативів (рис. 6.2) була використана відповідна розрахункова

відомість. Приклад розрахункової відомості для проекту 2215 наведено у табл. 6.3, всі інші відомості наведені у додатку Г.

Таблиця 6.3

**Відомість моделювання по визначенню допустимих параметрів нерівностей у плані з врахуванням рівня.**

№	Параметри нерівностей у профілі	Параметри нерівностей у плані			Показники безпеки та взаємодії		
		Амплітуда нерівності Агнер, мм	Ухил відводу ширини колії іS, мм/м	Різниця відступу у суміжних ординатах du, мм	Бокова сила Yб, кН	Коефіцієнт запасу стійкості Кст	Довжина ділянки втрати стійкості Lст, м
Осьове навантаження 23,5 т/вісь							
1	4	0	0	0	94	1,49	0
3	4	13	4	8	107,6	1,35	0
4	4	16	5	10	112	1,28	0,1
5	8	26	8	16	120,5	1,18	0,3
6	15	23	7	14	118	1,16	0,58
Осьове навантаження 5,5 т/вісь							
	10	0	0	0	36	1,36	0
	10	10	3	6	42	1,1	0,3
	10	13	4	8	46	0,9	0,63

Перейдемо до результатів розрахунків. Спочатку розглянемо результати, що стосуються допустимого впливу на колію. Цей етап досліджень виконувався для завантаженого до допустимої величини – 23,5 т/вісь. На рис. 6.16 – 6.17 наведені результати для залізобетонної та дерев'яної підрейкових основ відповідно.

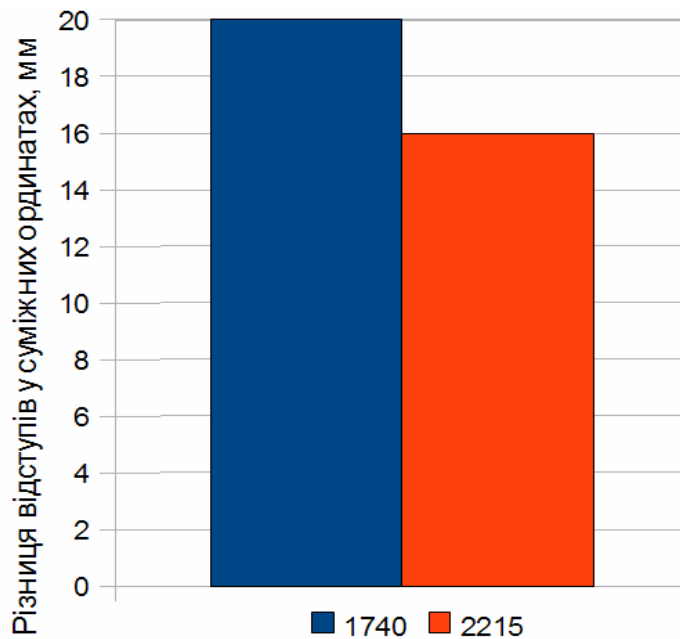


Рис. 6.16. Допустима амплітуда нерівності у плані по критерію впливу на колію, залізобетонні бруси, навантаження 23,5 т/вісь.

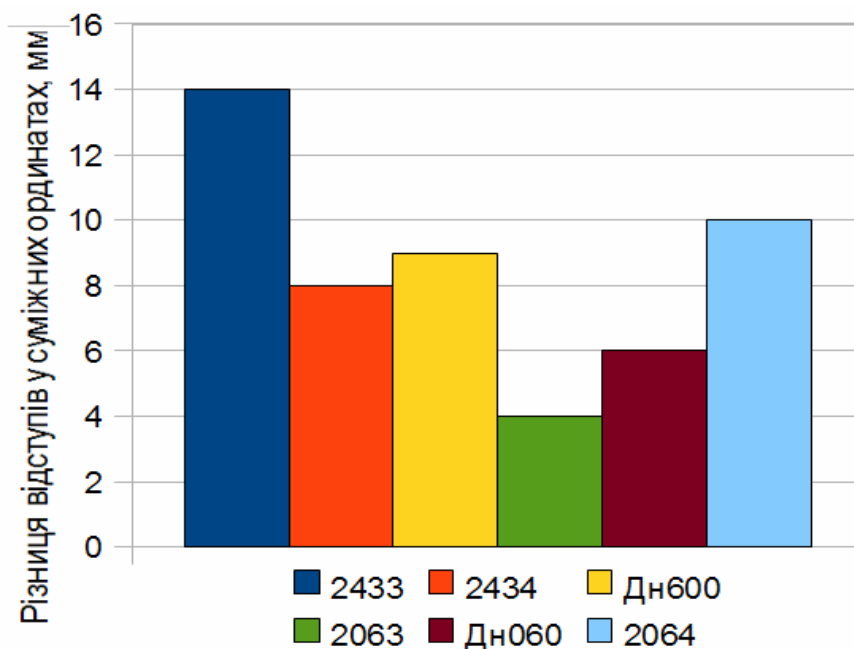


Рис. 6.17. Допустима амплітуда нерівності у плані по критерію впливу на колію, дерев'яні бруси, навантаження 23,5 т/вісь.

Результати розрахунків по критерію впливу дають право стверджувати, що для залізобетонної підрейкової основи можливо допустити більші амплітуди нерівностей, це обумовлено більшою допустимою величиною бокової сили для залізобетонної підрейкової основи (табл. 6.1). В діапазоні встановлених швидкостей руху 60...80 км/год допустимі амплітуди нерівностей значно менші ніж в діапазоні 40...50 км/год.

Перейдемо до результатів розрахунку за критеріями безпеки руху. На рис. 6.18 – 6.19 наведені результати окремо для завантаженого та порожнього піввагону.

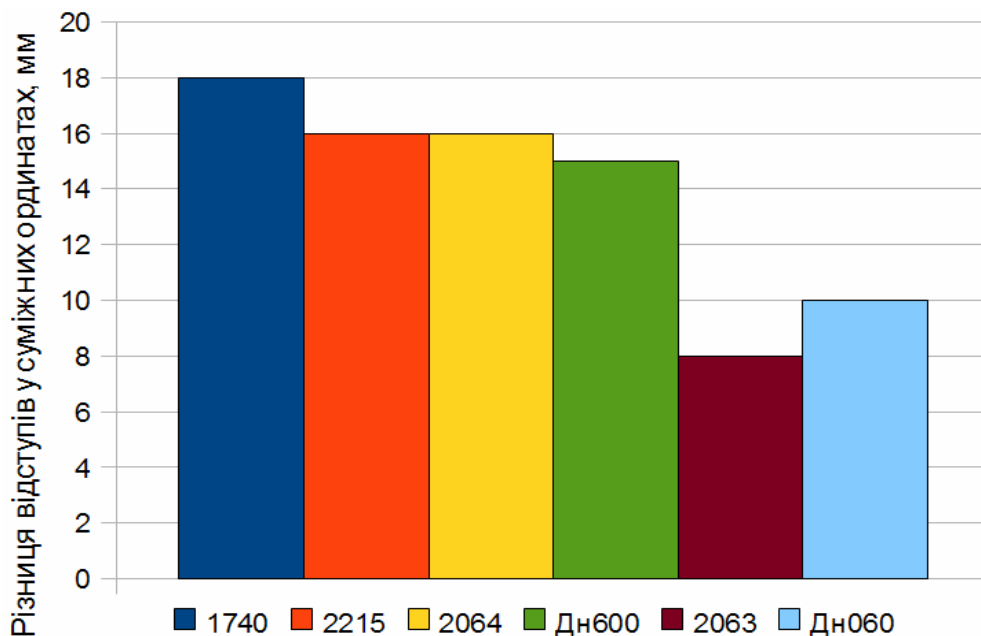


Рис. 6.18. Допустима амплітуда нерівності у плані по критерію безпеки руху, осьове навантаження 23,5 т/вісь.

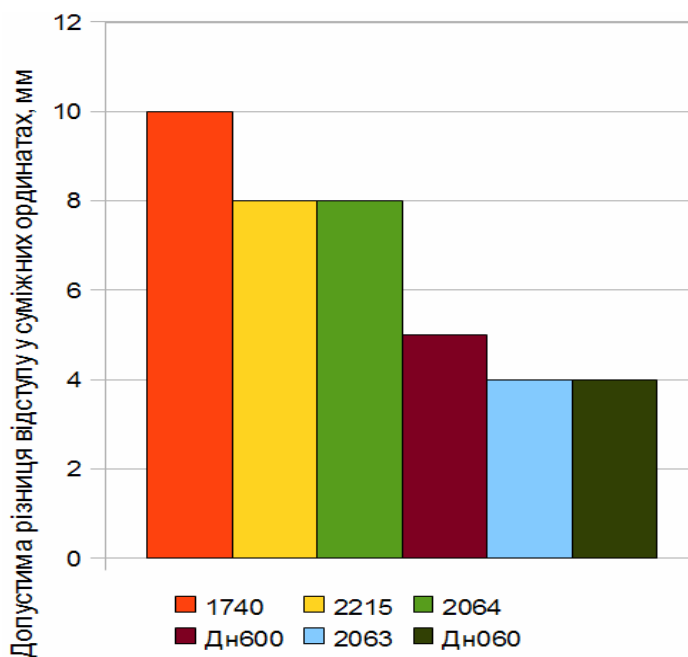


Рис. 6.19. Допустима амплітуда нерівності у плані по критерію безпеки руху, осьове навантаження 5,5 т/вісь.

З аналізу результатів (рис. 6.16 – 6.19) бачимо, що найменші допустимі нерівності отримано для порожнього піввагона, тобто він є найбільш нестійким типом рухомого складу з тих, що досліджувався. Цей

висновок підтверджується результатами багаторічних досліджень присвячених стійкості саме порожніх піввагонів [47]. Також результати (рис 6.16 – 6.18) свідчать, що у більшості випадків допустимі амплітуди нерівностей отримані по критеріям впливу на колію та безпеки руху між собою відрізняються. При чому для завантаженого піввагону допустимі величини нерівності більші саме за критеріями безпеки руху. Ця обставина обумовлена наступним. Коефіцієнт запасу стійкості колеса на рейці є відношення вертикального до горизонтального навантаження. В межах перевідної кривої вертикальне навантаження на колеса, що рухаються по упорній нитці зростає через бокову качку кузова, ця особливість підтверджена в експериментах проф. С. В. Амеліна [42]. В свою чергу збільшення вертикального навантаження призводить до зростання коефіцієнта запасу стійкості.

Найменші допустимі відхилення у плані отриманні в усіх випадках для порожнього вагону за критерієм безпеки руху. Тому нормативи утримання колії в межах бокового напрямку стрілочних переводів у плані приймаються саме для порожнього вагону. Отже допустима різниця відступів у суміжних ординатах, що не вимагає зменшення швидкості руху:

7. при встановленій швидкості руху 40...50 км/год - 8 мм;
8. при встановленій швидкості руху 60...80 км/год - 4 мм.

### **6.3 Визначення ступенів відступів від допусків утримання по ширині колії та за напрямком у плані.**

Після визначення допустимої ширини колії та нерівностей за напрямком у плані по критеріям безпеки руху та впливу на колію, необхідно за цими ж критеріями визначити допустимі швидкості руху в залежності від величини відступів від допусків утримання.

При визначенні допустимих швидкостей руху залежно від стану колії у плані використовуються критерії безпеки руху, а критерії впливу на колію для визначення допустимих швидкостей залежно від стану колії по ширині колії. Даний етап досліджень виконувався по наступній методиці:

3. вибір обмежень швидкості, які б використовувались у діючих нормативних документах для звичайної колії з метою уніфікації;
4. для кожного кроку обмежень швидкості визначити допустимі величини відступів за критеріями безпеки руху та впливу на колію.

Кроки обмеження швидкості були обрані наступні:

- при встановленій швидкості руху менше 40...50 км/год - 25 та 15 км/год;
- при встановленій швидкості руху 60...80 км/год - 50 та 25 км/год.

Для прикладу на рисунку 6.20 – 6.21 наведені результати визначення допустимої різниці відступів у суміжних ординатах та по ширині колії (в умовних позначеннях після номеру проекту зазначена амплітуда, з якою моделювався відступ ).

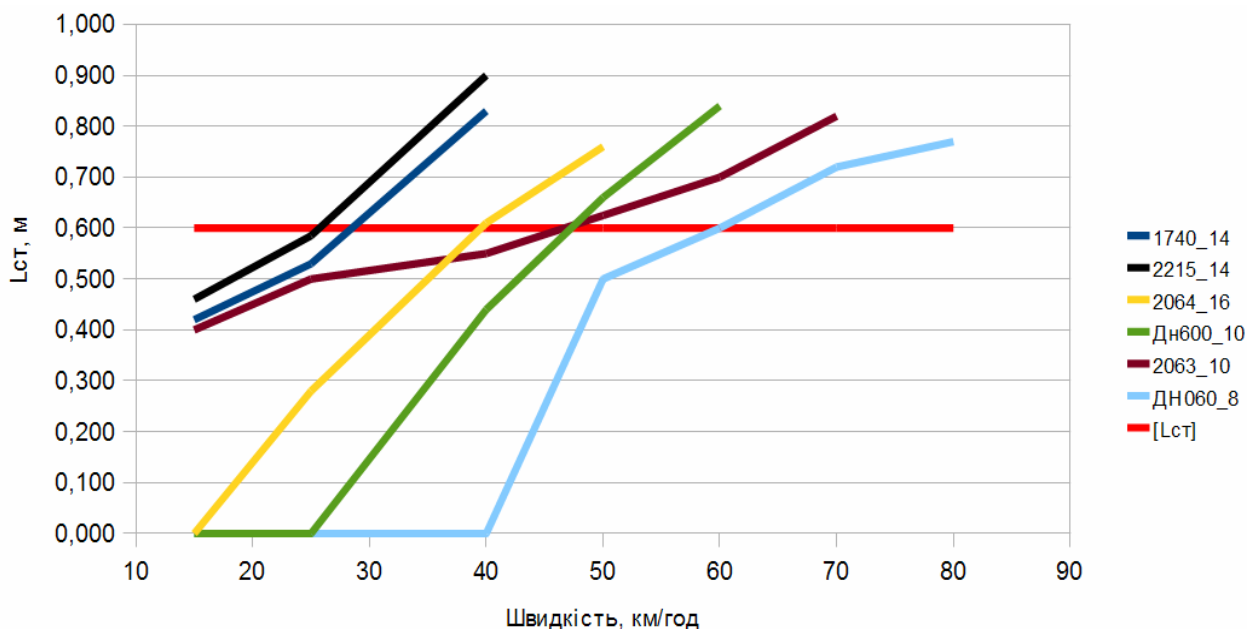


Рис. 6.20. Визначення допустимої швидкості руху при відступах у плані.

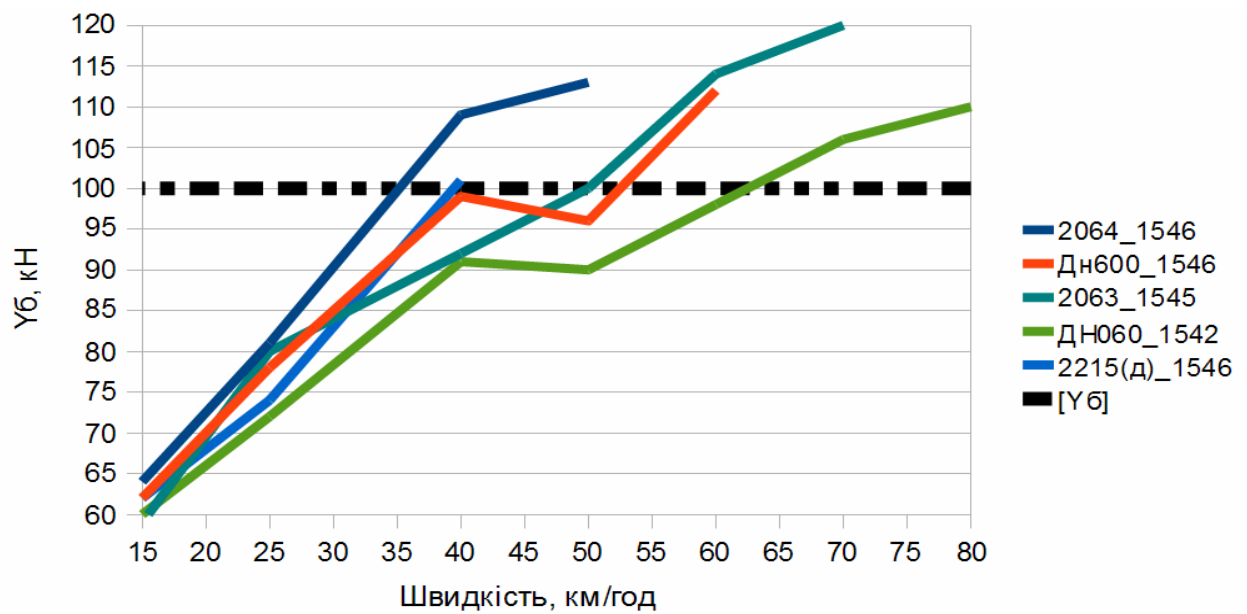


Рис. 6.21. Визначення допустимої швидкості руху при відступах по ширині колії.

Аналогічним шляхом отримані інші результати, що стосуються ступенів відступів приведені у додатку Г.

Перейдемо безпосередньо до результатів визначення допустимих швидкостей руху по бокового напрямку стрілочних переводів залежно від їх стану по ширині колії та у плані. Результати, що стосуються ширини колії та стану у плані зведені до табл. 6.4 та 6.5 відповідно.

Таблиця 6.4

### Нормативи утримання по ширині колії по боковому напрямку стрілочних переводів

Ділянка стрілочного переводу	Ступені несправностей			
	1	2*	3*	4**
	Допуски утримання	Допустима ширина колії		
Боковий напрямок в межах вістряка	+6;-4	понад допуск до $\frac{1542}{1532}$ включно	понад $\frac{1542}{1532}$ до $\frac{1546}{1540}$ включно	понад $\frac{1546}{1540}$
Перевідна крива	+10;-4	понад допуск до 1546 включно	понад 1546	

Продовження табл. 6.4

Допустимі швидкості руху, км/год	Встановлена	$\frac{25}{50}$	$\frac{15}{25}$
----------------------------------	-------------	-----------------	-----------------

Примітки: у чисельнику показники для стрілочних переводів з встановленої швидкістю по боковому напрямку 40-50 км/год, а в знаменнику для діапазону 60-80 км/год та для прямого напрямку.

\* - Допустима ширина колії встановлена з врахуванням бокового зносу рейок.

\*\* - У всіх випадках ширина колії з урахуванням бокового зносу рейок не повинна перевищувати 1548 мм

Таблиця 6.5

### Нормативи утримання за напрямком у плані бокового напрямку стрілочних переводів

Встановлена швидкість руху, км/год	Ступені несправностей			
	1	2*	3*	4**
	Різниця відступів у суміжних ординатах			
40-50	2	8	14	20
60-80		4	8	14
Допустимі швидкості руху, км/год	Встановлена		$\frac{25}{50}$	$\frac{15}{25}$

Примітки: у чисельнику показники для стрілочних переводів з встановленої швидкістю по боковому напрямку 40-50 км/год, а в знаменнику для діапазону 60-80 км/год.

\* - Допустима різниця відступу у суміжних ординатах встановлена з врахуванням бокового зносу рейок.

\*\* - Якщо величина відступу перевищує допустиму для 4 ступеня значення то рух закривається

Отже в результаті проведених в даній роботі досліджень були розроблені нормативи утримання бокового напрямку стрілочних переводів по ширині колії та у плані. Ще раз зауважимо, що нормативи розроблені за критеріями безпеки руху та впливу на колію.

## 6.4 Техніко-економічна ефективність запропонованих нормативів

Порівнянні чинних нормативів утримання стрілочних переводів з даними натурних обмірів у колії показує, що абсолютна більшість стрілочних переводів утримуються поза межами допусків по ширині колії та ординатах. На рис. 6.22 – 6.23 наведений відсоток стрілочних переводів марок 1/11 та 1/9, які утримуються поза межами діючих нормативів утримання.

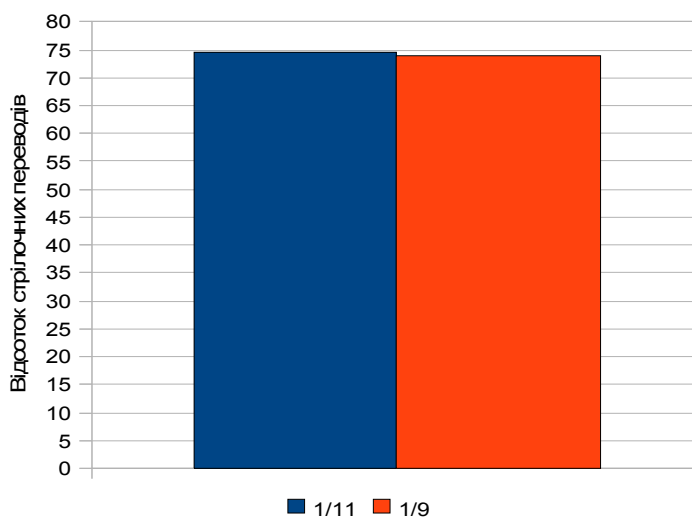


Рис. 6.22. Відсоток стрілочних переводів, які утримуються поза межами чинних допусків утримання за шириною колії.

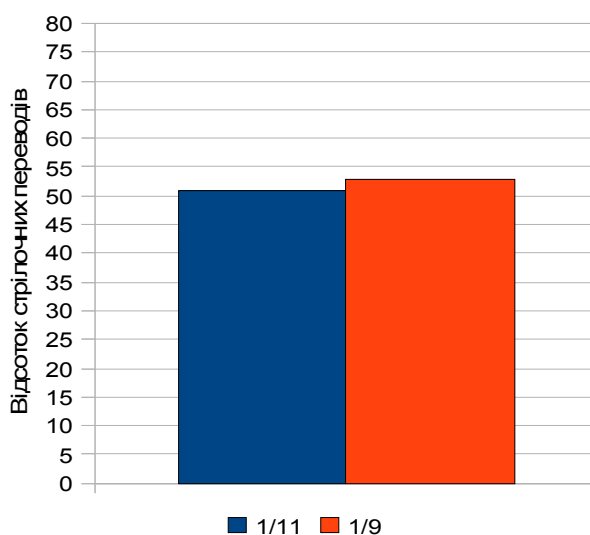


Рис. 6.23. Відсоток стрілочних переводів, які утримуються поза межами чинних допусків утримання за ординатами перевідної кривої.

Наведені на рис. 6.22-6.23 результати свідчать, що для марки 1/11 та 1/9 кількість стрілочних переводів, які утримуються поза межами чинних допусків практично однакова. За шириною колії приблизно на 24% відсотки більше стрілочних переводів утримуються поза межами допусків в порівнянні з кількістю стрілочних переводів, що утримуються поза межами допусків по ординатам перевідної кривої.

При затвердженні, розроблених у рамках даної дисертаційної роботи нормативів утримання стрілочних переводів по ширині колії та у плані, зменшиться кількість стрілочних переводів, що утримуються поза межами допусків (рис. 6.24 – 6.25).

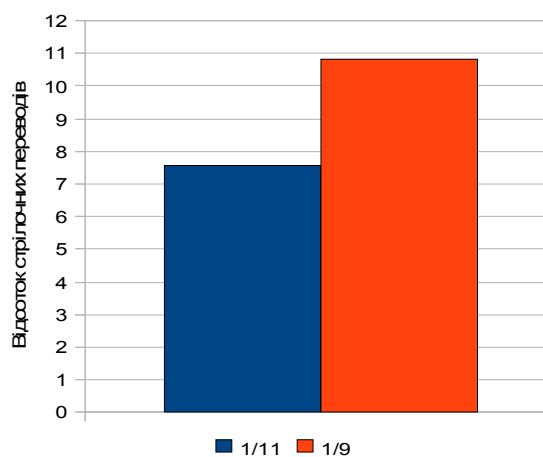


Рис. 6.24. Відсоток стрілочних переводів, які утримуються поза межами розроблених допусків утримання за шириною колії.

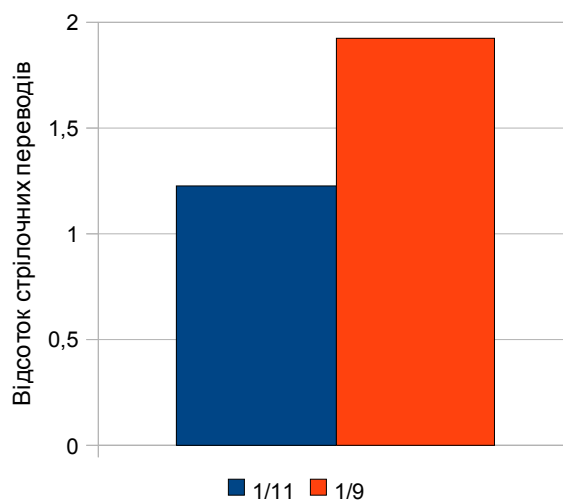


Рис. 6.25. Відсоток стрілочних переводів, які утримуються поза межами розроблених допусків утримання за ординатами перевідної кривої.

Порівнюючи наведені результати (рис. 6.22 – 6.25) бачимо, що зменшення кількості стрілочних переводів, які утримуються поза межами допусків утримання для марок 1/11 та 1/9 в середньому складає:

- по ширині колії – 65,2 %;
- по ординатах перевідної кривої – 50,3%.

Після визначення зменшення кількості стрілочних переводів, які утримуються поза межами допусків утримання перейдемо безпосередньо до визначення економічного ефекту від впровадження розроблених нормативів. Річний економічний ефект від удосконалення норм утримання колії в межах стрілочних переводів був визначений в відповідності з типовою методикою [89], за формулою:

$$E = \left[ 3_1 \frac{B_1 p_1 + E_n}{B_2 p_2 + E_n} + \frac{(I_1 - I_2) - E_n(K_2 - K_1)}{p_2 + E_n} - 3_2 \right] A_2 \quad (6.1)$$

Значення складників формули (6.1), докладно наведені в указаній методиці. Оскільки в даному розрахунку відрізняються лише експлуатаційні витрати ( $I_1$  та  $I_2$ ) стрілочного переводу ( $3_1$  та  $3_2$  – одна і та ж сама по своєму значенню величина приведених витрат з однаковим строком служби  $p_1$  та  $p_2$ ). Підрахунок формули зводиться до розрахунку різності експлуатаційних витрат ( $I_1 - I_2$ ), в даному випадку до різниці витрат на поточне утримання  $E_{ny}$ .

Витрати на поточне утримання стрілочних переводів можливо визначити з виразу:

$$E_{ny} = a_{cn} \cdot T_c \cdot K_n \cdot \Phi_p \cdot 12 \quad (6.2)$$

де:  $a_{cn}$  – норма витрат робочої сили на поточне утримання стрілочного переводу, чол. на рік;

$T_c$  – тарифна ставка монтера колії, середнього розряду роботи по регулюванні ширини колії в межах стрілочного переводу;

$K_n$  – коефіцієнт, що враховує нарахування на заробітну плату;

$\Phi_p$  – місячний фонд робочого часу;

12 – кількість робочих місяців на рік.

Вихідні дані до розрахунків наведені в табл. 6.6

Таблиця 6.6

**Вихідні дані до розрахунків економічного ефекту.**

Показник	Значення
Тарифна ставка монтера колії 4-го розряду	9,23 грн.
Діюча норма витрат робочої сили на поточне утримання одного стрілочного переводу	0,3 чол на рік
Кількість стрілочних переводів на залізобетонних брусах	25708
Відсоток регулювання ширини колії в загальному обсязі робіт з поточного утримання	20,00%
Відсоток регулювання ординат перевідної кривої в загальному обсязі робіт з поточного утримання	5,00%
Нарахування на заробітну плату	1,37

Безпосередньо економічний ефект досягається за рахунок зменшення витрати робочої сили з 0,3 чол на рік/ 1 стрілочний перевід до:

- 1) для ординат перевідної кривої:  $0,3 - 0,3 \cdot 0,05 \cdot 0,5025 = 0,2925$ ;
- 2) для ширини колі:  $0,3 - 0,3 \cdot 0,2 \cdot 0,652 = 0,261$ .

Економія витрат на поточне утримання стрілочних переводів в результаті впровадження розроблених у даній дисертаційній роботі норм утримання для одного стрілочного переводу було визначено за формулою:

$$E = (E_{ny}^{\partial} - E_{ny}^p) a_{cn} \cdot T_c \cdot K_n \cdot \Phi_p \cdot 12 \quad (6.3)$$

де  $E_{ny}^{\partial}, E_{ny}^p$  - діюча та зменшена від удосконалення норма витрат робочої сили.

Результати розрахунків економічного ефекту для стрілочних переводів на залізобетонних брусах від впровадження розроблених нормативів утримання наведені на рис. 6.26

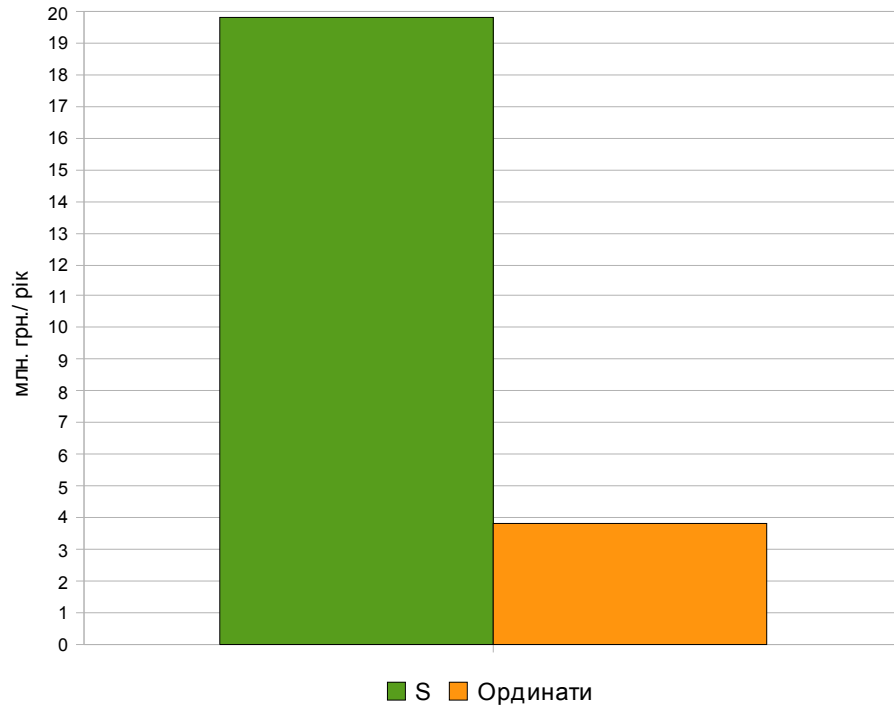


Рис. 6.26. Економічний ефект від впровадження розроблених нормативів утримання стрілочних переводів

Також економічний ефект від впровадження нових нормативів можливо виразити через зменшення фактичної кількості регулювань та перешивок ширини колії і ординат. Кількість регулювань, згідно [101] розраховується за формулою

$$N_{рег} = \frac{2 \left( \Delta S \cdot T_o \cdot \sqrt{\frac{v_{cp}}{55}} + 2,5\sigma_s \right)}{[S]} \cdot \left( \frac{P_{oc}}{140} \right) \cdot \left( 1 + \frac{240}{R} \right) \quad (6.4)$$

де  $\Delta S$  - інтенсивність місцевого зростання ширини колії після пропуску 1 млн. т бруто, мм (коливається в залежності від скріплення від 0,010 до 0,077);

$T_o$  - вантажна напруженість, млн. т бруто на рік;

$v_{cp}$  - середня швидкість руху, км/год;

$\sigma_s$  - середнє квадратичне відхилення від очікуваної інтенсивності зміни ширини колії, мм (змінюється від 0,06 до 0,42);

$P_{oc}$  - осьове навантаження, кН;

$R$  – радіус ділянки колії, м;

$[S]$  - допуск утримання за шириною колії

Результати розрахунків наведені на рис. 6.27 – 6.28 для марок 1/9 та 1/11 відповідно.

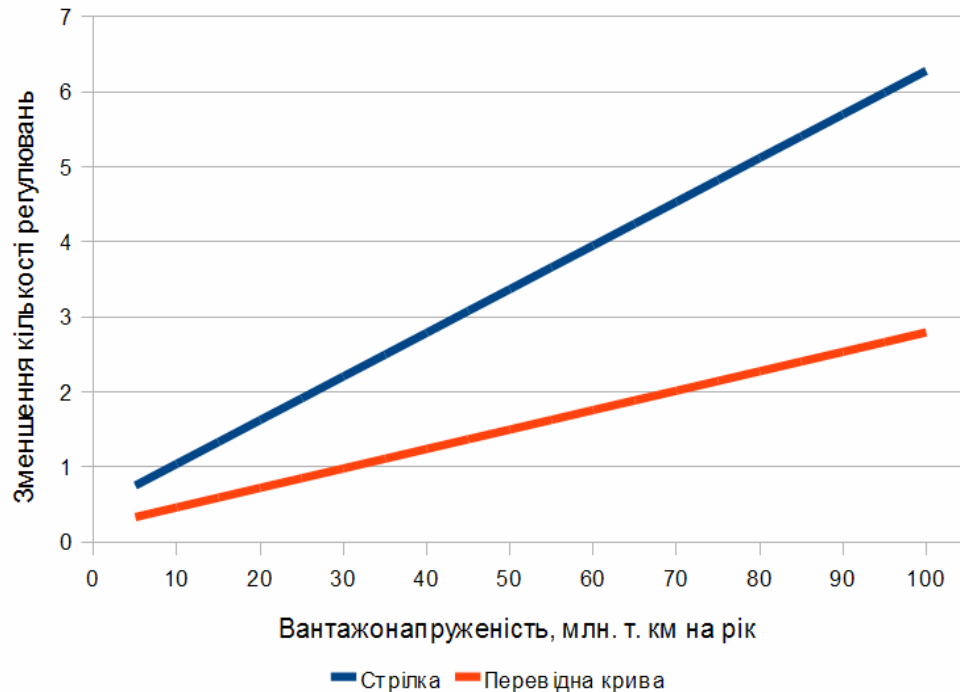


Рис. 6.27. Зменшення кількості регулювань для марки 1/9

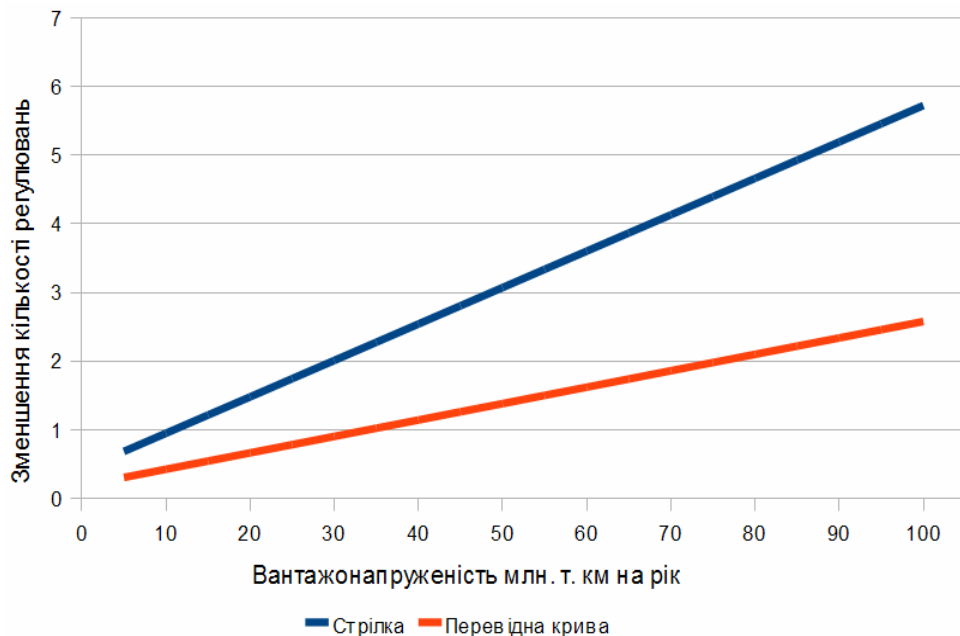


Рис. 6.28. Зменшення кількості регулювань для марки 1/11

Результати розрахунків економічного ефекту від впровадження розроблених нормативів утримання дозволить зменшити витрати на поточне

утримання колії в межах бокового напрямку стрілочних переводів на 23,59 млн. грн. на рік, за рахунок зменшення кількості регулювань та перешивок колії в межах стрілочних переводів.

## **6.5 Висновки по розділу**

Результати досліджень викладенні у даному розділі дають можливість зробити наступні висновки:

- 1) крім коефіцієнту запасу стійкості колеса на рейці необхідно враховувати довжину ділянки в межах якої цей коефіцієнт є меншим за допустимий;
- 2) в межах стрілки критерієм, який лімітує призначення допустимих відступів по ширині колії є величина бокової сили, а за напрямком у плані – довжина ділянки втрати стійкості для порожнього піввагона;
- 3) використання ступенів відступів від допусків утримання при розробці нормативів дає змогу підвищити експлуатаційний ресурс залізничної колії в межах стрілочних переводів;
- 4) нормативи утримання бокового напрямку стрілочних переводів по ширині колії та у плані, що розроблені за критеріями безпеки руху та впливу на колію, враховують особливості взаємодії колії та рухомого складу;
- 5) щорічний економічний ефекту від впровадження розроблених нормативів утримання стрілочних переводів досягається за рахунок зменшення обсягу робіт по поточному утриманню колії і складає 23,59 млн.грн.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень вирішена важлива науково-технічна задача удосконалення нормативів утримання бокового напрямку стрілочних переводів за шириною колії та у плані. Отримані результати у сукупності мають суттєве значення для колійного господарства залізничного транспорту України. Основні наукові результати, висновки та практичні рекомендації полягають у наступному.

1. Експлуатаційні дослідження засвідчили, що чинні допуски утримання колії в межах бокового напрямку не відповідають умовам експлуатації стрілочних переводів. Стрілочні переводи утримуються зі значними відступами від допусків утримання по ширині колії та ординатах перевідної кривої. В межах кожного стрілочного переводу одночасно присутні відступи по ширині колії, у профілі та плані. Причини такого стану бокового напрямку обумовлені одночасним збігом двох факторів: значним рівнем бокового навантаження від рухомого складу на рейкові елементи та слабким опором конструкції проміжних скріплень залишковим деформаціям від цього навантаження. Крім того, діюча методика контролю ширини колії не дозволяє виявляти ділянки з максимальними відступами від допусків утримання.
2. Моделювання бокового напрямку стрілочних переводів у вигляді прямої ділянки з імітацією дії кривої ділянки, за рахунок вводу розрахункового відцентрового прискорення, що діє на кузов екіпажу, призводить до значних похибок (до 20% і більше) при моделюванні взаємодії колії та рухомого складу.
3. Застосування розробленої методики моделювання динамічного вписування екіпажу в межах бокового напрямку стрілочних переводів дозволяє підвищити точність теоретичних розрахунків взаємодії за рахунок якісного збігу результатів моделювання з експериментальними.

4. Зростання ширини колії з 1520 до 1546 мм в межах стрілки призводить до підвищення бокових сил на 26 - 41 %, а в межах перевідної кривої в середньому на 5 %, що вказує на недоцільність призначення однакових нормативів утримання за шириною колії для зазначених ділянок бокового напрямку. Встановлена швидкість руху по боковому напрямку стрілочних переводів суттєво впливає на зростання бокових сил в межах стрілки та нерівностей у плані, причому інтенсивність зростання сили значно вище для стрілочних переводів з встановленою швидкістю руху 60...80 км/год (35-87%) ніж для 40...50 км/год (25-30%). Врахування впливу встановленої швидкості руху на силову взаємодію колії та рухомого складу, при розробці нормативів утримання, дозволяє більш повно, в порівнянні з діючими, використовувати експлуатаційний ресурс конструкції стрілочного переводу.
5. Критерієм, що лімітує допустиму ширину колії, є величина бокової сили. В межах стрілки допустима ширина колії, що не вимагає обмеження швидкості руху складає: для встановленої швидкості 40...50 км/год – 1542...1546 мм; для 60...80 км/год – 1530...1536 мм. В межах перевідної кривої ширина колії практично не впливає на силову взаємодію колії та рухомого складу. Критерієм, що лімітує відступи у плані є довжина ділянки втрати стійкості. Найменші допустимі відступи у плані, що не вимагають обмеження швидкості руху, отримані для порожнього піввагону: для встановленої швидкості 40...50 км/год – 8...10 мм; для швидкості 60...80 км/год – 4...5 мм.
6. Розроблені нормативи утримання бокового напрямку стрілочних переводів мають 4 ступені несправностей за шириною колії та у плані, причому 1-2 ступінь не вимагає обмеження швидкості руху, а 3-4 вимагає. Ширина колії нормується не допусками, а конкретною величиною, що дозволяє усунути неточності при встановленні в експлуатації допустимої швидкості руху. Встановлені допустимі

відхилення за напрямком у плані в межах бокового напрямку, які вимагають закриття руху, що дозволяє підвищити рівень безпеки руху.

Розроблені нормативи дозволяють встановлювати допустимі швидкості руху по боковому напрямку стрілочних переводів в залежності від їх стану за шириною колії та у плані, тим самим підвищуючи експлуатаційний ресурс конструкції стрілочного переводу.

7. Результати дисертаційної роботи прийнято до використання у вигляді рекомендацій по доповненню Додатка 8 «Допустимі швидкості руху поїздів» «Інструкції з улаштування та утримання колії залізниць України», ЦП/0269.
8. Річний економічний ефект від впровадження розроблених нормативів при поточному утриманні залізничної колії в межах стрілочних переводів складає 23,59 млн. грн.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила технічної експлуатації залізниць України: ЦРБ–0004: затверджено наказом Міністерства транспорту України від 20.12.1996 р. № 411 [Текст] . – К., 2003. – 175 с.
2. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України. ЦП/0138 [Текст] / Е. І. Даніленко, В. О. Яковлев, А. М. Орловський, М. І. Карпов та інші.// - К.: Транспорт України., 2006. - 336 с.
3. Труды 33 совещательного съезда инженеров службы пути [Текст] - М.: Транспечать, 1923. - 90 с.
4. Манос, И. Я. Нормы и допуски размеров ширины колеи в стрелочных переводах [Текст]. Сб. ЛИИЖТа, вып. 127, - М.: Трансжелдориздат, 1929 - 84 с.
5. Справочная книжка железнодорожника [Текст]. - М.: Трансжелдориздат, 1956. - 1104 с.
6. Иващенко, Г.И. Стрелочные переводы для повышенных скоростей движения по ответвленному пути [Текст]. Труды ЦНИИ, вып. 193, М., Трансжелдориздат, 1960. - 87 с.
7. Ушкалов, В. Ф. Математическое моделирование колебаний рельсовых транспортных средств [Текст]/ В. Ф. Ушкалов, Л. М. Резников, В. С. Иккол, и др. АН УССР. Ин-т техн. Механики. - Киев: Наук. Думка, 1989. - 240 с.
8. Ромен, Ю.С. О нелинейных колебаниях железнодорожного экипажа в кривых произвольного очертания [Текст]. - МежВуз., сб. науч. трудов/ ВНИЖТ, 1967, вып. 347, с 5-26.
9. Яковлев, В. Ф. Экспериментальные исследования углов удара в стрелках путей металлургического завода [Текст]. /В. Ф. Яковлев, И. И Семенов, А. Н. Конаков //. - МежВуз., сб. науч. трудов ЛИИЖТ, 1975, вып. 380, с 18-27.
10. Волошко, Ю. Д. Исследование на АВМ МН-7 реакций элементов пути на горизонтальное поперечное воздействие подвижного состава

- [Текст]. - МежВуз., сб. науч. трудов ДИИТ, 1967, вып. 78, с 18-27.
11. Говоруха, В. В. Моделирование движения рельсовых экипажей [Текст]. - Киев: Наук. Думка, 2006. - 460 с.
  12. Николаев, Е. В. Моделирование взаимодействия железнодорожного экипажа и стрелочного перевода при движении на боковое направление [Текст]. Вестник ВНИИЖТа 1985, вып. 4, с 62-68
  13. Решетиллов, С.И. Автореферат дис. к.т.н. Воздействие на стрелочные переводы подвижного состава с различными профилями колесных пар [Текст] / С. И. Решетиллов. // М.: ВНИИЖТ, 1988, 31 с.
  14. Желнин, Г. Г. Особенности установления допускаемых скоростей на стрелочных переводах [Текст] / Желнин Г. Г. // М.: Вестник ВНИИЖТа 1985, №. 4, с 32-38
  15. Звіт про науково-дослідну роботу. Исследование и разработка рекомендаций по допустимым скоростям по прямому направлению стрелочных переводов, уложенных с несоблюдением требований технических условий [Текст]. ДИИТ, КГНДЛ. 2007, 109 с.
  16. Крысанов, Л. Г. Влияние ширины колеи и желобов в крестовинном узле на условия прохождения по нему колесных пар [Текст] / Л. Г. Крысанов, Н. Н. Елсаков // Вестник ВНИИЖТ. - М., 1975. №3. - С. 34-39.
  17. Яковлев, В. Ф. Влияние сужения рельсовой колеи на состояние железнодорожного пути и плавность движения поездов [Текст] / В. Ф. Яковлев, С. В. Амелин // Труды ЛИИЖТа. - Л., 1963. № 191. - С. 7-28.
  18. Яковлев, В. Ф. Напряженное состояние и деформированное состояние стрелочного перевода марки 1/11 при ширине колеи 1530 мм [Текст] / В. Ф. Яковлев, С. В. Амелин // Труды ЛИИЖТа. - Л., 1963. № 191. - С. 30-63.

19. Звіт про науково-дослідну роботу. Разработать нормативы скоростей движения по стрелочным переводам с учетом их фактического состояния [Текст] / ДИИТ, КГНДЛ - Д., 1988, – 147 с.
20. Ромен, Ю. С. Влияние зазора в колее на величину боковых сил при взаимодействии пути и подвижного состава. [Текст] / Ю. С. Ромен, М. Ф. Вериге, В. О. Певзнер // Сб. науч. тр. ЦНИИ МПС. - М., 1969. – № 385. - С 95-106.
21. Вериге, М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] / М.Ф. Вериге, А. Я. Коган//. - М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
22. Звіт про науково-дослідну роботу. Разработка рекомендаций по допустимым скоростям по боковому направлению стрелочных переводов, взаимное положение которых не соответствует техническим требованиям [Текст] / ДИТ, КГНДЛ, 2008, - 51 с.
23. Трофимов, А.Н. Исследование динамической неровности в рельсовом стыке [Текст] / А. Н. Трофимов // Труды ДИИТа. Взаимодействие пути и подвижного состав. - Д., 1989. – С. 27-33.
24. Лысюк, В. С. Причины и механизм схода колес с рельса. Проблема износа колес и рельсов.[Текст] / В. С. Лысюк. - М.: Транспорт, 1997. - 188 с.
25. Нормы для расчета и оценки прочности несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ [Текст]. - М.:, 1998. – 72
26. Вагоны грузовые железнодорожные. Требования по сертификации [Текст]. - М.:, 1998. – 16 с.
27. Желнин, Г. Г. Допустимые скорости движения на боковое направление стрелочного перевода с учетом его фактического состояния. Автореферат дисертації д.т.н. [Текст] / Г. Г. Желнін. М.: ВНИИЖТ, 1992, 45 с.
28. Вериге, М. Ф. Установление норм боковых динамических нагрузок подвижного состава по условию устойчивости пути поперечному

- сдвигу [Текст] / М. Ф. Вериги, С. С.Крепкогорский // Тр. ЦНИИ МПС - М., 1962. №248. -С. 25-28.
- 29.Радыгин, Ю.Н. Совершенствование геометрических параметров и норм содержания стрелочных переводов. Автореферат дисертації к.т.н. [Текст] / Ю. Н. Радыгин. - М., 2007, 25 с.
- 30.Митропольский, А. К. Техника статистических вычислений [Текст] / А. К. Митропольский // - М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
- 31.Ершков, О. П. Теоретический анализ влияния расстройств рельсовой колеи на динамическое воздействие подвижного состава и пути и оценка неравножесткости рельсовых нитей. [Текст] / О. П. Ершков, М. Г. Зак, Е. Д. Ткачев // Труды ВНИИЖТа. - М., 1980. № 628. - С. 67-101.
32. Reglement concernant la securite de la voie. L'association des chemins de fer du Canada. 3 november [Текст]. Канада. 2008. 30 с.
- 33.Глюзберг, Б. Э. Усовершенствовать систему нормативов. [Текст] / Б. Э. Глюзберг // Путь и путевое хозяйство - М., 1990. №6. С. 9-10.
- 34.Рибкін, В. В. Исследование расстройств колеи по шаблону на стрелочных переводах [Текст] / В. В. Рибкин, П. В. Ковтун // Межвуз. сб. науч. тр. БелИЖЖТ. - Г, 1992. - С. 16-24.
- 35.Отчет о научно-исследовательской работе. Обоснование нормативов содержания стрелочных переводов [Текст] / ВНИИЖТ. -М., 1987. - 130 с.
- 36.Курган, М. Б. Положення суміжних стрілочних переводів у плані й поздовжньому профілі [Текст] / М. Б. Курган, Т. А. Сенченко, К. В. Мойсеєнко // Вісник ДІТУ. - Д., 2009. № 27. - С. 75-82.
- 37.Система диагностики стрелочных переводов, порядок проведения диагностики стрелочных переводов[Текст] / Протокол совещания экспертов Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу по подтеме №2.4 «Железобетонные шпалы, брусья, стрелочные переводы и их диагностика» . Днепрпетровск. 2010.

38. Яковлев, В. О. Сучасний стан та перспективи розвитку колійного господарства України [Текст] / В. О. Яковлев // Тези доповіді 70 науково-практичної конференції “Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту” ДПТ. 2010. - 202 с.
39. Савлук, В. Є. Технічні вказівки з проведення натурних випробувань рухомого складу щодо впливу на колію та стрілочні переводи. [Текст] / В. Є Савлук, В. В. Рибкін, А. М. Патласов // ДПТ. 2010. – 20 с.
40. Гнатенко, В. П. Технічні вказівки з проведення натурних випробувань стрілочних переводів на міцність. [Текст] / В. П. Гнатенко, К. В. Мойсеєнко, В. В. Рибкін, В. Є Савлук, А. Н. Орловський // ДПТ. 2010. - 20 с.
41. Блохин, Е. П. О запасе устойчивости колеса против схода с рельса [Текст] / Е.П. Блохин, А.Н. Пшінько, М.Л. Коротенко, А.Г. Рейдемейстер // Залізничний транспорт України. - К., 2002. №2. - С. 22-24.
42. Амелин, С. В. Исследование устойчивости движения экипажей по коэффициентам вертикальной динамики [Текст] / С. В. Амелин, В. И. Абросимов, Л. Н. Фролов, С. А. Марушко // Сб. науч. тр. ЛИИЖТа. - Л., 1971. №323. - С. 18 -28.
43. Шахунянц, Г. М. О допускаемых скоростях движения на боковой путь и об основных геометрических параметрах для проектирования стрелочных переводов [Текст]. Труды МИИТ №. 80/1 - .:М., Трансжелдориздат, 1958.
44. Бромберг, Е. М. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] / Е. М. Бромберг, М. Ф. Вериги, В. Н. Данилов, М. А. Фришман // .:М., Трансжелдориздат, 1958. - 290 с.
45. Яковлев, В. Ф. Исследование горизонтальных сил взаимодействия пути и подвижного состава с применением ЭВМ [Текст]. / В. Ф. Яковлев, И. И. Семенов, В. И. Абросимов, Е. П. Шапошникова // Труды ЛИИЖТа. - Л., 1967. № 260. - С. 3-35.

46. Николаев, В. Е. Моделирование взаимодействия железнодорожного экипажа и стрелочного перевода при движении на боковое направление [Текст]. Вестник ВНИИЖТа - М.: Транспорт, 1985 - №2. С.62 - 68.
47. Данович, В. Д. Определение допускаемых скоростей движения грузовых вагонов по железнодорожным путям колеи 1520 мм [Текст] / В. Д. Данович, В. В. Рыбкин, С. В. Мямлин, А. Г. Рейдемейстер, А. П. Трякин, Н. В. Халипова // Вісник ДІІТу. - Д., 2003. № 2. - С. 77-86.
48. Мямлин, С. В. Моделирование динамики рельсовых экипажей. [Текст] / С. В. Мямлин -Д.: Новая идеология, 2002. - 240 с.
49. Янин, Г. М. Влияние скорости движения грузовых поездов на изменение ширины рельсовой колеи [Текст] / Г. М. Янин// Труды ДИИТа № 198/20. М., ДИИТ, 1978. - С. 67-75.
50. Воробейчик, Л. Я. Планирование эксперимента при исследованиях воздействия экипажей на путь [Текст] /Л. Я Воробейчик // Труды ДИИТа № 198/20. М., ДИИТ, 1978. - С. 75-90.
51. Абросимов, В. И. Работа контррельсового узла под поездной нагрузкой [Текст] / В. И. Абросимов, И. И. Семенов, Л. Н. Фролов, В. И. Полетаев, А. И. Лисков // Сб. науч. тр. ЛИИЖТа. - Л., 1971. №323. - С. 102 -124.
52. Мансуров, Р. А. Работа контррельсового узла в зависимости от размеров крестовинного узла и нагрузки от оси колесной пары на рельсы. / Р. А. Мансуров // М.: Вестник ВНИИЖТа 1985, №. 4, с 32-38
53. Б. Э. Глюзберг. Напряженное состояние и особенности работы контррельсов стрелочных переводов [Текст] / Глюзберг Б. Э. // Вестник ВНИИЖТа. - М., 1989. №4 - С. 49-52.
54. Орловский, А. Н. Экспериментальная оценка горизонтального воздействия пассажирских вагонов на стрелочные переводы [Текст] /А. Н. Орловский, А. П. Татуревич // Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава; Межвуз. сб. научн. тр. - Днепропетровск: ДИИТ, 1989. - С. 16-23.

55. Волошко, Ю. Д. Динамические испытания стрелочного перевода при осевой нагрузке вагонов 28,0 — 29,0 т [Текст] / Ю. Д. Волошко, Л. Я. Воробейчик, В. В. Рыбкин, А. С. Васильев // Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава; Межвуз. сб. научн. тр. - Днепропетровск: ДИИТ, 1989. - С. 11-16.
56. Васильев, А. С. Фактическое состояние стрелочных переводов при существующей системе норм и допусков на их содержание [Текст] / А. С. Васильев // Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава; Межвуз. сб. научн. тр. - Днепропетровск: ДИИТ, 1990. - С. 43-43.
57. Татуревич, А. П. Анализ и классификация причин сходов подвижного состава на стрелочных переводах [Текст] / А. П. Татуревич // Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава; Межвуз. сб. научн. тр. - Днепропетровск: ДИИТ, 1990. - С. 41-43.
58. Желнин, Г. Г. Установление допускаемых скоростей движения по стрелочным переводам с учетом отступлений от норм содержания в профиле и плане [Текст] / Г. Г. Желнин, А. П. Татуревич, С. И. Решетиллов // Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава; Межвуз. сб. научн. тр. - Днепропетровск: ДИИТ, 1990. - С. 97-101.
59. Желнин, Г. Г. Экспериментальная оценка неровностей пути в плане в зоне стрелочных переводов [Текст] / Г. Г. Желнин, А. П. Татуревич, С. И. Решетиллов // Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава; Межвуз. сб. научн. тр. - Днепропетровск: ДИИТ, 1991. - С. 25-33.
60. Орловський, А. М. Результати натурного випробування на міцність стрілочного переводу типу Р65 марки 1/9 проекту 65109Ж-01 [Текст] / А. М. Орловський, В. П. Гнатенко, К. В. Мойсеєнко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – Вип. 34.
61. Мойсеєнко, К. В. Напружено-деформований стан стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11 проекту Дн 300 [Текст] / К. В. Мойсеєнко,

- В. П. Гнатенко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – Вип. 36.
62. Гнатенко, В. П. Результати натурального випробування на міцність стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11 проекту 65111Ж [Текст] / В. П. Гнатенко, К. В. Мойсеєнко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – Вип. 35.
63. Мойсеєнко, К. В. Напружено-деформований стан стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11 проекту Дн 355 за даними натурального випробування [Текст] / К. В. Мойсеєнко, В. П. Гнатенко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – Вип. 36.
64. Ромен, Ю. С. Влияние технического состояния узлов опирания грузовых вагонов на сопротивление повороту тележек [Текст] / Ю. С. Ромен, В. М. Богданов, Л. К. Добрынин, В. С. Коссов, В. А. Коваль и др. // Вестник ВНИИЖТа - М.: Транспорт, 2000 - №3. С. 9 - 12.
65. Кажаяев, А. Н. Влияние высоты центра тяжести и массы порожних вагонов на скорость их безопасного движения [Текст] / А. Н. Кажаяев, В. С. Плоткин // Вестник ВНИИЖТа - М.: Транспорт, 2009 - №4. С.24 - 25.
66. Певзнер, В. О. Унификация ширины колеи на российских железных дорогах: история и результаты [Текст] / В. О. Певзнер, И. Б. Петропавловская // Вестник ВНИИЖТа - М.: Транспорт, 2010 - №2. С.15 - 19.
67. Певзнер, В. О. Оценка влияния норматива устройства ширины колеи на интенсивность бокового износа и уширения колеи по результатам эксплуатационных наблюдений [Текст] / В. О. Певзнер, И. Б. Петропавловская, О. Ю. Белоцветова, Т. И. Громова // Вестник ВНИИЖТа - М.: Транспорт, 2010 - №2. С.35 - 39.

68. Певзнер, В. О. Экспериментальные исследования по оценке влияния ширины колеи и состояния ходовых частей на уровень боковых сил [Текст] / В. О. Певзнер, Ю. С. Ромен, А. М. Орлова, А. В. Заверталоук // Вестник ВНИИЖТа - М.: Транспорт, 2010 - №2. С.39 - 42.
69. Ершков, О. П. Особенности работы в пути рельсов с контактными повреждениями. [Текст] / О. П. Ершков, М. Ф. Вериго // Труды ВНИИЖТа. - М., 1963. № 264. 145 с.
70. Елсаков, Н. Н. Переводы с суженной колеей [Текст]. Путь и путевое хозяйство - М., 1974. №1. С. 29-31.
71. Звіт про науково-дослідну роботу «аналіз причин сходів рухомого складу в кривих ділянках колії радіусом до 350 м і розробка конструкцій з метою їх запобігання» [Текст] // ДИИТ, КГНДЛ. 2007, 129 с.
72. Зубец, Б.М. Методика спектрального анализа неровностей пути в плане [Текст]. Вестник ВНИИЖТа - М.: Транспорт, 1975 - №1. С.52 — 55.
73. Рыбкин, В. В. Рекомендации по проектированию стрелочных переводов для заданных скоростей движения [Текст]. Протокол совещания экспертов Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу по подтеме № 2.4. “Железобетонные шпалы, брусья, стрелочные переводы и их диагностика” - Л.: Вильнюс, 2009
74. Правила і технологія виконання робіт при поточному утриманні залізничної колії. ЦП/0084 [Текст] / Е. І. Даніленко, М. І. Карпов, В. Ф. Сушков, та інші. - К.: Транспорт України., 2002. - 156 с.
75. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. ЦП/0117 [Текст] / Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін. – К.:Транспорт України, 2005. – 140с.
76. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії. ЦП/0020 [Текст] / П. І.

- Рибачок, В. Ф. Сушков, та інші // - К.: Транспорт України., 2000. - 34 с.
77. Лысюк, В. С. Причины и механизм схода колеса с рельса [Текст]. - М.: Транспорт., 1997. - 34 с.
78. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] / В. Е. Гмурман //.. - М.: Высшая шк., 1999. - 479 с.
79. Данилова, Н.И. Численные методы [Текст] / Н.И. Данилова, Н.С. Дубровская, О.П. Кваша, Г.Л. Смирнов, Г.И. Феклисов.// - М.: Высшая шк., 1976. - 368 с.
80. Иванова, В.М. Математическая статистика [Текст] / В.М. Иванова, В.Н. Калинина, Л.А. Нешумова, И.О. Решетникова.// - М.: Высшая шк., 1981. - 371 с.
81. Esveld, C. Modern railway track. - Second edition. [Текст] / C. Esveld // MRT-Production. - 2001. - 545с.
82. Popp, K. System Dynamics [Текст] / K. Popp // GmbH, Heidelberg. - 2003. - 490с.
83. Митропольский, А. К. Техника статистических вычислений [Текст] / А. К. Митропольский // - М.: Наука, 1971. - 576 с.
84. Воробейчик, Л. Я. Планирование эксперимента при исследованиях воздействия экипажей на путь [Текст] /Л. Я. Воробейчик // Труды ДИИТа № 198/20. М., ДИИТ, 1978. - С. 75-90.
85. Кибзун А. И. Теория вероятности и математическая статистика [Текст] / А. И. Кибзун, Е. Р. Горяинова, А. В. Наумова, А. Н. Сиротич // - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. - 224 с.
86. Хусидов, В. В. Динамика пассажирского вагона и пути модернизации тележки КВЗ-ЦНИИ [Текст] / В. В. Хусидов, А. А. Хохлов, Г. И. Петров, В. Д. Хусидов // - М.: МИИТ, 2001. - 162 с.
87. Алексеев, Е. Р. Scilab Решение инженерных и математических задач [Текст] / Е. Р. Алексеев, О. В. Чеснокова, Е. А. Рудченко // - М.: БИНОМ, 2008. - 260 с.

88. Яковлев, В. Ф. Путь и путевое хозяйство промышленных железных дорог [Текст] / В. Ф. Яковлев, В. Е. Парункян, А. Н. Перцев // - М.: Транспорт, 1990. – 341 с.
89. Методические указания по определению экономической эффективности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений на железнодорожном транспорте [Текст]. - М.: Транспорт, 1980. - 143 с.
90. Рибкін, В. В. Особенности математического моделирования взаимодействия пути и подвижного состава в пределах стрелочного перевода [Текст] / В. В. Рибкін, К. Л. Каленик // Тези доповіді на 69 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» ДНУЗТ 2009. - Д., 2009.
91. Рибкін, В. В. Совершенствование методики контроля положения стрелочных переводов в плане [Текст] / В. В. Рибкін, К. Л. Каленик // Сб. наук. праць. науково-практичної конференції ОАО «РЖД». Инфраструктура 2009. - М.: Интекст, 2009. - С. 79
92. Рибкін, В. В. Аналіз впливу ширини колії в межах стрілочних переводів на допустиму швидкість руху за критеріями безпеки руху та силової дії від рухомого складу на колію [Текст] / В. В. Рибкін, К. Л. Каленик // Тези доповіді на 70 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» ДНУЗТ 2010. - Д., 2010.
93. Рибкін, В. В. Особливості математичної моделі взаємодії колії та рухомого складу в межах стрілочного переводу [Текст] / В. В. Рибкін, К. Л. Каленик // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. тр-ту ім. акад. В. Лазряна, - 2009. -Вип. 30. - С. 204-207.
94. Рибкін, В. В. Вплив ширини колії в межах перевідної кривої звичайних стрілочних переводів на взаємодію колії та рухомого складу [Текст] / В.

- В. Рибкін, К. Л. Каленик // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. тр-ту ім. акад. В. Лазряна, - 2010. -Вип. 31. - С. 204-207.
- 95.Рибкін, В. В. Аналіз впливу відступів за шириною колії та за напрямком у плані в межах бокового напрямку стрілочних переводів за критеріями безпеки руху та впливу на колію [Текст] / В. В. Рибкін, К. Л. Каленик // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. тр-ту ім. акад. В. Лазряна, - 2010. -Вип. 34. - С. 116-122.
- 96.Рибкін, В. В. Експлуатаційні дослідження ширини колії та положення за напрямком у плані бокового напрямку стрілочних переводів [Текст] / В. В. Рибкін, К. Л. Каленик // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. тр-ту ім. акад. В. Лазряна, - 2010. -Вип. 35. - С. 129-134.
- 97.Рибкін, В. В. Нормативи утримання бокового напрямку стрілочних переводів по ширині колії та за напрямком у плані [Текст] / В. В. Рибкін, К. Л. Каленик // Збірник наукових праць Донецького ін-ту залізн. тр-ту, - 2011. № 25. - С. 179-190.
- 98.Ромен, Ю. С. Расчеты поперечной устойчивости рельсо-шпальной решетки под воздействием поезда нагрузки [Текст]. Вестник ВНИИЖТа 1986, вып. 2, с 42-53
- 99.Вериго, М. Ф. Динамические силы на подвижном составе и в пути [Текст]/ М. Ф. Вериго, Л. О. Грачева, Ю. С. Ромен, В. Е. Николаев // . Тр. ВНИИЖТа №549, 1976. - 93 с.
- 100.Гарг, В. К. Динамика подвижного состава: пер. с англ. [Текст]. – М.:Транспорт, 1998. – 391с.
- 101.Лехно, И. Б. Путевое хозяйство. [Текст] / И. Б. Лехно, С. М. Бельфер, К. Н. Дьяков, И. Я. Туровский, Э. В. Воробьев, В. И. Тихомиров // - М.: Транспорт, 1990. – 471 с.
- 102.Новикович, В. И. Бесстыковой путь со сверхдлинными рельсовыми плетями [Текст] // - М.: Маршрут, 2005. – 144 с.
- 103.Рибкін, В. В. Вплив нерівностей у плані на допустиму ширину колії в межах бокового напрямку стрілочних переводів[Текст] / В. В. Рибкін,

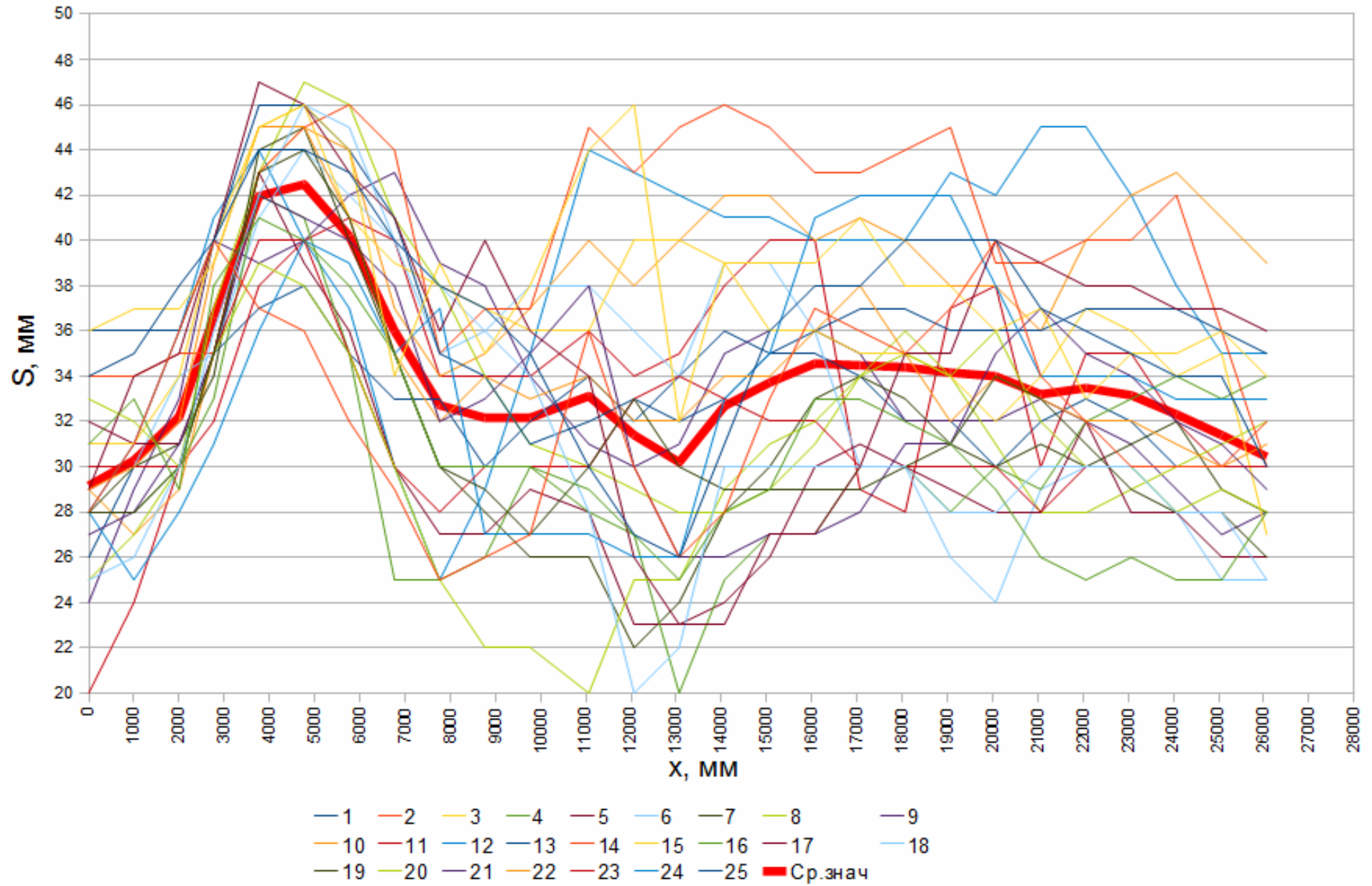
К. Л. Каленик // Тези доповіді на 71 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» ДНУЗТ 2011. - Д., 2011.

## ДОДАТОК А

### А.1 Ширина колії на стрілочних переводах марки 1/11

h,mm	№ Стрілочного переводу																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0	34	28	36	31	29	25	28	33	27	29	30	28	36	34	31	28	32	30	28	25	24	29	20	28	26
1000	35	31	37	33	34	26	28	32	28	30	30	25	36	34	31	28	31	30	30	27	29	27	24	31	30
2000	38	36	37	29	35	30	30	30	31	32	30	28	36	35	34	30	31	34	31	30	33	29	30	36	30
2765	40	40	39	38	40	36	35	35	35	39	35	31	40	35	40	33	35	35	34	37	40	35	32	41	35
3765	44	37	45	41	47	42	43	39	42	45	40	36	46	43	45	42	43	41	44	43	39	43	38	44	37
4765	44	36	46	40	46	46	44	38	41	45	40	40	46	45	46	41	39	44	45	47	40	45	40	40	38
5765	43	32	44	38	43	45	41	35	40	41	35	39	44	46	41	35	36	42	40	46	42	44	41	37	35
6765	40	29	34	35	41	40	35	30	38	35	30	35	41	44	39	25	30	40	35	41	43	37	40	30	33
7765	38	25	39	30	36	38	30	25	32	32	28	37	35	35	38	25	27	35	30	38	39	34	34	25	33
8765	37	26	35	30	40	36	29	22	33	34	30	27	34	37	37	26	27	36	28	34	38	35	34	29	30
9765	35	27	38	30	36	34	27	22	35	33	30	27	31	37	36	30	29	38	26	31	34	37	34	35	32
11065	30	36	44	29	34	28	30	20	38	34	30	27	32	45	36	28	28	38	26	30	31	40	36	44	34
12065	27	30	46	27	26	20	33	25	30	32	33	26	33	43	40	27	23	36	22	29	30	38	34	43	32
13065	26	26	32	25	23	22	30	25	26	32	34	26	32	45	40	20	23	34	24	28	31	40	35	42	34
14065	31	28	39	28	23	30	29	29	26	34	33	33	33	46	39	25	24	39	28	28	35	42	38	41	36
15065	36	33	39	29	27	30	29	31	27	34	32	35	35	45	36	27	26	39	30	29	36	42	40	41	35
16065	38	37	39	33	27	30	29	32	27	36	32	41	36	43	36	27	30	36	33	31	36	40	40	40	35
17065	38	36	41	33	30	30	29	34	28	38	30	42	37	43	35	30	31	30	34	34	35	41	29	40	34
18065	40	35	38	32	35	30	30	35	31	35	30	42	37	44	35	30	30	30	33	36	32	40	28	40	32
19065	40	37	38	31	35	28	31	34	31	32	30	42	36	45	34	28	29	26	31	34	32	38	37	43	32
20065	40	40	36	29	40	28	34	36	35	34	30	38	36	39	32	30	28	24	30	31	32	38	38	42	30
21065	37	34	37	26	39	30	33	32	37	33	28	34	36	39	34	29	28	29	31	28	33	36	30	45	32
22065	36	32	33	25	38	30	31	30	35	32	30	34	37	40	37	32	32	30	30	28	32	40	35	45	33
23065	35	30	35	26	38	30	29	30	34	32	30	34	37	40	36	33	28	30	31	29	31	42	35	42	32
24065	34	30	35	25	37	28	28	28	32	31	30	33	37	42	34	34	28	28	32	30	29	43	32	38	30
25065	34	30	36	25	37	28	28	29	31	30	30	33	36	36	35	33	26	25	29	31	27	41	30	35	30
26065	30	32	34	28	36	25	26	28	29	31	30	33	35	30	27	34	26	25	28	32	28	39	30	35	30
27065	30	31	32	26	32	20	24	27	27	30	28	34	32	26	28	30	29	24	24	31	28	35	30	32	30

## А.2 Характер зміни ширини колії по довжині бокового напрямку

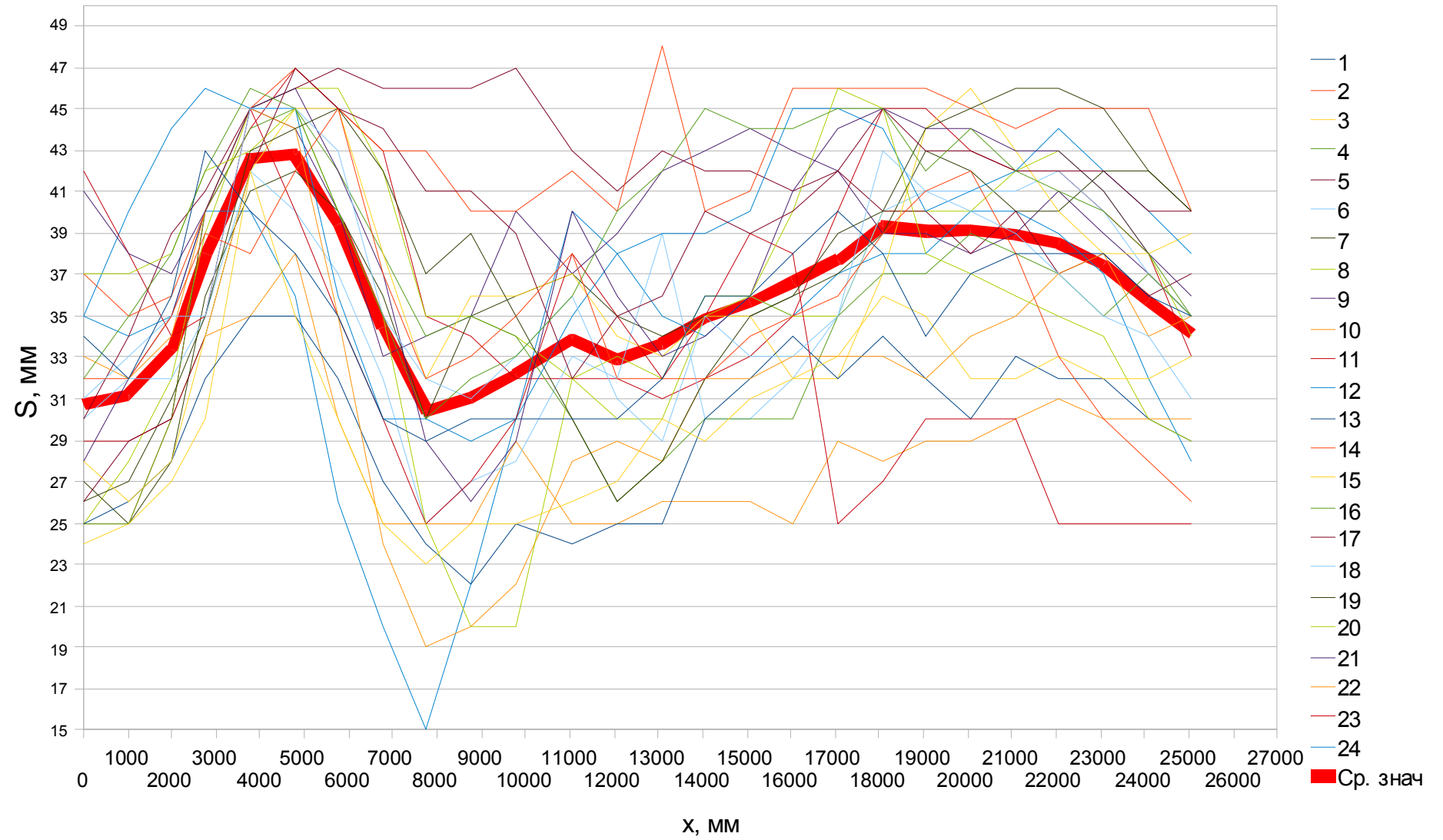


### А.3 Ширина колії на стрілочних переводах марки 1/9

#### № Стрілочного переводу

h,mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	34	32	28	32	26	31	26	37	41	33	42	35	25	37	24	25	30	30	27	25	28	25	29	35
1000	32	32	26	35	29	33	27	37	38	32	38	40	26	35	25	25	34	32	25	28	32	25	29	34
2000	36	35	28	38	30	35	31	38	37	34	34	44	28	36	27	30	39	32	28	32	35	30	30	35
2765	43	39	34	42	34	35	35	42	40	40	35	46	32	40	30	40	41	35	36	39	40	34	40	40
3765	40	38	42	46	42	45	43	43	45	45	45	45	35	45	42	44	45	42	41	45	45	35	44	40
4765	38	42	35	45	47	45	44	45	46	44	40	45	35	47	45	45	46	40	42	46	44	38	47	36
5765	35	45	30	40	45	43	45	40	42	35	35	36	32	45	45	42	47	37	40	46	40	30	45	26
6765	30	37	25	35	44	35	42	35	37	24	30	30	27	43	38	38	46	32	36	42	33	25	43	20
7765	29	32	23	30	41	32	37	25	29	19	25	30	24	43	32	34	46	25	30	35	34	25	35	15
8765	30	33	25	32	41	31	39	20	26	20	27	29	22	40	36	35	46	27	35	35	35	25	34	22
9765	30	35	25	33	39	33	35	20	29	22	30	30	25	40	36	34	47	28	36	34	40	29	32	30
11065	30	38	26	36	32	36	30	32	40	28	38	35	24	42	37	30	43	33	37	32	37	25	32	40
12065	30	32	27	40	35	31	26	30	36	29	35	38	25	40	34	26	41	32	35	33	39	25	32	38
13065	32	32	30	42	36	29	28	30	33	28	32	39	25	48	33	28	43	39	34	32	42	26	31	35
14065	36	32	29	45	40	35	32	35	34	32	35	39	30	40	35	30	42	30	35	36	43	26	32	34
15065	36	34	31	44	39	33	35	36	36	32	39	40	32	41	35	30	42	30	35	36	44	26	33	36
16065	38	35	32	44	40	33	36	40	41	33	38	45	34	46	32	30	41	32	36	35	43	25	35	35
17065	40	36	33	45	42	35	39	46	44	33	25	45	32	46	32	35	42	35	37	35	42	29	40	37
18065	38	39	36	45	45	43	40	45	45	33	27	44	34	46	37	37	40	40	39	40	39	28	45	38
19065	34	41	35	42	43	41	44	38	44	32	30	40	32	46	44	37	40	41	43	40	39	29	45	38
20065	37	42	32	44	43	40	45	37	44	34	30	41	30	45	46	39	38	41	42	40	38	29	43	40
21065	38	38	32	42	42	39	46	36	43	35	30	42	33	44	43	38	40	41	40	42	39	30	42	40
22065	38	33	33	41	42	37	46	35	43	37	25	44	32	45	40	37	37	42	40	43	41	31	42	39
23065	38	30	32	40	42	35	45	34	41	38	25	42	32	45	38	35	38	40	42	41	39	30	40	37
24065	36	28	32	38	40	34	42	30	38	34	25	40	30	45	38	37	36	37	42	38	37	30	38	32
25065	35	26	33	35	40	31	40	29	36	35	25	38	29	40	39	35	37	35	40	34	35	30	33	28
26065	35	23	34	32	36	30	35	29	35	34	26	35	28	38	36	35	37	35	35	32	32	30	30	30

#### А.4 Характер зміни ширини колії по довжині бокового напрямку



### А.5 Ординати перевідних кривих на стрілочних переводах марки 1/9

h,mm	№ Стрілочного переводу																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
12065	210	218	212	212	212	210	212	205	210	215	210	205	212	205	205	212	205	212	212	210	210	211	211	211
13065	255	258	250	255	252	250	252	243	250	252	252	245	250	242	250	250	245	252	252	245	248	251	250	251
14065	295	291	295	300	295	292	295	285	292	295	295	290	294	282	295	293	285	295	295	285	285	292	295	290
15065	345	338	335	348	345	340	340	332	335	340	335	335	342	332	342	342	330	345	340	340	332	343	340	341
16065	398	390	390	395	400	395	395	382	382	393	392	390	398	384	395	395	385	395	390	390	382	396	390	395
17065	450	446	442	450	452	451	450	435	438	445	444	448	450	438	450	450	445	450	445	445	440	455	448	450
18065	511	510	505	510	515	508	510	505	492	505	510	505	510	495	505	505	505	505	505	505	501	512	505	506
19065	580	582	580	580	580	575	575	571	565	575	576	570	575	570	570	572	575	575	570	570	571	580	570	575
20065	658	655	645	650	653	645	650	645	643	648	645	650	650	650	642	646	655	648	641	645	641	652	645	652
21065	728	730	725	735	725	725	725	724	725	725	739	725	730	720	724	724	730	725	720	722	720	730	730	730
22065	818	815	808	812	810	807	810	810	805	810	810	805	805	812	810	805	810	805	800	805	801	806	810	811
23065	901	900	895	900	900	900	900	895	895	898	905	890	898	904	890	891	893	893	888	885	885	890	895	895
24065	993	995	990	990	995	995	995	994	995	995	1000	981	987	992	985	980	984	990	980	982	980	980	990	990
25065	1090	1092	1090	1080	1090	1090	1085	1095	1100	1092	1092	1082	1088	1085	1083	1080	1087	1090	1080	1080	1082	1082	1087	1085

### А.6 Ординати перевідних кривих на стрілочних переводах марки 1/11

h,mm	№ Стрілочного переводу																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
12065	215	215	215	215	212	215	210	215	207	210	217	216	215	215	212	215	215	210	215	212	218	213	210	210	207
13065	255	255	250	255	254	255	252	255	248	248	255	255	255	245	251	252	255	250	252	252	252	251	251	246	246
14065	295	300	292	297	300	295	300	295	295	285	300	295	292	290	293	295	295	290	296	292	290	291	295	288	285
15065	340	343	335	343	347	345	350	340	342	330	345	336	338	335	340	340	339	335	343	341	332	341	342	335	336
16065	385	395	385	391	393	392	400	390	395	378	398	385	383	385	391	385	389	390	385	385	385	392	395	390	390
17065	445	452	440	447	445	450	449	446	445	432	450	435	442	440	445	441	441	445	440	441	442	446	447	444	445
18065	505	500	500	500	500	510	502	500	500	492	505	495	502	495	500	497	502	505	502	495	498	502	505	505	502
19065	560	565	564	565	560	567	563	562	562	558	562	555	562	558	560	555	565	562	558	555	561	560	570	561	565
20065	625	622	625	630	620	627	622	620	620	620	622	620	623	615	625	623	630	625	625	620	625	625	637	623	615
21065	695	685	695	697	682	690	690	691	685	682	695	685	693	682	690	694	692	694	685	690	692	695	702	690	682
22065	765	758	770	768	753	765	765	765	750	752	772	760	763	755	760	763	765	760	760	763	763	765	772	762	750
23065	845	830	842	840	832	842	840	842	825	825	845	832	842	833	838	840	842	835	835	841	840	836	845	838	830
24065	918	910	916	920	912	925	920	923	900	906	925	915	924	912	910	912	921	920	918	922	920	910	930	915	905
25065	998	993	1000	1000	993	1006	1000	1003	988	992	1002	995	1001	994	995	1000	1002	1005	1002	1008	1002	995	1005	998	992

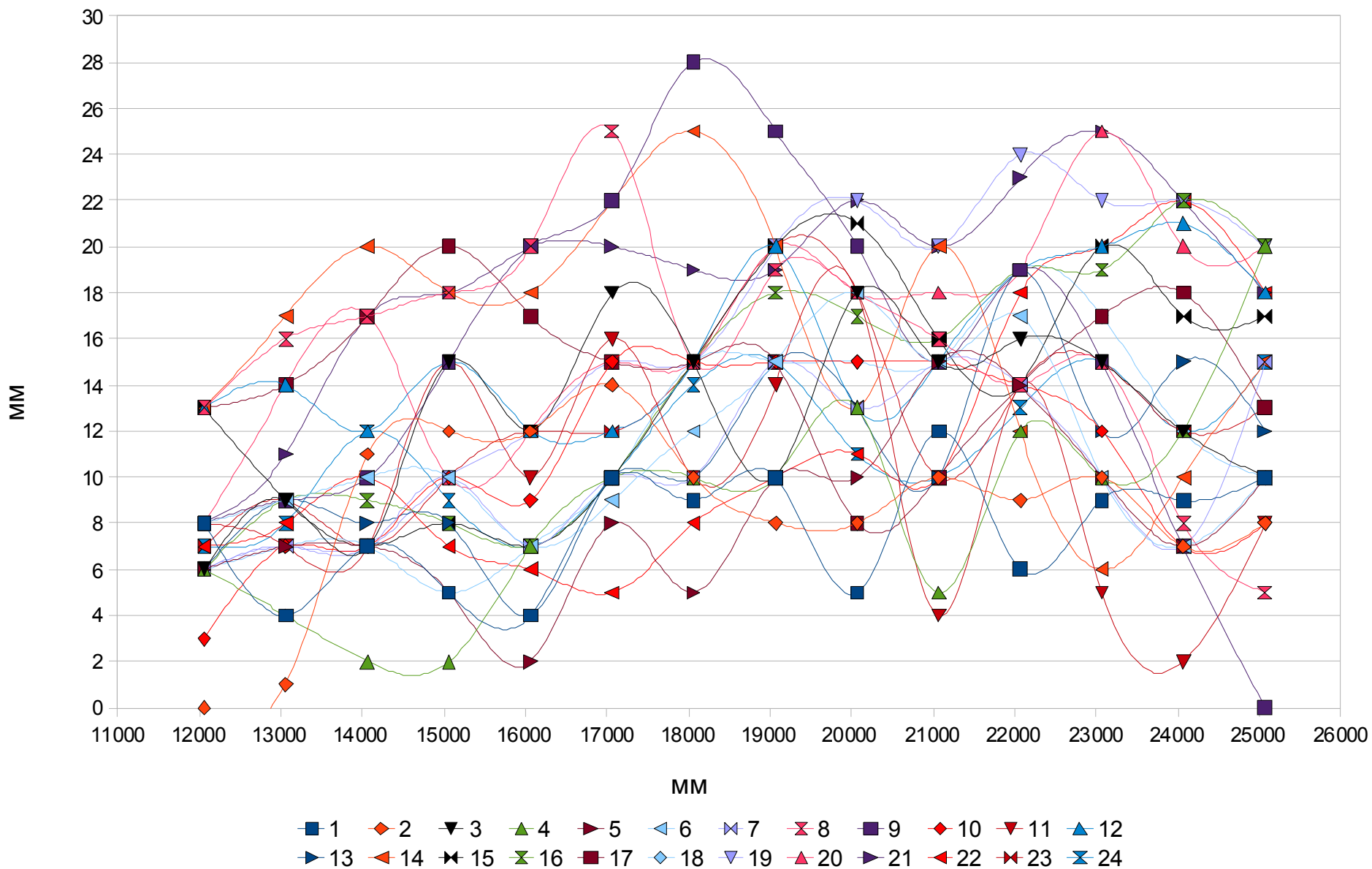
А.7 Відступи ординат перевідних кривих на стрілочних переводах марки 1/9 від норм утримання

h,mm	№ Стрілочного переводу																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
12065	8	0	6	6	6	8	6	13	8	3	8	13	6	13	13	6	13	6	6	8	8	7	7	7	
13065	4	1	9	4	7	9	7	16	9	7	7	14	9	17	9	9	14	7	7	14	11	8	9	8	
14065	7	11	7	2	7	10	7	17	10	7	7	12	8	20	7	9	17	7	7	17	17	10	7	12	
15065	5	12	15	2	5	10	10	18	15	10	15	15	8	18	8	8	20	5	10	10	18	7	10	9	
16065	4	12	12	7	2	7	7	20	20	9	10	12	4	18	7	7	17	7	12	12	20	6	12	7	
17065	10	14	18	10	8	9	10	25	22	15	16	12	10	22	10	10	15	10	15	15	20	5	12	10	
18065	9	10	15	10	5	12	10	15	28	15	10	15	10	25	15	15	15	15	15	15	15	19	8	15	14
19065	10	8	10	10	10	15	15	19	25	15	14	20	15	20	20	18	15	15	20	20	19	10	20	15	
20065	5	8	18	13	10	18	13	18	20	15	18	13	13	13	21	17	8	15	22	18	22	11	18	11	
21065	12	10	15	5	15	15	15	16	15	15	4	15	10	20	16	16	10	15	20	18	20	10	10	10	
22065	6	9	16	12	14	17	14	14	19	14	14	19	19	12	14	19	14	19	24	19	23	18	14	13	
23065	9	10	15	10	10	10	10	15	15	12	5	20	12	6	20	19	17	17	22	25	25	20	15	15	
24065	9	7	12	12	7	7	7	8	7	7	2	21	15	10	17	22	18	12	22	20	22	22	12	12	
25065	10	8	10	20	10	10	15	5	0	8	8	18	12	15	17	20	13	10	20	20	18	18	13	15	

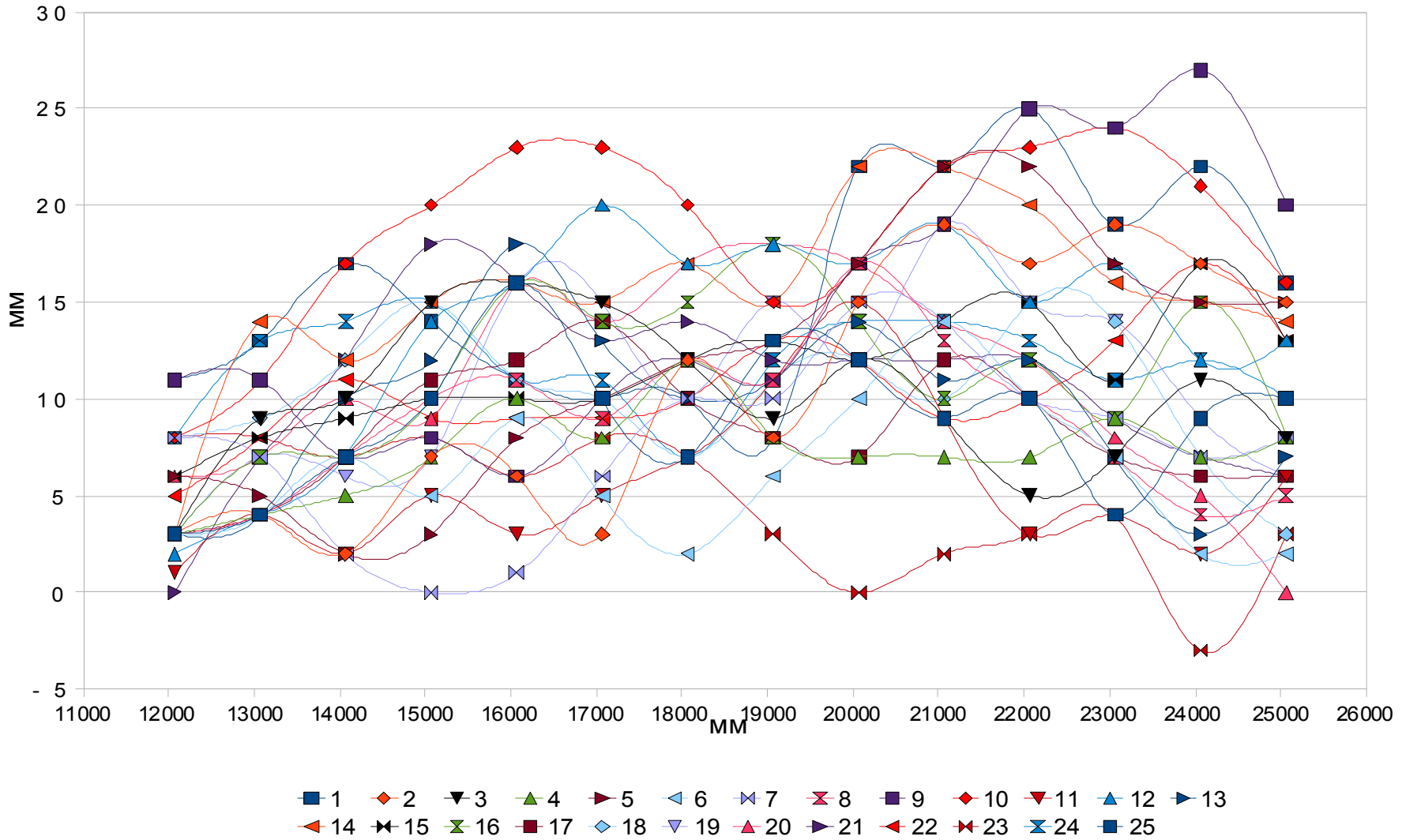
А.8 Відступи ординат перевідних кривих на стрілочних переводах марки 1/11 від норм утримання

h,mm	№ Стрілочного переводу																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
12065	3	3	3	3	6	3	8	3	11	8	1	2	3	3	6	3	3	8	3	6	0	5	8	8	11
13065	4	4	9	4	5	4	7	4	11	11	4	4	4	14	8	7	4	9	7	7	7	8	8	13	13
14065	7	2	10	5	2	7	2	7	7	17	2	7	10	12	9	7	7	12	6	10	12	11	7	14	17
15065	10	7	15	7	3	5	0	10	8	20	5	14	12	15	10	10	11	15	7	9	18	9	8	15	14
16065	16	6	16	10	8	9	1	11	6	23	3	16	18	16	10	16	12	11	16	16	16	9	6	11	11
17065	10	3	15	8	10	5	6	9	10	23	5	20	13	15	10	14	14	10	15	14	13	9	8	11	10
18065	7	12	12	12	12	2	10	12	12	20	7	17	10	17	12	15	10	7	10	17	14	10	7	7	10
19065	13	8	9	8	13	6	10	11	11	15	11	18	11	15	13	18	8	11	15	18	12	13	3	12	8
20065	12	15	12	7	17	10	15	17	17	17	15	17	14	22	12	14	7	12	12	17	12	12	0	14	22
21065	9	19	9	7	22	14	14	13	19	22	9	19	11	22	14	10	12	10	19	14	12	9	2	14	22
22065	10	17	5	7	22	10	10	10	25	23	3	15	12	20	15	12	10	15	15	12	12	10	3	13	25
23065	4	19	7	9	17	7	9	7	24	24	4	17	7	16	11	9	7	14	14	8	9	13	4	11	19
24065	9	17	11	7	15	2	7	4	27	21	2	12	3	15	17	15	6	7	9	5	7	17	-3	12	22
25065	10	15	8	8	15	2	8	5	20	16	6	13	7	14	13	8	6	3	6	0	6	13	3	10	16

А.9 Характер відступу рдинат перевідних кривих на стрілочних переводах марки 1/9 від норм утримання



А.10 Характер відступу рдинат перевідних кривих на стрілочних переводах марки 1/9 від норм утримання



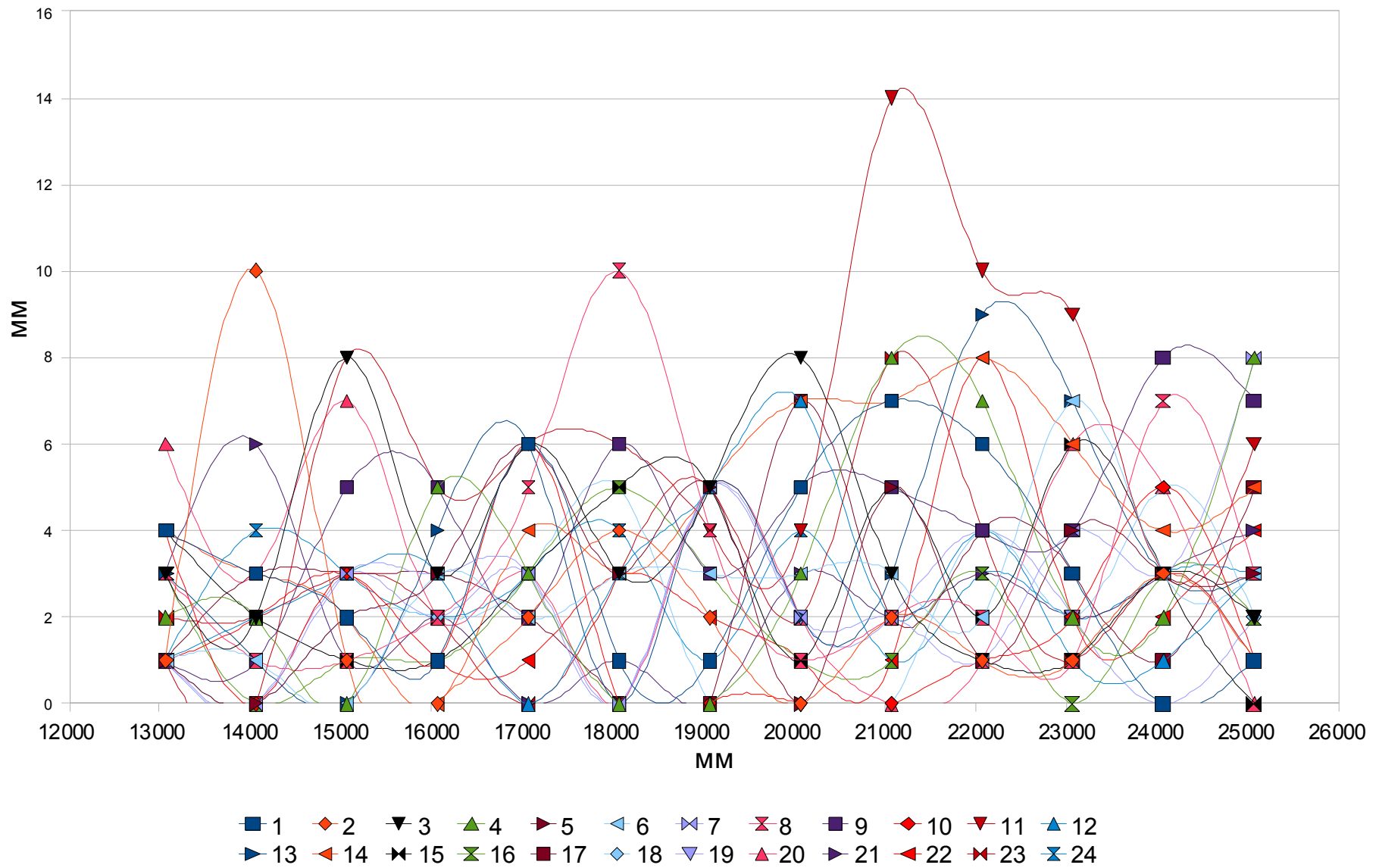
А.11 Різниця відступів у суміжних ординатах перевідних кривих на стрілочних переводах марки 1/9

h,mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
13065	4	1	3	2	1	1	1	3	1	4	1	1	3	4	4	3	1	1	1	6	3	1	2	1
14065	3	10	2	2	0	1	0	1	1	0	0	2	1	3	2	0	3	0	0	3	6	2	2	4
15065	2	1	8	0	2	0	3	1	5	3	8	3	0	2	1	1	3	2	3	7	1	3	3	3
16065	1	0	3	5	3	3	3	2	5	1	5	3	4	0	1	1	3	2	2	2	2	1	2	2
17065	6	2	6	3	6	2	3	5	2	6	6	0	6	4	3	3	2	3	3	3	0	1	0	3
18065	1	4	3	0	3	3	0	10	6	0	6	3	0	3	5	5	0	5	0	0	1	3	3	4
19065	1	2	5	0	5	3	5	4	3	0	4	5	5	5	5	3	0	0	5	5	0	2	5	1
20065	5	0	8	3	0	3	2	1	5	0	4	7	2	7	1	1	7	0	2	2	3	1	2	4
21065	7	2	3	8	5	3	2	2	5	0	14	2	3	7	5	1	2	0	2	0	2	1	8	1
22065	6	1	1	7	1	2	1	2	4	1	10	4	9	8	2	3	4	4	4	1	3	8	4	3
23065	3	1	1	2	4	7	4	1	4	2	9	1	7	6	6	0	3	2	2	6	2	2	1	2
24065	0	3	3	2	3	3	3	7	8	5	3	1	3	4	3	3	1	5	0	5	3	2	3	3
25065	1	1	2	8	3	3	8	3	7	1	6	3	3	5	0	2	5	2	2	0	4	4	1	3

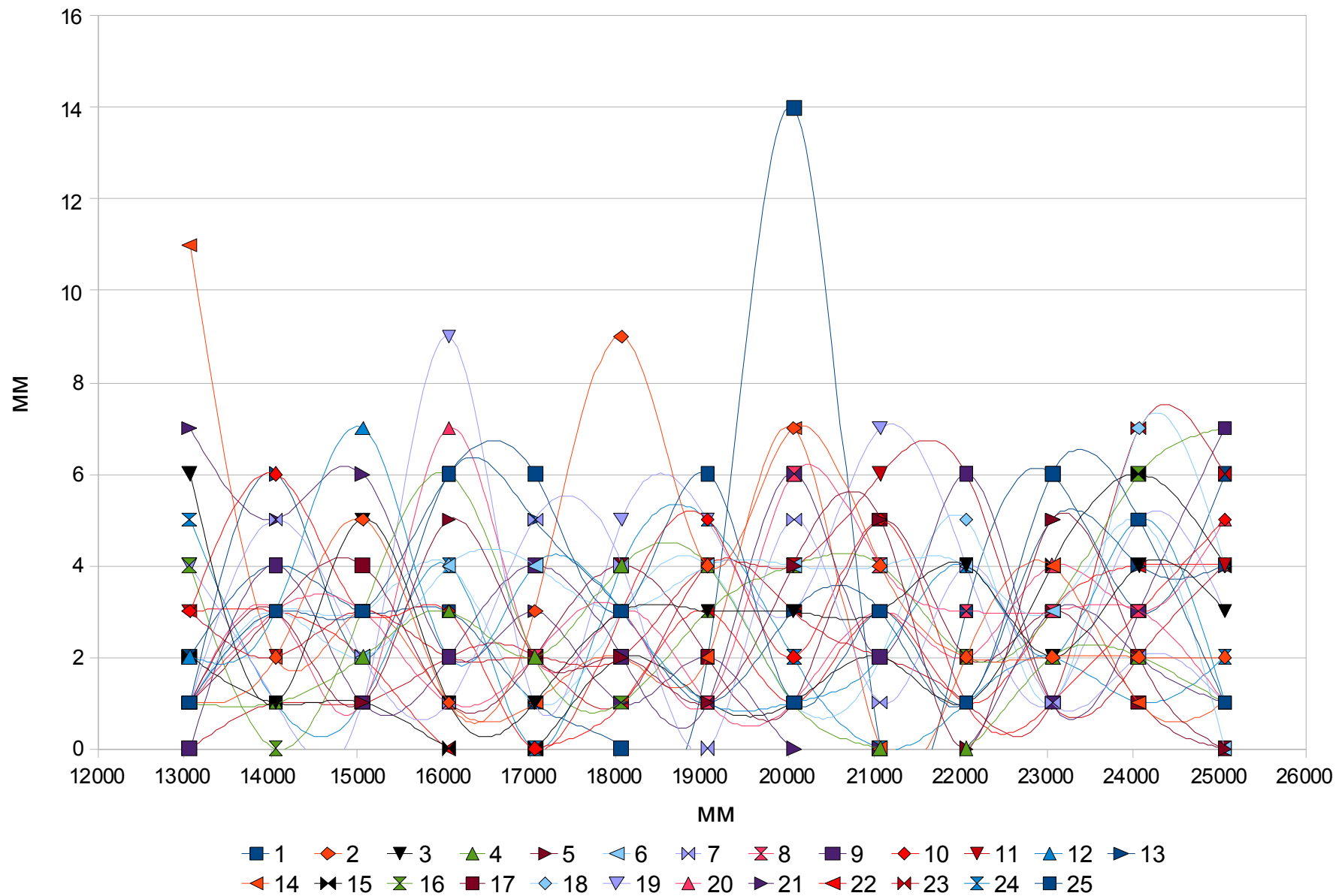
А.12 Різниця відступів у суміжних ординатах перевідних кривих на стрілочних переводах марки 1/11

h,mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
13065	1	1	6	1	1	1	1	1	0	3	3	2	1	11	2	4	1	1	4	1	7	3	0	5	2
14065	3	2	1	1	3	3	5	3	4	6	2	3	6	2	1	0	3	3	1	3	5	3	1	1	4
15065	3	5	5	2	1	2	2	3	1	3	3	7	2	3	1	3	4	3	1	1	6	2	1	1	3
16065	6	1	1	3	5	4	1	1	2	3	2	2	6	1	0	6	1	4	9	7	2	0	2	4	3
17065	6	3	1	2	2	4	5	2	4	0	2	4	5	1	0	2	2	1	1	2	3	0	2	0	1
18065	3	9	3	4	2	3	4	3	2	3	2	3	3	2	2	1	4	3	5	3	1	1	1	4	0
19065	6	4	3	4	1	4	0	1	1	5	4	1	1	2	1	3	2	4	5	1	2	3	4	5	2
20065	1	7	3	1	4	4	5	6	6	2	4	1	3	7	1	4	1	1	3	1	0	1	3	2	14
21065	3	4	3	0	5	4	1	4	2	5	6	2	3	0	2	4	5	2	7	3	0	3	2	0	0
22065	1	2	4	0	0	4	4	3	6	1	6	4	1	2	1	2	2	5	4	2	0	1	1	1	3
23065	6	2	2	2	5	3	1	3	1	1	1	2	5	4	4	3	3	1	1	4	3	3	1	2	6
24065	5	2	4	2	2	5	2	3	3	3	2	5	4	1	6	6	1	7	5	3	2	4	7	1	3
25065	1	2	3	1	0	0	1	1	7	5	4	1	4	1	4	7	0	4	3	5	1	4	6	2	6

А.13 Характер різниця відступів у суміжних ординатах перевідних кривих на стрілочних переводах марки 1/9



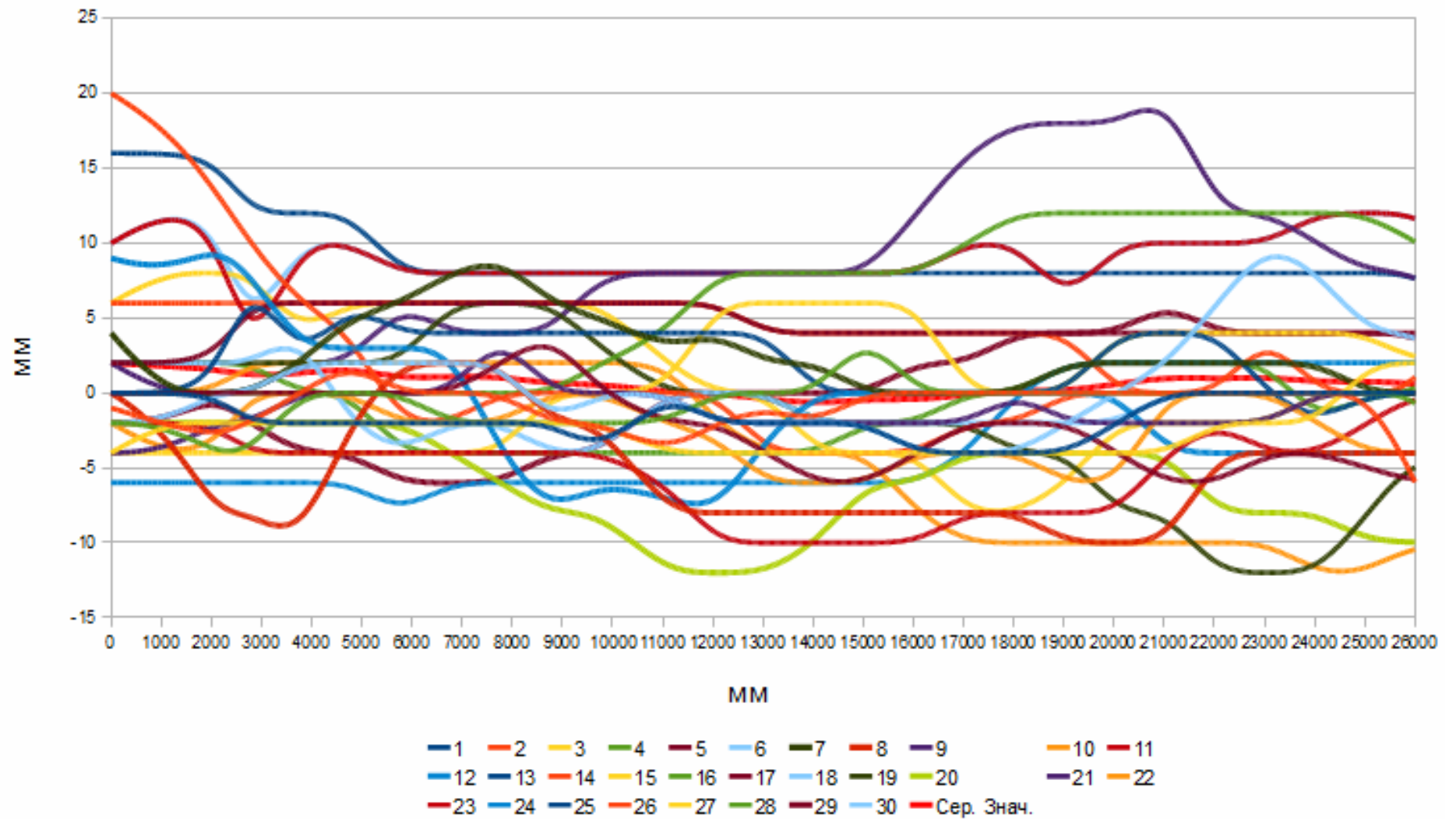
А.14 Характер різниці відступів у суміжних ординатах перевідних кривих на стрілочних переводах марки 1/11



## А.15 Стан стрілочних переводів, що досліджувались за рівнем

h,mm	№ Стрілочного переводу																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	0	-1	-4	-2	0	-2	4	0	-4	-2	-2	9	0	20	-4	0	2	2	2	-2	2	0	10	-6	16	6	6	2	-2	10
1000	0	-2	-2	-2	0	-2	0	-2	-4	-4	-2	8	0	18	-4	0	2	2	2	-2	0	0	12	-6	16	6	8	2	-2	12
2000	0	-3	-2	-4	0	0	0	-8	-2	-4	-2	10	0	14	-4	0	2	2	2	-2	0	0	12	-6	16	6	8	2	0	12
2765	-2	-2	-2	-4	0	0	0	-8	-2	0	-4	8	8	10	-4	0	6	2	2	-2	0	2	2	-6	12	6	8	2	-2	4
3765	-2	0	-2	0	0	2	2	-10	0	0	-4	3	2	6	-4	0	6	4	2	-2	2	2	10	-6	12	6	4	0	-4	10
4765	-2	2	-2	0	0	2	5	-2	0	0	-4	3	6	4	-4	0	6	-2	2	-2	2	2	10	-6	12	6	6	0	-4	10
5765	-2	0	-2	0	0	2	6	2	0	-2	-4	3	4	-2	-4	0	6	-4	2	-2	6	2	8	-8	8	6	6	-4	-6	8
6765	-2	0	-2	-2	0	2	8	2	0	-2	-4	3	4	-2	-4	0	6	-2	6	-4	4	2	8	-6	8	6	6	-4	-6	8
7765	-2	0	-2	-2	2	2	9	2	4	-2	-4	-4	4	0	-4	0	6	-2	6	-6	4	2	8	-6	8	6	6	-4	-6	8
8765	-2	-2	-2	-2	4	-2	6	-2	0	0	-4	-8	4	0	0	0	6	-4	6	-8	4	2	8	-6	8	6	6	-4	-4	8
9765	-4	-2	-2	-2	0	0	5	-2	0	0	-4	-6	4	0	0	2	6	-4	3	-8	8	2	8	-6	8	6	6	-4	-4	8
11065	0	-4	-4	-2	-2	0	3	-8	0	-2	-6	-7	4	0	0	4	6	0	0	-12	8	2	8	-6	8	6	2	-4	0	8
12065	-2	-2	-4	0	-2	-2	4	-8	-2	-3	-10	-8	4	0	6	8	6	0	0	-12	8	-2	8	-6	8	6	0	-4	0	8
13065	-2	-1	-4	0	-4	-2	2	-8	-2	-6	-10	-3	4	-4	6	8	4	0	0	-12	8	-4	8	-6	8	4	0	-4	0	8
14065	-2	-2	-4	0	-6	-2	2	-8	-2	-6	-10	0	0	-4	6	8	4	-2	-2	-10	8	-4	8	-6	8	4	-4	-4	0	8
15065	-2	0	-4	4	-6	-2	0	-8	-2	-6	-10	0	0	-4	6	8	4	-2	-2	-6	8	-4	8	-6	8	4	-4	-2	0	8
16065	-4	0	-4	0	-4	-4	0	-8	-2	-4	-10	0	0	-4	6	8	4	-2	-2	-6	12	-8	8	-6	8	4	-4	-2	2	8
17065	-4	0	-4	0	-2	-4	0	-8	-2	-4	-8	0	0	-2	0	10	4	-2	-2	-4	16	-10	10	-4	8	4	-8	0	2	10
18065	-4	0	-4	0	-2	-4	0	-8	0	-4	-8	0	0	-2	0	12	4	-2	-4	-4	18	-10	10	0	8	4	-8	0	4	10
19065	-4	0	-4	0	-2	-2	2	-10	-2	-6	-8	0	0	0	0	12	4	-2	-4	-4	18	-10	6	2	8	4	-6	2	4	6
20065	-2	0	-4	0	-4	0	2	-10	-2	-6	-8	0	4	0	4	12	4	-2	-8	-4	18	-10	10	2	8	0	-2	2	4	10
21065	0	0	-4	0	-6	2	2	-10	-2	0	-4	-4	4	0	4	12	4	0	-8	-4	20	-10	10	2	8	0	-2	2	6	10
22065	0	0	-2	0	-6	6	2	-4	-2	0	-2	-4	4	0	4	12	4	0	-12	-8	12	-10	10	2	8	0	-2	2	4	10
23065	0	0	-2	0	-4	10	2	-4	-2	0	-4	-4	0	4	4	12	4	0	-12	-8	12	-10	10	2	8	0	-2	2	4	10
24065	0	0	-2	0	-4	8	2	-4	0	-2	-4	-4	-2	0	4	12	4	0	-12	-8	10	-12	12	2	8	0	0	-2	4	12
25065	0	0	2	0	-5	4	0	-4	0	-4	-2	-4	0	0	4	12	4	0	-8	-10	8	-12	12	2	8	0	0	0	4	12
26065	0	-6	2	0	-6	4	0	-4	0	-4	0	-4	0	0	2	10	4	0	-4	-10	8	-10	12	2	8	0	0	0	4	12
27065	0	-14	2	-4	-6	2	0	-4	0	-4	0	-4	0	6	2	8	4	0	-4	-10	6	-10	10	2	6	0	0	2	2	10

А.16 Характер рівня на стрілочних переводах, що досліджувались



## ДОДАТОК Б

Б.1 Код програмної реалізації математичної моделі взаємодії колії та рухомого складу в межах бокового напрямку на мові, що використовується в програмі Scilab

```
dg=0.026;
m=1.436;
S=1.520
d0l=S-(m+2*dg);
d0p=0.001;
A1=0.1;
A=0.0003;
a=48.0*(v/vc);
a1=48.0*(v/vc);
fpr=23;//centr ner rith
fpr_p=23;//centr ner left
lner=100;// 11m
Apr=0//4*0.0175;
Apr_p=2.0*0.0175;
Pr=12;
lst1=Pr;
lst2=lst1+25;
lst3=lst2+600;
Pr_l=Pr;
lst1_l=Pr
lst2_l=lst1_l+25;
lst3_l=lst2_l+(42.748-25);
lkr_l=lst3_l+600;
Agn=15*0.00177;
fgn=32;
fps=1;
lgn=0.75;
Nk=3.06;
Lk=45.948;
Kk=Nk+Lk+Pr;
A1=0.006;
A2=0.005;
Ln=25;
w1=(2*%pi/Ln);
w2=w1=(2*%pi/Ln);
```

```

clear E;
hp=0.5;
E = [0:hp:Kk];
E=E(:);
clear n1;
for i = 1:length(E),
    if E(i)<=Nk+Pr then
        n1(i) = d0l;
    elseif E(i)>Nk+Pr & E(i)<=Kk then
        n1(i) = d0l+(sqrt(R^2-(E(i)-Pr)^2)-R)+(sqrt(Nk^2+R^2)-R)...
            +(Agn/(sqrt(%pi)))*exp(-lgn*(E(i)-fgn)^2);
    elseif E(i)>Kk
        n1(i) = d0l+(sqrt(R^2-(Kk-Pr)^2)-R)+(sqrt(Nk^2+R^2)-R)-(E(i)-
            Kk)*(1/11);
    end,

end

h=0.1;
t=[0:h/v:Kk/v];

mg_p=1000
cg_p=G0*4;
ag_p=a_tr;
function dz=syst(t,z)

P11=Cz*(z(2)-(z(8)+z(12))+bp*z(4)-S0*(z(10)-z(12)))+Ftz*tanh((z(1)-
(z(7)+z(11))+bp*z(3)-S0*(z(9)-z(11)))/0.1);
P12=Cz*(z(2)-(z(8)+z(12))-bp*z(4)+S0*(z(10)-z(12)))+Ftz*tanh((z(1)-(z(7)-
z(11))-bp*z(3)+S0*(z(9)-z(11)))/0.1);
P113=Gpz*(z(8)-vl(t+(ak*2+2*at)/v)+S0*z(10))+a_tr*(z(7)+S0*z(9)-
d1vl(t+(ak*2+2*at)/v))-((mt/4)*d2vl(t+(ak*2+2*at)/v));
P114=Gpz*(z(8)-vp(t+(ak*2+2*at)/v)-S0*z(10))+a_tr*(z(7)-S0*z(9)-
d1vp(t+(ak*2+2*at)/v))-((mt/4)*d2vp(t+(ak*2+2*at)/v));
P123=Gpz*(z(12)-vl(t+(ak*2)/v)+S0*z(14))+a_tr*(z(11)+S0*z(13)-
d1vl(t+(ak*2)/v))-((mt/4)*d2vl(t+(ak*2)/v));
P124=Gpz*(z(12)-vp(t+(ak*2)/v)-S0*z(14))+a_tr*(z(11)-S0*z(13)-
d1vp(t+(ak*2)/v))-((mt/4)*d2vp(t+(ak*2)/v));

P21=Cz*(z(2)-(z(18)+z(22))+bp*z(4)-S0*(z(20)-z(24)))+Ftz*tanh((z(1)-
(z(17)+z(21))+bp*z(3)-S0*(z(19)-z(23)))/0.1);

```

```

P22=Cz*(z(2)-(z(18)+z(22))-bp*z(4)+S0*(z(20)-z(24)))+Ftz*tanh((z(1)-
(z(17)-z(21))-bp*z(3)+S0*(z(19)-z(23)))/0.1);
P213=Gpz*(z(18)-vl(t+(2*at)/v)+S0*z(20))+a_tr*(z(17)+S0*z(19)-
d1vl(t+(2*at)/v))-((mt/4)*d2vl(t+(2*at)/v));
P214=Gpz*(z(18)-vp(t+(2*at)/v)-S0*z(20))+a_tr*(z(17)-S0*z(19)-
d1vp(t+(2*at)/v))-((mt/4)*d2vp(t+(2*at)/v));
P223=Gpz*(z(22)-vl(t)+S0*z(24))+a_tr*(z(21)+S0*z(23)-d1vl(t))-
((mt/4)*d2vl(t));
P224=Gpz*(z(22)-vp(t)-S0*z(24))+a_tr*(z(21)-S0*z(23)-d1vp(t))-
((mt/4)*d2vp(t));
if t<0.65 then
    x=6
else
    x=20
end
Yc11=Yc(t+(ak*2+2*at)/v);
Yc12=Yc(t+(ak*2)/v);
u11=(d1n(t+(ak*2+2*at)/v)-z(30))+at*Yc11;
u12=(d1n(t+(ak*2)/v)-z(30))+at*Yc12;
z11=z(28)-at*u11; //u dlya z11 and z12 odinak t.k. telegka abs gest
z12=z(28)+at*u12;
if z11>=dp(t+(ak*2+2*at)/v) & z11<dl(t+(ak*2+2*at)/v) then
    Y111=-x*(Pst+P113)*((1/v)*z(27)+u11+(at/v)*z(29));
    Y112=-x*(Pst+P114)*((1/v)*z(27)+u11+(at/v)*z(29));
elseif z11>=dp(t+(ak*2+2*at)/v) & z11>=dl(t+(ak*2+2*at)/v) then
    zg11=((z11)-(dl(t+(ak*2+2*at)/v))-z(40));
    Y111=-Gp(t+(ak*2+2*at)/v)*zg11;
    Y112=-x*(Pst+P114)*((1/v)*z(27)+u11+(at/v)*z(29));
elseif dl(t+(ak*2+2*at)/v)>z11 & dp(t+(ak*2+2*at)/v)>z11 then
    zg11=((z11)-(dp(t+(ak*2+2*at)/v))-z(40));
    Y112=-Gp(t+(ak*2+2*at)/v)*zg11;
    Y111=-x*(Pst+P113)*((1/v)*z(27)+u11+(at/v)*z(29));
end
Y121=-x*(Pst+P123)*((1/v)*z(27)+u12-(at/v)*z(29));
Y122=-x*(Pst+P124)*((1/v)*z(27)+u12-(at/v)*z(29));
Mt1=-x*(S0^2*(1/v)*z(29)+2*S0*(Pod/r)*z(28));

Yc21=Yc(t+(2*at)/v);
Yc22=Yc(t);
u21=d1n(t+(2*at)/v)-z(34);
u22=d1n(t+0.01/v)-z(34);

```

```
z21=z(32)-at*u21;  
z22=z(32)+at*u22;
```

```
if z21>=dp(t+(2*at)/v) & z21<dl(t+(2*at)/v) then  
  Y211=-x*(Pst+P213)*((1/v)*z(31)+u21+(at/v)*z(33));  
  Y212=-x*(Pst+P214)*((1/v)*z(31)+u21+(at/v)*z(33));  
elseif z21>=dp(t+(2*at)/v) & z21>=dl(t+(2*at)/v) then  
  zg21=((z21)-(dl(t+(2*at)/v))-z(44));  
  //Y211=-Gp(t+(2*at)/v)*zg21;  
  Y211=-3*x*(Pst+P213)*((1/v)*z(31)+u21+(at/v)*z(33));  
  Y212=-x*(Pst+P214)*((1/v)*z(31)+u21+(at/v)*z(33));  
elseif dl(t+(2*at)/v)>z21 & dp(t+(2*at)/v)>z21 then  
  zg21=((z21)-(dp(t+(2*at)/v))-z(44));  
  Y212=-Gp(t+(2*at)/v)*zg21;  
  Y211=-x*(Pst+P213)*((1/v)*z(31)+u21+(at/v)*z(33));  
end
```

```
Y221=-x*(Pst+P223)*((1/v)*z(31)+u22-(at/v)*z(33));  
Y222=-x*(Pst+P224)*((1/v)*z(31)+u22-(at/v)*z(33));
```

```
Mt2=-x*(S0^2*(1/v)*z(33)+2*S0*(Pod/r)*z(32));
```

```
if Y112>=(P114+Pst)*0.25 then  
  Y112=(P114+Pst)*0.25  
  else Y112=Y112  
end
```

```
if Y121>=(P123+Pst)*0.25 then  
  Y121=(P123+Pst)*0.25  
  else Y121=Y121  
end
```

```
if Y122>=(P124+Pst)*0.25 then  
  Y122=(P124+Pst)*0.25  
  else Y122=Y122  
end
```

```
if Y211>=(P213+Pst)*0.25 then  
  Y211=(P213+Pst)*0.25  
  else Y211=Y211
```

end

if  $Y_{212} \geq (P_{214} + P_{st}) * 0.25$  then  
   $Y_{212} = (P_{214} + P_{st}) * 0.25$   
  else  $Y_{212} = Y_{212}$   
end

if  $Y_{221} \geq (P_{223} + P_{st}) * 0.25$  then  
   $Y_{221} = (P_{223} + P_{st}) * 0.25$   
  else  $Y_{221} = Y_{221}$   
end

if  $Y_{222} \geq (P_{224} + P_{st}) * 0.25$  then  
   $Y_{222} = (P_{224} + P_{st}) * 0.25$   
  else  $Y_{222} = Y_{222}$   
end

$Y_{ch1} = C_y * (z(28) - z(36)) + 1 * F_{ty} * \tanh((z(27) - z(35)) / 0.03);$   
 $Y_{ch2} = C_y * (z(32) - z(38)) + 1 * F_{ty} * \tanh((z(31) - z(37)) / 0.03);$   
 $K_1 = ((Y_{c12} + Y_{c11}) / 2);$   
 $K_2 = ((Y_{c22} + Y_{c21}) / 2);$   
 $m_{pr} = (I_{zk} * m_k) / (m_k * a_t^2 + I_{zk});$   
 $n = (m_k * a_t^2 - I_{zk}) / (m_k * a_t^2 + I_{zk});$   
 $Y_{ck} = m_{pr} * v^2 * ((K_1 + K_2) / 2);$   
 $Y_{ck1} = m_{pr} * v^2 * K_1;$   
 $Y_{ck2} = m_{pr} * v^2 * K_2;$

$M_{tr1} = 20000 * \tanh((z(29) - z(37)) / 0.03);$   
 $M_{tr2} = 20000 * \tanh((z(33) - z(37)) / 0.03);$

$H_{11} = Y_{111} + Y_{112};$   
 $H_{12} = Y_{121} + Y_{122};$   
 $H_{21} = Y_{211} + Y_{212};$   
 $H_{22} = Y_{221} + Y_{222};$

$K_{v111} = P_{113} / (P_{st});$   
 $K_{v112} = P_{114} / (P_{st});$   
 $K_{v211} = P_{213} / (P_{st});$   
 $K_{v212} = P_{214} / (P_{st});$

$K_{g11} = (Y_{111} + Y_{112}) / (Q_n / 4);$

```
Kg12=(Y121+Y122)/(Qn/4);
Kg21=(Y211+Y122)/(Qn/4);
Kg22=(Y221+Y222)/(Qn/4);
```

```
Kst1=abs(Y111)/(P114+Pst);
Kst2=abs(Y211)/(P214+Pst);
Ygt1=0;
Ygt2=0;
Ygk=0;
```

```
Ygp_11=-cg_p*z(40)-ag_p*z(39);
Ygp_12=-cg_p*z(42)-ag_p*z(41);
Ygp_21=-cg_p*z(44)-ag_p*z(43);
Ygp_22=-cg_p*z(46)-ag_p*z(45);
```

```
Fizn=Y111*u11/*((1/v)*z(27)+u11+(at/v)*z(29))
```

```
dz=zeros(58,1);
```

```
dz(1)=(1/(mk))*(-P11-P12-P21-P22);
dz(2)=z(1);
dz(3)=(1/(I_xk))*((Ych1*(hk-hpk)+Ych2*(hk-hpk))+((P12-P11)*bp+(P22-
P21)*bp));
dz(4)=z(3);
dz(5)=(1/I_yk)*((P21+P22)*0.5*ak+(P11+P12)*0.5*ak); // galopirovanie
dz(6)=z(5);
```

```
dz(7)=(1/(mt/2))*((P11+P12)/2-P113-P114);
dz(8)=z(7);
dz(9)=(1/(Ixt/2))*(0.5*P11*bp-P113*S0-0.5*P12*bp+P114*S0);
dz(10)=z(9);
```

```
dz(11)=(1/(mt/2))*((P11+P12)/2-P123-P124);
dz(12)=z(11);
dz(13)=(1/(Ixt/2))*(0.5*P11*bp-P123*S0-0.5*P12*bp+P124*S0);
dz(14)=z(13);
dz(15)=(1/Iyt)*((P113+P114)*at-(P123+P124)*at); // galopirovanie
dz(16)=z(15);
```

```
dz(17)=(1/(mt/2))*((P21+P22)/2-P213-P214);
dz(18)=z(17);
```

dz(19)=(1/(Ixt/2))\*(0.5\*P21\*bp-P213\*S0-0.5\*P22\*bp+P214\*S0);  
dz(20)=z(19);

dz(21)=(1/(mt/2))\*((P21+P22)/2-P223-P224);  
dz(22)=z(21);  
dz(23)=(1/(Ixt/2))\*(0.5\*P21\*bp-P223\*S0-0.5\*P22\*bp+P224\*S0);  
dz(24)=z(23);  
dz(25)=(1/Iyt)\*((P213+P214)\*at-(P223+P224)\*at); // galopirovanie  
dz(26)=z(25);

dz(27)=((Y111+Y112)+(Y121+Y122)-Ych1)/mt;  
dz(28)=z(27);  
dz(29)=(at\*((Y111+Y112)-(Y121+Y122))+Mt1-Mtr1)/Izt; // - (1/at)\*(Yc11-  
Yc12);  
dz(30)=z(29);  
dz(31)=((Y211+Y212)+(Y221+Y222)-Ych2)/mt;  
dz(32)=z(31);  
dz(33)=(at\*((Y211+Y212)-(Y221+Y222))+Mt2-Mtr2)/Izt; // - (1/at)\*(Yc11-  
Yc12);  
dz(34)=z(33);  
dz(35)=(2\*(Ych1+Ych2)+2\*mk\*(hk-hpk)\*dz(3)-  
2\*Yck+2\*Qn\*z(4)+2\*Ygk)/mpr-dz(37);  
dz(36)=z(35)+z(37)-dz(38);  
dz(37)=-(((2\*ak^2)/Izk)\*((Ych1-Ych2)+Qn\*z(4))-v^2\*(K1-K2))+dz(35);  
dz(38)=-z(35)+z(37)+dz(36);

dz(39)=(Ygp\_11+0.5\*(Y112+Y111))/mg\_p //0,5 - t.k. Podochva relsa  
dz(40)=z(39);  
dz(41)=(Ygp\_12+0.5\*(Y122+Y121))/mg\_p  
dz(42)=z(41);  
dz(43)=(Ygp\_21+0.5\*(Y212+Y211))/mg\_p  
dz(44)=z(43);  
dz(45)=(Ygp\_22+0.5\*(Y222+Y221))/mg\_p  
dz(46)=z(45);

dz(39)=(Ygp\_11+0.5\*(Y112+Y111))/mg\_p //0,5 - t.k. Podochva relsa  
dz(40)=z(39);  
dz(41)=(Ygp\_12+0.5\*(Y122+Y121))/mg\_p  
dz(42)=z(41);  
dz(43)=(Ygp\_21+0.5\*(Y212+Y211))/mg\_p  
dz(44)=z(43);



3	Момент інерції кузова відносно вертикальної осі	Izk	1267 т м <sup>2</sup>
4	Момент інерції кузова відносно горизонтальної осі	Iyk	1210 т м <sup>2</sup>
5	Момент інерції кузова відносно поздовжньої осі	Ixk	880 т м <sup>2</sup>
6	Момент інерції візка відносно вертикальної осі	Izt	5,2 т м <sup>2</sup>
7	Момент інерції візка відносно горизонтальної осі	Iyt	2,6 т м <sup>2</sup>
8	Момент інерції колісної пари відносно поздовжньої осі	Ixt	2,6 т м <sup>2</sup>
9	Жорсткість ресорного комплекту у поперечному напрямку	Gy	4·10 <sup>6</sup> Н/м
10	Жорсткість ресорного комплекту у вертикальному напрямку	Cz	4·10 <sup>6</sup> Н/м
11	Сила тертя у ресорному комплекті у вертикальному напрямку	Ftz	2,5·10 <sup>4</sup> Н
12	Сила тертя у ресорному комплекті у горизонтальному напрямку	Fty	5·10 <sup>4</sup> Н
15	Приведений момент тертя у шкворні	Mtr	20000 Нм
16	Бокова жорсткість колії	Gyp	1...5·10 <sup>7</sup> Н/м
17	Вертикальна жорсткість колії	Gzp	3,5·10 <sup>7</sup> Н/м
18	База візка	at	1,85 м
19	Відстань між кругами кочення коліс	S0	1,6 м
20	Відстань між ресорними комплектами візка	bk	1,58 м
21	Висота центру тяжіння кузова від осі	hk	1,75 м

	колісної пари		
22	Висота від осі колісної пари до шквореневого вузла	h <sub>pk</sub>	0,4 м
23	Радіус колеса	r <sub>k</sub>	0,5 м
24	Ухил профілю бандажу	n	0,05

ДОДАТОК В — Результати обробки експериментальних досліджень

В.1 Бокові сили, швидкість 5 км/год, ПРШ напрямок руху

Дослідні перетини

№ Поїздки	1				33				35				39				41				43			
	11					36,69	20,3	28,92	32,76	18,52	3,63	20,44	11,94	30,33	24,95	38,59	23,22	30,86	28,15	46,8	29,55			
15					36,09	22,63	38,55	33,17	26,05	8,78	22,01	18,61	35,5	26,06	37,53	32,64	33,99	27,03	45,83	33,37				
33	10,14	11,24	8,05	10,87	32,87	34,77	29,15	28,43	6,7	10,07	18,08	4,71	24,75	23,77	21,73	15,96	22,39	20,33	22,3	12,89	35,69	30,19	30,36	25,6
39					42,67	14,23	44,51	44,06	42,02	7,62	39,87	40,31	42,69	23,05	49,97	42,74	45,63	33,49	50,47	38	48,49	42,95	46,07	53,75
57	9,16	16,13	30,5	10,61	43,37	33,22	46,78	45,92	42,03	20,03	42,65	39,56	42,69	23,05	49,97	42,74								
63	21,69	23,12	37,18	24,73	42,9	32,95	44,06	36,95	37,1	19,99	38,33	28,35	29,91	30,57	32,19	31,67	42,11	45,44	41,96	35,08				
81	7,1	11,49	13,94	9,02	26,4	7,05	14,33	17,7	18,4	0,85	11,73	4,89	33,04	21,06	31,63	21,03	29,32	18,71	23,8	23,38				

№ Поїздки	47				49				51				55				57				59			63			65						
	2	39,37	40,57	44,89	43,51	48,44	55,8	57,39	55,73	53,96	66,92	57,05	64,98	37,22	48,66	45,78	52,61	17,79	37,52	24,22	37,31	27,78	-5,39	-1,39		13,68	21	16,02	18,42	4,39	2,39	1,13	1,66
14	42,18	44,46	48,68	47,55	49,87	58,02	54,05	55,15	55,76	59,57	59,82	66,02	40,66	49,94	44,69	56,19	30,86	37,85	25,79	45,09					16,18	20,98	14,16	23,07	2,54	2,06	4,63	3,13	
36	37,01	31,74	30,7	29,93	38,61	42,44	40,7	40,27	45,33	50,93	43,62	43,89	36,7	38,89	23,56	33,15	19,88	36,14	16,21	23,25	30,45	11,04	24,01	18,58	7,49	22,08	9,69	11,17	-0,75	-0,44	-3,78	-2,26	
38	44,43	46,09	54,14	52,92	70,66	66,65	61,47	66,21	69,28	75,52	77,69	66	44,66	60,6	48,41	45,08	43,19	53,26	41,31	43,25					25,42	32,85	20,61	20,69	9,53	5,96	5,91	2,66	
60	41,51	41,17	42,39	43,77					63,28	71,32	64,24	68,39	43,12	55,43	42,87	61,88	31,16	43,93	27,6	47,85					26,38	24,63	18,48	27,1	12,62	5,7	0,8	10,15	
62	48,17	47,8	50,41	45,42	52,28	61,26		59,83																									
84	44,49	40,19	41,5	42,51	59,11	58,73	56,52	56,46	58,52	63,32	62,8	64,79	39,66	42,8	47,14	47,9	35,28	36,04	34,73	46,31					13,32	15,95	13,26	24,22	0,5	7,61	6,66	4,93	

В.2 Вертикальні сили, швидкість 5 км/год, ПРШ напрямок руху

Дослідні перетини

№ Поїздки	Ш1				Ш4				Ш6				Ш8				Ш10															
	11	118,3				112,7	107,1	98	119	121,8			101,5			116,2		97,3	110,6	98,7	104,3	84										
15	95,2	77,7	65,59	70,7	86,1	79,1		82,6							90,3	81,9	71,4	83,3	78,4	72,8	62,86	79,8										
33		109,2	116,2	111,3	96,6	98	80,5	100,8	123,2			95,2	114,8					113,4	102,9	104,3	85,4	98,7										
39	114,8	128,1	106,4	125,3	140	135,1	130,2	142,1	155,4	151,2	134,4	156,8	135,8	133,7	111,3	135,1	122,5	125,3														123,9

### В.3 Бокові сили, швидкість 5 км/год, ПШ напрямок руху

#### Дослідні перетини

№ Поїздки	1				33				35				39				41				43							
2	50,43	42,11	50,89	52,4	66,56	59,58	62,83	65,16	56,27	51,95	56,37	49,97																
14	53,57	53,17	57,86	57,34	60,6	53,69	60,97	69,18	44,84	40,57	47,15	46,01	45,89	42,11	43,11	44,4	45,13	45,41	51,3	46,26								
36	32,75	33,09	38,77	34,2	56,38	47,57	46,24	52,02	40,18	38,8	36,97	40,39	41,29	39,19	38,26	37,35	43,4	31,7	32,18	35,55	40,92	31,82	38,94	36,7				
38	66,44	73,69	80,05	80,83	73,96	68,55	77,35	73,93	59,19	63,91	65,47	66,29	70,07	64,7	61,98	65,48	67,45	66,12	67,17	68,18	69,15	64,31	75,71	72,3				
60					59,47	54,59	57,14	62,42	52,17	53,44	56,48	54,87	58,37	65,41	57,65	52,14	57,94	56,31	62,69	52,49	53,81	54,65	60,47	49,66				
62	52,66	54,1	59,32	56,39	51,28	54,61	56,57	53,76	46,57	49,23	46,13	50,34	51,14	48,88	53,13	54,63	58,38	57,02		60,06	53,93	50,97	59,13	59,06				
84	52,15	65,17	60,82	65,85	57,62	58,1	62,31	63,53	43,81	49,86	46,08	55,38	52,24	51,87	56,02	58,86	56	56,08	76,22	62,67	52,06	52,23	64,13	63,2				

№ Поїздки	47				49				51				55				57				59				63				65							
2																																				
14	44,48	37,68	52,35	45,07	21,7	11,32	25,92	21,54	32,96	25,04			25,99	17,17			20,91	11,84							17,65	17,09			22,74	14,84						
36	45,19	32,91	45,41	38,99	9,82	5,52	12,28	9,31	11,41	3,05	13,14	10,89	6,78	0,83	13,17	12,2	0,7	-2,01	6,57	3,09					3,28	4,11	4,71	8,37	8,41	9,51	1,77	9,51				
38	65,62	59,87	75,9	64,92					19,97	8,67	31,38	17,67	11,73	-3,48	17,54	5,66	9,38	-1,1	14,66	7,87	45,2	38,23	37,39		5,19	5,73	2,83	13,22	7,51	7,72	1,07	10,05				
60	48,59	49,43	57,28	51,29	16,55	9,41	26,1	12,39	24,09	10,44	32,47	18,53	8,54	3,54	13,51	7,73	5,1	4,14	9,15	7,46					5,82	5,52	4,74	7,41	3,67	9,23	3,93	10,43				
62	53,95	49,18		52,76	13,87	4,78		7,46	19,28	10,51		11,39	5,38	0,95		3,48	3,63	3,54		4,62	52,26	42,34			6,85		7,22	7,6	11,67	3,56	12,17					
84	48,55	48,62	62,58	56,61	9,78	-0,43	15,46	9,8	13,51	8,53	17,35	11,43	3,84	2,36	6,5	3,6	1,29	2,89	4,46	2,44					44,28	2,82	6,62	-1,72	5,15	9,82	9,2	4,51	15,41			

### В.4 Вертикальні сили, швидкість 5 км/год, ПШ напрямок руху

#### Дослідні перетини

№ Поїздки	Ш1				Ш4				Ш6				Ш8				Ш10			
38	139,52	116,48		127,36	160	135,68	140,16	142,08	165,76	137,6	140,8	141,44	127,36	111,36	74,8	119,04	118,4	108,16	114,56	
60	136,96	114,56	123,52		151,68	123,52	129,92	128,64	161,28	139,52	148,48	141,44	126,08	104,32	106,88	112,64	115,84	101,12	103,68	179,84
62		115,84	117,12	118,4	158,72	130,56	130,56	130,56	181,76	140,8	139,52	155,52	115,2	97,92	107,52	107,52	108,16	102,4		93,44
84	138,24	113,92	117,12	124,8	142,08	126,72	135,04	128,64	99,6	128	137,6	136,96	124,8	104,32	106,88		121,6	103,68	104,32	106,88

### В.5 Бокові сили, швидкість 15 км/год, ПРШ напрямок руху

#### Дослідні перетини

№ Поїздки	1				33				35				39				41				43				47							
	11					14,35	27,37	33,99	19,28	31,56	16,84	40,44	19,88	24,01	31,39	33,04	22,61													30,37	34,28	37,15
15					30,62	30,54	40,96	35,94	36,77	26,22	41,13	34,71	29,87	36,13	35,31	31,49	31,66	33,95	43,27	32,31									43,86	50,9	45,88	42,3
33					21,55	16,64	25,14	21,63	18,39	7,41	22,36	16,4	27,74	28,59	26,9	27,18	23,41	20,28	33,96	25,89	45,91	47,65	43,06	40,78	32,2	35,93	41	40,09				
39					22,37	15,54	29,99	23,42	26,97	10,89	30,09	19,19	32,17	32,63	38,65	29,15	39,37	28,12	45,95	36,54	46,04	44,34	44,69	45,89	49,84	46,07	50,36	45,79				
57	7	8,03	5,89	1,99	15,17	14,2	19,3	14,36	16,45	4,74	21,23	8,05	24,45	20,22	22,98	20,25	26,95	14,71	28,04	15,74	38,19	37,4	32,71	34,89	34,48	37,6	36,56	31,91				
63	11,89	12,52	11,08	9,38	43,26	17,32	41,07	35,3	39,01	18,1	41,79	37,04	33,17	27,62	36,07	32,26	39,51	33,14		32,21	39,63	52,38	36,45	44	43,23	42,7	36,35	41				
81	8,69	14,71	9,17	10,21	21,69	7,99	11,48	11,28	22,64	3,6	12,16	8,34	34,55	28,41	32,67	16,34	34,67	16,37	35,36	17,35	44,62	40,3	36,23	35,15	39,42	43,22	39,49	36,89				

№ Поїздки	49				51				55				57				59				63				65			
	11	34,2	46,6	37,7	37,85	47,94	57,17	51,88	49,27	32,76	41,12	31,48	38,1	21,46	35,52	21,26	26,49	32,47	11,5	14,07	17,57	17,07	22,46	17,23	15,9	2,54	6,34	2,38
15	52,11	62,98	57,78	52,53	63,07	71,86	70,26	66,65	39,22	50,84	41,43	47,48	33,5	50,61	30,33	39,84	19,41	-4,35	37,53	35,51	23,64	28,73	23,58	24,69	3,74	3,89	4,54	2,04
33	46,16	46,04	45,05	51,46	51,37	57,36	56,26	62,25	34,38	42,72	37,12	51,58	28,75	39,22	27,17	35,24	29,25	11,96	15,73	9,75	13,62	19,36	12,98	16,63	0,7	3,68	4,1	0,61
39	49,38	58,2	52,76	50,19	54	62,16	64,32	66,39	34,06	45,87	46,9	50,91	31,07	44,9	36,27	46,89	25,76	-3,57		-4,53	15,98	17,43	15,52	20,95	3,14	3,31	7,02	6,29
57	33,04	42,79	37,38	35,09	41,43	50,12	46,13	47,73	34,94	40,11	25,5	33,79	19,78	41,18	20,94	30,31	33,94	13,71	27,96	23,09	12,31	19,11	11,45	13,14	2,48	-0,03	4,08	2,56
63	51,38	60,84	49,06	53,3	58,42	63,98	59,06	57,49	45,34	51,76	33,1	46,98	33,97	49,03	32,23	42,09					16,73	17,9	10,02	13,18	-0,09	-0,65	-1,99	-2,12
81	50,76	57,9	46,2	47,79	58,62	59,88	55,58	55,85	45,93	39,7	39,75	42,75	41,64	46,55	31,59	43,08					22,35	20,19	13,14	26,03	5,53	2,11	6,15	3,44

### В.6 Вертикальні сили, швидкість 15 км/год, ПРШ напрямок руху

#### Дослідні перетини

№ Поїздки	Ш1				Ш4				Ш6				Ш8				Ш10				
	11	105,7	106,4	94,5	105,7	128,8	114,8	121,8	128,8					130,2	129,5	121,8	126	103,6	109,2	100,8	115,5
15					74,9	43,96	37,45	97,3		110,6	62,86	170,8	113,4			91	67,97	30,87	28,91	69,44	63,77
33	126	94,5	87,5	100,1	122,5	111,3	104,3	119	126,7	136,5	103,6	142,1	114,1	128,8	112,7	116,9	77	77,7	62,3	88,2	
39					135,1	131,6	107,8	116,2	145,6	149,1	137,2	164,5		121,1	116,9	130,2	115,5	100,8		107,8	
57	97,3	106,4	101,5	98,7	146,3	115,5	123,2	126,7	154,7	154,7	139,3	154,7	116,9	114,1	126	135,8	93,8	80,5	72,1	98,7	

### В.7 Бокові сили, швидкість 15 км/год, ПШ напрямок руху

#### Дослідні перетини

№ Поїздки	1				33				35				39				41				43				47					
	10	50,33	44,52	60,65	55,69	52,03	49,64	54,42	54,79	43,81	38,31	46,87	53,45	39,44	41,02	33,56	44,05											55,11	47,22	47,93
20	56,89	55,09	72,17	54,81	38,12	44,37	48,37	50,56	40,13	42,19	44,6	55,44	37,47	40,37	46,44	47,67	60,95	66,39	76,29	69,99	36,58	41,92	54,98	50,87	55,74	50,11	61,56	50,79		
30	57,66	62,07	60,15	40,69									47,5	55,65	57,45	55,44					49,08	51,24	52,29	53,18	60,62	57,38	53,64	55,47		
44	45,14	47,82	47,33	40,08	45,98	50,46	47,18	52,49	47,22	44,76	48,09	54,73	44,27	46,35	57,36	59,33	67,05	67,1	71,28	69,51	48,36	49,57	59,86	57,78	56,41	54,55	56,64	57,03		
54	52,53	57,6	45,08	37,11	42,88	45,51	49,72	49,93	27,97	35,68	40,97	46,9	44,49	45,31	49,24	41,41	53,38	51,04	62,35	56,37	42,01	45,17	42,68	46,75	53,18	50,77	50,49	52,77		
68	73,57	64,68	77,98	68,12	52,18	62,39	63,25	65,41	52,77	52,03	55,08	58,06	53,55	63	62,51	60,79	74,51	75,23		80,46	54,91	54,64	66,85	65,19	75,62	62,55	80,56	70,89		
78	61,71	55,23	59,07	56,82	51,93	52,11	53,79	55,65	39,44	46,95	55,68	58,56	49,76	51,34	57,38	49,42	62,63	60,76	70,14	69,03	52,45	45,28	51,57	54,95	63,73	48,47	46,23	53,4		

№ Поїздки	49				51				55				57				59				63				65			
	10	7,55	7,15	9,4	11,5	18,08	10,16	14,11	12,97	9,04	4,76	13,71	11,52	3,75	3,39	17,47	10,89	46,04	26,63	25,71	28,56	5,9	9,09	2,37	12,27	8,61	2,27	-0,45
20	14,51	7,81	27,19	15,32	14,64	8,51	21,72	19,24	11,41	3,93	17,61	11,06	18,26	0,11	19,74	12,12					8,86	11,74	2,79	12,27	3,07	7,47	0,39	9,56
30	3,09	-1,08	-0,91	7,5	16,47	6,97	8,95	15,79	1,07	1,58	3,21	4,55	3,03	4,08	17,42	6,65	57,89	35,71	55,37	40,91	3,96	13,37	1,89	12,17	3,31	0,35	-2,73	11,43
44	14,66	3,53	8,37	10,81	14,61	7,29	12,16	9,98	6,05	9,41	21,93	13,26	10,04	2,88	24,94	12,81	40,58	28,14	24,62	27,47	2,14	9,64	-2,32	11,88	6,8	7,02	-5,45	10,06
54	-2,04	-3,74	1,36	4,95	12,18	4,03	14,88	13,57	-3,58	-1,32	8,29	8,64	0,44	0,65	24,82	12,76					0,2	7,73	0,74	11,37	0,67	-0,61	1,18	11,32
68	12,54	7,57		8,29	13,28	-0,29	9,47	9,18	4,7	0,65	5,96	3,23	-3,47	-0,26	7,35	7,35	54,95	32,85	30,5			5,14	-1,79	5,46	63,81	-1,66	-5,95	8,05
78	3,65	-1,35	-6,68	6,13	10,11	-3,68	-1,83	12,89	2,32	4,74	5,51	8,92	1,63	2,65	8,36	6,89	50,83	29,57	17,31	32,43	-5,87	10,67	1,91	7,55	4,42	-0,13	0,42	12,68

### В.8 Вертикальні сили, швидкість 15 км/год, ПШ напрямок руху

#### Дослідні перетини

№ Поїздки	Ш1				Ш4				Ш6				Ш8				Ш10			
	11	168,32	124,16	147,2	132,48	152,32	139,52	151,68	151,68	142,08	122,24	124,8	108,8	133,76	110,08	103,04	110,08	124,16	109,44	115,84
15					172,8	141,44	165,76	156,16	141,2	163,2	126,4	164,48	112,64	121,6	99,84	104,32	119,04	113,92	120,32	108,8
33	174,72	132,48	147,84	143,36	177,92	156,16	151,04	151,04	155,2	144,4	155,2	137,6	147,2	97,92	151,68	123,52	170,24	152,96	136,32	177,92
39	183,04	153,6	136,96	117,12	170,88	140,16	158,72	158,08	188,8	147,84	174,72	171,52	115,2	93,44	137,6	106,24	111,36	96,64	125,44	120,32
57	131,84	118,4	103,68	118,4	142,08	140,8	154,24	161,92	156,16	153,6	142,72	159,36	120,32	103,04		103,04	138,88	103,04	129,92	107,52
63					169,6	144	144,64	158,72	159,36	145,28	158,72	145,28	121,6	104,32	103,68	108,16	119,04	103,04	116,48	107,52
81	166,4	136,96	157,44	142,08	78,72		175,36	157,44	120		168,96	158,08	128,64	101,12	98,56	106,88	120,96	111,36	94,72	113,28

В.9 Бокові сили, швидкість 25 км/год, ПРШ напрямок руху

Дослідні перетини

№ Поїздки	1				33				35				39				41				43				47			
	35	9,49	14,16	22,42	6,96	32,6	30,6	31,96	38,78	41,37	9,11	34,67	26,25													49,12	41,33	43,74
37	10,05	14,9			45,48	19,97	36,76	35,32	38,44	10,97	41,53	18,08	25,8	25,47	26,14	28,54	45,74	37,87	49,81	39,46					49,75	49,3	49,13	47,62
59	-2,27	-1,36	-3,04	0,82	30,02	12,76	24,56	19,97	8,9	1,2	32,31	8,19	31,49	20,32	25,64	30,75	38,67	26,29	46,88	36,72	40,89	41,18	43,94	44,53	34,05	45,33	48,25	40,08
61	10,68	7,71	8,71	8,29	33,72	18,62	33,54	25,75	20,27	7,68	24,54	19,14	42,87	38,57	48,07	45,69	42,39	36,47	49,9	46,41	46,9	41,22	48,72	57,77	41,1	49,31	55,48	52,77
1	14,24	17,09	15,84	15,86	29,04	15,25	23,87	22,62	17,75	3,97	21,01	15,38	21,62	22,1	12,89	17,93	32,15	24,48	38,95	26,97	32,16	32,39	23,82	32,44	33,53	32,4	36,86	30,99
13	14,28	10,19	10,76	8,53	41,8	15,83	38,38	30,86	34,06	4,16	27,78	18,56	32,37	14,51	28,27	26,68	48,54	31,59	0	45,93	49,14	35,44	43,59	41,62	44,77	44,74	49,11	48,64
83	0				25,87	5,83	18,93	11,72	15,91	-5,21	5,65	-1,13					40,73	25,16	34,51	28,06					35,17	32,82	30,16	29,96

№ Поїздки	49				51				55				57				59				63				65			
	35	42,26	49,55	44,74	48,81	47,5	54,32	52,33	51,65	35,96	48,06	34,43	47,79	29,66	44,16	26,83	35,64	-2,01	-7,85	13,89	-10,76	18,01	23,86	13,51	25,28	5,49	2,87	0,61
37	41,1	51,21	44,53	43,86	46,07	55,58	47,46	47,84	40,16	53	37,98	49,09	23,75	38,21	29,43	37,72					16,03	21,25	15,42	18,98	5,56	3,16	3,28	0,47
59	40,81	52,69	49,99	50,65	45,4	58,71	53,02	52,91	37,91	49,07	38,47	48,11	23,81	40,53	26,52	32,09	25,85	-3,3	16,1	1,21	14,16	18,16	10,83	13,15	5,26	1,65	4,57	-0,43
61	39,34	57,83	63,18	64,05	47,63	62,62	60,07	63,01	46,67	49,3	50,36	56,91	21,57	38,2	29,1	46,07					14,29	23,6	19,48	25,31	5,26	6,23	7,8	3,42
1	32,35	43,61	31,49	44,52	43,68	53,18	41,17	51,33	29,97	39,31	26,33	34,87	10,99	23,48	8,89	16,43	33,67	14,72	27,87	17,85	7,31	15,26	13,31	12,09	2,81	-1,18	3,11	4,4
13					56,38	61,54	64,8	63,48	40,5	50,98	47,61	51,45	31,93	43,44	41,72	44,45					14,8	20,54	11,96	22,53	3,21	2,27	-1,33	0,55
83	53,2	52,4	36,33	46,94	56,33	68,9	51,7	56,85	53,04	53,55	52,58	50,16	37,7	48,01	37,52	40,2					15,76	18,91	18,99	18,48	1,94	5,84	7,46	2,91

В.10 Вертикальні сили, швидкість 25 км/год, ПРШ напрямок руху

Дослідні перетини

№ Поїздки	Ш1				Ш4				Ш6				Ш8				Ш10			
	11	84	97,3	72,8	84	139,3	142,8	119	124,6	108,5		104,3		114,1		109,2	106,4			
33		100,1	111,3	140	126	126	114,1	107,8					110,6	125,3	112	114,1	112,7	98	86,1	108,5
57		113,4	104,3	117,6	128,8	114,1	130,9	116,2	183,4	142,1	134,4	156,1	129,5	128,1	120,4	114,8	115,5	128,8	109,9	147,7

## В.11 Бокові сили, швидкість 25 км/год, ПШ напрямок руху

### Дослідні перетини

№ Поїздки	1				33				35				39				41				43				47							
10	56,28	58,7	62,18	62,53																									51,56	48,55	58,04	53,08
20	58,82	62,54	63,81	61,59	54,62	56,26	57,76	65,66	50,42	43,08	53,59	54,08	52,05	42,79	54,81	52,19	38,64	39,75	52,62	44,09									56,3	49,34	63,28	57,26
30	53,83	59,93	55,61	56,03	59,7	51,63	59,63	60,46	42,53	45,66	48,96	46,78	48,51	46,66	44,8	43,68	56,82	51,13	62,39	54,42	56,16	52,39	53,66	54,26	47,66	51,21	43,74	47,35				
44	46,59	49,93	50,7	50,67	53,55	49,28	53,28	57,18	38,9	42,36	38,84	45,81	47,76	40,66	45,23	48,93	45,72	52,72	59,51	52,61	48,92	46,01	54,72	51,25	46,1	38,03	49,75	50,91				
54	49,43	50,3	45,02	50,21	48,18	51,17	48,52	57,16	45,24	41,39	36,29	42,83	32,54	38,37	33,67	38,97	39,88	41,33	48,25	41,01	49,16	46,22	51,03	54,63	45,34	44,36	45,6	49,9				
68	77,53	78,45	80,34	86,08	58,41	63,9		71,88	66,05	60,39		63,68	60,77	58,21	64,5	65,34	67,96	66,44		71,82	72,69	65,97	78,84	71,12	57,21	54,79	74,6	56,83				
78	62,04	61,75	64,88	64,48	63,29	59,71	59,87	65,4	52,76	57,27	58,15	50,2	51,45	52,76	51,68	59,47	51,33	54,79	64,58	61,64	50,91	51,1	64,33	58,13	40,99	49,04	54,73	56,08				

№ Поїздки	49				51				55				57				59				63				65			
10	19,42	14,34	24,34	18,67	23,15	12,48	27,48	18,95	16,84	10,81	15,3	16,32	8,25	5	9,75	7,12	39,15	35,71	27,98	34,45	12,94	5,98	10,11	9,64	21,07	17,23	3,79	17,05
20	17,36	14,33	32,86	20,48	20,33	14,96	25,76	21,98	20,67	10,44	22,71	19,75	14,9	4,39	11,91	6,71					10,33	9,5	11,97	12,81	21,93	10,5	4,05	12,34
30	9,87	9,25	13,51	10,08	17	9,65	22,9	13,53	3,52	2,44	8,66	9,15	2,53	3,46	8,4	4,46	53,18	46,71	43,02	41,59	5,05	6,54	9,37	12,87	5,75	10,05	-0,41	18,32
44	23,21	22,67	31,98	27,18	24,39	21,84	25,5	25,93	19,82	12,09	22,71	18,08	20,79	10,07	12,45	14,91	24,45	31,42	20,58	30,33	14,98	14,93	18,65	17,78	24,28	14,89	7,12	21,48
54	3,39	2,27	9,96	6,84	16,77	11,57	21,46	17,18	11,59	4,22	16,33	15,09	0,03	0,09	6,19	5,46					5,86	9,82	11,98	12,09	9,76	12,49	7,87	19,86
68	15,14	8,24		12,49	17,56	9,16	28,53	19,29	7,81	-1,46	17,52	9,8	-2,72	-4,06	1,83	2,28	51,75	44,7	46,38			5,44	2,38	7,63	2,32	3,01	0,24	13,04
78	1,39	1,88	9,49	5,06	15,54	6,97	17,22	15,56	2,59	2,85	6,66	5,01	-7,22	0,39	2,46	1,8					-5,36	3,57	-0,22	9,98	2,78	10,93	-0,52	13,43

## В.12 Вертикальні сили, швидкість 25 км/год, ПШ напрямок руху

### Дослідні перетини

№ Поїздки	Ш1				Ш4				Ш6				Ш8				Ш10			
11	116,48	101,76	97,92	111,36	142,72	120,96	123,52	122,24	126,72	120,96	116,48	120,96	114,56	101,12	101,12	106,88	113,92	95,36	103,68	98,56
33	122,24	112	121,6	126,72	140,16	122,24	119,04	124,16	149,6	132	129,6	143,2	111,36	85,76	96,64	90,24	111,36	95,36	93,44	92,16
39	128	108,16	104,32	119,68	145,92	113,92	113,92	126,08	179,2	161,92	146,56	152,32	126,08	107,52	72,8	103,04	111,36	99,2	103,04	104,96
63	142,72	118,4	128	134,4	152,32	130,56	138,88	138,24	160	138,88	149,76	155,52	120,96	108,8	115,2	112	118,4	99,84	108,16	111,36

В.13 Бокові сили, швидкість 40 км/год, ПРШ напрямок руху

Дослідні перетини

№ Поїздки	1				33				35				39				41				43				47					
11	11,93	7,92	8,88	14,35	28,98	31,36	24,02	7,94	41,79	34,43	33,41	38,69	27,51	24,25	20,01	20,86											30,43	34,9	41,28	38,32
15	41,23	28,56	31,65	33,01	38,72	38,54	38,93	34,97	44,47	43,78	43,45	40,44	36,68	46,97	36,45	36,02	51,55	41,08	39,67	45,48	45,59	57,21	44,41	49,07	26,19	36,42	26,02	48,54		
33	7,58	2,57	-0,73	9,18	30,42	26,26	30,27	23,96	31,48	33,85	27,65	26	34,22	42,37	36,01	42,08	50,55	49,78	42,23	44,46	44,32	54,03	45,6	46,66	35,63	35,32	33,11	43,15		
39	1,6	-4,56	2,44	5,99	24,82	22,2	22,35	21,27	29,18	32,56	40,37	37,43	33,8	36,45	36,07	35,96	46,37	43,66	34,1	48,16	36,56	39,07	28,5	37,78	13,77	19,24	18,14	34,23		
57	7,77	7,73	7,19	14,55	19,53	18,09	12,07	8,25	23,33	25,01	15,8	15,57	26,33	38,83	27,75	33,53	37,36	34,62	33,85	36,07	36,31	45,23	26,79	38,18	21,24	20,12	19,81	33,78		
63	8,45	3,98	10,27	14,1	42,02	28,06	35,15	26,23	43,01	22,53	38,66	37,07	43,29	36,99	40,85	29,91	47,66	33,46		39,06	48,89	41,64	50,86	49,33	34,98	41,24	41,18	42,85		
81	1,95	2,42	9,39	8,69	33,04	30,24	25,15	19,07	26,35	40,53	20,95	25	44,64	42,8	34,3	30,54	54,44	47,75	50,51	43,88	55,48	56,53	37,65	43,8	43,95	48,03	41,99	39,4		

№ Поїздки	49				51				55				57				59				63				65			
11	43,74	49,61	39,33	36,08	40,16	51,43	43,14	39,95	30,24	36,78	20,74	35,81	20,86	18,63	4,79	14,24	26,03	19,87	19,87	23,92	13,42	15,68	25,29	15,18	5,12	6,13	4,54	3,51
15	55,05	56,64	52,61	51,56	61,88	69,25	52,12	48,58	38,19	54,46	40,43	52,11	22,47	54,07	29,55	24,13	""	""	""	""	20,71	18,66	7,99	12,08	6,32	5,57	9,13	9,62
33	40,82	58,82	54,88	52,94	59,54	67,19	53,88	48,67	39,98	56,06	39,02	53,61	23,25	38,62	23,4	27,18	23,09	12,6	20,88	17,75	27,13	20,94	14,46	6,48	8	2,76	12,59	12,07
39	41,83	49,92	40,5	40,38	42,65	47,99	37,55	41,26	27,37	47,09	37,6	59,74	17,46	37,58	12,41	22,46	20,6	14,17	31,09	17,2	22,12	13,73	9,74	12,07	8,95	7,83	11,12	10,44
57	41,01	50,35	47,57	43,43	45,51	51,2	39,31	40,64	33,84	41,77	28,63	42,58	13,44	30,7	11,65	12,25	""	""	""	""	16,04	21,91	12,56	11,08	9,27	6,99	7,78	8,38
63			""		54,37	73,51	66,48	61,18	42,77	54,09	49,41	54,46	31,93	48,41	27,25	39,31	16,37	-4,43	-1,21	""	15,4	19,04	18,61	16,34	13,16	9,8	8,99	8,98
81	50,96	69,55	60,3	50,82	61,09	71,67	59,69	58,98	41,15	54,85	51,55	64,78	23,67	46,59	35,6	39,34	20,97	4,18	-4,52	2,95	11,78	17,39	27,25	9,32	1,87	3,69	7,05	3,59

В.14 Вертикальні сили, швидкість 40 км/год, ПРШ напрямок руху

Дослідні перетини

№ Поїздки	Ш1				Ш4				Ш6				Ш8				Ш10			
11	109,44	97,28	96	115,84	149,12	143,36	122,24	147,84	115,84	101,12	100,48	108,16	135,04	125,44	110,72	141,44	106,88	94,72	89,6	89,6
39	104,32	80	110,72	101,76	130,56	117,76	105,6	105,6	101,76	101,76	72,96	98,56	111,36	85,76	106,24	88,96	88,96	82,56	62,34	80
63					152,32	144,64	132,48	144,64	129,92	150,4	112,64	115,84	116,48	123,52	106,88	119,68	90,24	87,04	76,16	91,52
81	107,52	106,88	112	116,48	156,8	144,64	140,8	147,84	105,2	143,36	99,2	128,64	108,16	133,76	120,96	112,64	101,76	110,08	83,2	103,68

### В.15 Бокові сили, швидкість 40 км/год, ПШ напрямок руху

#### Дослідні перетини

№ Поїздки	1				33				35				39				41				43				47							
10	50,59	44,76	60,96	55,98	52,3	49,89	54,7	55,08	44,03	38,51	47,12	53,72	39,64	41,23	33,73	44,27													55,39	47,47	48,17	49,25
20	57,19	55,38	72,54	55,09	38,31	44,6	48,62	50,83	40,34	42,41	44,83	55,72	37,66	40,58	46,68	47,92	61,27	66,74	76,69	70,35	36,77	42,14	55,26	51,13	56,03	50,37	61,88	51,05				
30	57,95	62,39	60,46	40,9									47,74	55,94	57,74	55,73					49,33	51,51	52,57	53,46	60,94	57,68	53,92	55,75				
44	45,38	48,07	47,58	40,29	46,22	50,72	47,42	52,77	47,47	44,99	48,34	55,01	44,5	46,59	57,66	59,63	67,39	67,45	71,65	69,87	48,61	49,83	60,17	58,08	56,7	54,84	56,94	57,33				
54	52,8	57,9	45,32	37,3	43,11	45,74	49,98	50,19	28,12	35,87	41,18	47,15	44,72	45,55	49,49	41,62	53,66	51,3	62,68	56,67	42,23	45,4	42,9	46,99	53,45	51,03	50,75	53,04				
68	73,95	65,02	78,38	68,47	52,45	62,72	63,58	65,75	53,04	52,3	55,36	58,36	53,82	63,33	62,83	61,11	74,9	75,62		80,88	55,2	54,92	67,2	65,53	76,01	62,87	80,97	71,25				
78	62,03	55,51	59,38	57,12	52,2	52,38	54,06	55,94	39,64	47,19	55,97	58,86	50,02	51,6	57,67	49,68	62,95	61,08	70,5	69,39	52,72	45,52	51,84	55,23	64,06	48,72	46,47	53,68				

№ Поїздки	49				51				55				57				59				63				65			
10	7,59	7,19	9,45	11,56	18,17	10,21	14,18	13,04	9,09	4,78	13,78	11,58	3,77	3,4	17,57	10,94	46,28	26,77	25,84	28,71	5,93	9,14	2,38	12,33	8,66	2,29	-0,46	6,52
20	14,58	7,85	27,33	15,4	14,71	8,55	21,83	19,34	11,47	3,95	17,7	11,12	18,36	0,11	19,84	12,19					8,91	11,8	2,81	12,34	3,08	7,51	0,39	9,61
30	3,1	-1,08	-0,92	7,54	16,56	7,01	8,99	15,88	1,08	1,59	3,23	4,58	3,05	4,1	17,51	6,69	58,19	35,89	55,65	41,13	3,98	13,44	1,9	12,24	3,32	0,35	-2,74	11,49
44	14,73	3,55	8,41	10,86	14,68	7,33	12,22	10,03	6,08	9,46	22,04	13,32	10,09	2,89	25,07	12,87	40,79	28,29	24,74	27,61	2,15	9,69	-2,33	11,94	6,84	7,06	-5,48	10,11
54	-2,05	-3,76	1,37	4,97	12,24	4,05	14,96	13,64	-3,6	-1,33	8,33	8,69	0,44	0,65	24,95	12,83					0,2	7,77	0,74	11,43	0,68	-0,61	1,18	11,38
68	12,6	7,61	""	8,33	13,35	-0,29	9,52	9,23	4,72	0,65	5,99	3,24	-3,49	-0,26	7,39	7,39	55,23	33,02	30,66			5,17	-1,8	5,49	64,14	-1,67	-5,98	8,1
78	3,67	-1,35	-6,71	6,17	10,16	-3,7	-1,84	12,96	2,33	4,77	5,53	8,97	1,64	2,66	8,4	6,93	51,09	29,73	17,4	32,6	-5,9	10,73	1,92	7,59	4,45	-0,13	0,42	12,74

### В.16 Вертикальні сили, швидкість 40 км/год, ПШ напрямок руху

#### Дослідні перетини

№ Поїздки	Ш1				Ш4				Ш6				Ш8				Ш10			
11	168,32	124,16	147,2	132,48	152,32	139,52	151,68	151,68	142,08	122,24	124,8	108,8	133,76	110,08	103,04	110,08	124,16	109,44	115,84	118,4
15					172,8	141,44	165,76	156,16	141,2	163,2	126,4	164,48	112,64	121,6	99,84	104,32	119,04	113,92	120,32	108,8
33	174,72	132,48	147,84	143,36	177,92	156,16	151,04	151,04	155,2	144,4	155,2	137,6	147,2	97,92	151,68	123,52	170,24	152,96	136,32	177,92
39	183,04	153,6	136,96	117,12	170,88	140,16	158,72	158,08	188,8	147,84	174,72	171,52	115,2	93,44	137,6	106,24	111,36	96,64	125,44	120,32
57	131,84	118,4	103,68	118,4	142,08	140,8	154,24	161,92	156,16	153,6	142,72	159,36	120,32	103,04		103,04	138,88	103,04	129,92	107,52
63					169,6	144	144,64	158,72	159,36	145,28	158,72	145,28	121,6	104,32	103,68	108,16	119,04	103,04	116,48	107,52
81	166,4	136,96	157,44	142,08	78,72		175,36	157,44	120		168,96	158,08	128,64	101,12	98,56	106,88	120,96	111,36	94,72	113,28

В.17 Бокові сили, швидкість 50 км/год, ПРШ напрямок руху

Дослідні перетини

№ Поїздки	1				33				35				39				41				43				47						
	11	-1,59	-6,03	6,23	2,48	31,06	35,31	27,58	30,71	42,82	39,16	37,86	36,47																45,54	52,9	27,53
15	-7,38	-7,5	-4,48	0,9	30,96	35,06	24,56	27,59	40,51	38,12	27,1	42,5	40,13	47,48	43,15	37,33	52,46	60,87	48,08	53,81	67,85	54,86	54,11	61,52	41,09	53,52	43,91	41,97			
33	-6,23	-9,25	-1,29	3,89	30,9	35,81	20,33	29,12	32,55	47,78	17,79	19,41	36,98	41,98	40,48	39,71	49,09	79,36	46,2	46,51	74,07	70,49	55,64	57,3	48,11	50,98	47,58	64,2			
39	-2,44	-6,96		2,9	41,9	45,36	20,66	19,28	39,64	41,99	25,73	25,39	43,31	56,9	45,11	42,23	54,5	61,27	41,01	41,81	63,77	72,14	55,32	71,89	41,13	51,97	41,78	52,24			
57	0,2	-9,51	5,2	0,84	17,8	28,62	7,73	18,87	25,9	49,65	32,62	17,27	41,5	47,06	42,07	29,59	44,04	75,18	51,41	48,22	80,03	68,39	49,73	60,85	47,56	53,21	38,36	52,61			
63	6,64	2,54	6,85	10,38	37,87	25,69	19,89	20,56	24,43	38,48	23,21	23,63	39,08	40,98	37,59	26,9	60,85	50,82	49,97	48,31	58,75	47,28	49,08	49,04	29,16	46,27	22,21	50,04			
81	2,68	-3,7	6,49	2,02	25,41	18,07	13,13	21,99	20,95	37,16	10,69	18,75	43	52,92	48,52	37,46	63,91	66,74	56,18	51,19	75,4	72,76	60,16	62,06							

№ Поїздки	49				51				55				57				59				63				65			
	11	44,01	58,09	60,1	61,64	42,6	53	54,26	57,59	50,48	41,94	41,69	46,38	31,75	34,05	29,95	33,53	25,66	14,17	20,79	17,75	18,49	27,15	22,31	14,84	11,57	8,25	9,36
15	42,15	65,13	46,02	50,16	31,05	63,82	44,35	39,44	41,75	50,13	41,11	43,19	29,6	41,71	26,96	48,27	""	""	""	""	11,26	18,97	11,91	15,53	8,82	13,03	10,85	4,55
33	51,86	50,79	53,87	64,39	45,69	50,74	40,5	60,21	58,53	38,68	46,14	44,7	30,45	28,13	33,59	37,1	31,27	27,78	20,33	26,95	12,15	14,47	16,92	12,28	10,13	10,13	9,77	5,97
39	55,09	63,77	44,39	58,22	52,73	60,13	48,15	43,82	41,4	40,92	44,91	36,73	36,63	36	30,17	49,52	26,31	10,95	31,27	15,45	21,79	16,48	13,63	20,23	12,23	11,37	14,37	8,82
57	40,14	59,29	37,07	42,57	37,92	47,4	40,81	42,19	44,45	37,06	32,19	38,91	27,83	26,59	24,01	30,53	""	""	""	""	13,03	12,82	16,78	14,62	6,97	11,65	12,32	8,93
63	47,51	77,73		52,68	40,16	63,49	55,37	46,49	35,59	43,99	34,44	40,66	18,84	35,92	24,74	29,25	40,38	22,63	35,51	""	14,4	19,83	12,3	3,66	3,6	2,03	8,17	-1,8
81					50,22	69,54	50,74	58,3	46,58	58,8	44,99	54,67	39,61	35,76	29,51	41,55	33,39	39,92	23,46	29,8	19,03	2,91	12,01	14,61	13,71	3,41	7,22	9,4

В.18 Вертикальні сили, швидкість 50 км/год, ПРШ напрямок руху

Дослідні перетини

№ Поїздки	Ш1				Ш4				Ш6				Ш8				Ш10			
	11	96	87,68	80	88,96	136,32	146,56	140,8	135,04	120,96	122,24	105,6	111,36	104,32	67,84	99,84	109,44	107,52	106,88	99,2
15					123,52	120,32	105,6	116,48		128,64			91,52	96,64	88,96	78,72	80,64	94,72	69,76	92,16
33					122,88	144,64	115,2	119,68									78,72	69,12	55,55	95,36
39	99,84	85,76	75,52	110,72	109,44	136,32		103,04	149,76	136,32		134,4	104,32	81,92	107,52		57,98	48,7	52,61	54,08
57		78,08	64,64	58,94	134,4	149,76	126,08	141,44	186,24	171,52	163,2	156,16	123,52	118,4	99,84	129,92	61,38	17,54	39,94	59,9
63					146,56	144	151,04	144,64		151,68	152,32	156,16	112	101,76	111,36		101,76	109,44	85,12	112
81	94,72		90,88	97,28	118,4	165,76	152,32	154,24	136,8		179,2	184,32	136,32	143,36	119,68	131,2	104,96	104,96	99,84	133,76

### В.19 Бокові сили, швидкість 50 км/год, ПШ напрямок руху

#### Дослідні перетини

№ Поїздки	1				33				35				39				41				43				47			
10	59,01	53,76	69,31	67,62	51,05	51,64	50,75	73,44	53,07	40,74	42,9	48,57	48,66	51,92	43,81	55,93									52,64	50,16	55,65	52,63
20	57,6	65,47	66,72	63,47	64,01	57,99	53,32	60,47	59,13	48,45	52,97	60,74	55,59	47,9	47,81	57,53	77,42	79,82	84,07	72,83	41,26	44,79	44,34	40,87	57,67	56,68	59,76	53,04
30	75,75	51,18	54,49	58,71	52,82	58,3	47,01	60,98	64,39	44,83	40,16	53,82	50,56	54,09	50,36	55,66	61,93	72,51	74,88	64,5	36,09	37,23	39,93	40,07	59,57	53,63	57,49	58,25
44	58,82	51,95	54,84	58,13									54,37	55,44	46,94	59,59					38,85	37,12	38,19	39,83	54,46	53,39	59,75	53,39
54	76,38	62,12	64,18	61,14	42,46	52,91	51,13	62,1	63,81	53,21	45,13	56,17	53,78	58,82	53,56	59,61	65,98	68,66	74,39	61,95	37,15	35,63	46,11	43,64	55,56	60,63	66,91	56,23
68	64,44	50,95	71,85	77,76	67,98	58,83	48,35	69,27	68,73	54,67	51,34	57,33	50,4	52,15	42,86	48,74	76,71	74,4	74	74,93	41,15	37,39	50,48	42,25	55,46	57,45	58,01	56,45

№ Поїздки	49				51				55				57				59				63				65			
10	12,23	8,87	31,39	16,14	32,98	21,66	42,66	21,68	29,44	14,33	52,48	23,84	14,52	17,13	23,99	21,64	46,04	26,63	25,71	28,56	2,49	11,7	-4,6	7,78	13,59	9,52	-0,54	4,92
20	11,85	0,04	32,09	13,65	21	8,75	39,55	21,71	18,84	8,56	36,86	21,14	12,73	13,13	18,42	18,42					1,7	10,82	-8,01	6,86	0,8	4,2	-3,15	3,98
30	10,15	-0,95	31,09	10,23					14,25	17,59	44,2	23,52	3,6	15,27	19,02	18,19	19,07	16,21	17,31	14,11	7,25	10,96	-5,82	6,84	5,67	4,75	-7,43	5,38
44	12,55	7,95	26,36	18,33	25,9	10,37	37,44	25,78	25,42	20,6	40,9	24,55	14,96	15,53	22,01	18,45	47,13	39,49	44,36	33,44	8,81	14,01	0,62	8,44	9,72	8,67	2,64	6,16
54	18,61	5,95	31,61	19,23	34,2	14,94	44,95	26,94	18,08	10,85	39,6	21,24	7,17	19,7	21,05	21,57					3,49	12,44	-1,97	8,24	0,32	3,69	3,76	1,19
68	14,78	-4,02		13,07	30,38	5,74	38,67	28,68	10,49	11,38	40,9	19,14	4,14	10,83	12,87	16,87						11,31	-0,52	7,31	4,76	0,08	-3,32	4,77

### В.20 Вертикальні сили, швидкість 50 км/год, ПШ напрямок руху

#### Дослідні перетини

№ Поїздки	Ш1				Ш4				Ш6				Ш8				Ш10			
11	168,32	124,16	147,2	132,48	152,32	139,52	151,68	151,68	142,08	122,24	124,8	108,8	133,76	110,08	103,04	110,08	124,16	109,44	115,84	118,4
15					149,76	143,36	162,56	139,52					134,4	115,2		110,72	111,36	125,44	103,04	139,52
33					112,64	113,92	52,61	56,58									55,55	56,96		
39	183,04	119,68	152,32	145,28	158,08	151,04	146,56	149,76		151,04	153,6	158,72		119,68	76,4	115,84	133,76	131,2	99,2	174,72
57					126,08	141,44		73,6	163,2	156,16	76,8	78,72	99,84	129,92	65,92	74,24	39,94			

## В.21 Бокові сили, швидкість 60 км/год, ПРШ напрямок руху

### Дослідні перетини

№ Поїздки	1				33				35				39				41				43				47					
	11	-2,33	-1,92	4,37	-4,47	47,25	38,57	32,97	40,7	23,71	11,3	14,55	27,95	38,72	20,43	38,45	40,38											61,15	67,96	59,71
15	6,2	-0,58	1,55	-2,18	57,87	37,03	30,93	48,32	47,77	24,17	17,8	46,38	43,74	36,37	39,13	58,43	50,89	40,75	64,35	58,94	43,86	53,14	54,52	69,84	57,67	62,7	61,07	67,07		
33	2,11	-3,67	5,66	11,94	52,65	40,83	26,06	47,85	31,54	27,33	25,3	42,13	39,07	36,13	43,5	57,1	36,7	42,25	58,23	61,86	59,26	61,85	62,06	75,72	51,9	61,1	53,62	65		
39	7,25	0,48	0,14	-12,13	47,78	41,33	18,78	24,21	36,93	23,56	16,21	28,26	41,34	25,39	43,24	50,73	46,15	36,93	41,93	52,01	43,11	50,09	43,87	67,3	54,08	55,32	48,57	76,77		
57	7,32	8,62	7,54	-7,35	42,31	36,73	17,52	10,1	33,24	22,92	18,18	22,26	33,37	28,33	44,04	47,08	41,04	31,6	49,8	49,2	47,09	59,43	49,09	83,56	52,37	56,03	48,17	67,4		
63	9,22	3,1	6,07	5,43	42,32	27,37	10,89	25,85	24,93	6,45	3,96	44,64	27,83	12,55	32,35	40,54	40,18	27,47	51,51	53,09	50,69	53,36	55,3	62,25	49,32	62,11	44,47	44,9		
81	3,96	0,67	-3,62	1,47	46,09	34,8	15,18	35,13	31,98	9,76	6,38	42,92	32,83	25,43	39,69	47,06	38,43	41,02	52,34	54,02	55,76	61,16	47,9	72,59	61,27	64,65	49,7	46,6		

№ Поїздки	49				51				55				57				59				63				65			
	11	65,83	70,9	54,87	56,87	53,72	58,58	44,39	59,03	34,76	41,65	13,24	47,45	31,27	40,01	23,73	25,82					13,89	18,58	11,28	21,6	4,83	4,99	12,4
15	70,81	69,9	64,06	67,79	56,07	61,34	54,96	52,14	38,69	47,55	19,82	26,05	34,22	39,83	19,57	40,22					21,97	8,57	0,52	6,26	15,02	8,05	8,06	12,31
33	75,83	63,77	56,02	57,96	62,85	64,59	46,72	61,1	46,43	49,37	24,66	41,62	36,63	40,96	26,3	37,63	34,59	24,93	22,35	26,31	18,4	15,95	-0,91	12,61	13,99	14,83	13,27	8,11
39	66,1	76,94	60,86	70,91	54,87	67,29	56,76	51,03	43,62	55,77	21,01	22,35	28,84	42,68	10,91	28,46	40,29	23,92	29,9	24,84	25,28	19,78	-10,06	5,77	13,76	14,11	7	11,54
57					54,3	65,93	53,28	50,57	34,89	40,26	23,68	29,26	24,53	38,63	15,27	32,31					21,1	16,08	-1,22	3,79	6,94	5,05	5,53	7,02
63	56,16	62,31		43,88	62,66	68,08	44,31	40,41	42,38	63,62	12,01	45,69	20,47	39,44	19,34	35,93					17,47	16,74	1,27	15,71	6,65	14,67	14,66	12,73
81	81,55	73,29	49,92	47,16	50,31	54,44	39,68	41,28	43,22	55,27	15,04	49,31	21,12	39,41	16,92	33,43	54,82	41,39	34,77		13,58	14,14	-0,34	21,5	10,92	9,17	11,33	8,33

## В.22 Вертикальні сили, швидкість 60 км/год, ПРШ напрямок руху

### Дослідні перетини

№ Поїздки	Ш1				Ш4				Ш6				Ш8				Ш10				
	15	97,28	71,04			129,92	113,92	101,76	147,84	196,48	116,48	192		138,88	119,68	83,2	98,56	101,12	83,2	84,48	92,8
33					115,84		111,36	132,48										53,12	50,18	33,15	76,16
39	76,8	50,05	51,01	35,2	101,12	87,04	68,48	124,16	114,56	109,44	139,52	128,64	52,8	74,24	75,52	75,52	87,68	74,24	68,48	62,34	
57	76,8	78,72	71,68	116,48	119,04	90,88	82,56	126,08	181,12	141,44	141,44	153,6		100,48	100,48	72,32	97,92		74,24	82,56	
81	101,76	85,76	89,6	104,32	138,88	117,76	110,72	150,4	96	151,04	156,8	169,6	131,84	124,8	103,04	122,88	115,84	112	87,68	106,88	



## ДОДАТОК Г

### Г.1 Відомості розрахунків по визначенню допустимих відхилень у плані в межах бокового напрямку

#### Г.1.1 Проект 1740

№	Параметри нерівностей у профілі	Параметри нерівностей у плані			Показники безпеки та взаємодії		
	Амплітуда нерівності Авнер, мм	Амплітуда нерівності Агнер, м	Ухил відводу ширини колії іS, мм/м	Різниця відступу у суміжних ординатах du, мм	Бокова сила Yб, кН	Коефіцієнт запасу стійкості Kст	Довжина ділянки втрати стійкості Lст, м
Осьове навантаження 23 т/вісь							
1	0	13	4	8	93	1,57	0
2	10	16	5	10	99,7	1,48	0
3	0	20	6	12	107,5	1,28	0,1
4	0	26	8	16	120	1,16	0,4
5	15	26	8	16	121	1,08	0,56
Осьове навантаження 5,5 т/вісь							
1	0	0	0	0	31	1,09	0,21
2	0	13	4	8	43	0,94	0,42
3	10	13	4	8	40	0,83	0,6

#### Г.1.2 Проект 2064

№	Параметри нерівностей у профілі	Параметри нерівностей у плані			Показники безпеки та взаємодії		
	Амплітуда нерівності Авнер, мм	Амплітуда нерівності Агнер, м	Ухил відводу ширини колії іS, мм/м	Різниця відступу у суміжних ординатах du, мм	Бокова сила Yб, кН	Коефіцієнт запасу стійкості Kст	Довжина ділянки втрати стійкості Lст, м
Осьове навантаження 23 т/вісь							
1	10	0	0	0	78	1,65	0
2	15	13	4	8	85	1,47	0
3	15	23	7	14	98	1,23	0,1
4	20	26	8	16	103,7	1,16	0,3
5	20	29	9	18	108,5	1,09	0,54
Осьове навантаження 5,5 т/вісь							
1	0	0	0	0	26	1,36	0
2	10	6	1	2	28	1,37	0
3	10	13	4	8	33	1,02	0,38
4	10	16	5	10	36	0,92	0,6

### Г.1.3 Проект 2063

№	Параметри нерівностей у профілі	Параметри нерівностей у плані			Показники безпеки та взаємодії		
	Амплітуда нерівності Авнер, мм	Амплітуда нерівності Агнер, мм	Ухил відводу ширини колії iS, мм/м	Різниця відступу у суміжних ординатах dy, мм	Бокова сила Yб, кН	Коефіцієнт запасу стійкості Kст	Довжина ділянки втрати стійкості Lст, м
<b>Осьове навантаження 23 т/вісь</b>							
1	0	3	1	2	89	1,51	0
2	0	6	2	4	100	1,36	0
3	0	13	4	8	127	0,91	0,38
4	15	13	4	8	128	0,81	0,61
<b>Осьове навантаження 5,5 т/вісь</b>							
1	0	0	0	0	24	1,43	0
2	0	3	1	2	31	1,29	0,05
3	0	6	2	4	40	0,95	0,44
4	10	6	2	4	43	0,86	0,62

### Г.1.3 Проект Дн060

№	Параметри нерівностей у профілі	Параметри нерівностей у плані			Показники безпеки та взаємодії		
	Амплітуда нерівності Авнер, мм	Амплітуда нерівності Агнер, мм	Ухил відводу ширини колії iS, мм/м	Різниця відступу у суміжних ординатах dy, мм	Бокова сила Yб, кН	Коефіцієнт запасу стійкості Kст	Довжина ділянки втрати стійкості Lст, м
<b>Осьове навантаження 23 т/вісь</b>							
1	0	6	2	4	84,3	1,49	0
2	0	10	3	6	99,6	1,31	0
3	10	13	4	8	117,5	1,1	0,45
4	10	16	5	10	136,5	1	0,67
<b>Осьове навантаження 5,5 т/вісь</b>							
1	0	0	0	0	30	1,27	0,1
2	0	3	1	2	41	1,09	0,27
3	0	6	2	4	50	0,88	0,42
4	10	10	3	6	60	0,73	0,68

### Г.1.3 Проект Дн600

№	Параметри нерівностей у профілі	Параметри нерівностей у плані			Показники безпеки та взаємодії		
	Амплітуда нерівності Авнер, мм	Амплітуда нерівності Агнер, мм	Ухил відводу ширини колії іS, мм/м	Різниця відступу у суміжних ординатах du, мм	Бокова сила Yб, кН	Коефіцієнт запасу стійкості Кст	Довжина ділянки втрати стійкості Lст, м
<b>Осьове навантаження 23 т/вісь</b>							
1	0	6	2	4	79,3	1,53	0
2	10	10	3	6	88	1,43	0
3	10	16	5	10	100	1,25	0,3
4	20	20	12	6	114	1,1	0,58
<b>Осьове навантаження 5,5 т/вісь</b>							
1	0	0	0	0	35	1,34	0
2	0	6	2	4	41	1,1	0,21
3	10	6	2	4	41	0,92	0,39
4	10	10	3	6	54	0,83	0,59

Г.2 Відомості визначення допустимих швидкостей руху при відступах від допусків утримання по ширині колії та у плані в межах бокового напрямку стрілочних переводів

Г.2.1 Коефіцієнт запасу стійкості в межах нерівності у плані, осьове навантаження 23,5 т

Швидкість руху, км/год	Проект стрілочного переводу					
	1740	2215	2064	Дн600	2063	ДН060
80						1,000
70					0,935	1,299
60				1,136	1,087	1,613
50			1,075	1,220	1,205	1,887
40	1,093	1,087	1,333	1,408	1,667	2,326
25	1,220	1,235	2,083	1,818	2,857	3,125
15	1,429	1,449	2,703	2,128	3,333	3,571

Г.2.2 Коефіцієнт запасу стійкості в межах нерівності у плані, осьове навантаження 5,5 т

Швидкість руху, км/год	Проект стрілочного переводу					
	1740	2215	2064	Дн600	2063	ДН060
80						0,385
70					0,323	0,435
60				0,556	0,323	0,667
50			0,476	0,714	0,400	0,833
40	0,568	0,500	0,625	1,020	0,556	1,316
25	0,870	0,820	1,250	1,299	0,952	1,639
15	1,190	1,163	1,923	1,538	1,370	1,818

Г.2.3 Бокові сили в межах нерівності у плані, осьове навантаження 23,5 т

Швидкість руху, км/год	Проект стрілочного переводу					
	1740	2215	2064	Дн600	2063	ДН060
80						136,000
70					127,000	95,000
60				135,000	105,000	76,000
50			120	114,000	92,700	65,000
40	108,500	120,000	88	96,000	70,000	50,000
25	95,000	104,500	70	71,000	62,200	43,000
15	85,000	92,300	53	62,000	40,300	38,000

Г.2.4 Довжина ділянки втрати стійкості в межах нерівності у плані, осьове навантаження 23,5 т

Швидкість руху, км/год	Проект стрілочного переводу					
	1740	2215	2064	Дн600	2063	ДН060
80						0,880
70					0,930	0,010
60				0,890	0,670	0,000
50			0,560	0,640	0,140	0,000
40	0,600	0,670	0,000	0,000	0,000	0,000
25	0,400	0,460	0,000	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Г.2.5 Довжина ділянки втрати стійкості в межах нерівності у плані, осьове навантаження 5,5 т

Швидкість руху, км/год	Проект стрілочного переводу					
	1740	2215	2064	Дн600	2063	ДН060
80						0,770
70					0,820	0,720
60				0,840	0,700	0,600
50			0,760	0,660	0,625	0,500
40	0,830	0,900	0,610	0,440	0,550	0,000
25	0,530	0,585	0,280	0,000	0,500	0,000
15	0,420	0,460	0,000	0,000	0,400	0,000

### Г.2.6 Бокові сили в межах ділянки набігання на вістряк

Швидкість руху, км/год	1740(2215)	2064	Дн600	2063	ДН060
80					0,95
70				0,95	1
60			1	1,02	1,18
50		0,95	1,11	0,91	1,06
40	0,91	1	1,3	1,06	1,18
25	1,15	1,35	1,32	1,35	1,54
15	1,52	1,75	1,82	1,92	1,82

### Г.2.7 Коефіцієнт запасу стійкості в межах ділянки набігання на вістряк

Швидкість руху, км/год	Проект стрілочного переводу, ширина колії при моделюванні					
	1740 2215(з/б)	2064_1546	Дн600_1546	2063_1545	ДН060_1542	2215(д) _1546
80					110	
70				120	106	
60			112	114	98	
50		113	96	100	90	
40	120	109	99	92	91	101
25	98	81	78	80	72	74
15	75	64	62	59	60	62

## ДОДАТОК Д

Д.1 Акт впровадження результатів дисертаційної роботи у навчальному процесі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Д.2 Акт впровадження результатів дисертаційної роботи у колійному господарстві Українських залізниць

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Проректор з наукової роботи  
Дніпропетровського національного  
університету залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна,  
професор, д-р техн. наук



С. В. Мямлін

Даним підтверджується, що результати дисертаційної роботи Каленика Костянтина Леонідовича “Удосконалення нормативів утримання бокового напрямку стрілочних переводів за шириною колії та у плані” були використані у навчальному процесі при підготовці спеціалістів і магістрів на кафедрі «Колія та колійне господарство», а також при підготовці фахівців колійного господарства Укрзалізниці в центрі підвищення кваліфікації Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Завідувач кафедри «Колія та колійне  
господарство», директор центру  
підвищення кваліфікації ДНУЗТу

В. В. Рибкін

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke, positioned to the right of the text "В. В. Рибкін".



ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ  
УКРЗАЛІЗНИЦЯ

**ГОЛОВНЕ УПРАВЛІННЯ КОЛІЙНОГО ГОСПОДАРСТВА**

вул. Тверська, 5, м. Київ-150, МСП 03680, тел.: (44) 465-03-50, 465-03-80, факс (44) 258-81-37

08.07.2011

№ ЦП - 7/577

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи Каленика К. Л. на тему  
“Удосконалення нормативів утримання бокового напрямку стрілочних  
переводів за шириною колії та у плані”.

На основі результатів дисертаційної роботи Каленка К. Л. розроблено рекомендації стосовно допустимих швидкостей руху по боковому напрямку стрілочних переводів, що мають відхилення від встановлених допусків по ширині колії та у плані. Рекомендації дозволяють зменшити обсяг робіт з поточного утримання стрілочних переводів шляхом використання раніше неврахованих ресурсів їх конструкції. Крім того запропонована у даній роботі методика контролю ширини колії в межах бокового напрямку дозволяє фіксувати максимальні відступи від допусків утримання, за рахунок чого підвищується рівень безпеки руху.

Розроблені рекомендації прийнято до розгляду з метою впровадження в колійному господарстві Укрзалізниці.

Головний інженер  
Головного управління



В.О. Яковлев

035357