

Державний університет інфраструктури та технологій
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ОЛІЙНИК ОЛЕНА АНДРІЇВНА

УДК 625.151:625.153

ДИСЕРТАЦІЯ

**НАУКОВІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ СИМЕТРИЧНИХ
СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ЗА УМОВАМИ БЕЗПЕКИ РУХУ КОЛІС В
МЕЖАХ ВІДВЕДЕНИХ ВІСТРЯКІВ**

05.22.06 – залізнична колія

27 – транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

О.А. Олійник

Науковий керівник

ДАНІЛЕНКО Едуард Іванович,
доктор технічних наук, професор

Київ – 2021

АНОТАЦІЯ

Олійник О.А. Наукові основи проектування симетричних стрілочних переводів за умовами безпеки руху коліс в межах відведених вістряків. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.06 – Залізнична колія. – Державний університет інфраструктури та технологій – Київ, 2021.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню наукової задачі проектування симетричних стрілочних переводів за умовами безпеки руху коліс в межах відведених вістряків шляхом розробки нової методики розрахунків раціональних геометричних параметрів, яка дозволила скоротити практичну довжину переводів і зменшити їх металоємність при забезпеченні безпеки руху поїздів.

Розрахунково-теоретичним методом вирішена задача з визначення пружно-жорсткісних параметрів рейкової колії у вертикальній площині в межах симетричного стрілочного переводу і на їх основі теоретичними розрахунками визначена силова завантаженість і напружено-деформативний стан рейкових ниток по усій довжині. Результати розрахунків дозволили оцінити розподіл динамічних сил, напружень і деформацій по довжині стрілочного переводу, що є підставою для встановлення допустимих швидкостей руху при відповідних умовах експлуатації.

Проведено експериментальні дослідження вертикальних нерівностей на хрестовинах стрілочних переводів для умов Київського метрополітену конструкцій типу Р50 і Р65 марки 1/9, досліджено характер їх формування залежно від пропущеного тоннажу, отримано середньостатистичні вертикальні нерівності. Теоретичними розрахунками визначені вертикальні динамічні сили взаємодії системи «колесо-рейка» на поверхні кочення хрестовин типів Р50 і Р65 марки 1/9, що дозволяє на основі отриманих значень динамічних сил взаємодії визначати допустимі швидкості руху поїздів по конструкції.

Ключові слова: залізнична колія, стрілочні переводи, геометричні параметри, хрестовини, підрейкова основа, жорсткість, пружність колії, вертикальні нерівності, динамічні сили.

THE SUMMARY

Oliynyk O. A. Scientific bases of designing symmetrical turnout switches under safety requirements for wheels movement within the allocated switch blades. - On the rights of the manuscript.

The dissertation on obtaining a scientific degree of the candidate of technical sciences on specialty 05.22.06 - Railway track. - State University of Infrastructure and Technologies - Kyiv, 2021.

The dissertation deals with solving the scientific problem of designing symmetrical turnout switches under safety requirements for wheels movement within the allocated switch blades by developing a new method of calculating rational geometric parameters, which enabled the reduction of the practical length of switches and their metal content while ensuring train safety.

The calculation-theoretical method solves the problem of determining the elastic-rigid parameters of the rail track in the vertical plane within the symmetrical turnout switch and on their basis the force load and stress-strain state of the rail threads along its entire length has been determined by means of the theoretical calculations. The results of the calculations allowed to estimating the distribution of dynamic forces, stresses and strains along the length of the turnout switch, which is the basis for establishing the allowable speeds of running under appropriate operating conditions.

Experimental researches of vertical inequalities at crosspieces of turnout switches for conditions of the Kyiv underground of structures of types P50 and P65 of brand 1/9 have been carried out, character of their formation depending on the passed tonnage has been investigated, and average values of vertical inequalities have been received. Theoretical calculations determine the vertical dynamic forces of interaction of the system "wheel-rail" on the rolling surface of

the crosspieces of types P50 and P65 brand 1/9, which allows on the basis of the obtained values of dynamic forces of interaction to determine the allowable speeds of trains running on the structure.

Keywords: railway track, railway switches, geometrical parameters, railway frogs, slab track, rigidity, track elasticity, vertical irregularities, dynamic forces.

Список публікацій здобувача

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1) Molchanov V, Tverdomed V, Boiko V, Oliinyk O. Analysis of Vertical Irregularities and Dynamic Forces on the Switch Frogs of the Underground Railway. 7th International Scientific Conference “Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings” (Transbud-2018). – MATEC Web Conf. Volume 230, 2018, DOI <https://doi.org/10.1051/matecconf/201823001001>.

Статті у фахових виданнях України:

2) Даніленко Е.І., Йосифович Р.М., Сорока О.О., Олійник О.А. Дослідження впливу динамічних колісних навантажень, вантажонапруженості і швидкостей руху поїздів на міцність, стійкість і строки служби рейок, скріплень на інших елементів ВБК. Зб. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології», – Вип 22. – К.: ДЕТУТ, 2013. – С. 9-19.

3) Даніленко Е.І., Йосифович Р.М., Молчанов В.М., Олійник О.А. Про необхідність внесення змін в нормативні допуски по ширині рейкової колії в кривих на ділянках зі звичайними швидкостями руху поїздів та при впровадженні швидкісного руху на залізницях України. Науково-практичний журнал Залізничний транспорт України. – № 5. – 2014. – С. 36 – 41.

4) Олійник О.А. Особливості проектування і розрахунків симетричних стрілочних переводів для магістрального і промислового транспорту. Зб. наук. праць УкрДУЗТ. – Вип. 169 – Х.: УкрДАЗТ, 2017. – С. 54-63.

5) Даніленко Е.І., Черніцький Р.Р., Йосифович Р.М., Молчанов В.М.,

Олійник О.А., Сорока О.О. Впровадження прискореного і швидкісного руху поїздів на залізницях України потребує розробки і застосування нових нормативних допусків по ширині рейкової колії в прямих і кривих. Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України». – № 2. – 2017. – С. 45 - 54.

6) Олійник О.А., Сорока О.О. Розрахунок ширини мінімального жолобу в симетричному стрілочному переводі при кореневій відстані більшій за величину ходу шибєру стрілочного приводу ($U_n^0 > III_p$). Зб. наук. праць УкрДУЗТ. підписано до друку 05.03.2019 р. – Вип. 183 – Х.: УкрДАЗТ, 2019. – С. 9-17.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

7) Олійник О.А., Шевченко В.Г. Дослідження міцності і стійкості сучасних конструкцій верхньої будови колії різного конструктивного оформлення. Тези доповідей XLIII науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Залізничний транспорт: сучасні проблеми науки». 12 грудня 2013 р., - К.:ДЕТУТ, 2013. – С. 142-143.

8) Олійник О.А. Особливості проектування і розрахунків симетричних стрілочних переводів для магістрального і промислового транспорту. Тези доповідей VI-ї міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті. 19-21 квітня 2017 р., - Х.: УкрДАЗТ, 2017. – С. 212-214.

9) Олійник О.А., Сорока О.О. Розрахунок ширини мінімального жолобу в симетричному стрілочному переводі при кореневій відстані більшій за величину ходу шибєру стрілочного приводу ($U_n^0 > III_p$). Тези доповідей VII-ї міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті, присвячена 110-річчю з дня народження Заслуженого діяча науки і техніки України д.т.н. проф. Ангелейка В.І. 14-16 листопада 2018 р., - Х.: УкрДУЗТ, 2018. – С. 49-50.

10) Олійник О.А. Особливості розрахунку ширини мінімального жолобу в зоні відведеного криволінійного вістряка у симетричних стрілочних переводах. Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Технології та інфраструктура транспорту». Частина 1. 14-16 травня 2018 р., - Х.: УкрДУЗТ, 2018. – С. 45-47.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

11) Даніленко Е.І., Бойко В.Д., Твердомед В.М., Олійник О.А. на ін. Технічні умови на експлуатацію стрілочних переводів на коліях Київського метрополітену. К.: РВЦ КП «Київський метрополітен». 2015. – 19 с. – (Нормативний документ КП «Київський метрополітен»).

12) Даніленко Е.І., Бойко В.Д., Твердомед В.М., Молчанов В.М., Сорока О.О., Олійник О.А. Верхня будова колії. Стрілочні переводи. Правила визначення нормативних та гарантійних строків служби у різних експлуатаційних умовах. // стандарт АТ «Укрзалізниця» СТП 06041:2021 – К.: АТ «Укрзалізниця», 2021 р. – 48 с.

13) Даніленко Е.І., Бойко В.Д., Курган М.Б., Твердомед В.М., Молчанов В.М., Сорока О.О., Олійник О.А. Проектування і розрахунки конструкцій залізничної колії // Підручник для ВНЗ залізничної галузі в 2-х томах. – К.: «Хай-Тек Прес», 2019. – Том 1. – 344 с.

14) Даніленко Е.І., Бойко В.Д., Шраменко В.П., Скорик О.О., Твердомед В.М., Молчанов В.М., Сорока О.О., Олійник О.А. Проектування і розрахунки конструкцій залізничної колії // Підручник для ВНЗ залізничної галузі в 2-х томах. – К.: «Хай-Тек Прес», 2020. – Том 2. – 552 с.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1 Актуальність проблеми. Аналіз попередніх досліджень за темою дисертації та постановка задач дисертаційного дослідження	18
1.1 Актуальність проблеми, аналіз попередніх досліджень за темою дисертації	18
1.2 Вимоги, що пред'являються до конструкцій стрілочних переводів	22
1.3 Порівняння технічних характеристик симетричних та звичайних стрілочних переводів	24
1.4 Висновки до розділу 1	28
РОЗДІЛ 2 Проектування раціональних геометричних параметрів симетричних стрілочних переводів за умовами безпеки руху коліс в межах відведених вістряків	30
2.1 Розрахунок різностороннього симетричного стрілочного переводу	30
2.1.1 Розрахунок основних геометричних параметрів (головних проектних розмірів) симетричного стрілочного переводу з криволінійними вістряками	30
2.2 Детальний розрахунок елементів конструкції при проектуванні симетричного стрілочного переводу з криволінійними вістряками	35
2.2.1 Розрахунок довжини бічної строжки криволінійного вістряка симетричного стрілочного переводу	35
2.2.2 Розрахунок довжини рамних рейок і величини переднього і заднього вильоту рамної рейки	39

2.2.3	Визначення довжини рейок, що входять до складу симетричного стрілочного переводу з криволінійними вістряками	45
2.2.4	Розрахунок координат для розбивки перевідної кривої симетричного стрілочного переводу з криволінійними вістряками	46
2.2.5	Проектування ширини колії в межах симетричного стрілочного переводу	48
2.2.6	Проектування епюри розкладки брусів в межах з'єднувальних колій симетричного стрілочного переводу ...	51
2.2.7	Розрахунок ширини мінімального жолоба між рамною рейкою і відведеним вістряком стрілочного переводу	51
2.2.7.1	Методика визначення мінімальної ширини жолобу при $U_n^0 > III_p$	54
2.2.7.1.1	Результати розрахунків мінімальної ширини жолоба при $U_n^0 > III_p$	70
2.2.7.2	Методика визначення мінімальної ширини жолобу при $U_n^0 < III_p$	74
2.2.7.2.1	Результати розрахунків мінімальної ширини жолоба при $U_n^0 < III_p$	81
2.5.	Висновки до розділу 2	87
РОЗДІЛ 3	Визначення пружно-жорсткісних параметрів рейкової колії та силової завантаженості рейкових ниток в межах симетричних стрілочних переводів	89
3.1	Аналіз конструктивних особливостей стрілочних переводів та їхній вплив при розрахунку динамічних сил взаємодії в системі колія-екіпаж	89

3.2 Теоретичне розв'язання задачі визначення пружно-жорсткісних характеристик колії в зоні стрілочних переводів	92
3.2.1 Розробка загального алгоритму рішення задачі	95
3.2.2. Розрахунок пружних прогинів стрілочних брусів та згинальних моментів будь-якому їх перерізі під дією вертикальних сил	96
3.2.3 Визначення сумарної точкової жорсткості підрейкових опор та вертикального модуля пружності підрейкової основи ...	102
3.2.4. Визначення сумарної жорсткості рейкових ниток. Розрахунок прогинів рейкових ниток	108
3.3. Розрахунок жорсткісних параметрів колії	109
3.3.1. Модулі для виконання комплексних розрахунків модуля пружності підстрілочної основи, вертикальної жорсткості та вертикальних динамічних прогинів рейкових ниток	109
3.3.2 Узагальнення отриманих результатів	121
3.4 Висновки до розділу 3	124
РОЗДІЛ 4 Дослідження вертикальних сил взаємодії на вертикальних нерівностях поверхні кочення хрестовин стрілочних переводів ...	
4.1 Визначення вертикальних нерівностей на хрестовинах	128
4.2. Експериментальні вимірювання вертикальних нерівностей на хрестовинах стрілочних переводів метрополітену	131
4.2.1 Методика вимірювань вертикальних нерівностей на хрестовинах стрілочних переводів	131
4.2.2 Характеристики стрілочних переодів вибраних для досліджень вертикальних нерівностей	134
4.2.3 Результати вимірювань вертикальних нерівностей на хрестовинах типу Р50 і Р65 марки 1/9	138

4.2.4 Аналіз результатів дослідження вертикальних нерівностей на хрестовинах	151
4.3 Вибір розрахункової схеми для визначення динамічних сил взаємодії на хрестовинах стрілочних переводів	154
4.3.1 Математична модель взаємодії при русі по нерівностях на хрестовинах стрілочних переводів метрополітену	158
4.3.2 Розрахункові параметри колії та рухомого складу	162
4.3.3 Розрахунок динамічних сил в системі взаємодії «екіпаж – колія» на хрестовинах	164
4.4 Висновки до розділу 4	173
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	176
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	178
ДОДАТОК А Розрахунок геометричних параметрів симетричних стрілочних переводів типу Р50 марок 1/9 і 1/11	191
Додаток Б Результати розрахунку брусів на згин при дії одиничних сил та результуючі жорсткісні параметри	219
Додаток В Натурні траєкторії руху по хрестовинах стрілочних переводів	236
Додаток Г Програма розрахунку сил взаємодії в системі «екіпаж-колія» при русі по вертикальних нерівностях стрілочних переводів	247
Додаток Д Впровадження матеріалів дисертаційної роботи	251

ВСТУП

Актуальність теми. Стрілочні переводи є ключовими конструкціями в з'єднаннях і розгалуженнях залізничних колій. Вони дозволяють влаштовувати відгалуження однієї колії від іншої, з'єднувати дві або декілька колій в одну і саме так забезпечувати перевід рухомого складу з однієї колії на іншу і виконувати перевізний процес або формування поїздів на станціях.

Разом з тим стрілочні переводи є бар'єрним місцем в колії для призначення допустимих швидкостей руху поїздів по головних коліях, так як вони мають спеціальні конструктивні прилади для відгалуження руху від головної колії на другорядну. Тому наукові дослідження роботи стрілочних переводів при взаємодії з рухомим складом є завжди актуальні, так як вони дозволяють отримати інформацію щодо напружено-деформативного стану конструкції стрілочних переводів та допустимим швидкостям руху поїздів, як по головній, так і по боковій колії. Симетричні стрілочні переводи за своїм призначенням і конструкцією мають суттєві відмінності від найбільш розповсюджених звичайних стрілочних переводів, і тому дослідження даних конструкцій є важливим й актуальним питанням.

Тим більше, що таким дослідженням на українських залізницях було присвячено зовсім мало наукових праць. А що стосується теоретичних питань, пов'язаних з розрахунками і проектуванням симетричних стрілочних переводів, то можна назвати лише одиничні наукові праці, виконані під керівництвом проф. Е.І. Даніленка в ДНУЗТ у 1994-98 рр., такі як навчальний посібник «Стрелочные переводы железных дорог Украины; збірник наукових праць «Взаимодействие пути и подвижного состава», 1997 р. та в ДУІТ (ДЕТУТ) в 2010-2020 рр. «Проектування і розрахунки конструкцій залізничної колії». Підручник для вищих навчальних закладів, у 2-х томах. Таким чином тема даної дисертації, в якій досліджені питання раціонального проектування симетричних стрілочних переводів, визначення пружно-жорсткісних характеристик і деформаційно-напруженого стану рейкових ниток переводів при взаємодії з рухомим складом, є актуальною як для

спеціальності 05.22.06 – залізнична колія в цілому, так і окремо для підприємств залізничного транспорту на магістральних залізницях, промислового транспорту і метрополітенах.

Більшість наукових досліджень з тематики стрілочних переводів у вітчизняній науці (в колишньому СРСР в 1950-х-2000 рр. і далі до 2020 р.) були проведені в ПДУШС (С-Петербург, Росія) на кафедрі «Залізнична колія» під керівництвом проф. С.В. Амеліна та в ВНДІЗТ у «Стрілочній лабораторії» (Москва, Росія) під керівництвом к.т.н. Г.І. Іващенко, д.т.н. М.М. Путрі, д.т.н. Б.Е. Глюзберга.

В Україні основні дослідження за тематикою стрілочних переводів в той же час проводилась в ДІТ (ДНУЗТ) (Дніпро, Україна) на кафедрі «Колія та колійне господарство» під керівництвом проф. М.А. Фрішмана та проф. Ю.Д. Волошко, а з 2000 року в ДЕТУТ (ДУІТ) (Київ, Україна) під керівництвом проф. Е.І. Даніленка.

Суттєвий вклад в наукові дослідження за тематикою стрілочних переводів внесли наступні вчені: в Росії – д.т.н., професори Шахунянц Г.М., Амелін С.В., Яковлев В.Ф., Смірнов М.П., Глюзберг Б.Е., Путря М.М.; к.т.н. Іващенко Г.І., Єлсаков М.М., Титаренко М.І., Абросімов В.І., Семенов І.І., Трофімов А.М., Гниломедов В.В., Фролов Л.М. та ін; в Україні – д.т.н., професори Фрішман М.А., Ангелейко В.І., Волошко Ю.Д., Даніленко Е.І., Курган М.Б.; к.т.н. Шатерков В.І., Орловський А.М., Липовський Р.С., Татуревич А.П., Тараненко С.Д., Молчанов В.М., Бойко В.Д., Твердомед В.М., Шраменко В.П.

Крім того, в деяких країнах колишнього СРСР також відомі ряд фахівців, що внесли певний вклад в дослідження стрілочних переводів, а саме: к.т.н. Смиков Е.К., Матвєцов В.І., Ковтун П.В. (Білорусь); к.т.н. Мналімов Т.М. (Казахстан) та ін.

Питанням проектування раціональних параметрів стрілочних переводів займались значно менша кількість дослідників та науковців, тим більше зовсім небагато дослідників займались питаннями проектування параметрів симетричних стрілочних переводів. До таких науковців можна віднести

наступних докторів технічних наук: Березовський М.В., Амелін С.В., Яковлев В.Ф., Шахунянц Г.М., Говоров В.В., Даніленко Е.І.; кандидати технічних наук Єлсаков М.М., Семенов І.І., Глокман Ю.Ц., Смиков Е.К., Тараненко С.Д., Молчанов В.М.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації відповідає загальній галузевій програмі модернізації колійного господарства Укрзалізниці, вдосконалення конструкцій та системи експлуатації стрілочних переводів на залізницях України та на лініях метрополітенів.

Тема дисертації також пов'язана з планами науково-дослідних робіт Державного університету інфраструктури та технологій: «Розробка та обґрунтування технічних параметрів та характеристик рейкових скріплень типу КПП для залізобетонних шпал», договір №605/03-74/03-Цтех від 10.12.2003 р.; «Проведення досліджень з розробки та обґрунтування застосування нових типів і конструкцій рейко-шпальної решітки з залізобетонними шпалами з використанням ресурсозберігаючих технологій», договір №320/05-57/05-Цтех від 02.03.2005 р.; «Встановлення умов експлуатації рейок і стрілочних переводів на коліях Київського метрополітену» договір №55-П-13 від 01.10.2013 р.; «Дослідження можливостей розширення сфер застосування проміжного пружного рейкового скріплення типу КПП-5 на ділянках колії з вантажонапруженістю до 60 млн. т км бруто/км на рік», договір №148-ГД від 08.12.2016 р.; «СТП. Залізнична колія. Улаштування й утримання», договір №4/34-19 від 10.10.2019 р.

А також в процесі роботи на дисертацією автор брала участь у розробці наступних нормативно-технічних документів для галузі Укрзалізниці та КП «Київський метрополітен»: Технічні умови на експлуатацію стрілочних переводів на коліях Київського метрополітену (наказ КП «Київський метрополітен» №169-Н від 29.04.2015 р.); СТП 06041:2021 Верхня будова колії. Стрілочні переводи. Правила визначення нормативних та гарантійних строків служби у різних умовах експлуатації.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є розробка наукових основ проектування симетричних стрілочних переводів за умовами безпеки руху коліс в межах відведених вістряків.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішувати наступні завдання:

- виконати аналіз попередніх наукових досліджень за темою, що означена в дисертації;
- проаналізувати існуючі розмірні параметри симетричних стрілочних переводів найбільш розповсюджених марок для звичайних умов експлуатації (1/7, 1/9, 1/11) та визначити раціональні розміри жолобів між рамними криволінійними рейками і відведеними криволінійним вістряками в зоні прилягання вістряків до рамних рейок;
- визначити раціональні пружно-жорсткісні параметри рейкових ниток в межах симетричного стрілочного переводу за умовою недопущення їх граничних деформацій при взаємодії з колесами рухомого складу;
- визначити силову динаміку між колесами і колією на основі визначення вірогідних вертикальних траєкторій перекочування коліс по хрестовині з метою недопущення небезпечних силових дій рухомого складу на хрестовину симетричного стрілочного переводу.

Об'єкт дослідження – симетричні стрілочні переводи як специфічні конструкції з'єднань та відгалужень залізничних колій магістральних та промислових залізниць і залізниць метрополітенів.

Предмет дослідження – метод проектування раціональних параметрів симетричних стрілочних переводів найбільш розповсюджених марок 1/9, 1/11 за умовою забезпечення безпеки руху поїздів в межах жолобів між рамною рейкою і відведеним вістряком в зоні прилягання вістряків до рамних рейок, а також за умовою недопущення граничних деформацій рейкових ниток при їх взаємодії з колесами рухомого складу і за умовою недопущення небезпечних силових дій від рухомого складу на рейкові елементи симетричних стрілочних переводів.

Методи досліджень. Для вирішення поставлених в роботі задач використано наступні методи: системний аналіз раніше виконаних

досліджень; методи математичної статистики і множинної кореляції; математичний аналіз і теорія диференційних рівнянь; математичне моделювання і математичне прогнозування; математичне програмування і рішення задач на ЕОМ.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що проектування раціональних параметрів симетричних стрілочних переводів найбільш розповсюджених марок 1/9, 1/11 засновується на декількох науково-технічних принципах: 1) забезпечення безпеки руху поїздів в межах стрілочного переводу на основі визначення раціональних розмірів жолобів між рамною рейкою і відведеним вістряком в зоні прилягання вістряка до рамної рейки; 2) визначення раціональних пружно-жорсткісних параметрів рейкових ниток за умовою недопущення їх граничних деформацій при взаємодії з рухомим складом; 3) визначення вірогідних вертикальних траєкторій перекочування коліс по хрестовинах з метою недопущення небезпечних силових дій від рухомого складу на рейкові елементи симетричних стрілочних переводів.

Розгляд в комплексі вказаних принципів при проектуванні стрілочних переводів вперше для вітчизняних залізниць застосовується для проектування раціональних параметрів симетричних стрілочних переводів.

Наукова новизна також полягає в тому, що вперше для українських залізниць вирішена задача визначення і проектування раціональних розмірів вістряків симетричних стрілочних переводів за умовами визначення безпечних і раціональних розмірів жолобів між рамною рейкою і відведеними вістряками в зоні їх прилягання до рамної рейки. Наукова новизна також полягає в тому, що вперше для українських залізниць методом теоретичних розрахунків визначені пружно-жорсткісні параметри рейкових ниток у вертикальній площині для симетричних стрілочних переводів, що укладені на жорсткій шпально-щебенево-бетонній основі.

Практичне значення отриманих результатів полягає:

по-перше, в тому, що із застосуванням запропонованого методу визначення і проектування раціональних розмірів вістряків симетричних

стрілочних переводів можна отримувати раціональну скорочену проектну довжину симетричних стрілочних переводів, які будуть мати меншу вартість при забезпеченні безпеки руху поїздів;

по-друге, в тому, що із застосуванням результатів вказаних вертикальних траєкторій перекочування коліс по хрестовині і наступного вирішення задачі визначення вірогідних динамічних сил взаємодії між колесами і хрестовиною, можна в результаті встановлювати напружено-деформований стан хрестовини і на цій основі призначати допустимі швидкості руху поїздів по стрілочних переводах, що експлуатуються в різних умовах;

по-третє, в результаті виконаних в дисертації досліджень і розрахунків покращені практичні параметри існуючого симетричного стрілочного переводу типу Р50 марки 1/9 проекту 2064 Дн, що виготовляється промисловістю, а саме: зменшена практична та теоретична довжини відповідно на 2,192 м і 2,020 м, також зменшилась довжина перевідної кривої на 3,260 м і з'явилась пряма вставка перед хрестовиною довжиною 2,495 м.

Особистий внесок здобувача. Постановку мети й завдань досліджень виконано разом з науковим керівником. Усі наукові положення, розробки й результати досліджень, що виносяться на захист, отримані особисто автором. У наукових працях, що опубліковані в співавторстві, особистий внесок автора наступний: проведення експериментальних досліджень з визначення вертикальних траєкторій руху поїздів в межах хрестовини; проведення розрахунків на міцність та стійкість елементів верхньої будови колії; дослідження процесів вписування екіпажів в криві; аналіз нормативних показників щодо утримання плавності кривих; розробка нової методики розрахунків і проектування симетричних стрілочних переводів; розробка одного з методів розрахунку мінімального жолоба між відведеним вістряком і рамною рейкою; експериментальні дослідження геометричних параметрів стрілочних переводів; розробка методики проектування симетричних стрілочних переводів та приклади їх розрахунків.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати

дисертаційної роботи доповідались на міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференціях: XLIII науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів «Залізничний транспорт: сучасні проблеми науки» Державного економіко-технологічного транспорту Міністерства освіти і науки України (м. Київ, 12 грудня 2013 р.); VI Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України (м. Харків, 19-21 квітня 2017 р.); Міжнародна науково-технічна конференція «Технології та інфраструктура транспорту» Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України (м. Харків, 14-16 травня 2018 р.); 78 Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України (м. Дніпро, 17-18 травня 2018 р.); VII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України (м. Харків, 14-16 листопада 2018 р.);

Публікації. Основні наукові результати дисертаційної роботи опубліковано у 14 наукових працях, з яких: 1 стаття у виданнях інших держав, яка індексується в міжнародній наукометричній базі Scopus; 5 статей у виданнях, що входять до переліку фахових видань України, 4 праці апробаційного характеру та 4 праці, що додатково відображають результати роботи.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох основних розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 117 найменувань і додатків. Основний текст викладений на 177 сторінках. Текст ілюструється 51 рисунком і містить 22 таблиці.

РОЗДІЛ І

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ. АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Актуальність проблеми, аналіз попередніх досліджень за темою дисертації

Стрілочні переводи є найбільш складними конструкціями верхньої будови колії на залізницях як магістрального, так і на промислових підприємствах та метрополітенах. Стрілочні переводи є ключовими конструкціями в з'єднаннях і розгалуженнях залізничних колій. Вони дозволяють влаштовувати відгалуження однієї колії від іншої, з'єднувати дві або декілька колій в одну і саме тим вирішувати проблему перевodu рухомого складу з однієї колії на іншу і саме так виконувати перевізний процес та формування або розформування рухомого складу на станціях.

Разом з тим стрілочні переводи є бар'єрним місцем в колії для призначення допустимих швидкостей руху поїздів по головних коліях [110, 111], так як вони мають спеціальні конструктивні прилади для відгалуження руху від головної колії на другорядну. Саме тому наукові дослідження роботи стрілочних переводів при взаємодії з рухомим складом є завжди актуальні, так як вони дозволяють отримати інформацію щодо напружено-деформативного стану елементів конструкції стрілочних переводів та допустимим швидкостям руху поїздів, як по головній, так і по боковій колії. Симетричні стрілочні переводи за своїм призначенням і конструктивним оформленням мають суттєві відмінності від найбільш розповсюджених звичайних стрілочних переводів і тому дослідження даних конструкцій є важливим і актуальним питанням.

Тим більше, що таким дослідженням на українських залізницях було присвячено зовсім мало наукових праць. А що стосується теоретичних питань, пов'язаних з розрахунками і проектуванням симетричних стрілочних

переводів, то можна назвати лише одиничні наукові праці, виконані під керівництвом проф. Е.І. Даніленка в ДНУЗТ у 1994-98 рр. – Даниленко Э. И. Стрелочные переводы железных дорог Украины (Технология производства, эксплуатация в пути, расчеты и проектирование); збірник наукових праць ДІТ «Взаимодействие пути и подвижного состава», 1997 р. та в ДУІТ (ДЕТУТ) в 2010-2020 рр. – Даніленко Е.І. Проектування і розрахунки конструкцій залізничної колії. Підручник для вищих навчальних закладів, том 2. Таким чином тема даної дисертації, в якій досліджені питання раціонального проектування симетричних стрілочних переводів, визначення пружно-жорсткісних характеристик і деформаційно-напруженого стану рейкових ниток таких переводів при взаємодії з рухомим складом є актуальною як для спеціальності 05.22.06 – залізнична колія в цілому, так і окремо для підприємств залізничного транспорту на магістральних залізницях, промисловому транспорту і метрополітенах.

Стрілочні переводи сумісно з іншими з'єднаннями і пересіченнями залізничних колій складають окрему частину як дисципліни, так і спеціальності «Залізнична колія», вивчення і тим більш наукові дослідження з даної тематики, що включають експериментальні випробування і теоретичні дослідження завжди були актуальні та займали один із важливих напрямків досліджень в цілій галузі «Залізничної колії».

Більшість наукових досліджень з тематики стрілочних переводів у вітчизняній науці (в колишньому СРСР починаючи з 1950-х до 2000 рр. і далі до 2020 р.) були проведені в ПДУШС (С-Петербург, Росія) на кафедрі «Залізнична колія» під керівництвом проф. С.В. Амеліна [1, 2, 3] та в ВНДІЗТ у «Стрілочній лабораторії» (Москва, Росія) під керівництвом к.т.н. Г.І. Іващенко [4, 5], д.т.н. Путри Н.Н. [6], д.т.н. Глюзберга Б.Е. [7].

В Україні основні дослідження за тематикою стрілочних переводів в той же час проводилась в ДІТ (ДНУЗТ) (Дніпро, Україна) на кафедрі «Колія та колійне господарство» під керівництвом д.т.н., проф. М.А. Фрішмана [8, 9] та д.т.н. Ю.Д. Волошко [10, 11], а з 2000 року в ДЕТУТ (ДУІТ) (Київ, Україна) під керівництвом д.т.н., проф. Е.І. Даніленка [12, 13, 14].

Частково до 1990-х рр. за тематикою стрілочних переводів проводились в ХІІТ (зараз УкрДУЗТ, Харків, Україна) під керівництвом д.т.н., проф. Ангелейка В.І. [15, 16].

Суттєвий вклад в наукові дослідження за тематикою стрілочних переводів внесли наступні вчені: в Росії – доктори технічних наук, професори Шахунянц Г.М., Амелін С.В., Яковлев В.Ф., Смірнов М.П., Глюзберг Б.Е., Желнін Г.Г., Путря М.М.; кандидати технічних наук Іващенко Г.І., Єлсаков М.М., Титаренко М.І., Абросімов В.І., Семенов І.І., Трофімов А.М., Гніломедов В.В., Фролов Л.М. та ін; в Україні – доктори технічних наук, професори Фрішман М.А., Ангелейко В.І., Волошко Ю.Д., Даніленко Е.І., Данович В.Д., Курган М.Б.; кандидати технічних наук Шатерков В.І., Орловський А.М., Липовський Р.С., Татуревич А.П., Тараненко С.Д., Молчанов В.М., Бойко В.Д., Твердомед В.М., Сушков В.М., Шраменко В.П.

Крім того, в деяких країнах колишнього СРСР також відомі ряд фахівців, що внесли певний вклад в дослідження стрілочних переводів, а саме: кандидати технічних наук Смиков Е.К. [17, 18], Матвєцов В.І., Ковтун П.В. (Білорусь) [19]; кандидат технічних наук – Мналімов Т.М. (Казахстан) [20].

Питанням проектування раціональних параметрів стрілочних переводів займались значно менша кількість дослідників та науковців, тим більше зовсім небагато дослідників займались питаннями проектування параметрів симетричних стрілочних переводів. До таких науковців можна віднести наступних докторів технічних наук Березовський М.В. [21, 22], Амелін С.В., Яковлев В.Ф. [23, 24, 25], Шахунянц Г.М. [26, 27], Говоров В.В. [28], Даніленко Е.І. [29, 30, 31]; кандидати технічних наук Янковський А.К., Шлигін М.І., Литвин Г.А. [32], Єлсаков М.М. [33, 34, 35], Семенов І.І. [36, 37], Глокман Ю.Ц. [38], Смиков Е.К. [17, 18], Молчанов В.М. [39, 40].

Основні наукові питання, які розглядались в більшості досліджень щодо стрілочних переводів, які були виконані раніше в перерахованих вище наукових школах відносились до вирішення наступних задач: дослідження напружень і деформацій в рейкових елементах стрілочних переводів різних

типів і марок; встановлення допустимих швидкостей руху поїздів на основі допустимих напружень і деформацій; визначення інтенсивності зносу на накопичення дефектів в рейкових елементах стрілочних переводів та встановлення строків їх служби в різних експлуатаційних умовах; встановлення допустимих швидкостей по прямому і боковому напрямках стрілочного переводу та деякі інші питання.

Однак, у виконаних на українських залізницях дослідженнях не розглядалось у комплексі питання проектування раціональних параметрів симетричних стрілочних переводів на основі безпеки руху поїздів в межах жолобу відведених вістряків сумісно з питанням визначення пружно-жорсткісних параметрів рейкових ниток в межах стрілочного переводу, а також сумісно з питаннями визначення силової динаміки між колесами і колією на основі визначення вірогідних вертикальних траєкторій перекочування коліс по хрестовині.

Таким чином сформульована постановка задач дисертаційного дослідження у наступному вигляді:

1) Проаналізувати існуючі розмірні параметри симетричних стрілочних переводів найбільш розповсюджених марок для звичайних умов експлуатації (1/7, 1/9, 1/11) та визначити раціональні розміри жолобів між рамними криволінійними рейками і відведеними криволінійним вістряками в зоні прилягання вістряків до рамних рейок;

2) Визначити раціональні пружно-жорсткісні параметри рейкових ниток в межах симетричного стрілочного переводу за умовою недопущення їх граничних деформацій при взаємодії з колесами рухомого складу;

3) Визначити силову динаміку між колесами і колією на основі визначення вірогідних вертикальних траєкторій перекочування коліс по хрестовині з метою недопущення небезпечних силових дій рухомого складу на хрестовину симетричного стрілочного переводу.

1.2 Вимоги, що пред'являються до конструкцій стрілочних переводів

Стрілочні переводи і пересічення колій спеціально призначені для здійснення з'єднання і пересічення залізничних колій, без їх застосування неможливо вирішити задачі щодо розгалуження і розвитку колій на станціях, перевodu рухомого складу з однієї колії на іншу, по пересіченню однієї колії з іншою, формуванню і розформуванню поїздів та ін., тобто неможливо здійснювати перевізний процес на залізницях у цілому.

Стрілочні переводи є ключовими конструкціями не лише для здійснення перевізного процесу в цілому, але й для вирішення, наприклад, таких важливих завдань на транспорті, як швидкостей руху поїздів, збільшення провізної і пропускної спроможності залізниць.

Як показано в дослідженнях проф. Е.І. Даніленка [30, 31], практично не можна збільшити швидкості на ділянці в цілому, та й на перегоні зокрема, якщо не вирішена задача підвищення швидкостей руху по стрілочних переводах укладених в головних коліях станцій даної ділянки. А підвищення швидкостей руху по стрілочних переводах потребує розробки і впровадження нових конструкцій та конструктивних вузлів стрілочних переводів.

Проектування та розрахунки конструкцій стрілочних переводів – є складною інженерною та науково-дослідною задачею. Технічні вимоги, що пред'являються до конструкцій стрілочних переводів і визначають у кінцевому підсумку вибір їх конструкції і параметрів, повинні враховувати весь комплекс експлуатаційних умов обертання рухомого складу, безпеки руху поїздів і можливості тривалої експлуатації конструкцій для забезпечення перевізного процесу на залізницях.

Як вказано в працях проф. Е.І. Даніленко [30, 31, 32] при конструюванні стрілочних переводів необхідно, щоб були виконані наступні головні вимоги щодо безпеки руху:

- 1 - вимоги з міцності конструкції;

2 - вимоги зі стійкості конструкції проти зсуву в горизонтальній площині (у повздовжньому і поперечному напрямках);

3 - вимоги зі стійкості рухомого складу проти перекидання при русі по стрілочним переводам на бокову колію;

4 - вимоги зі стійкості проти заповзання гребеня колеса на вістряк при вкочуванні на стрілку;

5 - вимоги щодо фізіологічної комфортності їзди пасажирів;

6 – вимоги з забезпечення стійкості вантажів на рухомому складі;

7 – вимоги щодо безпечної експлуатації конструкцій при багатоцикловому впливі коліс рухомого складу (впродовж нормативного строку служби).

До факторів, що визначають основні принципи конструювання і вибір основних параметрів, відносяться:

- технологічне призначення колій, для яких проектується перевід (магістральні шляхи, промисловий транспорт, високошвидкісний рух і т.д.);
- величини вертикальних колісних навантажень на рейки від рухомого складу, що обертається;
- величини діючих на рейки горизонтальних сил;
- швидкості руху потягів;
- інтенсивність впливу колісних навантажень, тобто вантажонапруженість ділянки, яка проектується;
- тривалість терміну служби стрілочного переводу, яка проектується.

Конструкція стрілочних переводів у цілому і їх окремих вузлів повинна завжди відповідати умовам експлуатації, забезпечувати безпеку руху поїздів із встановленими швидкостями руху. Конструкції стрілочних переводів повинні постійно удосконалюватись, вони не мають відставати від динаміки нарощування потужності верхньої будови коліїв у цілому, повинні враховувати умови експлуатації, які змінюються, втілювати в собі сучасні досягнення вітчизняної і закордонної науки, і техніки, і повинні відповідати рівню світових стандартів.

1.3 Порівняння технічних характеристик симетричних та звичайних стрілочних переводів

Технічні характеристики симетричних стрілочних переводів суттєво і якісно відрізняються від характеристик звичайних стрілочних переводів. А саме (табл. 1.1, табл. 1.2): при однакових типі і марці звичайного і симетричного стрілочного переводу, симетричні переводи мають наступні переваги: дозволяють реалізувати більш високі швидкості руху поїздів на боковий напрям (тобто $V_{сим} = 1,5V_{звич}$ [18]); мають меншу теоретичну і практичну довжину (при рівних радіусах перевідних кривих довжина симетричного переводу менша довжини звичайного переводу приблизно на 30% [18]); займають менші технологічні майданчики при укладанні в колію, що дозволяє широко їх застосовувати в умовах станційних і гірочних колій, а також на коліях промислового транспорту, де вартість технологічних майданчиків особливо висока; також симетричні переводи більш технологічні при виготовленні та мають меншу вартість за рахунок довжини їх елементів.

Разом з тим, таку особливість симетричних стрілочних переводів, як однаковий кут відгалуження на обидві сторони від головної колії можна, в деяких випадках, оцінювати як недолік, особливо тоді, коли по головній колії реалізуються швидкості руху більше $V=80$ км/год і тим більше при реалізації швидкостей руху прискорених $V=$ до 160 км/год та швидкісних поїздів $V=$ до 200 км/год (за кваліфікацією швидкостей руху на залізницях України). Однак, на ряді залізниць за кордоном (наприклад у Франції), де реалізується швидкісний і високошвидкісний рух пасажирських поїздів ($V=$ до 250 км/год і більше) (табл. 1.3) вказана особливість не вважається недоліком і в таких випадках застосовуються симетричні стрілочні переводи марок 1/36 – 1/40 по прийнятій кваліфікації на залізницях УЗ (на закордонних залізницях вказані марки кваліфікуються кутом відгалуження α).

Таблиця 1.1

Технічні характеристики стрілочних переводів, які застосовуються на коліях магістрального транспорту для звичайних умов експлуатації [44]

№ п/п	Тип і марка	№ проекту	Кут стрілочного переводу, α	Початковий кут вістряка, β_n	Конструкція кореневого кріплення	Повний кут вістряка, β_n	Радіус вістряка, R_0 , м	Довжина вістряка, l_0 , м	Довжина рамної рейки, l_{pp} , м	Радіус перевідної кривої, R , м	Теоретична довжина переводу L_T , м	Повна довжина переводу, L_{II} , м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Звичайні стрілочні переводи												
	<u>P65</u> 1/18	Дн 060	3°10'12,5"	0°18'	Гнучке	---	962,500	21,170	25,0	962,500	49,258	61,660
	<u>P65</u> 1/18	Дн 365	3°10'12,5"	0°18'	Гнучке	---	961,690	15,500	25,0	961,690	49,258	57,515
	<u>P65</u> 1/11	Дн 200	5°11'40"	0°27'19,56"	Гнучке	2°30'30,8"	300,000	10,750	13,130	338,095	28,428	33,363
	<u>P65</u> 1/11	Дн 290	5°11'40"	0°27'19,56"	Вклад.-накладочне	2°02'26,22"	300,000	8,300	12,500	300,000	28,048	33,363
	<u>P65</u> 1/11	Дн 300	5°11'40"	0°27'19,56"	Гнучке	2°30'30,8"	300,000	10,750	13,130	338,095	28,428	34,858
	<u>P65</u> 1/11	Дн 345	5°11'40"	---	Гнучке	---	300,000	18,985 ВП 18,935 ВК	20,855 РРП 20,768 РРК	300,000	28,962	33,363
	<u>P65</u> 1/11	Дн 400	5°11'40"	0°27'19,56"	Гнучке	2°30'30,8"	300,000	10,750	13,130	338,095	28,428	39,063
	<u>P65</u> 1/11	2193	5°11'40"	0°27'19,56"	Гнучке	---	300,000	10,750	12,500	300,000	28,048	32,384
	<u>P50</u> 1/11	2497	5°11'40"	0°40'51,50"	Вклад.-накладочне	---	297,259	6,515	12,500	297,259	26,902	33,525
	<u>P65</u> 1/11	2889Дн	5°11'40"	0°19'30,7"	Гнучке	---	200,000	10,750	12,500	200,000 350,000	28,927	33,348
	<u>P65</u> 1/11	65111Ж01	5°11'40"	0°27'19,56"	Гнучке	2°30'30,8"	300,000	10,750	13,130	338,095	28,428	33,363
	<u>P65</u> 1/9	2434	6°20'25"	0°27'19,56"	Вклад.-накладочне	---	300,000	8,300	12,500	200,060	26,180	31,035
	<u>P50</u> 1/9	2498	6°20'25"	0°40'51,50"	Вклад.-накладочне	---	297,259	6,515	12,500	200,000	24,854	31,057
	<u>P65</u> 1/9	65109Ж01	6°20'25"	0°27'19,56"	Гнучке	2°30'30,8"	300,000	10,750	13,130	204,075	26,300	31,035

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Симетричні стрілочні переводи												
	<u>P65</u> 1/6	Дн 755-00	9°27'45"	0°39'9"	Вклад.-накладочне	2°16'07"	200,170	5,640	1,2500	200,170	15,426	20,534
	<u>P65</u> 1/6	Дн 755-03	9°27'45"	0°39'9"	Вклад.-накладочне	2°16'07"	200,170	5,640	9,504	200,170	15,426	17,538
	<u>P50</u> 1/6	1581-01	9°27'45"	0°39'02,14"	Вклад.-накладочне	1°53'20,92"	200,770	4,340	6,116	200,770	15,426	17,538
	<u>P65</u> 1/6	1581-03	9°27'45"	0°39'02,14"	Вклад.-накладочне	1°53'20,92"	200,770	4,340	9,336	200,770	15,426	17,538
	<u>P50</u> 1/9	2064Дн	6°20'25"	0°34'28,35"	Вклад.-накладочне	1°00'32,81"	---	6,515	12,500	421,939	25,210	31,410
	<u>P50</u> 1/11	2063Дн	5°11'40"	0°34'28,35"	Вклад.-накладочне	1°00'32,81"	---	6,515	12,500	540,0	26,580	33,201
	<u>P65</u> 1/6	2307-11	9°27'45"	0°39'02,14"	Вклад.-накладочне	2°10'38,56"	200,770	5,350	8,000	200,770	15,426	17,538
	<u>P65</u> 1/6	2307-13	9°27'45"	0°39'02,14"	Вклад.-накладочне	2°10'38,56"	200,770	5,350	10,996	200,770	15,426	20,534

Таблиця 1.2

Технічні характеристики стрілочних переводів, які застосовуються на коліях для промислового транспорту [44]

№ п/п	Тип і марка	№ проекту	Кут стрілочного переводу, α	Початковий кут вістряка, β_n	Конструкція кореневого кріплення	Повний кут вістряка, β_n	Радіус вістряка, R_0 , м	Довжина вістряка, l_0 , м	Довжина рамної рейки, l_{pp} , м	Радіус перевідної кривої, R , м	Теоретична довжина переводу L_T , м	Повна довжина переводу, L_{II} , м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	<u>P65</u> 1/9	Дн 520	6°20'25"	0°32'46"	Вклад.-накладочне	2°02'16"	300,000	7,810	12,500	201,279	25,184	29,643
	<u>P65</u> 1/9	Дн 1142	6°20'25"	0°32'46"	Вклад.-накладочне	1°55'16"	300,000	7,200	12,500	201,279	25,184	29,643
	<u>P65</u> 1/9	ЛПТП.665121	6°20'25"	0°58'16,67"	Вклад.-накладочне	2°45'47,88"	200,000	6,515	12,500	200,000	21,871	26,039
	<u>P65</u> 1/7	Д822	8°07'48,36"	0°55'55,9"	Вклад.-накладочне	2°33'4,04"	180,495	5,100	12,500	128,264	18,978	22,425

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	$\frac{P65}{1/7}$	ЛПТП.665121	8°07'48"	1°48'06,70"	Вклад.- накладочне	3°10'22,87"	159,500	4,150	12,500	159,500	17,873	22,421
	$\frac{P65}{1/6}$	Дн 610	9°27'45"	0°55'56"	Вклад.- накладочне	2°33'20"	180,000	5,100	12,500	96,978	17,591	21,172
	$\frac{P65}{1/5}$	ЛПТП.665121	11°18'36"	2°	Вклад.- накладочне	3°44'11,17"	74,750	3,575	8,330	74,750	13,741	15,826

Таблиця 1.3

Технічні характеристики стрілочних переводів, які застосовуються для високих швидкостей руху [29]

Країна	Марка переводу	Вид переводу	Кут стрілочного переводу, α	Початковий кут вістряка, β_n	Довжина вістряка, l_0 , м	Вид вістряка і конструкція кореневого кріплення	Радіус вістряка, R_0 , м	Радіус перевідної кривої, R , м	Повна довжина переводу, L_{II} , м	Допустима швидкість руху, $V_{доп}$, км/год по пр. напр/по бок. напр.
СНД	1/22	звичайний	2°36'9,22"	0°21'41,49"	18,500	січний, гнучкий	3308,0	1444,560	70,540	140/120
	1/18	звичайний	3°10'12,5"	0°25'	15,500	січний, гнучкий	961,690	963,870	61,814	200/80
	1/18	звичайний	3°10'12,5"	0°25'	15,500	січний, гнучкий	961,690	961,690	57,519	140/80
	1/11	звичайний	5°11'40"	0°39'11,4"	12,500	січний, гнучкий	300,000	300,000	37,647	200/50
	1/11	звичайний	5°11'40"	0°39'11,4"	12,500	січний, гнучкий	400,000	300,000	34,478	160/50
	1/11	симетричний	5°11'40"	0°23'41"	8,300	січний, вклад.- наклад.	600,000	600,000	31,881	70/70
США	1/20	звичайний	2°51'44,66"	0°22'	13,716	січний	1045,0	1060,0	55,31	---/80
	1/20	симетричний	2°51'44,66"	0°15'40,3"	11,887	січний	3000,0	3000,0	63,0	142/142
Франція	1/20	звичайний	2°51'44,66"	0°25'	15,000	---	2000,0	1500,0	58,872	---/100
	1/33	звичайний	1°44'8,54"	0°18'	16,000	---	3000,0	3000,0	95,17	без обмеж./140
	1/62	звичайний	0°55'26,56"	---	36,900	---	6720,0	куб. парабола	208,44	без обмеж./220
Германія	1/18,5	звичайний	3°5'38,61"	0°9'55,2"	15,400	дотичний	1200,0	1200,0	64,818	---/100
Голландія	1/20	звичайний	2°51'44,66"	0°17'10,9"	13,500	січний	2000,0	2000,0	57,02	---/120
Чехія	1/18,4	звичайний	3°6'39,03"	0°19'01"	---	січний	1200,0	1200,0	64,9	---/100
Японія	1/12	звичайний	4°45'49,11"	---	---	січний, гнучкий	---	---	---	200/70

Важливим також є такий показник, як можливість реалізовувати більші міжколіїні відстані між суміжними коліями, що розгалужуються при застосуванні симетричних стрілочних переводів порівняно зі звичайними переводами, при однаковій довжині майданчика для укладання стрілочних переводів. Цей фактор є особливо важливим в умовах стиснених будівельних майданчиків, таких, наприклад, як промисловий транспорт, а також гірочних та інших станційних колій магістрального транспорту.

Значимість симетричних стрілочних переводів в загальному обсязі з'єднань, пересічень колій і стрілочних переводів можна оцінити їх питомою кількістю як на магістральному транспорті, така і на промисловому транспорті. В табл. 1.1 і 1.2 наведені такі дані окремо по магістральному і промисловому транспорту на залізницях України.

1.4 Висновки до розділу 1

На основі аналізу технічної літератури за темою дисертації та з урахуванням вимог, що пред'являються до стрілочних переводів, а також на основі порівняння технічних характеристик для звичайних і симетричних стрілочних переводів можна зробити наступні висновки:

1. В технічній літературі не надається спеціальних вимог щодо проектування симетричних стрілочних переводів порівняно зі звичайними переводами.

2. В технічній літературі не сформульовано будь-яких комплексних вимог щодо проектування симетричних стрілочних переводів (які, наприклад, включали би вимоги по силах взаємодії, пружно-жорсткісних характеристиках та ін.). В тому числі таких вимог не знайдено у закордонній технічній літературі [112-117].

3. Не сформульовано також будь-яких результатів досліджень по оптимізації пружно-жорсткісних параметрів симетричних переводів або по

залежностях довжини вістряків від розмірів жолобів між вістряком і рамною рейкою та ін.

Таким чином, сформульована постановка задач дисертаційного дослідження у наступному вигляді:

- виконати аналіз попередніх наукових досліджень за темою, що означена в дисертації;
- проаналізувати існуючі розмірні параметри симетричних стрілочних переводів найбільш розповсюджених марок для звичайних умов експлуатації ($1/7$, $1/9$, $1/11$) та визначити раціональні розміри жолобів між рамними криволінійними рейками і відведеними криволінійним вістряками в зоні прилягання вістряків до рамних рейок;
- визначити раціональні пружно-жорсткісні параметри рейкових ниток в межах симетричного стрілочного переводу за умовою недопущення їх граничних деформацій при взаємодії з колесами рухомого складу;
- визначити силову динаміку між колесами і колією на основі визначення вірогідних вертикальних траєкторій перекочування коліс по хрестовині з метою недопущення небезпечних силових дій рухомого складу на хрестовину симетричного стрілочного переводу.

РОЗДІЛ II

ПРОЕКТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СИМЕТРИЧНИХ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ЗА УМОВАМИ БЕЗПЕКИ РУХУ КОЛІС В МЕЖАХ ВІДВЕДЕНИХ ВІСТРЯКІВ

2.1 Розрахунок різностороннього симетричного стрілочного переводу

Симетричні стрілочні переводи застосовуються або з прямолінійними, або з криволінійними вістряками [1, 2, 26, 30]. Прямолінійні вістряки застосовуються лише в переводах крутих марок ($1/6$ і крутіше) при малих швидкостях руху, як правило на другорядних станційних коліях, або на коліях промислового транспорту [21, 22, 24]. На більш відповідальних коліях в симетричних стрілочних переводах застосовуються криволінійні вістряки [23, 27].

2.1.1 Розрахунок основних геометричних параметрів (головних проектних розмірів) симетричного стрілочного переводу з криволінійними вістряками

Усі геометричні параметри для симетричного стрілочного переводу (також як і для звичайного) визначаються зі складання і вирішення рівнянь проєкцій розрахункових контурів переводу на вертикальну і горизонтальну осі.

При проектуванні стрілочних переводів з криволінійними вістряками, для розрахунку основних параметрів стрілочного переводу потрібно знати: марку або кут стрілочного переводу α , стрілочний кут вістряка в корені β , початковий кут вістряка β_{n-1} , довжину вістряка l_0 , довжину передньої і задньої частин хрестовини h і p , а також довжину прямої вставки перед хрестовиною d .

На відміну від звичайних переводів при проектуванні симетричних стрілочних переводів слід розрізняти, що початковий кут вістряка β_n складається з суми двох частин $\beta_n = \beta_{n-1} + \beta_{n-2}$. Причому β_{n-1} є кутом між робочою гранню вістряка і горизонталлю, а кут β_{n-2} є кутом між горизонталлю і робочою гранню рамної рейки (детальніше див. рис. 2.2).

Марка хрестовини $1/N$ (або кут α стрілочного переводу $\tan \alpha = 1/N$), як правило, попередньо завдані. Довжина вістряка l_0 призначається при проектуванні, виходячи зі стандартних апробованих експлуатаційною практикою аналогічних конструкцій стрілки і вістряків.

Початковий кут вістряка β_{n-1} , як правило, задається при проектуванні (так як і довжина вістряка l_0), також виходячи з апробованих експлуатаційною практикою конструкцій-аналогів.

Довжина передньої і задньої частин хрестовини $h = h_{np}$ і $p = p_{np}$ визначаються розрахунками при заданому куті α , точно так само, як при розрахунках звичайних стрілочних переводів, виходячи з умов розкладки брусів і конструктивного оформлення стиків. Величина радіуса кривої R , а також радіуса криволінійного вістряка R_0 і довжина прямої вставки перед хрестовиною d визначаються відповідними розрахунками.

Після призначення довжини вістряків l_0 необхідно робити перевірку достатності мінімального жолоба між рамною рейкою та вістряком при відводі останнього.

При криволінійних вістряках (рис. 2.1) криволінійна частина симетричного стрілочного переводу складається з 2-х радіусів: на початку від вістря вістряка до кореня вістряка крива окреслюється радіусом вістряка R_0 , потім від кореня вістряка до початку прямої вставки d перед хрестовиною, крива окреслюється радіусом перевідної кривої $R < R_0$.

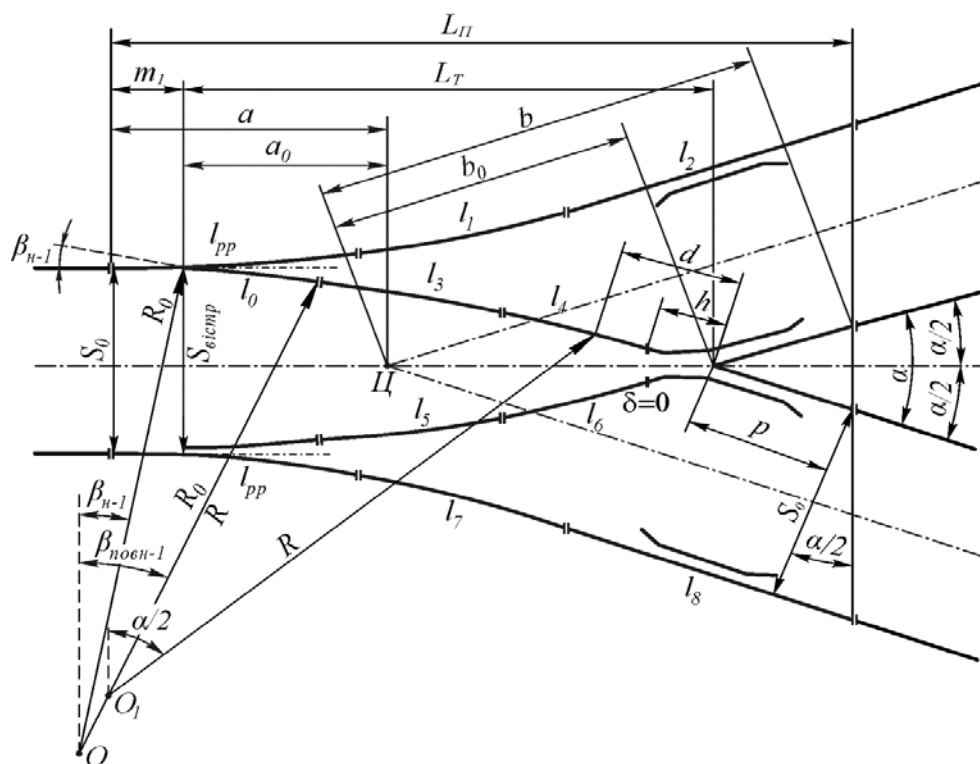


Рис. 2.1.

Рівняння проєкцій розрахункових контурів у симетричному стрілочному переводі з криволінійними вістрями при $R_0 \neq R$ (див. рис. 2.1), мають наступний вигляд:

$$\frac{S_0}{2} = R_0(\cos \beta_{n-1} - \cos \beta_{повн-1}) + R(\cos \beta_{повн-1} - \cos \alpha/2) + d \cdot \sin \alpha/2, \quad (2.1)$$

$$L_T = R_0(\sin \beta_{повн-1} - \sin \beta_{n-1}) + R(\sin \alpha/2 - \sin \beta_{повн-1}) + d \cdot \cos \alpha/2, \quad (2.2)$$

$$L_{II} = m_1 + L_T + p \cdot \cos \alpha/2. \quad (2.3)$$

Хід вирішення задачі при криволінійних вістряхах раціонально приймати наступним:

В 1-му випадку завдання вихідних даних, коли задана марка хрестовини $1/N$ і кут α , початковий кут вістряка β_{n-1} і довжина вістряка l_0 , а також визначені (згідно методики розрахунків звичайних стрілочних переводів) передній і задній вильоти хрестовини (h і p); або у 2-му випадку завдання вихідних даних, коли крім усіх перерахованих параметрів додатково задана ще теоретична довжина стрілочного переводу L_T , то

радіуси вістряка R_0 і перевідної кривої R можна визначити наступним чином.

Радіус вістряка R_0 , м (однаково для 1-го і 2-го випадків завдання вихідних даних) визначається з формули (2.4), за умовою обмеження величини непогашених прискорень $[j_0]$, що раптово з'являються при вході колісної пари на стрілку із заданою швидкістю на боковий напрямок $V_{бок}$, м/с:

$$R_0 \geq \frac{V_{бок}^2}{[j_0]}, \quad (2.4)$$

де $[j_0]$ - прийм. за табл. 2.1 по верхній межі, тобто $[j_0]=0,65 \text{ м/с}^2$.

Таблиця 2.1

Значення	δ_{max} , м	W_0 , м/с	j_0 , м/с ²	γ_0 , м/с ²
Рекомендовані розрахункові характеристики	0,040	0,23 – 0,27	0,4 – 0,65	0,6 – 0,8 (1,0)

*) більші значення варто брати для переводів марки 1/11 і крутіше, менші значення - для переводів марки 1/15, 1/18 і пологіше [23, 27, 30].

Радіус перевідної кривої R (для 1-го випадку вихідних даних) визначається з 1-го рівняння проєкцій розрахункових контурів (2.1):

$$R = \frac{\frac{S_0}{2} - d \cdot \sin \frac{\alpha}{2} - R_0 \cdot (\cos \beta_{n-1} - \cos \beta_{повн-1})}{\cos \beta_{повн-1} - \cos \frac{\alpha}{2}}, \quad (2.5)$$

де кут вістряка в корені $\beta_{повн-1}$ обчислюється (в рад) за формулою:

$$\beta_{повн-1} = \beta_{n-1} + \frac{l_0}{R_0}, \quad (2.6)$$

а довжина прямої вставки перед хрестовиною береться на 1-му етапі рівною $d = d_{min}$, тобто рівною мінімальній довжині, де мінімальна довжина прямої вставки d_{min} перед хрестовиною приймається за формулою (2.7)

$$d_{min} \geq h_{np} + \frac{l_n}{2}. \quad (2.7)$$

Причому центральний кут у кінці перевідної кривої радіуса R є рівним половині кута хрестовини $\frac{\alpha}{2}$.

Для 2-го випадку вихідних даних радіус перевідної кривої R визначається з 2-го рівняння проекцій розрахункових контурів (2.2):

$$R = \frac{L_T - d \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - R_0 \cdot (\sin \beta_{повн-1} - \sin \beta_{н-1})}{\sin \frac{\alpha}{2} - \sin \beta_{повн-1}}. \quad (2.8)$$

Далі величини радіуса R , що визначені за формулами (2.5; 2.8) потрібно перевірити за умовою обмеження величини непогашених відцентрових прискорень $\gamma_0^{розр}$, що діють при встановленому русі колісного екіпажу по стрілці (формула 2.9) при заданій швидкості руху на боковий напрямок $V_{бок}$.

$$\gamma_0^{розр} = \frac{V_{бок}^2}{R} \leq [\gamma_0], \quad (2.9)$$

де $V_{бок}$ - в м/с; R - м; $\gamma_0^{розр}$ - м/с².

$[\gamma_0]$ - допустиме значення γ_0 - приймається за табл. 2.1 (по верхній межі, тобто $\gamma_0 = 0,8$ м/с²).

Якщо умова не виконується, тобто отримано $\gamma_0^{розр} \geq [\gamma_0]$, то потрібно приймати рішення: 1) або при тому ж розрахунковому значенні радіуса $R_{розр-1} = R$ зменшувати задану швидкість $V_{бок}$ на боковий напрямок; 2) або залишати задану швидкість $V_{бок}$, і тоді потрібно збільшувати величину розрахункового радіуса $R_{розр-2} > R$.

Після перевірки відповідності значення розрахункового радіуса умовам обмеження величини непогашених відцентрових прискорень довжину прямої вставки перед хрестовиною потрібно уточнювати за формулою:

$$d = \frac{\frac{S_0}{2} - R(\cos \beta_{повн-1} - \cos \frac{\alpha}{2}) - R_0 \cdot (\cos \beta_{н-1} - \cos \beta_{повн-1})}{\sin \frac{\alpha}{2}}. \quad (2.10)$$

При розрахунку d за даною формулою необхідно підставляти усі нові значення параметрів: R (або $R_{розр-2}$), l_0 (або $l_{0(розр2)}$), β_n (або $\beta_{n-1(розр2)}$), α (або $\alpha_{(розр2)}$) які прийняті як кінцеві після перевірки і перерахування радіуса перевідної кривої.

Після визначення кінцевих значень радіуса R і прямої вставки перед хрестовиною d осьові розміри симетричного стрілочного перевodu з криволінійними вістрями обчислюються за формулами:

$$b = b_0 + p = \frac{S_0}{2 \operatorname{tg} \alpha / 2} + p, \quad (2.11)$$

$$a = m_1 + a_0 = m_1 + \left(L_T - \frac{S_0}{2 \sin \alpha / 2} \right). \quad (2.12)$$

2.2 Детальний розрахунок елементів конструкції при проектуванні симетричного стрілочного перевodu з криволінійними вістрями

2.2.1 Розрахунок довжини бічної строжки криволінійного вістря симетричного стрілочного перевodu

Розрахунок довжини строжки криволінійного вістря симетричного перевodu виконується відповідно до схеми і позначень рис. 2.2. Розрахунок виконується за схемою, запропонованою в [23, 31].

Для рішення задачі відомими або раніше визначеними параметрами є:

1. Марка $1/N$ (або кут α) і тип стрілочного перевodu (тип рейки);
2. Початковий кут вістря β_{n-1} ;
3. Довжина вістря l_0 ;
4. Радіус вістря по робочій грані R_0 (від вістря до кореня);
5. Радіус рамної рейки по робочій грані $R_{pp}^{6H} = R_0 - S_{кр}$ (ширина колії в кривій стрілочного перевodu $S_{кр}$ приймається за нормативами [42]).

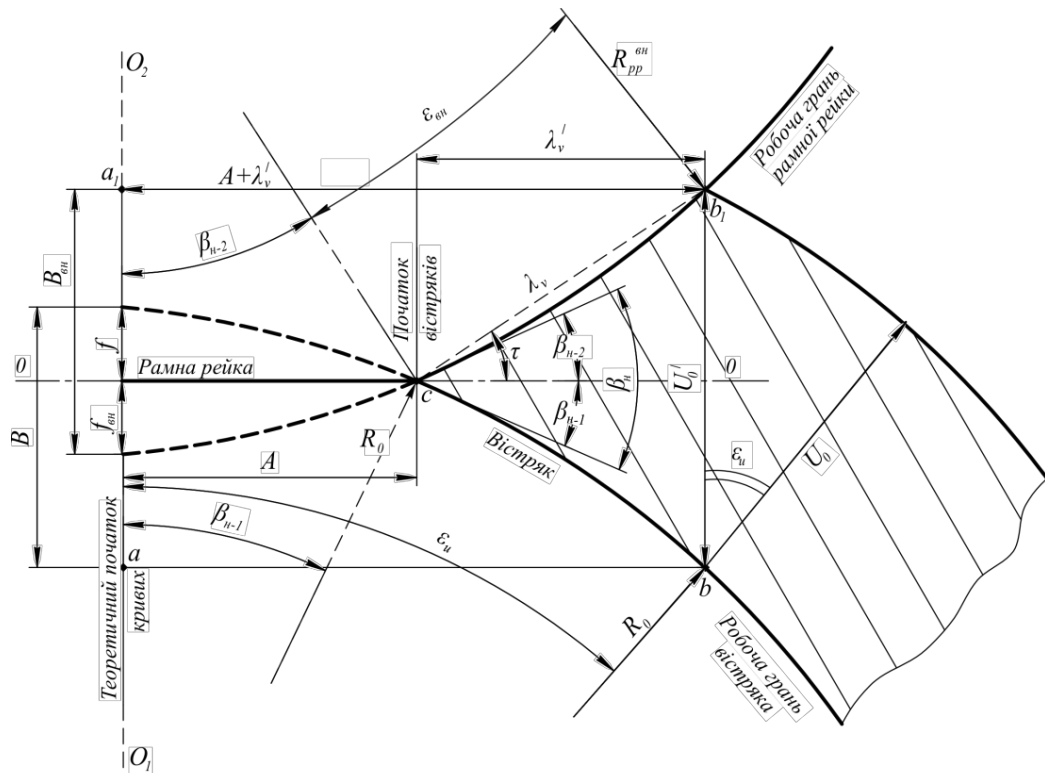


Рис. 2.2. Розрахункова схема для визначення довжини строжки при приляганні криволінійного вістряка до рамної рейки симетричного стрілочного перевалу

Шуканою величиною є довжина бічної строжки вістряка λ_v . Бічна строжка вістряка виконується на довжині λ_v від вістря до перерізу, де вістряк має повну ширину головки U_0 .

Для визначення довжини бокової строжки вістряка λ_v потрібно, для початку, розрахувати деякі допоміжні величини, а саме.

1. Повний початковий кут між робочою гранню вістряка і робочою гранню рамної рейки відповідно до схеми рис. 2.2 складається з 2-х кутів:

$$\beta_n = \beta_{n-1} + \beta_{n-2}. \quad (2.13)$$

2. У виразі (2.13) невідомим є початковий кут рамної рейки β_{n-2} , його можна визначити з виразу:

$$\sin \beta_{n-2} = \frac{A}{R_{pp}^{вн}}. \quad (2.14)$$

3. Відстань A по горизонталі від вістря вістряка до розрахункового вертикального радіусу (теоретичного початку кривої) можна визначити з виразу:

$$A = R_0 \cdot \sin \beta_{n-1}. \quad (2.15)$$

4. Стріли сегментів f і $f_{\text{вн}}$ від хорди CO в колах з радіусами R_0 , $R_{pp}^{\text{вн}}$ визначаються з виразів:

$$f = R_0 \cdot (1 - \cos \beta_{n-1}), \quad (2.16)$$

$$f_{\text{вн}} = R_{pp}^{\text{вн}} - \sqrt{(R_{pp}^{\text{вн}})^2 - A^2}. \quad (2.17)$$

5. Довжина прямої $A + \lambda'_v$ включає величину проекції бокової строжки вістряка λ'_v на горизонтальну вісь, тому для пошуку дійсної довжини строжки вістряка λ_v знайдемо спочатку довжину $A + \lambda'_v$. З трикутників abo_1 і $a_1b_1o_2$ можна отримати:

$$A + \lambda'_v = \sqrt{R_0^2 - (R_0 - B)^2} = \sqrt{(R_{pp}^{\text{вн}})^2 - (R_{pp}^{\text{вн}} - B_{\text{вн}})^2}. \quad (2.18)$$

Тут O_1 , O_2 - є центри кіл, відповідно від радіусів R_0 і $R_{pp}^{\text{вн}}$. Обидва центри розташовуються на продовженні вертикалі aa_1 при перетині її з радіусами R_0 і $R_{pp}^{\text{вн}}$.

B і $B_{\text{вн}}$ - стріли сегментів від хорди ab і хорди a_1b_1 в колах з радіусами R_0 і $R_{pp}^{\text{вн}}$ (див. рис. 2.2).

6. Довжину $B_{\text{вн}}$ можна знайти з рис. 2.2:

$$B_{\text{вн}} = U'_0 - [B - (f + f_{\text{вн}})] = U'_0 + (f + f_{\text{вн}}) - B. \quad (2.19)$$

У формулі (2.18) невідомими є довжина U'_0 - відстань між точками b і b_1 , а також довжина відрізка B .

Довжину U'_0 - можна визначити за формулою

$$U'_0 = \frac{U_0}{\cos \varepsilon_u}, \quad (2.20)$$

де ε_u - кут у кінці бокової строжки вістряка.

Однак, у зв'язку з тим, що кут ε_u , поки що, невідомим, можна з достатньою точністю прийняти для 1-го етапу розрахунків довжину U'_0 рівною:

$$U'_0 = \frac{U_0}{\cos(\beta_{n-1} + \beta_{n-2})}. \quad (2.21)$$

В подальшому, після визначення довжини бокової строжки вістряка λ'_v слід уточнити значення U'_0 за формулою (2.20):

Кут ε_u в кінці бокової строжки вістряка, визначиться з виразу

$$\sin \varepsilon_u = \frac{A + \lambda'_v}{R_0}. \quad (2.22)$$

Довжина відрізка B – є стрілою сегменту від напівхорди ab в колі радіусом R_0 , де напівхорда $ab = A + \lambda'_v$.

Тому довжину B можна знайти із співвідношення, яке існує між стрілою сегмента і напівхордою ab :

$$\frac{B}{A + \lambda'_v} = \frac{A + \lambda'_v}{2R_0 - B}. \quad (2.23)$$

Звідси після підстановки $(A + \lambda'_v)$ за формулою (2.18) і $B_{вн}$ за формулою (2.19) та деяких спрощень отримаємо:

$$B = \frac{(U'_0 + f + f_{вн}) \cdot (2R_{pp}^{6H} - U'_0 - f - f_{вн})}{2(R_0 + R_{pp}^{6H} - U'_0 - f - f_{вн})}. \quad (2.24)$$

7. Тепер довжина проекції бокової строжки вістряка λ'_v на горизонтальну вісь знайдеться після перетворень виразу (2.18):

$$\lambda'_v = \sqrt{R_0^2 - (R_0 - B)^2} - A = \sqrt{2R_0B - B^2} - A. \quad (2.25)$$

8. Дійсна довжина бокової строжки вістряка λ_v , що виконується по прямій cb_1 , визначається з виразу:

$$\lambda_v = \frac{\lambda'_v}{\cos \tau}, \quad (2.26)$$

де кут τ знаходиться з виразу:

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{B_{\text{вн}} - f_{\text{вн}}}{\lambda'_v}. \quad (2.27)$$

Таким чином знайдені усі необхідні величини для визначення шуканої довжини строжки λ_v .

Після визначення λ'_v і λ_v , слід уточнити значення U'_0 за формулою (2.20) і значення кута ε_u за формулою (2.25) і після цього при необхідності (коли нове значення U'_0 буде відрізнятись від попереднього більше ніж на 1,0%, потрібно зробити перерахунок λ'_v і λ_v при нових значеннях U'_0).

2.2.2 Розрахунок довжини рамних рейок і величини переднього і заднього вильоту рамної рейки

Обидві рамні рейки в симетричному стрілочному переводі мають в плані складне окреслення (див. рис. 2.3): на 1-му відрізку від переднього стику рамної рейки до точки c прилягання вістря вістряка – рамна рейка прямолінійна і паралельна горизонтальній осі стрілочного переводу, на 2-му відрізку від вістря вістряка c до кінця горизонтальної строжки вістряка b_1 – рамна рейка вигинається по радіусу $R_{pp}^{\text{вн}}$ і має криволінійне окреслення, причому на відрізку cb_1 – прилягання вістряка до рамної рейки, бокова робоча грань і підшва рамної рейки зістругуються по прямій (рис. 2.3).

Методика розрахунку рамних рейок симетричного стрілочного переводу з криволінійними вістряками наступна.

Для рішення задачі в якості вихідних даних приймаються раніше визначені параметри:

1. Марка $1/N$ (або кут α) і тип стрілочного переводу (тип рейки);
2. Початковий кут вістряка β_{n-1} і довжина вістряка l_0 ;

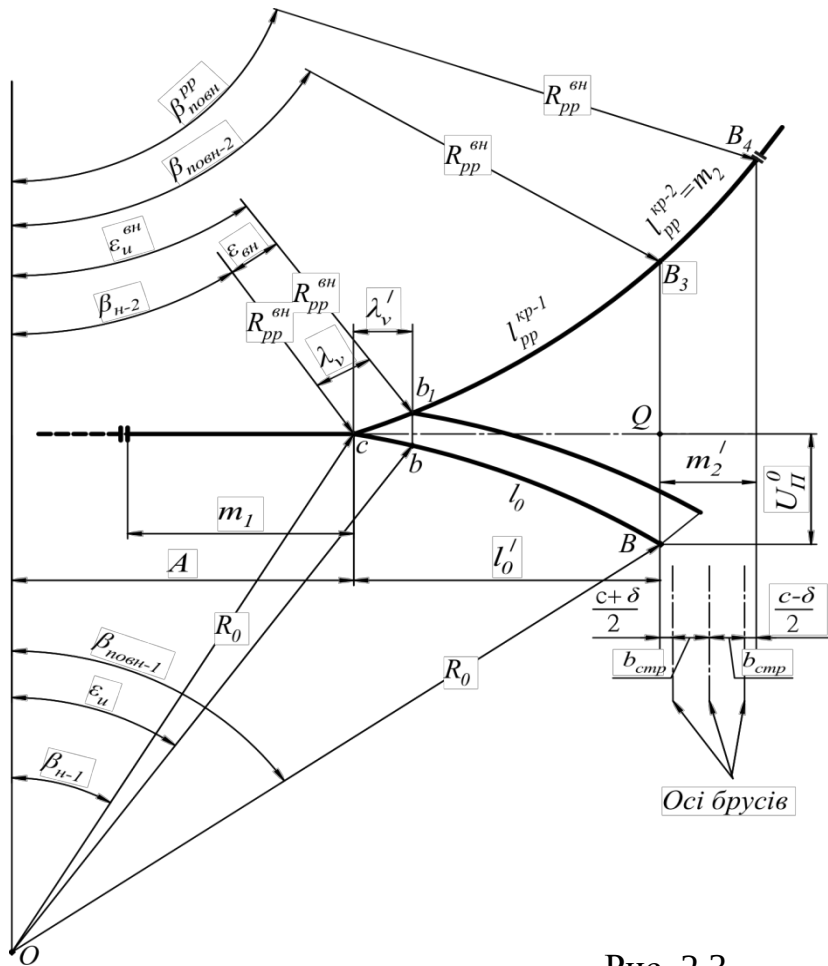


Рис. 2.3.

3. Радіус по робочій грані вістряка R_0 і радіус по робочій грані рамної рейки $R_{pp}^{вн}$.

4. Початковий кут рамної рейки β_{n-2} (визначений у попередньому §2.2.1).

5. Відстань A по горизонталі від вістря вістряка до розрахункового вертикального радіусу (визначено в §2.2.1).

6. Довжина бокової строжки вістряка λ_v (визначено в §2.2.1).

7. Кут в кінці бокової строжки вістряка ϵ_u (визначено в §2.2.1).

Порядок розрахунку наступний.

Відповідно до схеми рис. 2.3 загальна довжина рамної рейки складається з 2-х прямолінійних і 2-х криволінійних відрізків:

$$l_{pp} = m_1 + \lambda_v + l_{pp}^{кр-1} + l_{pp}^{кр-2}. \quad (2.28)$$

Знайдемо послідовно ці відрізки.

1. Довжина бокової строжки вістряка λ_v , вздовж якої вістряк прилягає до рамної рейки (див. §2.2.1).

2. Довжину 1-го криволінійного відрізка рамної рейки $b_1B_3=l_{pp}^{kp-1}$ (рис. 2.3) можна визначити з виразу:

$$l_{pp}^{kp-1} = R_{pp}^{\epsilon_H} \cdot (\beta_{повн-2} - \epsilon_u^{\epsilon_H}), \quad (2.29)$$

де $\beta_{повн-2}$ і $\epsilon_u^{\epsilon_H}$ - кути у радіанах.

Центральний кут $\beta_{повн-2}$ (від розрахункового вертикального радіусу до точки B_3 робочої грані рамної рейки, яка лежить на одній вертикалі з коренем вістряка – точка B) (див. рис. 2.3) можна визначити з виразу:

$$\sin \beta_{повн-2} = \frac{A + l_0'}{R_{pp}^{\epsilon_H}}. \quad (2.30)$$

Проекція вістряка на горизонталь l_0' відповідно до схеми рис. 2.3 знаходиться з виразу:

$$l_0' = R_0 \cdot \sin \beta_{повн-1} - R_0 \cdot \sin \beta_{н-1}, \quad (2.31)$$

де $R_0 \cdot \sin \beta_{н-1} = A$ (див. §2.2.1, формула 2.15), а центральний кут $\beta_{повн-1}$ в корені вістряка (див. §2.1.1, формула 2.6).

Центральний кут $\epsilon_u^{\epsilon_H}$ від розрахункового вертикального радіусу до точки b_1 – кінця строжки вістряка можна визначити з рис. 2.3:

$$\epsilon_u^{\epsilon_H} = \beta_{н-2} + \epsilon_{вн}, \quad (2.32)$$

де $\beta_{н-2}$ - кут див. §2.2.1, формула 2.14

$\epsilon_{вн}$ - кут визначається з виразу:

$$\sin\left(\frac{\epsilon_{вн}}{2}\right) = \frac{\lambda_v}{2R_{pp}^{\epsilon_H}}. \quad (2.33)$$

Таким чином, визначені усі необхідні величини для розрахунку довжини 1-го криволінійного відрізка рамної рейки l_{pp}^{kp-1} за формулою (2.29).

3. Довжина 2-го криволінійного відрізка рамної рейки $B_3B_4 = l_{pp}^{kp-2}$ є довжиною заднього вильоту рамної рейки (рис. 2.3)

$$l_{pp}^{kp-2} = m_2, \quad (2.34)$$

l_{pp}^{kp-2} можна визначити з рис. 2.3 за формулою:

$$l_{pp}^{kp-2} = R_{pp}^{en} (\beta_{повн}^{pp} - \beta_{повн-2}), \quad (2.35)$$

де $\beta_{повн}^{pp}$, $\beta_{повн-2}$ – кути у радіанах.

Центральний кут у кінці рамної рейки $\beta_{повн}^{pp}$ визначаємо розглядаючи схему (див. рис. 2.3) розкладки брусів від кореня вістряка до стику рамної рейки.

Розкладка брусів виконується наступним чином:

1. Дотримується основний принцип укладання брусів – вони укладаються нормально до горизонтальної осі симетрії стрілочного перевodu.

2. Корінь вістряка $(\cdot)B$ і задній стик рамної рейки $(\cdot)B_4$ необхідно укласти в стикові прольоти стандартного розміру $c=420$ мм (для Р65 і UIC60) або $c=440$ мм (для Р50).

3. Між коренем вістряка і заднім стиком рамної рейки потрібно укласти, як правило, не менше 2-х звичайних прольотів з розмірами між осями брусів b_{cmp} , такими, які прийняті для даного стрілочного перевodu. (Як правило, приймається не менше 2-х і не більше 4-5 прольотів, виходячи з умов довжини рамної рейки і розкрою рейок нормальної довжини, з яких рамні рейки виготовляються. Пояснення вибору щодо b_{cmp} див. §2.2.6.).

З урахуванням вище перерахованих принципів можна записати формулу для визначення довжини проекції заднього вильоту рамної рейки на горизонталь m_2' (див. рис. 2.3):

$$m_2' = \frac{c + \delta_{\kappa}}{2} + 2 \cdot b_{cmp} + \frac{c - \delta}{2}, \quad (2.36)$$

де δ_k і δ - відповідно стикові зазори в корені вістряка і в рамній рейці, приймаються $\delta_k=5$ мм, $\delta=8$ мм.

Після визначення m_2' можна підрахувати кут $\beta_{повн}^{pp}$ відповідно до схеми (рис. 2.3) за формулою:

$$\sin \beta_{повн}^{pp} = \frac{A + l_0' + m_2'}{R_{pp}^{вн}}. \quad (2.37)$$

З формули (2.37) знаходиться кут $\beta_{повн}^{pp}$, необхідний для підрахунку формули (2.35).

Таким чином, після цього за формулою (2.35) можна знайти шукану довжину l_{pp}^{kp-2} :

$$l_{pp}^{kp-2} = m_2 = R_{pp}^{вн} \cdot (\beta_{повн}^{pp} - \beta_{повн-2}). \quad (2.38)$$

4. Довжину переднього вильоту рамної рейки m_1 визначають користуючись загальним принципом розрахунку m_1 для звичайних стрілочних переводів (див. розрахунок звичайних стрілочних переводів [30, 31]). А саме: довжина переднього вильоту m_1 визначається по-перше – з умови розкладки брусів на довжині від переднього стику рамної рейки до вістря вістряка, по-друге – з умови забезпечення плавності відводу розширення колії на довжині від початку вістряків до передніх стиків рамних рейок.

Тобто, згідно 1-ої умови, довжину переднього вильоту рамної рейки можна визначити за формулою:

$$m_1 = \frac{c - \delta}{2} + n_1 \cdot b_{стр} - m_0, \quad (2.39)$$

де m_0 - половина ширини стрілочної подушки, з урахуванням того, що брус під вістрям вістряка вкладається таким чином, щоб вістря цілком було вкладене на всій ширині стрілочної подушки (у сучасних проектах стрілочних переводів приймається $m_0=41$ мм);

n_1 - кількість проміжних прольотів під переднім вильотом рамної рейки (приймаємо залежно від марки стрілочного переводу. Для переводів марок 1/11 і крутіше звичайно приймають від $n_1=5$ до $n_1=2$, але не менше 2-х; для переводів більш пологих марок може бути $n_1=5$ і більше).

Але, в якості основного показника при виборі n_1 приймається друга умова призначення довжини переднього вильоту рамної рейки – умова забезпечення плавності відводу розширення колії на довжині від вістря вістряків до переднього стику рамної рейки. (Розширення колії $S_{вістрп} > S_{норм}$ влаштовується в перерізі вістря вістряків для необхідності укриття вістря вістряків. Величина розширення $S_{вістрп}$ залежить від марки стрілочного переводу і приймається за прикладом конструкцій аналогів, вже апробованих в експлуатації. У перерізі передніх стиків рамних рейок влаштовується нормальна ширина колії $S_{pp} = S_0 = S_{норм}$).

З умови забезпечення плавності відводу розширення колії, згідно вимог безпеки руху поїздів по стрілочних переводах із встановленими швидкостями, довжина переднього вильоту рамних рейок повинна бути не менше ніж:

$$m_1' = \frac{S_{вістрп} - S_{pp}}{i_{дон}}, \quad (2.40)$$

де $i_{дон}$ = допустимий ухил відводу ширини колії. Згідно вимог [41, 42, 43], приймається при швидкостях руху на боковий напрям для:

$$V_{бок} > 160 \text{ км/год} \quad - \quad i_{дон} = 0,0005;$$

$$V_{бок} = 120-160 \text{ км/год} \quad - \quad i_{дон} = 0,0006;$$

$$V_{бок} \leq 100 \text{ км/год} \quad - \quad i_{дон} = 0,001;$$

$$V_{бок} \leq 50 \text{ км/год} \quad - \quad i_{дон} = 0,002 \text{ (марка 1/9, симетричний);}$$

$$V_{бок} \leq 70 \text{ км/год} \quad - \quad i_{дон} = 0,0018 \text{ (марка 1/11, симетричний).}$$

В результаті для забезпечення усіх необхідних вимог довжину переднього вильоту рамних рейок потрібно визначати за формулою:

$$\left. \begin{aligned} \min(m_1) &\geq m'_1 \\ \text{тобто, потрібно щоб } m_1 = \frac{c - \delta}{2} + n_1 b_{cnp} - m_0 &\geq \frac{S_{вiсnp} - S_{pp}}{i_{дон}} \end{aligned} \right\}. \quad (2.41)'$$

Тобто, в рівнянні (2.39) потрібно брати таку кількість прольотів n_1 , щоб виконувалась нерівність (2.41)'.

Таким чином, у кінцевому підсумку визначені усі необхідні складові для розрахунку довжини рамної рейки l_{pp} за формулою (2.28):

$$l_{pp} = m_1 + \lambda_v + l_{pp}^{kp-1} + l_{pp}^{kp-2}. \quad (2.28)'$$

2.2.3 Визначення довжини рейок, що входять до складу симетричного стрілочного переводу з криволінійними вістряками

Методика визначення довжини рейок, що входять до складу одиночного симетричного стрілочного переводу, майже нічим не відрізняється від методики визначення довжин рейок, що входять до складу одиночних звичайних стрілочних переводів.

Як і в у звичайному стрілочному переводі непарні рейки призначаються рівними, як правило, половині довжини нормальної рейки $l_{np}/2$ (або чверті довжини нормальної рейки $l_{np}/4$ при недостатній довжині L_T).

$$l_1 = l_3 = l_5 = l_7 = l_{н.р.} / 2 \quad (\text{або} = l_{н.р.} / 4)$$

Довжини рейок l_2 і l_8 визначаються, виходячи з розгляду повної довжини стрілочного переводу по зовнішній рейковій нитці відповідно до схеми (рис. 2.1):

$$\begin{aligned} l_2 = l_8 = m_1 - S_{вiсnp} \cdot \operatorname{tg} \beta_{n-1} + \left(R_0 - S_{кр} - \frac{b_z}{2} \right) \cdot (\beta_{повн-1} - \beta_{n-1}) + \\ + \left(R - S_{кр} - \frac{b_z}{2} \right) \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - \beta_{повн-1} \right) + d + p + S_0 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - l_{p.p} - l_7 - 2\delta \end{aligned}, \quad (2.42)$$

де S_0 - ширина колії в прямій; $S_{кр}$ - ширина колії в кривій;
 $S_{кор}^{вістр}$ - ширина колії проти вістря вістряків; b_z - ширина голівки рейки.

В тих випадках, коли $l_2 = l_8 = l_{н.р.}/2$ довжини рейок l_1 і l_7 визначаються за виразом:

$$l_1 = l_7 = m_1 - S_{вістр} \cdot \operatorname{tg} \beta_{н-1} + \left(R_0 - S_{кр} - \frac{b_z}{2} \right) \cdot (\beta_{повн-1} - \beta_{н-1}) + \\ + \left(R - S_{кр} - \frac{b_z}{2} \right) \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - \beta_{повн-1} \right) + d + p + S_0 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - l_{р.р} - l_8 - 2\delta, \quad (2.43)$$

Довжини рейок l_4 і l_6 , що прилягають до хрестовини, визначають виходячи з розгляду сумарної довжини по внутрішній нитці:

$$l_4 = l_6 = \left(R + \frac{b_z}{2} \right) \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - \beta_{повн-1} \right) + d - l_3 - h - 2\delta. \quad (2.44)$$

У формулах (4.42-2.44) позначено: $\beta_{н-1}$ - початковий кут криволінійного вістряка; $\beta_{повн-1}$ - повний стрілочний кут в кінці вістряка.

Визначення величин m_1 , $l_{вістр}$, $l_{р.р}$, $\beta_{н-1}$, $\beta_{повн-1}$, R , $S_{вістр}$, d , h , p , наведено раніше. Ширина колії S_0 , $S_{вістр}$, $S_{кр}$ приймається згідно нормативів [42].

Мінімальну довжину рейок з'єднувальних колій приймаємо не менше 4,5 м відповідно до [42].

2.2.4 Розрахунок координат для розбивки перевідної кривої симетричного стрілочного перевалу з криволінійними вістряками

Подібно до розрахунку координат перевідних кривих звичайних стрілочних переводів при визначенні координат перевідної кривої одиночного симетричного стрілочного перевалу розглянемо найбільш розповсюджений спосіб.

У цьому випадку відомими вихідними даними для виконання розрахунків будуть: R , α , β_{n-1} , $\beta_{повн-1}$, d , $S_{вістр}$, L_T , l_0' .

За початок прямокутної системи координат приймається точка C , що знаходиться на осі прямої колії (осі симетрії) навпроти кореня вістря (рис. 2.4).

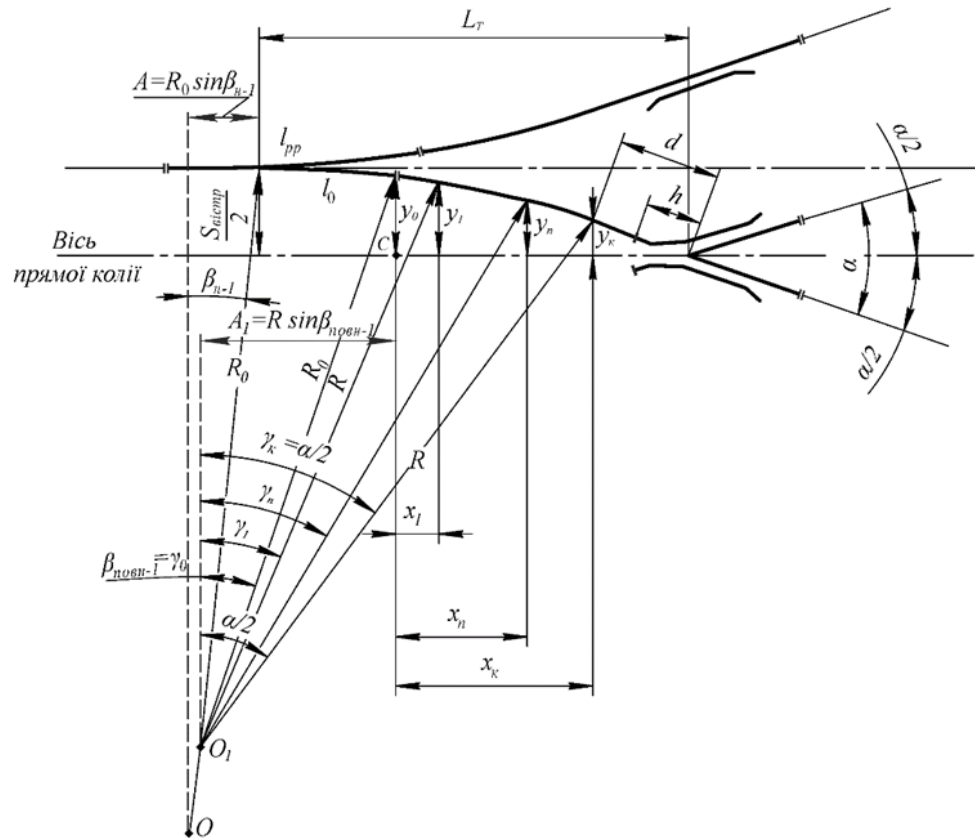


Рис. 2.4.

Поточні абсциси x_1 , x_2 , x_3 , ..., x_n проміжних точок приймають послідовно рівними $x_1=2000$ мм, $x_2=4000$ мм, $x_3=6000$ мм і т.д. Абсциса x_k кінця перевідної кривої визначиться з виразу:

$$\left. \begin{aligned} x_k &= R \left(\sin \frac{\alpha}{2} - \sin \beta_{повн-1} \right) \\ \text{або} \\ x_k &= L_T - l_0' - d \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \end{aligned} \right\}. \quad (2.45)$$

де $l_0' = R_0 (\sin \beta_{повн-1} - \sin \beta_{n-1})$ - проекція криволінійного вістря на вісь прямої колії.

Ординати точок перевідної кривої відповідно до рис. 2.4 будуть визначатись за наступними виразами:

$$\left. \begin{array}{ll} \text{при } x = 0 & y_0 = \frac{S_{\text{всmp}}}{2} - R_0(\cos \beta_{n-1} - \cos \beta_{\text{повн-1}}) \\ \text{при } x = x_1 & y_1 = y_0 - R(\cos \beta_{\text{повн-1}} - \cos \gamma_1) \\ \text{при } x = x_n & y_n = y_0 - R(\cos \beta_{\text{повн-1}} - \cos \gamma_n) \end{array} \right\}. \quad (2.46)$$

Значення $\cos \gamma_i$ визначаємо після знаходження $\sin \gamma_i$.

Послідовність визначення ординат перевідної кривої відповідно до формул (2.46) представлено в табл. 2.2 відповідно до [31].

Таблиця 2.2

x_i , мм	$\sin \gamma_i = \sin \beta_{\text{повн-1}} + \frac{x_i}{R}$	$\cos \gamma_i$	y_i , мм
$x_0 = 0$	$\sin \gamma_0 = \sin \beta_{\text{повн-1}}$	за табл.	$y_i = \frac{S_{\text{кmp}}}{2} - R_0(\cos \beta_{n-1} - \cos \beta_{\text{повн-1}})$
$x_1 = 2000$	$\sin \gamma_i = \sin \beta_{\text{повн-1}} + \frac{x_1}{R}$		$y_i = y_0 - R(\cos \beta_{\text{повн-1}} - \cos \gamma_1)$
$x_2 = 4000$	...		...
$x_3 = 6000$	...		...
...			
$x_n = \dots$	$\sin \gamma_n = \sin \beta_{\text{повн-1}} + \frac{x_n}{R}$		$y_n = y_0 - R(\cos \beta_{\text{повн-1}} - \cos \gamma_n)$
...			
$x_K = R(\sin \frac{\alpha}{2} - \sin \beta_{\text{повн-1}})$	$\sin \gamma_K = \sin \frac{\alpha}{2}$		$y_K = d \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$

2.2.5 Проектування ширини колії в межах симетричного стрілочного перевodu

При проектуванні ширини колії в основних розрахункових перерізах симетричних стрілочних переводів різних марок рекомендується користуватись встановленими вимогами Інструкції [42], нормативами ширини колії та їх допустимих відхилень. При тому, для нових стрілочних

переводів, що проектуються рекомендується призначати ширину колії узгоджено з марками і типами типових стрілочних переводів.

Місця контрольних вимірів ширини колії по довжині симетричного стрілочного переводу відповідно до [31] показані на схемі (рис. 2.5).

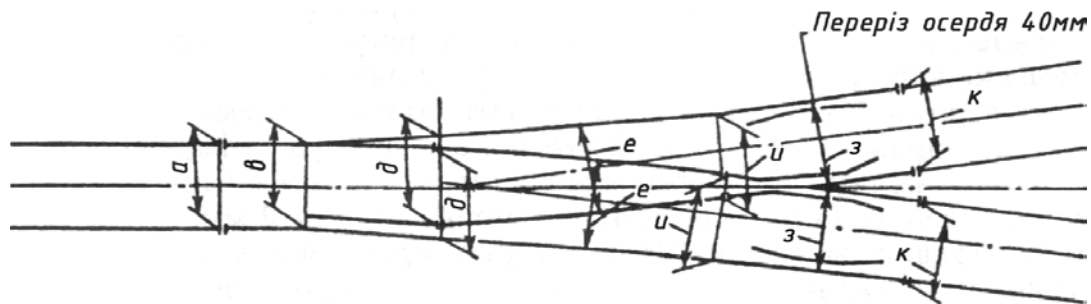


Рис. 2.5. Місця контрольних вимірів ширини колії на симетричних стрілочних переводах

Як можна бачити зі схеми (рис. 2.5) ширина колії контролюється в наступних перерізах:

- в передньому стику рамних рейок (переріз «а»);
- проти вістря вістряків (b);
- в корені вістряків (d);
- в середині перевідної кривої (e);
- в передньому стику хрестовини (u);
- в середині хрестовини (проти перерізу 40 мм осердя) (z);
- в задньому стику хрестовини (k).

Нормативи ширини колії та допуски утримання за шириною для симетричних стрілочних переводів відповідно до [42] наведені в табл. 2.3 і 2.4.

Таблиця 2.3

Норми ширини колії на симетричних стрілочних переводах, мм

Тип та проект стрілочного переводу	Марка хрестовини	В передньому стикі рамних рейок, і в задньому стикі хрестовини , а, к	Біля вістря вістряка, е	В корені вістряків	В середині перевідної кривої, є	В середині хрестовини, з
				На бокову колію, д		
Симетричні стрілочні переводи						
Р65, Р50, для гірочних колій (пр. 1581, 2628, 2307)	1/6	1522	1532	1524	1524	1520
Р65, (пр. 2307 – для приймально-відправних колій)	1/6	1522	1532	1524	1524	1520
Р50, (пр. 2063, 2064)	1/11 і 1/9	1520	1528	1520	1520	1520
Р65, (пр. У1123 – для гірочних колій)	1/6	1528	1536	1536	1536	1524
Р65, (пр. У1123 – для п.в. колій)	1/6	1520	1536	1536	1536	1524
Примітки: 1. При боковому зносі рейок допускається утримувати ширину колії від переднього стикі рамних рейок і до кінця перевідної кривої стрілочного переводу більшою встановленого нормативу на допустиму величину бокового зносу рейок. 2. Норми ширини колії наведені для типових конструкцій переводів, що випускаються. 3. При впровадженні нових конструкцій переводів норми ширини колії встановлюється за затвердженими проектами.						

Таблиця 2.4

Допуски утримання за шириною колії, мм, симетричних і перехресних стрілочних переводів колії 1520 мм

Категорія колії	Місце вимірів						
	Передній стик рамної рейки	Вістря вістряка	В корені вістряка		Середина перевідної кривої	Хрестовини	
			по прямій колії	по боковій колії		гостра	тупа
Симетричні переводи							
Головні	+6 -3	+6 -3	-	+6 -3	+10 -3	+4 -3	-
Пр.-відпр.	+6 -3	+6 -3	-	+8 -3	+10 -3	+4 -3	-
Інші	+10 -3	+10 -3	-	+10 -3	+10 -3	+6 -3	-
Перехресні переводи							
Головні	+6 -3	+6 -3	+4 -3	+4 -3	+4 -3	+4 -4	+4 -4
Пр.-відпр.	+6 -4	+6 -3	+6 -4	+5 -3	+5 -3	+4 -4	+4 -4
Інші	+10 -4	+10 -3	+10 -4	+8 -3	+8 -3	+6 -4	+6 -4
Примітки: 1. При утриманні ширини колії на стрілочних переводах у межах встановлених допусків допустима швидкість руху встановлюється згідно ПТЕ [41] і діючими нормами без додаткових обмежень [42]. 2. При перевищенні встановлених допусків за шириною колії порядок експлуатації стрілочних переводів і швидкості руху по них встановлюється за окремими вказівками Головного управління колійного господарства.							

2.2.6 Проектування епюри розкладки брусів в межах з'єднувальних колій симетричного стрілочного переводу

Проектування епюр симетричних стрілочних переводів виконується аналогічно до проектування епюр звичайних односторонніх переводів. Відмінністю є укладка усіх перевідних брусів нормально до осі симетрії переводу й осі хрестовини [30, 31, 44].

2.2.7 Методика розрахунку ширини мінімального жолоба між рамною рейкою і відведеним вістряком стрілочних переводів

Визначення ширини найменшого жолоба між рамною рейкою та відведеним вістряком виконується з метою перевірки забезпечення безпеки руху колісних пар по стрілці при проході гребенів коліс по жолобу між рамною рейкою та вістряком (тобто, щоб колеса візків рухомого складу не торкалися відведеного вістряка внутрішньою боковою гранню реборди). Мінімальна ширина жолобу, що допускається з умов безпеки руху поїздів відповідно до [41], приймається $t_{min}^{доп}=71$ мм. При конструюванні стрілочних переводів необхідно забезпечувати, щоб найменший розрахунковий жолоб між рамною рейкою та відведеним вістряком був не меншим ніж допустимий, тобто повинна забезпечуватись умова:

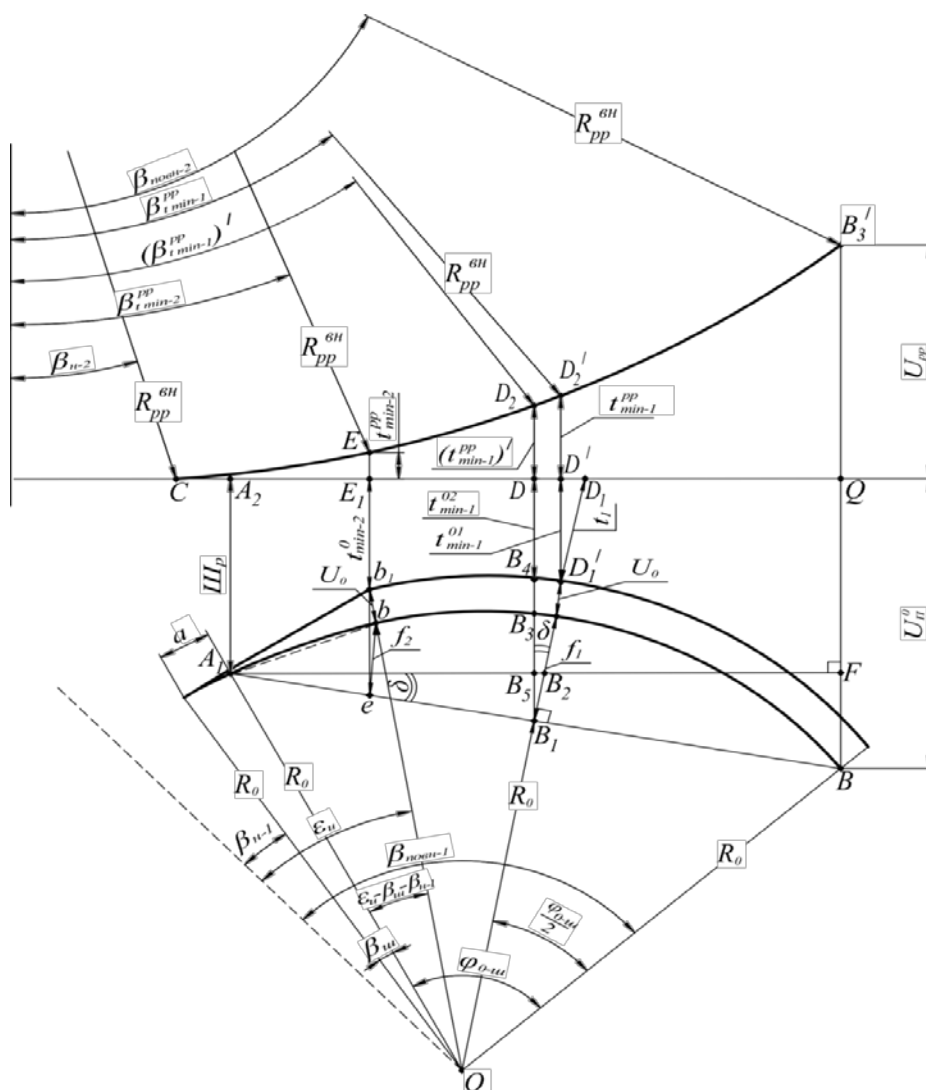
$$t_{min}^{позп} \geq t_{min}^{доп} . \quad (2.47)$$

Якщо умова (2.47) не виконується, потрібно змінювати довжину вістряка l_0 , послідовно збільшуючи його на 0,5 м; 1 м; 1,5 м ... і так далі, до тих пір поки умова (2.47) буде виконуватись. Якщо умова (2.47) не буде виконуватись при збільшенні l_0 аж до максимально можливої довжини, обумовленої габаритною відстанню теоретичної довжини L_T від стрілки до хрестовини, тоді потрібно збільшувати радіус R криволінійної частини, що спричинить збільшення повної довжини стрілочного переводу L_{II} .

Для вирішення задачі відомими або раніше визначеними величинами є:

$$R_0, l_0, l'_0, \beta_n, \beta_{n-1}, \beta_{n-2}, \varepsilon_u, \beta_{повн-1}, \beta_{повн-2}, III, a, U_0, U_n^0.$$

Така задача може бути вирішена з використанням двох можливих схем взаємного розміщення рамної рейки і відведеного вістряка. Дана методика була розроблена автором сумісно і під керівництвом наукового керівника д.т.н., проф. Е.І. Даніленка та була впроваджена в теорію розрахунків симетричних стрілочних переводів в українському підручнику для ВНЗ «Проектування і розрахунки конструкцій залізничної колії» [31]. Перша схема (рис. 2.6) для визначення мінімального жолобу між рамною рейкою і відведеним вістряком використовується за умови, що коренева відстань U_n^0 більша за величину ходу шибєру $Ш_p$ стрілочного переводу, тобто $U_n^0 < Ш_p$.



52

В зоні найбільшого вигину вістряка (рис. 2.6) потрібно розглянути два конкуруючих перерізи: перший проти стріли вигину f_1 у перерізі $D_1'D'$ ($D_1'D' = t_{\min-1}^{01}$) і другий у перерізі B_4D на перпендикулярі із точки B_1 на горизонталь CQ ($B_4D = t_{\min-1}^{02}$).

Друга схема (рис. 2.7) для визначення мінімального жолобу між рамною рейкою і відведеним вістряком використовується за умови, що коренева відстань U_n^0 менша за величину ходу шибєру Π_p стрілочного перевалу, тобто $U_n^0 > \Pi_p$ [31].

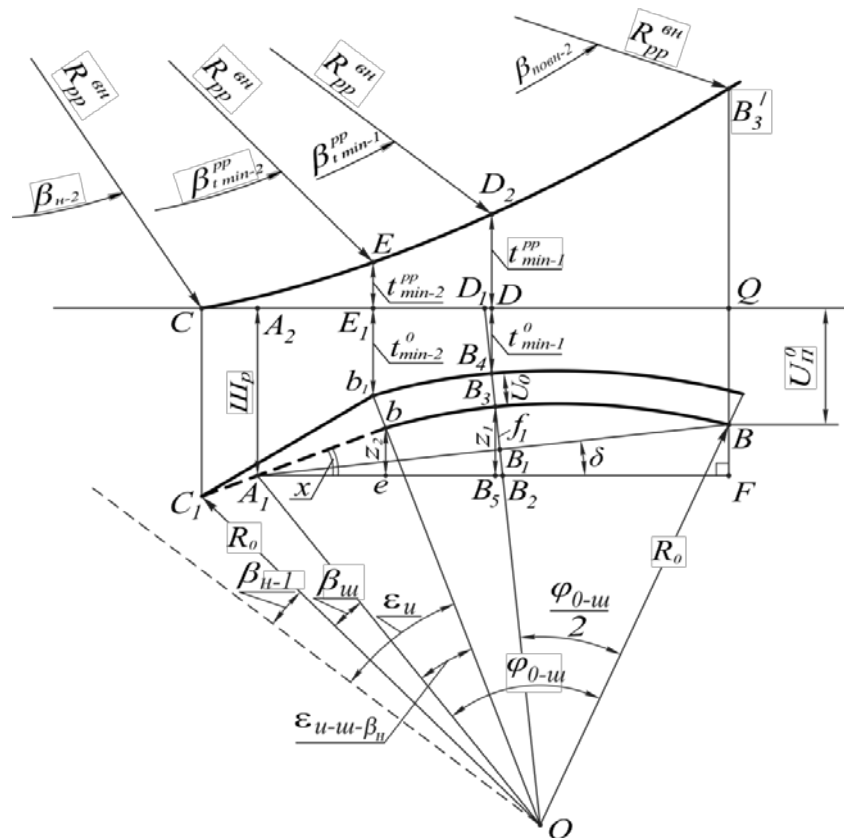


Рис. 2.7.

Для обох зазначених схем мінімальна ширина жолобу між рамною рейкою і вістряком визначається між 2-ма конкуруючими перерізами: 1-й – проти стріли найбільшого вигину вістряка f_1 , де відстань від відведеного вістряка до розрахункової горизонталі CQ буде найменшою ($t_{\min-1}^{01}$ або $t_{\min-1}^{02}$) (рис. 2.6); 2-й – проти кінця горизонтальної строжки вістряка (точка

b_1), де відстань від горизонталі CQ до робочої грані рамної рейки (за межами строжки вістряка) буде найменшою ($t_{\min-2}^{pp}$) (рис. 2.7).

Для обох схем (рис. 2.6) і (рис. 2.7) зручно визначати спочатку відстані по вертикальних ординатах від розрахункової горизонталі CQ до відведеного вістряка ($t_{\min-1}^0$ і $t_{\min-2}^0$) і до робочої грані рамної рейки ($t_{\min-1}^{pp}$ і $t_{\min-2}^{pp}$), а потім визначати потрібні сумарні шукані значення мінімальної ширини жолоба (також по вертикальних ординатах) у відповідних перерізах $(t_{\min-1})^{верт}$ і $(t_{\min-2})^{верт}$.

2.2.7.1 Методика визначення мінімальної ширини жолобу при $U_n^0 > III_p$

Для визначення шуканих величин виконаємо деякі допоміжні побудови в кресленні на рис. 2.6. Проведемо хорду A_1B між коренем вістряка (точка B) і місцем кріплення стрілочної тяги до вістряка (точка A_1).

Максимальна стріла сегменту f_1 від хорди A_1B буде розташована на радіусі-перпендикулярі, що проходить через середину хорди – точку B_1 . На продовженні радіуса-перпендикуляра, проти стріли f_1 позначимо відстань між точками D_1' і D_1 через t_1 - це буде проекція мінімальної відстані $t_{\min-1}^{01}$ на радіус-перпендикуляр.

Другу конкуруючу мінімальну відстань між зовнішньою кромкою вістряка і горизонталлю CQ визначимо проти кінця горизонтальної строжки вістряка, між точками b_1E_1 , і позначимо цю відстань $t_{\min-2}^0$.

Після цього визначаються мінімальні значення усіх конкуруючих жолобів по найкоротшій відстані, тобто по нормалі до середньої лінії MN (див. рис. 2.9 і 2.10).

І лише після цього визначається абсолютне мінімальне значення ширини жолоба між відведеним вістряком і рамною рейкою $(t_{\min \min})^{норм}$ на всій довжині їх взаємного розташування, із порівняння $(t_{\min-1})^{норм}$ і $(t_{\min-2})^{норм}$ та аналізу можливості наявності менших значень ширини жолоба на усій довжині взаємного розташування відведеного вістряка і рамної рейки.

Порядок вирішення задачі:

1 етап. Визначення $t_{\min-1}^{01}$ у перерізі $D_1'D'$ відповідно до схеми (рис. 2.6).

1. Визначимо величину III_p відстані між точками A_1 і A_2

$$III_p = III + t'_{uu}, \quad (2.48)$$

де III – переміщення вістряка при його відводі проти 1-ої стрілочної тяги (приймається рівним ходу шибера стрілочного приводу $III=152$ мм для сучасних стрілочних приводів).

Товщина вістряка у перерізі проти 1-ої стрілочної тяги t'_{uu} визначається з рис. 2.6 і 2.9 за формулою:

$$t'_{uu} = R_0 (\cos \beta_{n-1} - \cos(\beta_{n-1} + \beta_{uu})). \quad (2.49)$$

2. Визначимо ординату в корені вістряка U_n^0 від його робочої грані точки B до розрахункової горизонталі CQ . Зі схеми (рис. 2.3) визначаємо

$$U_n^0 = R_0 (\cos \beta_{n-1} - \cos \beta_{повн-1}), \quad (2.50)$$

Після цього порівнюємо величини III_p і ординати в корені вістряка U_n^0 , щоб упевнитись у вихідній умові рішення задачі за схемою рис. 2.6 для випадку коли $U_n^0 > III_p$. (В іншому випадку при $U_n^0 < III_p$ потрібно вирішувати задачу за схемою рис. 2.7).

3. Знайдемо кут φ_{0-uu} між радіусами-перпендикулярами до робочої грані вістряка за формулою:

$$\varphi_{0-uu} = \beta_{повн-1} - \beta_{n-1} - \beta_{uu}. \quad (2.51)$$

У формулах (2.50) і (2.51) β_{n-1} , $\beta_{повн-1}$ – початковий та повний кут вістря в корені (див. розділ 2.1.1), кут β_w (рад) знаходиться з виразу

$$\beta_w = \frac{a}{R_0}, \quad (2.52)$$

де $a=360$ мм – відстань від вістря вістря до закріплення стрілочної тяги.

4. Знайдемо максимальну стрілу сегменту f_1 від хорди A_1B :

$$f_1 = R_0 - B_1O, \quad (2.53)$$

довжину перпендикуляру B_1O на хорду A_1B визначаємо з виразу:

$$B_1O = R_0 \cdot \cos \frac{\varphi_{0-w}}{2}. \quad (2.54)$$

5. Кут $\angle DB_1D_1$ є рівним куту $\angle FA_1B$, тобто є рівним куту δ , який визначається з виразу:

$$\sin \delta = \frac{FB}{A_1B}, \quad (2.55-a)$$

$$\text{де} \quad FB = U_n^0 - III_p. \quad (2.56)$$

Половина довжини хорди $B_1B = \frac{A_1B}{2}$ визначається з виразу:

$$A_1B_1 = B_1B = R_0 \cdot \sin \frac{\varphi_{0-w}}{2}. \quad (2.57)$$

Таким чином формула (2.55-a) буде мати вигляд:

$$\sin \delta = \frac{U_n^0 - III_p}{2R_0 \cdot \sin \frac{\varphi_{0-w}}{2}}. \quad (2.55-б)$$

З формули (2.55-б) знаходиться кут δ і $\cos \delta$.

6. Перпендикуляр B_1D із середини хорди B_1 на розрахункову горизонталь CQ в той же час є середньою лінією трапеції A_1A_2QB (рис. 2.6), тому довжина B_1D є рівною:

$$B_1D = \frac{U_n^0 + III_p}{2}. \quad (2.58)$$

Відрізок B_1D_1 визначиться з трикутника B_1DD_1

$$B_1D_1 = \frac{B_1D}{\cos \delta}. \quad (2.59)$$

Знаходимо довжину відрізка D_1D_1' , що позначений на рис. 2.6 – t_1 як частину B_1D_1

$$t_1 = B_1D_1 - f_1 - U_0. \quad (2.60)$$

7. Після цього визначається перша шукана величина $t_{\min-1}^{01}$ – мінімальної відстані від зовнішньої кромки головки вістря до горизонталі CQ у місці найбільшого вигину вістря в перерізі $D'D_1'$:

$$t_{\min-1}^{01} = D_1'D' = t_1 \cdot \cos \delta. \quad (2.61)$$

Визначення $t_{\min-1}^{02}$ у перерізі B_4D (див. рис. 2.6 і 2.8).

1. Спочатку визначимо центральний кут $\angle Z = \angle B_4OD_1'$ з виразу (2.62) відповідно до рис. 2.8

$$\angle Z = \frac{\cup B_4D_1'}{R_0 + U_0}. \quad (2.62)$$

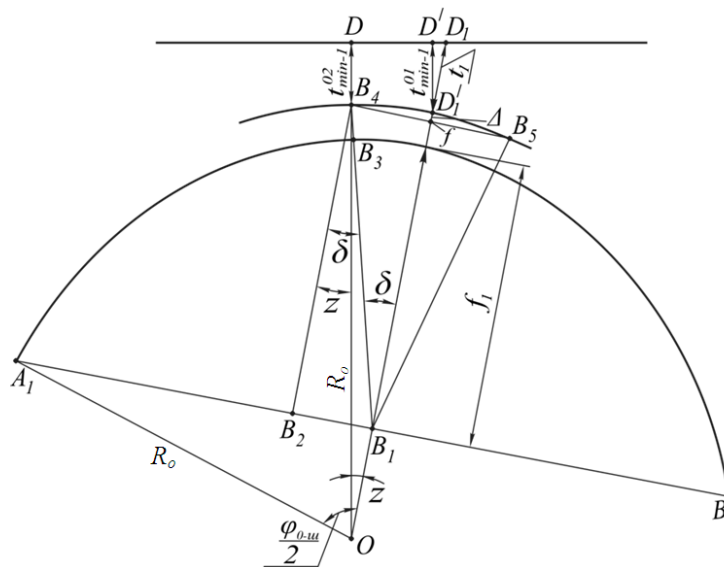


Рис. 2.8.

З невеликою погрішністю можна прийняти довжину дуги рівною довжині прямої $\cup B_4 D_1' = DD'$, тоді

$$\angle Z = \frac{DD'}{R_0 + U_0}. \quad (2.63)$$

Відрізок прямої DD' можна визначити як різницю $DD' = DD_1 - D_1 D'$, де відрізок прямої DD_1 визначаємо за формулою:

$$DD_1 = DB_1 \cdot \operatorname{tg} \delta = \frac{U_n^0 + III_p}{2} \cdot \operatorname{tg} \delta, \quad (2.64)$$

другий відрізок $D_1 D'$ визначається за формулою

$$D_1 D' = t_1 \cdot \sin \delta. \quad (2.65)$$

Таким чином відрізок DD' визначиться за формулою:

$$DD' = \frac{U_n^0 + III_p}{2} \cdot \operatorname{tg} \delta - t_1 \cdot \sin \delta \approx \cup B_4 D_1'. \quad (2.66)$$

Тобто, формула (2.63) для визначення центрального кута $\angle Z$ буде мати кінцевий вигляд:

$$\angle Z = \left(\frac{U_n^0 + III_p}{2} \cdot \operatorname{tg} \delta - t_1 \cdot \sin \delta \right) \cdot \frac{1}{R_0 + U_0} \quad (2.67)$$

2. Визначимо довжину половини хорди $B_4 f = \frac{1}{2} B_4 B_5$ як основу прямокутного трикутника $B_4 f O$

$$B_4 f = (R_0 + U_0) \cdot \sin Z. \quad (2.68)$$

Після цього визначимо довжину відрізка $B_1 B_4$ з трикутника $B_1 B_4 f$.

$$B_1 B_4 = \frac{B_4 f}{\sin \delta}, \quad (2.69)$$

$$\text{тобто} \quad B_1 B_4 = \frac{(R_0 + U_0) \cdot \sin Z}{\sin \delta}. \quad (2.70)$$

3. Після цього визначається шукана величина $(t_{\min-1}^{02})$ у перерізі $B_4 D$:

$$t_{\min-1}^{02} = B_1 D - B_1 B_4, \quad (2.71)$$

$$\angle OA_1b = \angle ObA_1 = 90^\circ - \frac{\varepsilon_{u-w-\beta_{n-1}}}{2}. \quad (2.75)$$

Тоді половина довжини відрізка A_1b як половина основи трикутника OA_1b знайдеться з виразу:

$$\frac{A_1b}{2} = R_0 \cdot \sin \frac{\varepsilon_{u-w-\beta_{n-1}}}{2}, \quad (2.76)$$

звідки
$$A_1b = 2R_0 \cdot \sin \frac{\varepsilon_{u-w-\beta_{n-1}}}{2}. \quad (2.77)$$

2. Визначимо стрілу f_2 сегменту A_1B_3B у точці e , тобто довжину перпендикуляру eb до хорди A_1B . Для цього розглянемо трикутник A_1be .

$$f_2 = A_1b \cdot \sin \angle bA_1e. \quad (2.78)$$

Кут $\angle bA_1e$ знаходимо відповідно до схем рис. 2.6 і 2.9 з виразу:

$$\begin{aligned} \angle bA_1e &= \angle OA_1b - \angle BA_1O = \left(90^\circ - \frac{\varepsilon_{u-w-\beta_{n-1}}}{2} \right) - \left(90^\circ - \frac{\varphi_{0-w}}{2} \right) = \\ &= \frac{\varphi_{0-w}}{2} - \frac{\varepsilon_{u-w-\beta_{n-1}}}{2}. \end{aligned} \quad (2.79)$$

Таким чином стрілу сегменту f_2 визначаємо з виразу:

$$f_2 = 2R_0 \cdot \sin \frac{\varepsilon_{u-w-\beta_{n-1}}}{2} \cdot \sin \left(\frac{\varphi_{0-w}}{2} - \frac{\varepsilon_{u-w-\beta_{n-1}}}{2} \right). \quad (2.80)$$

3. Визначимо ординату по вертикалі eb_1 з розгляду трикутника b_1eb (див. рис. 2.10), (як розв'язок вузла b_1ee_1 рис. 2.6, б).

У цьому трикутнику перший гострий кут $\angle b_1eb = \angle DB_1D_1 = \angle \delta$ (див. рис. 2.6).

Другий гострий кут $\angle eb_1b$ знаходиться із сумісного розгляду двох трикутників (на рис. 2.10) b_1eb і bee_1 . Кут $\angle ebe_1$ у 3-кутнику bee_1 позначимо $\angle \gamma$ і він визначиться із розгляду основного рис. 2.6:

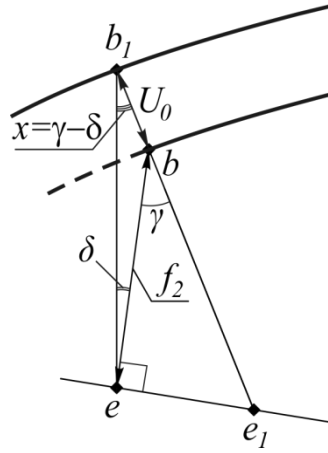


Рис. 2.10

$$\gamma = \frac{\varphi_{0-u}}{2} - \varepsilon_{u-u-\beta_{n-1}}, \quad (2.81)$$

де $\frac{\varphi_{0-u}}{2}$, $\varepsilon_{u-u-\beta_{n-1}}$ – кути визначені вище. Тоді тупий кут $\angle b_1be$ у трикутнику b_1eb буде рівним:

$$\angle b_1be = (180^\circ - \gamma). \quad (2.82)$$

А другий гострий кут $\angle eb_1b$, який позначимо як $\angle x$ буде рівним:

$$\angle x = \angle eb_1b = 180^\circ - (180^\circ - \gamma) - \delta = (\gamma - \delta). \quad (2.83)$$

Після визначення усіх кутів в трикутнику b_1eb при відомих двох сторонах $bb_1 = U_0$; $be = f_2$ можна визначити третю сторону трикутнику eb_1 , що є ординатою по вертикалі положення точки кінця строжки вістряка b_1 відносно хорди A_1B

$$b_1e = U_0 \cdot \cos x + f_2 \cdot \cos \delta. \quad (2.84)$$

4. Після цього можна визначати другу шукану величину $t_{\min-2}^0$ – мінімальну відстань до горизонталі CQ точки b_1 – у кінці горизонтальної строжки вістряка.

З розгляду трапеції $A_1A_2E_1e$ (рис. 2.9) можна знайти довжину відрізка E_1e

$$E_1e = III_p + A_2E_1 \cdot tg\delta, \quad (2.85)$$

$$\text{де } A_2E_1 = CE_1 - CA_2 = \lambda'_v - a. \quad (2.86)$$

Тоді формула (2.85) матиме наступний вигляд

$$E_1e = III_p + (\lambda'_v - a) \cdot tg\delta. \quad (2.87)$$

Друга шукана величина $t_{\min-2}^0$ визначається як різниця відрізків E_1e і b_1e відповідно до схеми (рис. 2.9):

$$t_{\min-2}^0 = E_1e - b_1e = III_p + (\lambda'_v - a) \cdot tg\delta - U_0 \cdot \cos\alpha - f_2 \cdot \cos\delta. \quad (2.88)$$

Третій етап. Визначення $t_{\min-1}^{pp}$, $t_{\min-2}^{pp}$ і U_{pp} .

Ординати DD_2 і E_1E , які позначені як $(t_{\min-1}^{pp})'$ і $t_{\min-2}^{pp}$ визначаємо з розгляду верхньої частини рис. 2.6, яка показує розташування робочої грані рамної рейки відносно горизонталі CQ і відносно відведеного криволінійного вістря. На рис. 2.6 показано окреслення робочої грані рамної рейки спочатку по горизонтальній прямій (від переднього стику рамної рейки до точки C), а далі по кривій радіуса R_{pp}^{6H} в межах від C – положення вістря вістря у притиснутому стані до B'_3 , що знаходиться на пересіченні робочої грані рамної рейки з вертикальною лінією BQB'_3 опущеної з кореня вістря B перпендикулярно горизонталі CQ .

Порядок вирішення задачі на цьому етапі обираємо наступний.

1. Спочатку визначимо усі абсциси по розрахунковій горизонталі CQ , які необхідні для знаходження ординат розташування робочої грані рамної рейки відносно горизонталі CQ .

Потрібно визначити абсциси: CA_2 , CE_1 , CD , CD' , CQ .

Абсциса $CA_2 = a = 360$ мм.

Відповідно до схеми (рис. 2.6) $A_2Q = A_1F$ та визначається з виразу

$$A_1F = A_1B \cdot \cos\delta = \left(2R_0 \cdot \sin \frac{\varphi_{0-III}}{2} \right) \cdot \cos\delta. \quad (2.89)$$

Значення $CQ = l'_0$, а $CE_1 = \lambda'_v$.

$$A_2D = A_1B_1 \cdot \cos \delta = R_0 \cdot \sin \frac{\varphi_{0-u}}{2} \cdot \cos \delta, \quad (2.90)$$

$$CD = a + A_2D, \quad A_2D' = A_2D + DD'. \quad (2.91)$$

Таким чином абсциса A_2D' визначиться з виразу:

$$A_2D' = R_0 \cdot \sin \frac{\varphi_{0-u}}{2} \cdot \cos \delta + \frac{U_n^0 + III_p}{2} \cdot \operatorname{tg} \delta - t_1 \cdot \sin \delta. \quad (2.92)$$

Абсциса CD' дорівнює:

$$CD' = a + A_2D'. \quad (2.93)$$

Усі інші величини приймаємо відповідно до розрахунків, які наведені вище. Таким чином усі необхідні абсциси визначені.

2. Після визначення абсцис знайдемо необхідні ординати розташування робочої грані рамної рейки відносно розрахункової горизонталі CQ .

Потрібно визначити вертикальні ординати $EE_1 = t_{\min-2}^{pp}$; $D'D'_2 = t_{\min-1}^{pp}$; $DD_2 = (t_{\min-1}^{pp})'$, а також ординату проти кореня вістряка $QB'_3 = U_{pp}$, яка потрібна для проектування кореневого кріплення вістряка.

Порядок розрахунку наступний.

1. Відповідно до схеми (рис. 2.6) центральний кут $\beta_{t_{\min-2}^{pp}}$ визначаємо з виразу:

$$R_{pp}^{6H} \cdot \sin \beta_{t_{\min-2}^{pp}} - R_{pp}^{6H} \cdot \sin \beta_{H-2} = CE_1. \quad (2.94)$$

У рівнянні (2.94) відомими є значення абсциси CE_1 , кута β_{H-2} і R_{pp}^{6H} , тому з цього рівняння знаходимо $\sin \beta_{t_{\min-2}^{pp}}$, а значить і кут $\beta_{t_{\min-2}^{pp}}$.

Шукану ординату $EE_1 = t_{\min-2}^{pp}$ визначаємо зі схеми рис. 2.6 складаючи рівняння відносно ординат:

$$R_{pp}^{6H} \cdot \cos \beta_{H-2} - R_{pp}^{6H} \cdot \cos \beta_{t_{\min-2}^{pp}} = EE_1 = t_{\min-2}^{pp}. \quad (2.95)$$

2. Центральний кут $(\beta_{t_{\min-1}^{pp}})'$ визначаємо з виразу:

$$R_{pp}^{6H} \cdot \sin(\beta_{t_{\min-1}^{pp}})' - R_{pp}^{6H} \cdot \sin \beta_{H-2} = CD. \quad (2.96)$$

У рівнянні (2.96) відомими є абсциса CD , кут β_{H-2} і R_{pp}^{6H} , тому з цього рівняння знаходимо $\sin(\beta_{t_{\min-1}^{pp}})'$, а значить і кут $(\beta_{t_{\min-1}^{pp}})'$.

Шукану ординату $DD_2 = (t_{\min-1}^{pp})'$ можна визначити також зі схеми (рис. 2.6, складаючи рівняння відносно ординат:

$$R_{pp}^{6H} \cdot \cos \beta_{H-2} - R_{pp}^{6H} \cdot \cos(\beta_{t_{\min-1}^{pp}})' = DD_2 = (t_{\min-1}^{pp})'. \quad (2.97)$$

3. Для визначення другої шуканої ординати в іншому перерізі $D'D'_2 = t_{\min-1}^{pp}$, поступимо саме так, як при пошуку DD_2 , з урахуванням лише того, що для пошуку $D'D'_2 = t_{\min-1}^{pp}$ потрібно розглянути абсцису CD' і центральний кут $\beta_{t_{\min-1}^{pp}}$ в точці D'_2 . Тоді розрахункове рівняння буде мати вигляд:

$$R_{pp}^{6H} \cdot \sin \beta_{t_{\min-1}^{pp}} - R_{pp}^{6H} \cdot \sin \beta_{H-2} = CD'. \quad (2.98)$$

З цього рівняння визначаються $\sin \beta_{t_{\min-1}^{pp}}$ і кут $\beta_{t_{\min-1}^{pp}}$. Далі визначається шукана величина $t_{\min-1}^{pp} = D'D'_2$ з рівняння:

$$R_{pp}^{6H} \cdot \cos \beta_{H-2} - R_{pp}^{6H} \cdot \cos \beta_{t_{\min-1}^{pp}} = D'D'_2 = t_{\min-1}^{pp}. \quad (2.99)$$

4. З тієї ж схеми (рис. 2.6) за аналогічною методикою визначаємо третю шукану величину $U_{pp} = QB'_3$ з розрахункового рівняння:

$$R_{pp}^{6H} \cdot \sin \beta_{новн-2} - R_{pp}^{6H} \cdot \sin \beta_{H-2} = CQ = l'_0. \quad (2.100)$$

З рівняння (2.100) знаходяться $\sin \beta_{новн-2}$ і кут $\beta_{новн-2}$. А далі знаходиться шукана ордината U_{pp} з рівняння:

$$U_{pp} = QB'_3 = R_{pp}^{6H} \cdot \cos \beta_{H-2} - R_{pp}^{6H} \cdot \cos \beta_{новн-2}. \quad (2.101)$$

4 етап. Визначення шуканих мінімальних значень ширини жолоба між рамною рейкою і відведеним вістряком у розрахункових перерізах $t_{\min-1}$ та $t_{\min-2}$ і абсолютного мінімального жолоба $t_{\min \min}$.

Мінімальна ширина жолоба $t_{\min-1}$ (по вертикалі) в зоні максимального вигину вістряка визначається як сума найменших відстаней від розрахункової горизонталі CQ до вістряка і до рамної рейки (рис. 2.6):

$$\text{у перерізі } D_1'D_2': \quad t_{\min-1} = t_{\min-1}^{01} + t_{\min-1}^{pp}, \quad (2.102)$$

$$\text{у перерізі } B_4DD_2: \quad (t_{\min-1})' = t_{\min-1}^{02} + (t_{\min-1}^{pp})'. \quad (2.103)$$

З двох значень $t_{\min-1}$ і $(t_{\min-1})'$ знаходиться найменше:

$$\left. \begin{matrix} t_{\min-1} \\ (t_{\min-1})' \end{matrix} \right\} (\min t_{\min-1})_{(верм)}, \quad (2.104)$$

і ця найменша ширина жолоба $(\min t_{\min-1})_{(верм)}$ у зоні максимального вигину вістряка приймається як кінцевий шуканий мінімальний жолоб між рамною рейкою і відведеним вістряком (при вимірюванні по вертикальних ординатах).

Мінімальна ширина жолоба $t_{\min-2}$ проти кінця горизонтальної строжки вістряка (у перерізі b_1E_1E) визначається за тією ж методикою, як сума найменших відстаней від розрахункової горизонталі CQ до відведеного вістряка і до рамної рейки (при вимірюванні по вертикальних ординатах):

$$(t_{\min-2})_{верм} = t_{\min-2}^0 + t_{\min-2}^{pp}. \quad (2.105)$$

Абсолютний мінімальний жолоб $t_{\min \min}$ між рамною рейкою і відведеним вістряком потрібно визначати із порівняння двох знайдених шуканих значень мінімального жолоба $\min t_{\min-1}$ і $t_{\min-2}$, причому ординату абсолютно мінімального жолобу потрібно шукати і визначати не по вертикалях, а по найкоротшій відстані між рамною рейкою і вістряком, тобто по нормалі до робочої грані рамної рейки і внутрішньої грані відведеного вістряка. У зв'язку з тим, що ці два елементи (рамна рейка і вістряк) мають у

кожному розрахунковому перерізі різні кути нахилу до розрахункової горизонталі CQ , то найкоротші відстані між цими елементами потрібно визначати по нормалі до умовної середньої лінії жолоба MN (рис. 2.11), нахил якої до горизонталі потрібно визначати в кожному розрахунковому перерізі, з урахуванням кутів нахилу до горизонталі рамної рейки і вістряка.

Вирішення задачі визначення кутів нахилу середньої лінії жолоба MN до розрахункової горизонталі CQ в кожному розрахунковому перерізі можна виконати методами аналітичної геометрії, розглядаючи основну розрахункову схему (рис. 2.6) сумісно з детальними розрахунковими вузлами (рис. 2.9; 2.10; 2.11; 2.12).

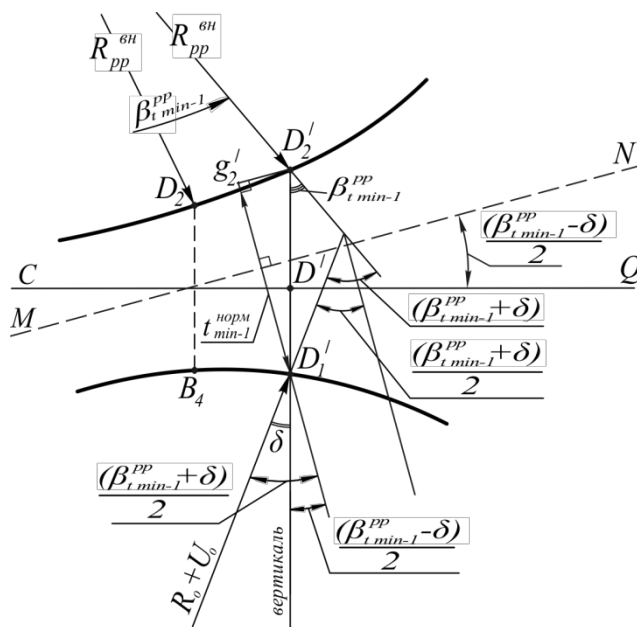


Рис. 2.11.

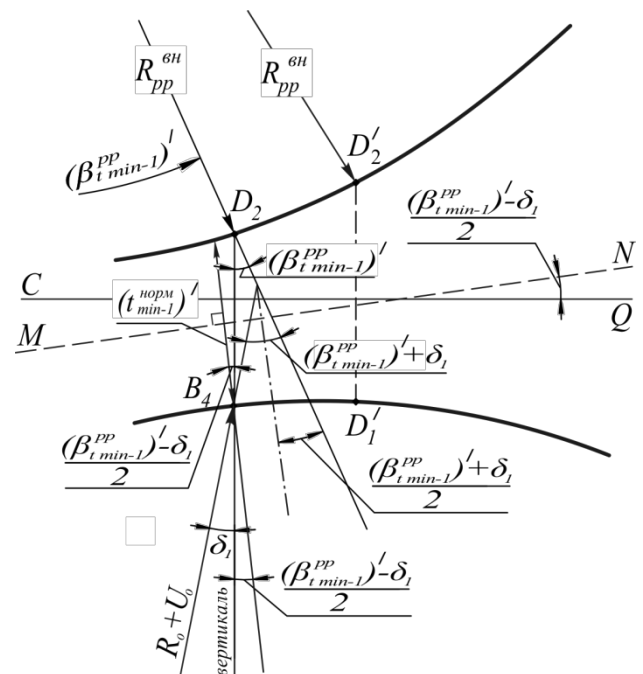


Рис. 2.12.

Розрахунки показують, що загальною перемінною кут нахилу середньої лінії жолоба MN до розрахункової горизонталі CQ у кожному розрахунковому перерізі буде рівним алгебраїчній півсумі кутів нахилу до горизонталі робочої грані рамної рейки і неробочої грані відведеного вістряка.

Кінцеві формули для визначення мінімальної ширини жолобу по нормалі в розрахункових перерізах $D_1'D'D_2'$ і B_4DD_2 (у зоні максимального вигину вістряка) будуть мати вид:

у перерізі $D_1'D'D_2'$ (див. рис. 2.6, 2.11):

$$\begin{aligned} (t_{\min-1})_{\text{норм}} = (t_{\min-1})_{\text{верт}} \cdot \cos\left(\frac{\beta_{t_{\min-1}^{pp}} - \delta}{2}\right) - \\ - (t_{\min-1})_{\text{верт}} \cdot \sin\left(\frac{\beta_{t_{\min-1}^{pp}} - \delta}{2}\right) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\beta_{t_{\min-1}^{pp}} - \delta}{2}\right), \end{aligned} \quad (2.106)$$

у перерізі B_4DD_2 (див. рис. 2.6, 2.12):

$$\begin{aligned} (t_{\min-1})'_{\text{норм}} = (t_{\min-1})'_{\text{верт}} \cdot \cos\frac{(\beta_{t_{\min-1}^{pp}})' - \delta_1}{2} - \\ - (t_{\min-1})'_{\text{верт}} \cdot \sin\frac{(\beta_{t_{\min-1}^{pp}})' - \delta_1}{2} \cdot \operatorname{tg}\frac{(\beta_{t_{\min-1}^{pp}})' - \delta_1}{2}. \end{aligned} \quad (2.107)$$

Визначення центрального кута $(\beta_{t_{\min-1}^{pp}})'$ наведено вище.

Кут δ_1 - кут між вертикаллю і радіусом $(R_0 + U_0)$, що проведений від центру O до точки B_4 на неробочій кромці голівки відведеного вістряка.

Кут δ_1 визначаємо як різницю між кутом δ (в точці D_1') (див. рис. 2.6) і центральним кутом, що охоплює відрізок кола B_4D_1' від радіусу $R_0 + U_0$.

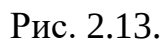
Тобто, $\angle\delta_1 = \delta - \frac{B_4D_1'}{R_0 + U_0}$ ($\frac{B_4D_1'}{R_0 + U_0}$ - в радіанах).

Довжина відрізка B_4D_1' знайдена раніше за формулою (2.66).

З 2-х визначених розрахункових значень обираємо абсолютно найменшу величину:

$$\left. \begin{aligned} (t_{\min-1})_{\text{норм}} \\ (t_{\min-1})'_{\text{норм}} \end{aligned} \right\} \min(t_{\min-1})_{(\text{норм})}. \quad (2.108)$$

Формула для визначення мінімальної ширини жолоба в розрахунковому перерізі b_1E (проти кінця бокової строжки вістряка (див.



Получим, что $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \ln \frac{1}{n} = 0$.

$$\langle m_{\nu} \rangle_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 m_{\nu_i}^2} \approx 0.05 \text{ eV} \quad (2.92)$$

FIG. 4. JUNE 11, 1962. JAMES HENNEL TO DESTINATION.

Далі задача визначення мінімальної ширини жолобу по нормалі $(t_{\min-2})_{\text{норм}}$, проти кінця бокової строжки в перерізі b_1E_1E , вирішується графо-аналітичним методом з розгляду схеми (рис. 2.13), з урахуванням того, що кут нахилу до вертикалі шуканого перерізу b_1g_2 визначається як алгебраїчна напівсума кутів нахилу: рамної рейки до вертикалі в точці E (кут $\beta_{t_{\min-2}^{pp}}$) і відведеного вістряка в точці b_1 - кінці бокової строжки вістряка (кут $\angle x$).

В результаті кут нахилу до вертикалі b_1E шуканого перерізу b_1g_2 буде вірним куту нахилу середньої лінії MN до горизонталі CQ і визначатись як:

$$\angle Eb_1g_2 = \frac{\beta_{t_{\min-2}^{pp}} + \left(\frac{\varphi_{0-u}}{2} - \varepsilon_{u-u-\beta_{n-1}} - \delta \right)}{2}. \quad (2.109)$$

Визначення ширини жолоба по нормалі в перерізі b_1g_2 проти кінця бокової строжки вістряка b_1 слід виконувати за формулою:

$$(t_{\min-2})_{\text{норм}} = (t_{\min-2})_{\text{верт}} \cdot \cos\left(\frac{y+x}{2}\right) - (t_{\min-2})_{\text{верт}} \cdot \sin\left(\frac{y+x}{2}\right) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{y-x}{2}\right). \quad (2.110)$$

Кут нахилу нормалі до середньої лінії жолоба MN дорівнює $\angle\left(\frac{y+x}{2}\right)$.

А кути $\angle x$ (див. рис. 2.9 (вузол b_1E і рис. 2.10 (вузол b_1eb)) і $\angle y$ (див. рис. 2.13 (вузол b_1E)) визначаємо з виразів:

$$\angle y = \angle \beta_{t_{\min-2}^{pp}}, \quad (2.111)$$

$$\angle x = \gamma - \delta = \left(\frac{\varphi_{0-u}}{2} - \varepsilon_{u-u-\beta_{n-1}} \right) - \delta. \quad (2.112)$$

Кути у формулах (2.111) і (2.112) $\beta_{t_{\min-2}^{pp}}$; $\frac{\varphi_{0-u}}{2}$; $\varepsilon_{u-u-\beta_{n-1}}$; δ – визначені вище.

Після цього, у кінці кінців, можна визначити абсолютно мінімальну ширину жолоба $t_{\min \min}$ між рамною рейкою і відведеним вістряком як найменшу із порівняння 3-х раніше визначених величин:

$$\left. \begin{array}{l} (t_{\min-1})_{\text{норм}} \\ (t_{\min-1})'_{\text{норм}} \\ (t_{\min-2})_{\text{норм}} \end{array} \right\} \rightarrow t_{\min \min}^{\text{розп}}. \quad (2.113)$$

На цьому задача пошуку та визначення мінімальної розрахункової ширини жолоба $t_{\min \min}^{\text{розп}}$ вирішена повністю для схеми відведеного вістряка за рис. 2.6.

Після визначення мінімальної розрахункової ширини жолобу $t_{\min \min}^{\text{розп}}$ її необхідно порівняти з допустимим мінімальним розміром жолоба $[t_{\min}]_{\text{дон}} = 71$ мм. Якщо фактичний розрахунковий мінімальний жолоб більше допустимого, тобто виконується нерівність $t_{\min \min}^{\text{розп}} > [t_{\min}]_{\text{дон}}$, тоді умови безпеки проходу колісних пар по розглядуваній зоні стрілочного переводу забезпечені. Якщо нерівність не виконується, тоді слід підбирати інші геометричні параметри стрілочного переводу до забезпечення виконання умови.

2.2.7.1.1 Результати розрахунків мінімальної ширини жолоба при $U_n^0 > III_p$

Так, в роботі мною були проведені розрахунки мінімальної величини жолобу в корені вістряка для стрілочного переводу марки Р50 типу 1/11 на дерев'яних брусах за наведеною вище методикою. Повний порядок розрахунку з визначення геометричних розмірів наведено в додатку А.

За даною методикою розрахунку були перевірені геометричні параметри симетричного стрілочного переводу проекту 2063Дн [44, 45, 108].

Існуюча довжина вістряка для цього перевodu становить $l_0 = 6515$ мм. За результатами розрахунку було встановлено, що умова $U_n^0 > III_p$ (при $III_p = 156$ мм) буде забезпечена, якщо довжина вістряка l_0 , мм становитиме не менше ніж 8690 мм.

Для мінімальної розрахованої довжини вістряка $l_0 = 8700$ мм було проведено розрахунок усіх інших геометричних параметрів стрілочного перевodu 2063Дн. Результати розрахунків усіх геометричних параметрів елементів стрілочного перевodu наведено в табл. 2.5, рис. 2.14.

Порівняння геометричних характеристик 2063Дн та розрахунків при $l_{\min} = 8690$ мм дозволили встановити, що:

- незмінними залишились такі параметри – початковий кут вістряка β_{n-1} , початковий радіус вістряка R_0 та радіус перевідної привої R , передній h та задній p вильоти хрестовини;
- збільшились такі параметри – довжина рамної рейки l_{pp} , кут в корені вістряка $\beta_{повн-1}$;
- зменшились такі параметри: теоретична довжина стрілочного перевodu L_T , практична довжина стрілочного перевodu L_{II} , довжини з'єднувальних рейок $l_1 - l_8$; довжина перевідної кривої x_k ; довжина прямої вставки $d_{\min}$.

Таблиця 2.5

Порівняння геометричних параметрів стрілочних переводів Р50 1/11 проекту 2063Дн та розрахованого за поданою методикою при $U_n^0 > III_p$

Параметри	Одиниці вимірювання	Геометричні характеристики	
		Проект 2063Дн	Розрахунковий проект, схема при $U_n^0 > III_p$
Теоретичні довжина стрілочного переводу, L_T	мм	26 580	22 112
Практична довжина стрілочного переводу, L_{II}	мм	33 201	26 770
Початковий кут вістряка, β_{H-1}	градуси	0°34'28,35"	0°34'28,35"
Довжина вістряка, l_0	мм	6 515	8 700
Радіус вістряка, R_0	мм	540 000	540 000
Радіус перевідної кривої, R	мм	540 000	540 000
Кут в корені вістряка, $\beta_{повн-1}$	градуси	1°00'32,81"	1°29'47,7"
Довжина рамної рейки, l_{pp}	мм	12 500	12 500
З'єднувальні рейки	мм	$l_1 = l_7 = 8\,137$ мм; $l_3 = l_5 = 9\,797$ мм $l_2 = l_8 = 12\,500$; $l_4 = l_6 = 7\,619$ мм	$l_1 = l_3 = l_5 = l_7 = 6\,250$ мм; $l_2 = l_8 = 9\,427$ мм; $l_4 = l_6 = 5\,943$ мм
Довжина перевідної кривої, x_k	мм	15 574,5	10 356
Довжина прямої вставки, d	мм	4 495,5	3 060
Довжина переднього вильоту хрестовини, h	мм	2 650	2 650
Довжина заднього вильоту хрестовини, h	мм	2 300	2 300

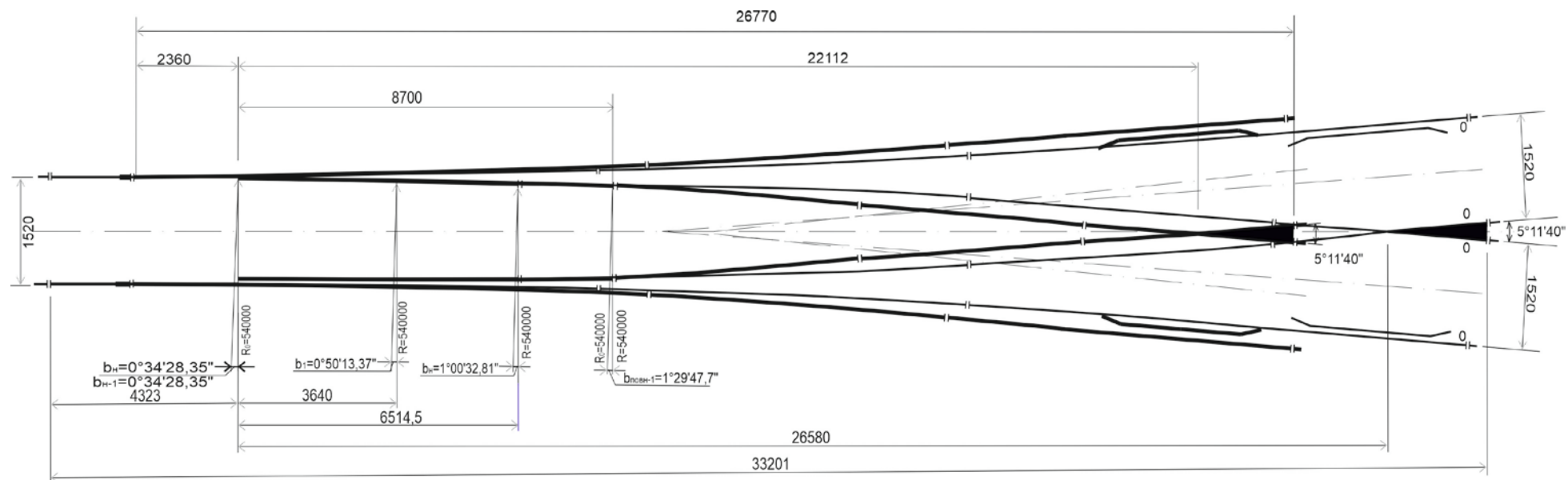


Рис. 2.14. Геометричні розміри симетричного стрільного переходу типу Р50 марки 1/11

розраховані за поданою методикою при $U_n^0 > \text{III}_p$

2.2.7.2 Методика визначення мінімальної ширини жолобу при $U_n^0 < III_p$

Для визначення шуканих величин виконаємо допоміжні побудови в рис. 2.7. Проведемо хорду A_1B між коренем вістряка (точка B) і місцем кріплення стрілочної тяги до вістряка (в точці A_1).

Максимальна стріла сегменту f_1 від хорди A_1B буде розташована на радіусі-перпендикулярі, що проходить через середину хорди – точку B_1 . На продовженні радіуса-перпендикуляра проти стріли f_1 позначимо відстань між точками $B_4D_1 = t_1$, а відстань по вертикалі між точками $B_4D = t_{\min-1}^0$ - це буде мінімальна відстань по вертикалі між відведеним вістряком і розрахунковою горизонталлю CQ . У цьому перерізі (проти точки B_4) потрібно буде визначити мінімальну відстань $DD_2 = t_{mn-1}^{pp}$ від рамної рейки до розрахункової горизонталі CQ . І після цього потрібно визначити сумарний мінімальний жолоб між відведеним вістряком і рамною рейкою в першому конкуруючому перерізі – проти точки B_4 - максимального вигину вістряка

$$(t_{\min-1})^{perm} = t_{\min-1}^0 + t_{\min-1}^{pp}. \quad (2.102)'$$

Другу конкуруючу мінімальну відстань між зовнішньою кромкою вістряка і рамною рейкою (для схеми за рис. 2.7) потрібно визначити проти точки b_1 (кінця горизонтальної строжки вістряка) в перерізі b_1E_1E .

$$(t_{\min-2})^{perm} = t_{\min-2}^0 + t_{\min-2}^{pp}. \quad (2.105)'$$

Для розрахунків мінімальної відстані $b_1E_1 = t_{\min-2}^0$ від відведеного вістряка до розрахункової горизонталі CQ виконаємо допоміжні побудови в кресленні 2.7.

1) Проведемо радіус Obb_1 із центра кола в точку b_1 - кінця строжки вістряка;

2) Проведемо також радіуси OC_1 і OA_1 ;

3) Проведемо горизонталь A_1F до пересічення з вертикаллю QBF в корені вістряка;

4) Проведемо також хорду A_1B і перпендикуляри be і B_3B_5 в розглядуваних перерізах із точок b і B_3 на горизонталь A_1F .

Порядок вирішення задачі приймаємо наступний.

1 етап. Визначення $t_{\min-1}^0$ в перерізі B_4D .

1. Знайдемо величину III_p відстані між точками A_1 і A_2 за формулою (2.48) §2.2.7.

$$III_p = III + t'_{uu}, \quad (2.48)'$$

де t'_{uu} – товщина вістряка проти стрілочної тяги (визначаємо формулою (2.49))

$$t'_{uu} = R_0 (\cos \beta_{n-1} - \cos(\beta_{n-1} + \beta_{uu})). \quad (2.49)'$$

Знаходимо величину ординати $BQ = U_n^0$ в корені вістряка за формулою (2.50)

$$U_n^0 = R_0 (\cos \beta_{n-1} - \cos \beta_{новн-1}). \quad (2.50)'$$

Після цього порівнюємо величини III_p і U_n^0 , щоб упевнитись у вихідній умові рішення задачі за схемою рис. 2.7 для випадку, коли $U_n^0 < III_p$.

2. Знаходимо допоміжні величини для визначення $t_{\min-1}^0$. Половина довжини хорди A_1B мпозначена $B_1B = A_1B_1$ мвизначається за формулою (2.57)

$$B_1B = A_1B_1 = R_0 \cdot \sin \frac{\varphi_{0-uu}}{2}. \quad (2.57)'$$

Тоді уся довжина хорди становитиме

$$A_1B = B_1B + B_1A_1 = 2R_0 \cdot \sin \frac{\varphi_{0-uu}}{2}. \quad (2.114)$$

Максимальну стрілу сегменту від хорди A_1B знаходимо за формулою (2.53)

$$f_1 = R_0 - B_1O . \quad (2.53)'$$

Довжина перпендикуляра на хорду знаходиться з виразу

$$B_1O = R_0 \cdot \cos \frac{\varphi_{0-u}}{2} . \quad (2.54)'$$

Величина відрізка BF визначається з формули

$$BF = III_p - U_n^0 . \quad (2.115)$$

Кут BA_1F позначений $\angle \delta$ визначиться з виразу

$$\frac{BF}{A_1B} = \sin \delta . \quad (2.116)$$

Довжина відрізка B_1B_2 визначаємо з виразу

$$B_1B_2 = A_1B_1 \cdot \operatorname{tg} \delta . \quad (2.117)$$

Відстань між точками B_2B_3 знаходимо з виразу

$$B_2B_3 = f_1 + B_1B_2 = f_1 + \left(R_0 \cdot \sin \frac{\varphi_{0-u}}{2} \right) \cdot \operatorname{tg} \delta . \quad (2.118)$$

Відстань по вертикалі між точками B_3B_5 , що позначена на рис. 2.7 як $B_3B_5 = Z_1$ знаходимо з виразу

$$Z_1 = B_3B_5 = B_2B_3 \cdot \cos \delta . \quad (2.119)$$

3. Після цього визначаємо шукану величину $t_{\min-1}^0 = B_4D$ в перерізі B_4D з виразу

$$t_{\min-1}^0 = III_p - Z_1 - \frac{U_0}{\cos \delta} . \quad (2.120)$$

Для подальших розрахунків знаходимо довжину відрізка B_4D_1 з виразу

$$B_4D_1 = \frac{t_{\min-1}^0}{\cos \delta} . \quad (2.121)$$

2 етап. Визначення $t_{\min-2}^0$ в перерізі b_1E_1 .

1. Знаходимо допоміжні величини.

Кут OA_1b трикутника OA_1b (рис. 2.7) знаходимо з виразу

$$\angle OA_1b = \frac{180^\circ - \varepsilon_{u-w-\beta_{n-1}}}{2} = 90^\circ - \frac{\varepsilon_{u-w-\beta_{n-1}}}{2}. \quad (2.122)$$

Кут $\angle bA_1e$, позначений як кут x , в трикутнику bA_1e знаходимо з розгляду двох трикутників bA_1e і OA_1F

$$\angle x = \angle OA_1b - \angle FA_1O, \quad (2.123)$$

де

$$\angle FA_1O = \angle BA_1O - \angle \delta = 90^\circ - \frac{\varphi_{0-w}}{2} - \delta. \quad (2.124)$$

Тоді значення кута x відповідно до формули (2.123) визначиться з виразу

$$\angle x = 90 - \frac{\varepsilon_{u-w-\beta_{n-1}}}{2} - \left(90 - \frac{\varphi_{0-w}}{2} - \delta \right) = \frac{\varphi_{0-w}}{2} + \delta - \frac{\varepsilon_{u-w-\beta_{n-1}}}{2}. \quad (2.125)$$

Довжина перпендикуляру be , опущеного з b на горизонталь A_1F і позначеного на рис. 2.7 як $be = Z_2$ визначається з виразу

$$Z_2 = A_1b \cdot \sin x. \quad (2.126)$$

2. Після цього визначаємо шукану величину $t_{\min-2}^0$ за формулою

$$t_{\min-2}^0 = III_p - Z_2 - U_0 \cdot \cos x. \quad (2.127)$$

3 етап. Визначення $t_{\min-1}^{pp}$, $t_{\min-2}^{pp}$ і U_{pp} .

Розрахунки на третьому етапі для випадку $III_p > U_n^0$ відповідно до схеми (рис. 2.7) виконуються за аналогічною методикою, що наведена в параграфі §2.2.7.1 (визначення $t_{\min-1}^{pp}$ і $t_{\min-2}^{pp}$).

1. Спочатку визначимо усі абсциси по розрахунковій горизонталі, які необхідні для знаходження ординат розташування робочої грані рамної рейки відносно горизонталі CQ .

Потрібно визначити абсциси: CE_1 , CD , CQ .

Значення $CE_1 = \lambda'_v$ - визначаємо за формулою (2.25).

Довжину $CD = 360 \text{ мм} + A_2D$ знаходимо за формулою (2.91).

Відповідно до схеми (рис. 2.7) – $A_2D = A_1B_5$ де $A_1B_5 = A_1B_2 - B_2B_5$.

$$\text{В свою чергу } A_1 B_2 = \frac{A_1 B_1}{\cos \delta}; \quad B_2 B_5 = Z_1 \cdot \operatorname{tg} \delta. \quad (2.128)$$

Значення $A_1 B_1$ визначаємо за формулою (2.57)'.

Тоді

$$A_2 D = A_1 B_5 = \frac{A_1 B_1}{\cos \delta} - Z_1 \cdot \operatorname{tg} \delta = R_0 \frac{\sin \frac{\varphi_0 - \omega}{2}}{\cos \delta} - Z_1 \cdot \operatorname{tg} \delta. \quad (2.129)$$

Абсциса $CQ = l'_0$ - що є проекцією вістряка на горизонталь (рис. 2.7) визначається за формулою (2.31).

Таким чином усі необхідні абсциси визначені.

2. Після визначення абсцис знаходимо необхідні ординати. Порядок розрахунку яких наступний.

2.1. Ордината U_{pp} - від рамної рейки до розрахункової горизонталі CQ визначаємо за формулою

$$U_{pp} = BQ = R_{pp}^{6H} \cdot \cos \beta_{H-2} - R_{pp}^{6H} \cdot \cos \beta_{повн-2}. \quad (2.130)$$

2.2. Першу шукану ординату $t_{\min-1}^{pp}$ визначаємо розглядаючи рівняння проекцій відносно центрального кута $\beta_{t_{\min-1}^{pp}}$. Центральний кут $\beta_{t_{\min-1}^{pp}}$ проти шуканої ординати $t_{\min-1}^{pp}$ у точці D_2 визначаємо з виразу.

$$R_{pp}^{6H} \cdot \sin \beta_{t_{\min-1}^{pp}} - R_{pp}^{6H} \cdot \sin \beta_{H-2} = CD. \quad (2.131)$$

Абсциса CD відома і знаходиться за формулою (2.91). Далі з виразу (2.131) визначаємо $\sin \beta_{t_{\min-1}^{pp}}$, а потім кут $\beta_{t_{\min-1}^{pp}}$. Після цього визначаємо першу шукану ординату $t_{\min-1}^{pp}$ в перерізі DD_2 з виразу

$$t_{\min-1}^{pp} = DD_2 = R_{pp}^{6H} \cdot \cos \beta_{H-2} - R_{pp}^{6H} \cdot \cos \beta_{t_{\min-1}^{pp}}. \quad (2.132)$$

2.3. Другу шукану ординату $t_{\min-2}^{pp}$ визначаємо аналогічним шляхом як і $t_{\min-1}^{pp}$, розглядаючи рівняння проекцій відносно центрального кута $\beta_{t_{\min-2}^{pp}}$.

Центральний кут $\beta_{t_{\min-2}^{pp}}$ проти шуканої ординати $t_{\min-2}^{pp}$ в точці E визначаємо з виразу

$$R_{pp}^{6H} \cdot \sin \beta_{t_{\min-2}^{pp}} - R_{pp}^{6H} \cdot \sin \beta_{H-2} = CE_1. \quad (2.133)$$

Абсциса $CE_1 = \lambda'_v$ - визначена за формулою (2.25). Далі з виразу (2.133) визначається спочатку $\sin \beta_{t_{\min-2}^{pp}}$, а потім кут $\beta_{t_{\min-2}^{pp}}$.

Після цього визначаємо другу шукану ординату $t_{\min-2}^{pp}$ в перерізі E_1E

$$t_{\min-2}^{pp} = EE_1 = R_{pp}^{6H} \cdot \cos \beta_{H-2} - R_{pp}^{6H} \cdot \cos \beta_{t_{\min-2}^{pp}}. \quad (2.134)$$

4 етап. Визначення шуканих мінімальних значень ширини жолоба між рамною рейкою і відведеним вістряком у розрахункових перерізах $t_{\min-1}$ та $t_{\min-2}$ і абсолютного мінімального жолоба $t_{\min \min}$.

Вирішення задачі визначення мінімальних значень ширини жолоба між рамною рейкою і відведеним вістряком для розрахункової схеми (рис. 2.7) виконується саме так, як і для розрахункової схеми (рис. 2.6) методами аналітичної геометрії. Для цього крім основної розрахункової схеми (рис. 2.7) аналізуємо додаткові розрахункові схеми (рис. 2.15 і 2.16), на яких представлений детальний розгляд графоаналітичного вирішення задачі знаходження мінімальних розмірів жолоба в розрахункових перерізах B_4D_2 (проти максимального вигину вістряка) і b_1E (проти кінця строжки вістряка).

Мінімальну ширину жолоба $t_{\min-1}$ (по вертикалі) в зоні максимального вигину вістряка (в перерізі B_4DD_2) визначаємо як суму найменших відстаней від розрахункової горизонталі CQ до відведеного вістряка і до рамної рейки в перерізі B_4DD_2 (рис. 2.15)

$$(t_{\min-1})_{\text{верт}} = t_{\min-1}^0 + t_{\min-1}^{pp}. \quad (2.102)'$$

Мінімальна ширина жолоба $t_{\min-2}$ (по вертикалі) проти кінця горизонтальної строжки вістряка (у перерізі b_1E_1E) визначається за тією ж методикою як сума найменших відстаней від розрахункової горизонталі CQ до відведеного вістряка і до рамної рейки в перерізі b_1E_1E (рис. 2.16)

$$(t_{\min-2})_{\text{верт}} = t_{\min-2}^0 + t_{\min-2}^{pp}. \quad (2.105)'$$

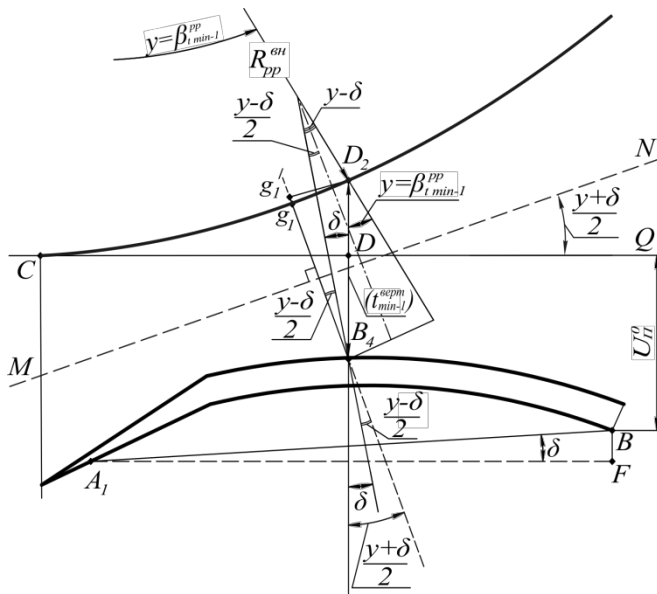


Рис. 2.15.

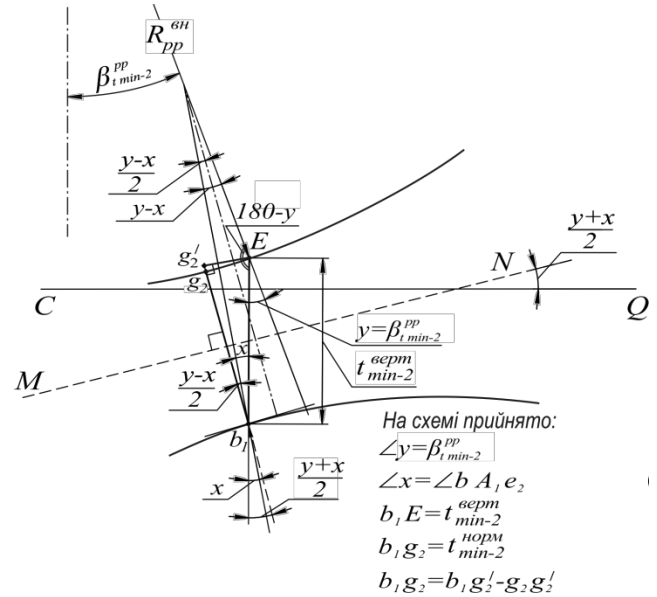


Рис. 2.16.

Абсолютно мінімальний жолоб $t_{\min \min}$ між рамною рейкою і відведеним вістряком (так як і в попередньому розрахунку §2.2.7.1) визначаємо із порівняння двох знайдених шуканих значень мінімального жолоба $(t_{\min-1})_{верт}$ і $(t_{\min-2})_{верт}$. Причому ординату абсолютно мінімального жолобу шукаємо і визначаємо не по вертикалі, а по найкоротшій відстані між рамною рейкою і вістряком. Як і в попередньому випадку (§2.2.7.1) найкоротші відстані між цими елементами визначаємо по нормалі до умовної середньої лінії жолоба MN . Розрахунки показують, що загально-перемінний кут нахилу середньої лінії жолоба MN до розрахункової горизонталі CQ буде у кожному розрахунковому перерізі рівним алгебраїчний півсумі кутів нахилу до горизонталі робочої грані рамної рейки і неробочої грані відведеного вістряка.

З урахуванням наведеного формули для визначення мінімальної ширини жолобу по нормалі в розрахункових перерізах B_4DD_2 і b_1E_1E (рис. 2.7) матимуть наступний вид:

- у перерізі B_4DD_2 (див. рис. 2.7 і 2.15):

$$\begin{aligned} (t_{\min-1})_{\text{норм}} = (t_{\min-1})_{\text{верт}} \cdot \cos\left(\frac{\beta_{t_{\min-1}^{pp}} + \delta}{2}\right) - \\ - (t_{\min-1})_{\text{верт}} \cdot \sin\left(\frac{\beta_{t_{\min-1}^{pp}} + \delta}{2}\right) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\beta_{t_{\min-1}^{pp}} - \delta}{2}\right). \end{aligned} \quad (2.135)$$

- у перерізі $b_1 E_1 E$ (див. рис. 2.7 і 2.16):

$$\begin{aligned} (t_{\min-2})_{\text{норм}} = (t_{\min-2})_{\text{верт}} \cdot \cos\left(\frac{\beta_{t_{\min-2}^{pp}} + x}{2}\right) - \\ - (t_{\min-2})_{\text{верт}} \cdot \sin\left(\frac{\beta_{t_{\min-2}^{pp}} + x}{2}\right) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\beta_{t_{\min-2}^{pp}} - x}{2}\right). \end{aligned} \quad (2.136)$$

З 2-х визначених розрахункових значень обираємо абсолютно найменшу величину, яка і буде визначати абсолютно мінімальний жолоб між рамною рейкою і відведеним вістряком:

$$\left. \begin{aligned} (t_{\min-1})_{\text{норм}} \\ (t_{\min-2})_{\text{норм}} \end{aligned} \right\} \min(t_{\min \min})^{\text{розр}}. \quad (2.137)$$

В завершенні розв'язання задачі виконуємо порівняння фактичного мінімального розрахункового жолоба $t_{\min \min}^{\text{розр}}$ з мінімальним допустимим жолобом $[t_{\min}]_{\text{дон}} = 71$ мм [42], і при виконанні нерівності $t_{\min \min}^{\text{розр}} > [t_{\min}]_{\text{дон}}$ робимо висновок про те, що умови безпеки руху колісних пар забезпечені. А якщо вказана нерівність не виконується, тоді потрібно підібрати інші геометричні параметри, насамперед змінити довжину вістряка, радіус кривизни R , або вихідні кути симетричного стрілочного переходу.

2.2.7.2.1 Результати розрахунків мінімальної ширини жолоба при $U_n^0 < III_p$

За наведеною вище методикою (див. §2.2.7.2) мною були проведені розрахунки мінімального жолобу в корені вістряка для симетричного стрілочного переходу на дерев'яних брусах типу Р50 марки 1/9 (проект 2064Дн

[44]) та 1/11 (2063Дн [44]). Повний порядок розрахунку з визначення геометричних розмірів наведено в додатку А.

В розрахунках були прийняті стандартні вихідні умови стрілочних переводів. Так, стрілочний перевід Р50, 1/9 пр. 2064Дн не передбачає улаштування прямої вставки перед хрестовиною. При розрахунках мною була прийнята мінімальна розрахункова довжина прямої вставки $d_{\min}=2485$ мм. Усі інші основні параметри, такі як β_{n-1} , R_0 , R , l_0 , h , p , α не змінювались.

За результатами розрахунків (за розробленою методикою) були встановлені усі інші геометричні параметри симетричного стрілочного переводу L_T , L_{II} , $\beta_{\text{повн-1}}$, $l_1 - l_8$, l_{pp} .

Порівняльні результати розрахунку геометричних параметрів для Р50 1/9 наведені в табл. 2.6 та на рис. 2.17.

Такі самі розрахунки також були виконані для стрілочного переводу Р50 1/11. Конструкція стрілочного переводу передбачає довжину прямої вставки перед хрестовиною $d=4495,5$ мм. Такі вихідні параметри як β_{n-1} , R_0 , R , l_0 , h , p , α не змінювались.

Відповідно до формули (2.7) мінімальна довжина прямої вставки повинна становити $d_{\min}=3050$ мм. З урахуванням $d_{\min}$ були отримані усі інші основні геометричні розміри симетричного стрілочного переводу. Результати цих розрахунків наведені в табл. 2.7 та на рис. 2.18.

Порівняння геометричних характеристик типових рішень 2063Дн, 2064Дн та розрахованих параметрів за розробленою методикою дозволило встановити, що:

- незмінними залишились такі параметри – початковий кут вістряка β_{n-1} , початковий радіус вістряка R_0 та радіус перевідної привої R , передній h та задній p вильоти хрестовини;
- збільшились такі параметри – кут в корені вістряка $\beta_{\text{повн-1}}$, довжина прямої вставки $d_{\min}$ (для проекту 2064Дн);

Таблиця 2.6

Порівняння геометричних параметрів стрілочних переводів Р50 1/9 проекту 2064Дн та розрахованого за поданою методикою

Параметри	Одиниці вимірювання	Геометричні характеристики	
		Проект 2064Дн	Розрахунковий проект, схема при $U_n^0 < III_p$
Теоретичні довжина стрілочного переводу, L_T	мм	25 210	23 018
Практична довжина стрілочного переводу, L_{II}	мм	31 410	29 390
Початковий кут вістряка, β_{H-1}	градуси	0°34'28,35"	0°34'28,35"
Довжина вістряка, l_0	мм	6 515	6 515
Радіус вістряка, R_0	мм	540 000	540 000
Радіус перевідної кривої, R	мм	421 939	421 939
Кут в корені вістряка, $\beta_{повн-1}$	градуси	1°00'32"	1°15'56"
Довжина рамної рейки, l_{pp}	мм	12 500	12 500
З'єднувальні рейки	мм	$l_1 = l_7 = 6333$ мм; $l_3 = l_5 = 7994$ мм $l_2 = l_8 = 12500$; $l_4 = l_6 = 8619$ мм	$l_1 = l_3 = l_5 = l_7 = 6\,250$ мм; $l_2 = l_8 = 10\,641$ мм; $l_4 = l_6 = 8\,168$ мм
Довжина перевідної кривої, x_k	мм	17 273	14 013
Довжина прямої вставки, d	мм	-	2 495
Довжина переднього вильоту хрестовини, h	мм	2 085	2 085
Довжина заднього вильоту хрестовини, h	мм	1 880	1 880

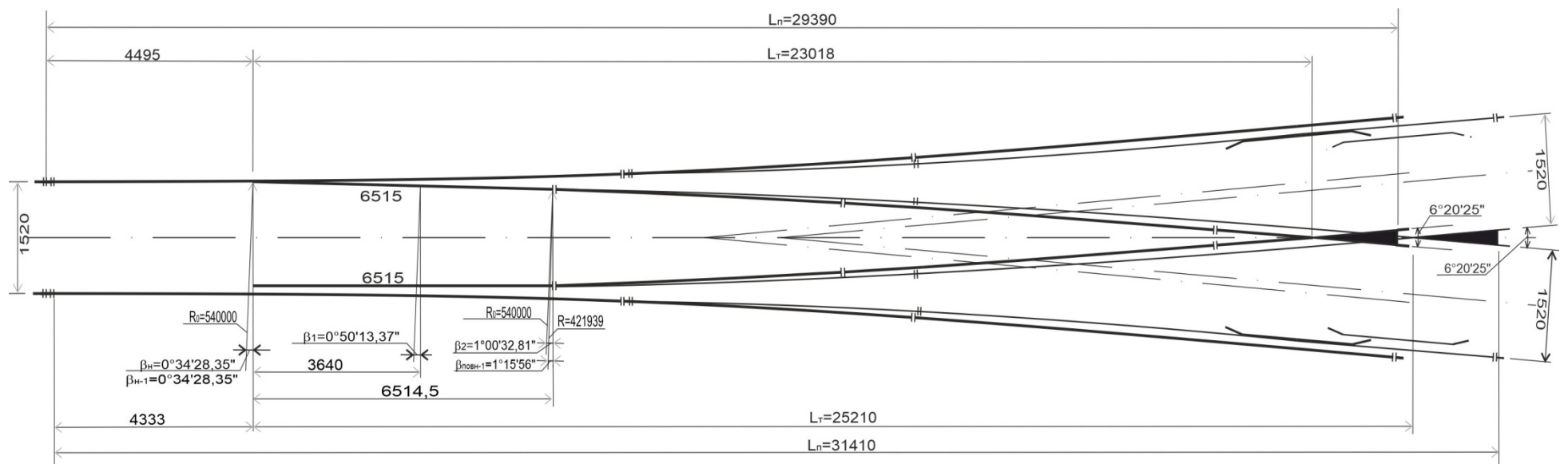


Рис. 2.17. Геометричні розміри симетричного стрілочного переходу типу Р50 марки 1/9
розраховані за поданою методикою при $U_n^0 < \text{III}_p$

Таблиця 2.7

Порівняння геометричних параметрів стрілочних переводів Р50 1/11 проекту 2063Дн та розрахованого за поданою методикою

Параметри	Одиниці вимірювання	Геометричні характеристики	
		Проект 2063Дн	Розрахунковий проект, схема при $U_n^0 < III_p$
Теоретичні довжина стрілочного переводу, L_T	мм	26 580	22 112
Практична довжина стрілочного переводу, L_{II}	мм	33 201	28 955
Початковий кут вістряка, β_{H-1}	градуси	0°34'28,35"	0°34'28,35"
Довжина вістряка, l_0	мм	6 515	6 515
Радіус вістряка, R_0	мм	540 000	540 000
Радіус перевідної кривої, R	мм	540 000	540 000
Кут в корені вістряка, $\beta_{повн-1}$	градуси	1°00'32"	1°15'56"
Довжина рамної рейки, l_{pp}	мм	12 500	12 500
З'єднувальні рейки	мм	$l_1 = l_7 = 8\,137$ мм; $l_3 = l_5 = 9\,797$ мм $l_2 = l_8 = 12\,500$; $l_4 = l_6 = 7\,619$ мм	$l_1 = l_3 = l_5 = l_7 = 6\,250$ мм; $l_2 = l_8 = 10\,202$ мм; $l_4 = l_6 = 6\,694$ мм
Довжина перевідної кривої, x_k	мм	15 574,5	12 542
Довжина прямої вставки, d	мм	4 495,5	3 060
Довжина переднього вильоту хрестовини, h	мм	2 650	2 650
Довжина заднього вильоту хрестовини, h	мм	2 300	2 300

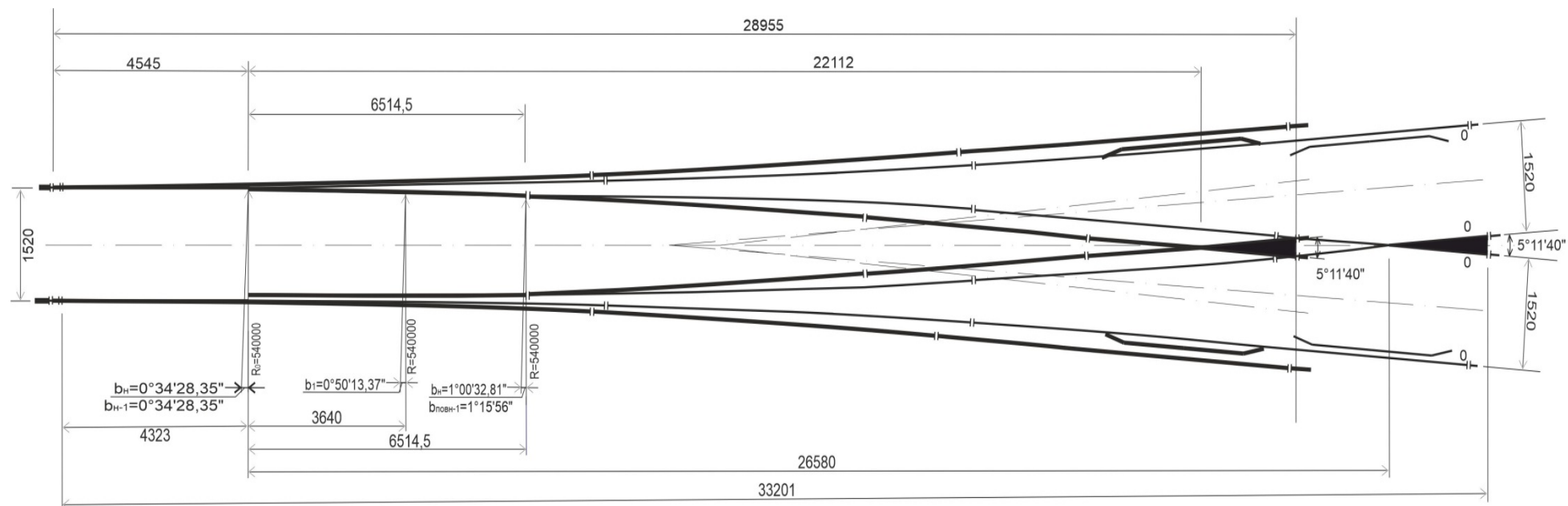


Рис. 2.18. Геометричні розміри симетричного стрільного переходу типу Р50 марки 1/11

розраховані за поданою методикою при $U_n^0 < III_p$

- зменшилися такі параметри: теоретична довжина стрілочного переводу L_T , практична довжина стрілочного переводу L_{II} , довжина рамної рейки l_{pp} , довжини з'єднувальних рейок $l_1 - l_8$; довжина перевідної кривої x_k ; довжина прямої вставки $d_{\min}$ (для проекту 2063Дн).

Тому, можна стверджувати, що проведені розрахунки за розробленою методикою дозволяють зменшити загальну довжину усіх стрілочних переводів зі збереженням умов безпечного руху поїздів зі встановленими швидкостями. При цьому зменшення загальної довжини стрілочних переводів дозволять більш ширше їх використання в стиснених умовах колійного розвитку станцій. А також зменшити металоємність конструкції в цілому, зменшити кількість підрейкових опор, що у свою чергу зменшить вартість цих конструкцій.

Також зазначена методика дозволяє розраховувати усі інші типи і марки симетричних стрілочних переводів.

2.3 Висновки до розділу 2

1) При проектуванні симетричних стрілочних переводів з криволінійними вістряками потрібно передусім забезпечувати безпеку руху коліс поїздів в межах жолобів між рамною рейкою і відведеним криволінійним вістряком. При цьому необхідно розглядати дві різні розрахункові схеми: а) при розмірі кореневої відстані більшій ніж ход шиберу вістряка $U_n^0 > III_p$; б) при зворотному співвідношенні цих розмірів $U_n^0 < III_p$.

2) З урахуванням того, що ширина мінімального жолобу між рамною рейкою і відведеним криволінійним вістряком $t_{\min \min}$ знаходиться в функціональній залежності від довжини вістряка, потрібно в процесі проектування стрілочного переводу обрати шляхом багатоваріантних

розрахунків найбільш раціональну довжину вістряка щоб: по-перше, забезпечити безпеку руху коліс при проходженні жолоба, по-друге, отримати найбільш раціональну практичну довжину стрілочного переводу, виходячи з експлуатаційних вимог.

3) За методикою, що запропонована в дисертації автором були виконані багатоваріантні розрахунки геометричних параметрів симетричних стрілочних переводів діючих проектів 2063 Дн та 2064 Дн, що виготовляються на Дніпропетровському стрілочному заводі (при тому застосовувались обидві схеми розташування рамної рейки та відведеного вістряка для довжин $l_0=8700$ мм ($U_n^0 > III_p$) та $l_0=6515$ мм ($U_n^0 < III_p$).

4) Виконані практичні розрахунки геометричних параметрів криволінійних симетричних стрілочних переводів визначили можливість отримання очікуваного техніко-економічного ефекту від скорочення довжини переводів, що виготовляються, марок 2063 Дн і 2064 Дн на 6,431 м та 2,020 м відповідно або на 19,37% і 6,43% (від існуючої довжини) зі збереженням умов безпечного руху поїздів зі встановленими швидкостями руху.

РОЗДІЛ III

ВИЗНАЧЕННЯ ПРУЖНО-ЖОРСТКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЙКОВОЇ КОЛІЇ ТА СИЛОВОЇ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ РЕЙКОВИХ НИТОК В МЕЖАХ СИМЕТРИЧНИХ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ

3.1 Аналіз конструктивних особливостей стрілочних переводів та їхній вплив при розрахунку динамічних сил взаємодії в системі колія-екіпаж

Порівняно зі звичайною колією, умови роботи конструкцій стрілочних переводів під колесами рухомого складу значно складніші. Крім того, у метрополітенах характер роботи стрілочних переводів відрізняється від умов магістральних залізниць тим, що інтенсивність руху поїздів значно вища при менших осьових навантаженнях. Також, у тунельних ділянках метрополітенів робота стрілочних переводів відрізняється від магістральних залізниць через особливості конструкцій тунельного полотна. Тому врахувати усе різноманіття силових дій на елементи стрілочного переводу та особливостей їх опирання на підстрілочну основу дуже складно та в деяких випадках практично неможливо. Такі обставини вимагають передбачати у розрахунках усі особливості взаємодії рухомого складу та стрілочних переводів на залізничних коліях метрополітенів і застосовувати адекватну методику розрахунків, яка з достатньою повнотою відображала б дійсну поведінку конструкції стрілочних переводів при взаємодії з рухомим складом та одночасно була би доведена до інженерного застосування.

Конструкція стрілочних переводів та умови їхньої роботи значно відрізняються від звичайної колії, тому при їх проектуванні, модернізації та експлуатації виникає цілий ряд питань, що потребують інженерного розв'язання. Зокрема, необхідно враховувати відповідні конструктивні особливості стрілочних переводів, що обумовлюють різноманітний динамічний вплив на його елементи [1, 10, 29, 31, 34].

Призначення стрілочних переводів та їх конструктивне оформлення передбачають особливості взаємодії рухомого складу й колії при русі по цих конструкціях. Виконуючи функцію переміщення рухомого складу з однієї колії на іншу, стрілочний перевід має в складі своєї конструкції стрілку, хрестовину і рейкові нитки, що з'єднуються й пересікаються, і по яких колеса переміщуються з однієї рейкової нитки на іншу. Тому при розрахунках переводних залізобетонних брусів стрілочний перевід розділяють на чотири зони: стрілочну; з'єднувальну, хрестовинну, захрестовинну.

У сучасному методі розрахунків верхньої будови колії (ВБК) на міцність [46] у якості основних вихідних положень (передумов) для практичних інженерних розрахунків беруться такі.

1. Кожна з двох рейок колії розглядається як балка нескінченної довжини незмінного перерізу, що вільно лежить на суцільній рівнопружній основі або на окремих точкових рівнопружних опорах 3.1, а.

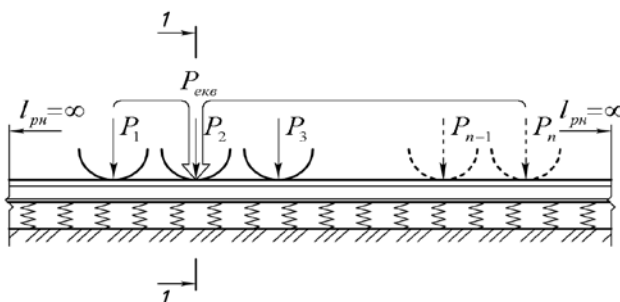


Рис. 3.1, а. Основна розрахункова схема (балка нескінченної довжини на суцільній рівнопружній основі; 1-1 – розрахунковий переріз)

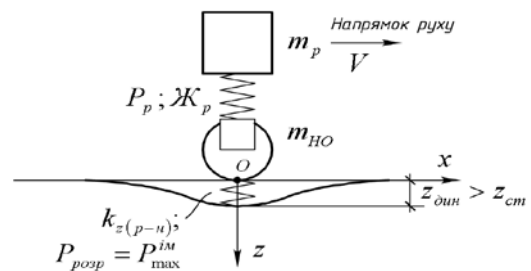


Рис. 3.1, б. Розрахункова схема для визначення сил взаємодії (m_p - маса обресореної частини, яка випадає на одне колесо; m_{HO} - те ж, необресореної частини)

2. Основний розрахунок рейки виконується на дію вертикальних сил; вертикальні сили припускаються прикладеними в площині симетрії рейки, а рейки обох ниток – рівнозавантаженими.

3. Горизонтальні повздовжні сили враховуються шляхом належного вибору допустимих напружень. За фізичні напруження, що допускаються, беруться допустимі напруження згину в рейках при роботі на витривалість σ_r .

4. В основі статичного розрахунку рейки як балки на пружній основі взята гіпотеза про лінійну залежність між тиском на одиницю площі основи (p) і пружною осадкою основи (Z), яка визначається рівнянням:

$$p = C_B \cdot Z, \quad (3.1)$$

Тут p - тиск на одиницю площі основи (рівний реактивному відпору пружної основи, що осідає); Z - пружна осідання балки; C_B - характеристика пружності основи, яка називається коефіцієнтом пружного стискання баласту, або «коефіцієнтом постелі».

5. У практичних інженерних розрахунках конструкція колії розраховується на дію динамічних колісних навантажень.

За пружну лінію вигину балки під впливом динамічного вертикального навантаження береться пружна лінія вигину балки під впливом статичного навантаження, чисельно рівного значенню динамічної сили в даний момент часу.

6. Вплив коливань у системі колесо-колія і вплив нерівностей на колії та колесі враховується силами інерції, що виникають при взаємодії означеної системи, котрі виникають у системі, додатково до дії статичних сил.

Рівнодіюча всіх складових вертикальної сили, що передається розрахунковим колесом на рейку, береться в максимально імовірному значенні $P_{розр} = P_{дин}^{max}$ як статистична сукупність випадкових складових із рівнем імовірності $\Phi=0,994$ (з нормуючим множником $\lambda=2,5$) 3.1, б.

7. Вплив на рейкову нитку всіх інших коліс екіпажу враховується за допомогою завантаження ліній впливу моментів M і поперечних сил Q системою колісних навантажень $P_{дин_i}$ і визначенням еквівалентних вантажів $P_{екв}^I$ і $P_{екв}^{II}$.

8. При практичних інженерних розрахунках зауважується, що в розрахунковому перерізі рейки (тобто в перерізі, де визначається напружений стан) діє максимальне імовірне динамічне колісне навантаження $P_{розр} = P_{дин}^{max}$, а

вплив сусідніх коліс береться у вигляді їх середніх динамічних навантажень $\bar{P}_{дин_i}$, з урахуванням того, що максимум динамічного тиску розрахункового колеса не співпадає з максимумом тиску сусідніх коліс.

9. Вважається, що рейкова колія і рухомий склад знаходяться у справному стані, який відповідає вимогам ПТЕ і нормам утримання.

3.2 Теоретичне розв'язання задачі визначення пружно-жорсткісних характеристик колії в зоні стрілочних переводів

Довготривала і безпечна робота стрілочних переводів залежить з одного боку – від величин сил, що діють від коліс рухомого складу на колію, з іншого боку – від міцності конструкції.

В свою чергу сили взаємодії між елементами колії та рухомого складу в значній мірі залежать від жорсткісних, так званих, пружно-жорсткісних параметрів колії, до яких належать: маси конструкцій колії, що беруть участь у процесі взаємодії, а також в'язких (дисипативних) та пружних взаємозв'язків між окремими взаємодіючими масами. При розрахунках сил взаємодії між елементами колії й рухомого складу з використанням сучасних розрахункових методик і моделюванням системи, складеної з ряду послідовних мас, з'єднаних пружними й дисипативними зв'язками, одним з найбільш відповідальних моментів є визначення пружно-жорсткісних параметрів колії, які в розрахункових схемах прийнято ще називати розрахунковими механічними параметрами колії.

Як уже відзначалось у попередніх дослідженнях (табл. 3.1, [47]; табл. 3.2 [31]), відомості про розрахункові характеристики колії у межах стрілочних переводів, що приводяться в технічній літературі отримані експериментальними методами, важко використовувати для практичних розрахунків стосовно конкретно взятих конструкцій. По-перше – внаслідок досить широкого спектру різноманітних результатів, і по-друге – внаслідок того, що наведені результати отримано в застосуванні до конкретних

конструкцій які експлуатувались в конкретних умовах експлуатації. Тому, строго кажучи, такі дані не можуть бути застосовні для інших розгляданих конструкцій, наприклад іншої модифікації або з іншими геометричними параметрами. Саме тому найбільш правильно визначати характеристики колії розрахунковими методами, якщо такі методи досить надійні й близькі до реальних результатів.

Таблиця 3.1

Характеристика конструкції колії	Вертикальна жорсткість колії, кН/м		Вертикальний модуль пружності підрейкової основи, МПа	
	Рекомендовані значення	Джерело інформації	Рекомендовані значення	Джерело інформації
1	2	3	4	5
Колія на дерев'яних шпалах	39000-53000	48	34-37	48
	25590-42500	49	17,5-31	59
	32000-42000	50	27-26	53, 27
	48600	51		60
	55600	52	17,8-30	61
	11240	53	20-28 (літо 38-48 (зима)	50 50
Колія на з/б шпалах	58000-94500	48	у 1,14-2,8 разів	62
	55200-56800	49	більше, ніж на	
	130000	54	дерев. шпалах	
			41-68	26
			60	9
			26-50	59
Стрілочні переводи на дерев'яних брусах	27400-48250	49	20-40	63
	(P65, M1/11)		34,5-50	64
	60000-100000	9	22-35	63
	125000	55	30-45	56
	59000-82000	56		
	40000-60000	50		
Стрілочні переди на з/б брусах	(літо)			
	50000-110000	50		
	(зима)			
	P65, M1/11		у 1,5-1,6 рази	9
	60000-130000	9	більше, ніж на	
	60000	54	дерев. брусах	
	P50, M1/11		56-80	9
	45000-90000	57, 58	40-65	63
			26-75	63
			70-120	65
			57-89	58

Таблиця 3.2

Довідкові дані жорсткості рейкової нитки по головці $\beta_{y(cp)}^{гол}$ та підшві $\beta_{y(cp)}^{під}$ і горизонтального поперечного модуля пружності підрейкової основи U_y для різних конструкцій колії (за даними різних досліджень)

Характеристика конструкції колії	Тип рейки	Тип скріплення	Горизонтальна поперечна жорсткість рейкової нитки, кН/мм		Горизонтальний поперечний модуль пружності підрейкової основи U_y , МПа при дії лише $H(P=0)$	Кількість шпал на 1 км				
			отримані значення		рекомендовані значення (джерело інформації)					
			$\beta_{y(cp)}^{гол}$	$\beta_{y(cp)}^{під}$						
Колія на залізобетонних шпалах	Р65	КБ	17-23 [66] 18,7 [2]	37-58 [66] 45,4 [66] 64,9 [48]	10,9 – КПП-1 (1840 шт/км)	-				
		ЖБ	8-12 [66] 12,0 [2]	25-40 [66] 31,6 [48] 19,5 [48]	19,7 – КПП-1 (2000 шт/км)					
Колія на дерев'яних шпалах	Р65	Д0	16-22 [66] 19,2 [66]	32-48 [66] 35,0 [66] 43,5 [48]	22,0 [67, 68] 23,0 [67, 68] 24,0 [67, 68]	1840 1920 2000				
					Р50	Д0	12,6 [51] 13,5 [51] 13,8 [51] - -	25,2 [51] 27,0 [51] 27,6 [51] - -	19,0 [67, 68], 19,4 [51] 22,0 [67, 68], 21,2 [51] 23,0 [67, 68], 23,2 [51] 24,0 [67, 68]	1600 1840 1920 2000
									Р43	Д0

Методика визначення жорсткісних параметрів рейкової колії теоретичними методами [12] була розроблена д.т.н. проф. Е. І. Даніленком в середині 1990-х р.р., і в подальшому, у 1995–2000 р.р., при експериментальних дослідженнях стрілочних переводів на дерев'яних і залізобетонних брусах показала досить надійну збіжність із експериментальними даними. У 2004 р. дана методика була офіційно затверджена і рекомендована нормативно-технічним документом Укрзалізниці ЦП-0117 «Правилами розрахунків колії на міцність і стійкість» [46].

В розробці даного нормативно-технічного документу автор даної дисертаційної роботи, під керівництвом проф. Е. І. Даніленка, брав безпосередню участь у виконанні розрахунків та розробці алгоритмів і програмного забезпечення для їхнього виконання.

3.2.1 Розробка загального алгоритму рішення задачі

Дане дисертаційне дослідження має на меті представити базовий алгоритм вирішення вказаної вище задачі та надати прикладне використання запропонованої методики з адаптацією її до практичного інженерного застосування при масових міцнісних розрахунках залізничної колії та її окремих елементів, в тому числі для колії в межах стрілочного перевodu.

Найбільшими труднощами для теоретичних методів розрахунку є визначення перемінних значень жорсткостей колії й модуля пружності підрейкової основи в межах довжини стрілочного перевodu. У дисертації розглядається теоретичний метод розв'язання даної задачі у вертикальній площині. Теоретичне розв'язання зазначеної задачі виконується поетапно: насамперед, розглядаючи конструкцію колії як балку, покладену на окремих пружних опорах, і при цьому роботу кожної опори (шпали або бруса) під впливом навантажень, переданих від рейок, варто розглядати як роботу балки обмеженої довжини, що лежить на суцільній рівнопружній «вінклерівській» основі (рис. 3.3).

Особливості розв'язання зазначеної задачі, безумовно, залежать від розглянутої схеми розташування рейкових ниток на пружних опорах основи. Однак у цілому алгоритм розв'язання задачі, що розглядається буде спільним для всіх схем розташування рейкових ниток і може бути поданий у вигляді узагальненої послідовності розрахунку жорсткісних параметрів колії в межах стрілочного перевodu:

- 1) Визначення пружних прогинів підрейкових опор під впливом одиничних сил, прикладених у підрейкових перерізах. У випадках розгляду

багато ниткових рейкових схем розрахунків виконується з урахуванням впливу завантажених і незавантажених рейкових ниток;

2) Визначення сумарної точкової жорсткості підрейкової основи як багатошарової конструкції з урахуванням конструктивних особливостей підрейкової основи;

3) Визначення вертикального модуля пружності підрейкової основи, з урахуванням епюри розкладання шпал (брусів);

4) Визначення сумарної жорсткості рейкових ниток, що працюють разом з підрейковою основою; для багато ниткових конструкцій розрахунків виконується з урахуванням впливу незавантажених ниток і особливостей конструктивного улаштування (тобто жорсткості кожної нитки).

3.2.2. Розрахунок пружних прогинів стрілочних брусів та згинальних моментів в будь-якому їх перерізі під дією вертикальних сил

Основи статичного розрахунку колії на міцність передбачають можливість визначення жорсткості опори (бруса), як відношення сили Q , прикладеної до неї, до величини просадки Z_p . Таким чином, передумовою до визначення сумарної жорсткості рейкових ниток є встановлення характеру вигину стрілочних брусів під дією вертикальних сил. Якщо для звичайних шпал загальна картина деформування відносно відома, то для стрілочних брусів, з несиметричним прикладанням навантажень та впливом незавантажених рейкових ниток, прогини потрібно оцінювати для кожного окремого бруса.

Дослідження багатьох науковців, що займались даним питанням [10, 11, 37, 48, 49, 50, 53, 63] доведена доцільність розрахунку прогинів брусів, як балок, що лежать на рівнопружній основі.

Вертикальні прогини шпал (або стрілочних брусів) визначаються із розв'язання диференціального рівняння вигину балки обмеженої довжини, що

лежить на суцільній рівнопружній основі, завантаженій системою зосереджених вертикальних сил (рис. 3.2).

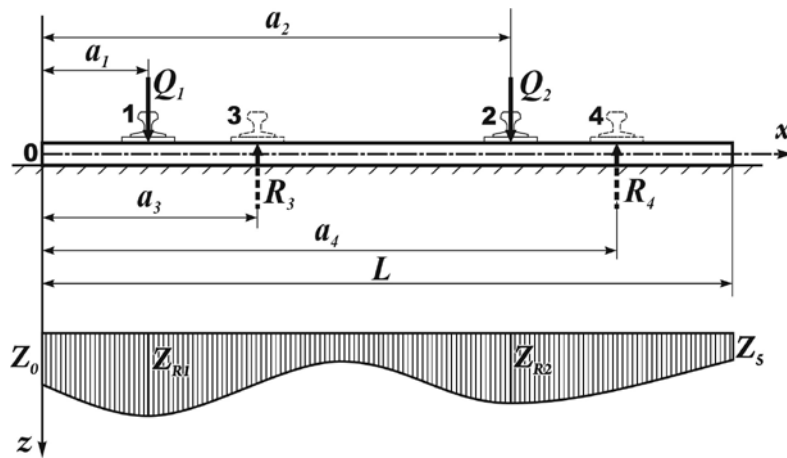


Рис. 3.2. Розрахункова схема роботи шпали (бруса) як балки на суцільній рівнопружній основі

Диференціальне рівняння вигину такої балки вирішуємо за методом академіка Крилова О.М., розробленим ним у 1930-х роках [69]:

$$E_{\sigma} I_{\sigma} \frac{d^4 z(x)}{dx^4} + U_{\text{ш}} z(x) = \sum_1^n Q_i \eta_i (x - a_i). \quad (3.2)$$

Де E_{σ} – модуль пружності при вигині балки. Для дерева при вигині поперек волокон приймається $E_{\sigma}=10^4$ МПа (для соснових брусів); для залізобетонних шпал або брусів приймається $E_{\sigma}=3,4 \times 10^4$ МПа (для бетону марки 500) [70];

I_{σ} – момент інерції поперечного перерізу балки (шпали або бруса);

z – прогин балки (шпали або бруса);

$U_{\text{ш}}$ – модуль пружності підшпальної основи, ($U_{\text{ш}}=C_B \times b$, де C_B – коефіцієнт пружного стискання підшпальної основи, який прийнято називати "коефіцієнтом постілі" шпали, b – ширина нижньої постілі шпали);

Q_i – зовнішні вертикальні зосереджені сили, що діють на брус. (Через те, що реальні діючі сили, як правило, при визначенні характеристик колії ще не відомі, можна вести розрахунок на вплив одиничних сил $Q_i=1,0$);

η_i – ордината лінії впливу епюри Q_i ;

x – відстань від початку координат до місця розміщення розгляданого перерізу;

n – кількість вертикальних сил;

a_i – відстань від початку координат до точки прикладання сили.

Розв’язання диференціального рівняння (3.2) здійснюється в такий спосіб. Розділивши ліву та праву частини рівняння на $(E_\sigma \cdot I_\sigma)$ та позначивши

$\frac{U_{ш}}{E_\sigma I_\sigma} = 4\alpha^4$, перепишемо рівняння (3.2) у вигляді:

$$z^{IV} + 4\alpha^4 z = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \eta_i (x - a_i)}{E_\sigma I_\sigma} . \quad (3.3)$$

Тут $\alpha = \sqrt[4]{\frac{U_{ш}}{4E_\sigma I_\sigma}}$ – є коефіцієнтом відносної жорсткості основи і

безпосередньо бруса при його вигині.

Згідно методики академіка О.М. Крилов вирішення диференціального рівняння (3.2) виконується методом початкових параметрів з використанням спеціальних функцій. При цьому шукані значення моментів і прогинів визначаються в наступному виді:

$$\left. \begin{aligned} M(x) &= AY_0(x) + BY_1(x) + CY_2(x) + DY_3(x) \\ z(\rho) &= Y_0(\rho)z_0 + Y_1(\rho)z'_0 + Y_2(\rho)z''_0 + Y_3(\rho)z'''_0 + Y_3(\rho)e^{-\rho a_i} \frac{\sum_{i=1}^{i=n} Q_i}{E_\sigma I_\sigma} \end{aligned} \right\} . \quad (3.4)$$

У рівняннях (3.4) функції О.М. Крилова мають наступний вид:

$$\left. \begin{aligned} A &= 0; \quad B = \sum Q_i; \quad C = 4\alpha^4 E_{\delta} I_{\delta} z_0; \quad D = 4\alpha^4 E_{\delta} I_{\delta} z'_0; \\ Y_0(\rho) &= Y_0(x) = \cos(\alpha x) \operatorname{ch}(\alpha x); \\ Y_1(\rho) &= Y_1(x) = \frac{1}{2\alpha} (\operatorname{ch}(\alpha x) \sin(\alpha x) + \operatorname{sh}(\alpha x) \cos(\alpha x)); \\ Y_2(\rho) &= Y_2(x) = \frac{1}{2\alpha^2} \sin(\alpha x) \operatorname{sh}(\alpha x); \\ Y_3(\rho) &= Y_3(x) = \frac{1}{2\alpha^3} (\operatorname{ch}(\alpha x) \sin(\alpha x) - \operatorname{sh}(\alpha x) \cos(\alpha x)); \\ Y_3(\rho) e^{-\rho a_i} &= Y_3(x - a_i) \end{aligned} \right\}, \quad (3.5)$$

тут $\rho = \alpha \cdot x$.

Диференціюючи послідовно по x рівняння (3.3) вигнутої осі $z(\rho)$, одержимо:

$$z(x) = z_0 Y_0(x) + z'_0 Y_1(x) + z''_0 Y_2(x) + z'''_0 Y_3(x) + \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{E_{\delta} I_{\delta}} Y_3(x - a_i) \quad (3.6)$$

Початкові значення функцій О. М. Крилова (при $x=0$):

$$Y_0(0)=1; \quad Y_1(0)=Y_2(0)=Y_3(0)=0. \quad (3.7)$$

Похідні функцій О. М. Крилова відповідно рівні:

$$\left. \begin{aligned} Y'_0(0) &= 0; & Y'_1(0) &= 1; & Y'_2(0) &= 0; & Y'_3(0) &= 0; \\ Y''_0(0) &= 0; & Y''_1(0) &= 0; & Y''_2(0) &= 1; & Y''_3(0) &= 0; \\ Y'''_0(0) &= 0; & Y'''_1(0) &= 0; & Y'''_2(0) &= 0; & Y'''_3(0) &= 1. \end{aligned} \right\} \quad (3.8)$$

В процесі рішення, використовуючи граничні умови (при $x=0$ та $x=l$) знаходяться значення прогинів та їхніх похідних при різних значеннях (x):

$$\left. \begin{aligned}
z_0'' &= 0; \\
z_0''' &= 0; \\
z_0''(l) &= 0; \\
z_0'''(l) &= 0; \\
z(x) &= z_0 Y_0(x) + z_0' Y_1(x) + \sum_1^n \frac{Q_i}{E_{\delta} I_{\delta}} Y_3(x - a_i); \\
z'(x) &= z_0 Y_0'(x) + z_0' Y_1'(x) + \sum_1^n \frac{Q_i}{E_{\delta} I_{\delta}} Y_3'(x - a_i); \\
z''(x) &= z_0 Y_0''(x) + z_0' Y_1''(x) + \sum_1^n \frac{Q_i}{E_{\delta} I_{\delta}} Y_3''(x - a_i); \\
z'''(x) &= z_0 Y_0'''(x) + z_0' Y_1'''(x) + \sum_1^n \frac{Q_i}{E_{\delta} I_{\delta}} Y_3'''(x - a_i).
\end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

Після ряду перетворень отримаємо:

$$\left. \begin{aligned}
z_0(-4\alpha^4 Y_2(l)) + z_0'(-4\alpha^4 Y_3(l)) &= -\sum_1^n \frac{Q_i}{E_{\delta} I_{\delta}} Y_1(l - a_i); \\
z_0(-4\alpha^4 Y_1(l)) + z_0'(-4\alpha^4 Y_2(l)) &= -\sum_1^n \frac{Q_i}{E_{\delta} I_{\delta}} Y_0(l - a_i); \\
z_0 Y_2(l) + z_0' Y_3(l) &= \sum_1^n \frac{Q_i}{E_{\delta} I_{\delta} 4\alpha^4} Y_1(l - a_i); \\
z_0 Y_1(l) + z_0' Y_2(l) &= \sum_1^n \frac{Q_i}{E_{\delta} I_{\delta} 4\alpha^4} Y_0(l - a_i).
\end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

Розв'язанням рівнянь (3.10) відносно прогину лівого кінця балки та його похідної (z_0 та z_0') отримано:

$$\left. \begin{aligned}
z_0 &= \frac{1}{(Y_2(l))^2 - Y_1(l)Y_3(l)} \left[\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{E_{\delta} I_{\delta} 4\alpha^4} (Y_1(l - a_i)Y_2(l) - Y_0(l - a_i)Y_3(l)) \right] \\
z_0' &= \frac{1}{(Y_2(l))^2 - Y_1(l)Y_3(l)} \left[\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{E_{\delta} I_{\delta} 4\alpha^4} (Y_0(l - a_i)Y_2(l) - Y_1(l - a_i)Y_1(l)) \right]
\end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

Остаточно прогин та згинальний момент у будь-якому перерізі балки знаходяться з наступних виразів:

$$z(x) = z_0 Y_0(x) + z'_0 Y_1(x) + \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{E_\delta I_\delta} Y_3(x - a_i). \quad (3.12)$$

$$M(x) = -E_\delta I_\delta z''_0(x) = 4\alpha^4 E_\delta I_\delta z_0 Y_2(x) + 4\alpha^4 E_\delta I_\delta z'_0 Y_3(x) - \sum_{i=1}^n Q_i Y_1(x - a_i). \quad (3.13)$$

У такий спосіб, використовуючи рівняння (3.12) і (3.13), можна визначити прогини й згинальні моменти на будь-якій ділянці балки (шпали або бруса).

На основі описаної методики було розроблено алгоритм розрахунку, який є окремим програмним модулем, що входить у основну програму для розрахунку на ЕОМ пружно-жорсткісних параметрів колії в межах стрілочного переводу. Узагальнена послідовність алгоритму розрахунку пружних прогинів брусів під дією одиничних сил, прикладених до підрейкових перерізів:

1) Підпрограма для розрахунку гіперболо-тригонометричних функцій акад. О.М. Крилова залежно від величини приведеної абсциси (β_x) за рівняннями (3.5), (3.7), а також похідних даних функцій (3.9), (3.11);

2) Визначення початкових параметрів для лівого кінця балки-бруса з рівнянням (3.11) залежно від прийнятої схеми завантаження активними силами;

3) Формування масиву абсцис для визначення розрахункових параметрів по усій довжині бруса (із заданим кроком) та в підрейкових перерізах;

4) Циклічний розрахунок прогинів та згинальних моментів для відповідних абсцис залежно від положення розрахункового перерізу в межах характерних ділянок завантаження бруса та формування масиву результатів;

5) Розрахунок величини середнього прогину та коефіцієнтів вигину бруса для відповідних підрейкових перерізів. Формування масиву глобальних даних для подальшого розрахунку пружно динамічних параметрів;

6) Організація виведення результатів розрахунку: побудова графіків розподілу прогинів та згинаючих моментів по довжині бруса; друк результатів.

Дана програма для розрахунку на ЕОМ пружно-жорсткісних параметрів колії в межах стрілочного переводу була розроблена на кафедрі «Залізнична колія» ДУІТ у 2004 р. к.т.н. В.М. Молчановим при участі автора дисертації під керівництвом д.т.н., проф. Е.І. Даніленка і була застосована при визначенні величин згинальних моментів і пружних прогинів брусів під рейковими нитками для звичайних стрілочних переводів типових марок Р65 1/11 на залізобетонних брусах в нормативно-технічному документі Укрзалізниці «Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість» [46].

В даній дисертації автор застосував і відкоригував вказану програму для розрахунку на ЕОМ пружно-жорсткісних параметрів колії для симетричного стрілочного переводу типу Р50 марки 1/9 на дерев'яних брусах і на щебенево-бетонній основі. Вказаний симетричний стрілочний перевід має індивідуальні геометричні і фізико-міцносні характеристики, які суттєво відрізняються від наведених в «Правилах розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість» [46] характеристик типових звичайних стрілочних переводів Р65 1/11.

3.2.3 Визначення сумарної точкової жорсткості підрейкових опор та вертикального модуля пружності підрейкової основи

Згідно основних положень «Правил розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість» [46] в якості моделі підрейкової основи, що складається з конструкційних матеріалів з різними фізичними характеристиками, найбільш зручно приймати модель у вигляді «багатошарового пирога». Тобто кожна рейкова нитка, по всій довжині, опирається на окремі пружні шаруваті опори, що складаються з підкладки, бруса, баласту і земляного полотна (рис. 3.3, а).

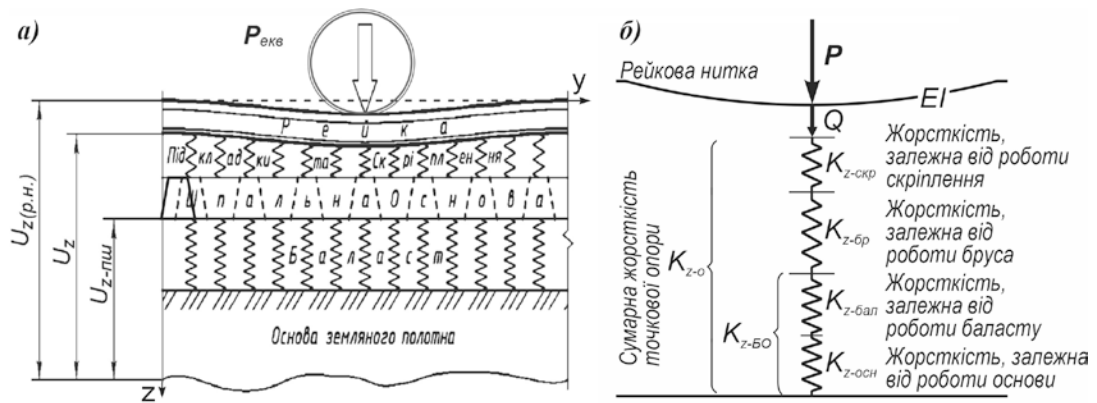


Рис. 3.3. Механічна модель пружної роботи колії (згідно теорії проф. Е.І. Даніленко): а – як багатошарової конструкції; б – окремої точкової опори під рейкою

При багатошаровій пружній основі сумарна жорсткість точкової опори визначається з виразу

$$\frac{1}{K_{Z_0}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{K_{Z_i}}, \quad (3.15)$$

де K_{Z_i} – жорсткість кожного елемента багатошарової опори.

Праву частину рівняння (3.15) для прийнятої розрахункової схеми, коли навантаження Q прикладене безпосередньо до шпали, можливо записати у вигляді:

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{K_{Z_i}} = \frac{1}{K_{Z-BO}} + \frac{1}{K_{Z-шп.осн}}. \quad (3.16)$$

Тут K_{Z-BO} – складова жорсткості, яка залежить від пружних властивостей баластового шару і земляного полотна і враховує форму вигину баласту під шпалою (або брусом);

$K_{Z-шп.осн}$ – складова жорсткості, яка залежить від пружних властивостей шпальної основи (або іншої конструкції, що її замінює);

Складову жорсткості K_{Z-BO} можна визначити за методикою, яка викладена у «Правилах» [46]. Згідно цієї методики при розгляданні умови рівноваги шпали, що лежить на суцільній пружній основі і перебуває під впливом одиничних сил, які передаються через кожну підкладку, отримано:

$$2Q = C_B \cdot \int_{\Omega} Z_i \cdot d\omega = C_B \cdot Z_{cp} \cdot a \cdot b , \quad (3.17)$$

$$K_{Z-BO} = \frac{Q}{Z_p} = \frac{C_B \cdot \alpha \cdot a \cdot b}{2} . \quad (3.18)$$

де Q – вертикальна сила, що передається на шпалу від рейки;

C_B – коефіцієнт «постілі» підшпальної основи; α – коефіцієнт вигину бруса (шпали); l , b – відповідно довжина й ширина «постілі» бруса (або шпали);

α – коефіцієнт вигину бруса (шпали) чисельно дорівнює відношенню середнього осідання бруса до осідання в підрейковому перерізі:

$$\alpha = \frac{Z_{сер}}{Z_p} . \quad (3.19)$$

Наближено значення коефіцієнта вигину бруса (шпали) для звичайної конструкції колії можна приймати [46]: а) для дерев'яних шпал улітку $\alpha=0,85 \div 0,88$; узимку $\alpha=0,8 \div 0,82$; б) для залізобетонних шпал улітку $\alpha=0,9 \div 0,95$; узимку $\alpha=0,85 \div 0,88$. При розрахунках індивідуальних конструкцій колії, у тому числі багатониткових колій стрілочних переводів, необхідно знаходити значення α з розрахунків пружних прогинів підрейкових опор, з урахуванням впливу сусідніх ниток (див. табл. 3 [46]).

Складову жорсткості, що залежить від роботи скріплення й підрейкових прокладок, приймається залежно від конструкції зазначених елементів і типу шпал. Для залізобетонних шпал за рекомендаціями [46] величина жорсткості може бути прийнята $K_{Z-скр} = 900$ кН/см – при жорсткому клемному скріпленні (типу КБ) або $K_{Z-скр} = 400$ кН/см – при застосуванні у скріпленні прокладок

збільшеної товщини. При дерев'яних шпалах (або брусах) з костильним скріпленням враховувати у розрахунку $K_{z-скр}$ не потрібно (тобто $K_{z-скр}=0$), тому що, уводячи в розрахунок величину жорсткості на зминання деревини під підкладкою $K_{z-ш}^{3M}$, ми автоматично враховуємо роботу скріплення й рейкових прокладок.

Складова жорсткості, яка залежить від пружних властивостей шпальної основи $K_{z-шп.осн}$, враховує 3 види деформацій, які діють на опори під впливом сил, що передаються від рейки:

$$\frac{1}{K_{z-шп.осн}} = \frac{1}{K_{z-ш}^{cm}} + \frac{1}{K_{z-ш}^{3M}} + \frac{1}{K_Z^{скр}} . \quad (3.20)$$

- деформації стиску шпали поперек волокон;
- деформації зминання деревини під підкладкою (в дерев'яній шпалі сумісно зі стисканням підрейкових прокладок);
- деформації стиску підрейкових прокладок скріплення в залізобетонній шпалі (залежать від типу скріплень).

Складова жорсткості, що залежить від бруса або шпали $K_{z-ш}$, враховує роботу деформації стиску шпали під навантаженням поперек волокон і деформацію зминання деревини під підкладкою:

$$\frac{1}{K_{z-ш}} = \frac{1}{K_{z-ш}^{cm}} + \frac{1}{K_{z-ш}^{3M}} = \frac{z_{ш}^{cm} + z_{ш}^{3M}}{Q} . \quad (3.21)$$

З урахуванням того, що фактично жорсткість $C_{z-б}$ нелінійна, для спрощення розрахунків її значення лінеаризують в інтервалі необхідних значень Q . Якщо прийняти, що приріст величини деформації бруса є сумою приростів деформацій стискання та зминання, то можна одержати формулу для визначення жорсткості $K_{z-ш}$ у вигляді

$$\frac{1}{K_{z-ш}} = \frac{\Delta z_{ш}^{cm}}{\Delta Q} + \frac{\Delta z_{ш}^{3M}}{\Delta Q} , \quad (3.22)$$

де ΔQ – величина зміни (приросту) сил Q у заданих межах;

$\Delta z_{ш}^{cm}$, $\Delta z_{ш}^{3M}$ – відповідно прирости деформацій бруса (шпали) при стисканні й зминанні деревини в межах розгляданих значень ΔQ .

Відповідно до рекомендацій проф. Г. М. Шахунянца [26] прийнято

$$\left. \begin{aligned} \Delta z_{ш}^{cm} &= \frac{h \cdot \left(\frac{m}{\omega_n} + \frac{2}{\alpha \cdot l \cdot b} \right) \cdot \Delta Q}{2 \cdot E_{ш}^{cm}}; \\ \Delta z_{ш}^{3M} &= \frac{m \cdot \Delta Q}{\omega_n \cdot C_{3M}}. \end{aligned} \right\} \quad (3.23)$$

Якщо прийняти значення вертикальної сили $Q=1$, тоді можна одержати формули для визначення складових жорсткостей, що залежать від бруса (шпали). Жорсткість бруса (шпали) при роботі на стиск у підрейковому перерізі визначається за формулою:

$$\frac{1}{K_{z-ш}^{cm}} = \frac{h \cdot \left(\frac{m}{\omega_n} + \frac{2}{\alpha \cdot l \cdot b} \right)}{2 \cdot E_{ш}^{cm}}. \quad (3.24)$$

Жорсткість бруса (шпали) на зминання під підкладкою визначається за формулою:

$$\frac{1}{K_{z-ш}^{3M}} = \frac{m}{\omega_n \cdot C_{3M}}. \quad (3.25)$$

У наведених формулах прийняті наступні позначення:

h – висота шпали (бруса); ω_n – площа підкладки; m – відношення напруження в підрейковому перерізі до середнього по підкладці;

$E_{ш}^{cm}$ – модуль пружності матеріалу шпали (бруса) при стиску.

Для дерев'яних соснових брусів і шпал в «Правилах» [46] рекомендується приймати $E_{ш}^{cm} = 1,24 \cdot 10^2 \div 0,66 \cdot 10^2$ МПа, при цьому перша цифра відповідає новим брусам, остання – зношеним, після пропуску тоннажу

60÷80 млн т брутто, тобто близького до середньонормативного для стрілочних переводів;

Для залізобетонних брусів (або шпал) необхідно приймати:
 $E_{ш}^{cm} = 3,8 \cdot 10^4 \div 4,1 \cdot 10^4 \text{ МПа}$ – нормативний модуль пружності при стисканні бетону марки 500 [71].

$C_{зм}$ – коефіцієнт постілі підкладки при зминанні. Для соснових брусів і шпал рекомендується приймати $C_{зм} = 4000 \div 1000 \text{ Н/см}$ [12]. Відзначимо, що для залізобетонних брусів (або шпал) при визначенні жорсткості опори за формулах (3.20) і (3.21) другий доданок у правій частині рівнянь буде відсутній, тому що деформації зминання під підкладкою відсутні $C_{зм}^{3.-б.} = \infty$. Тому потрібно враховувати тільки деформації стискання та їхні прирости, тобто $z_{ш}^{cm}$ та $\Delta z_{ш}^{cm}$.

Таким чином, вище наведено усі формули для того, щоб визначати величину сумарної жорсткості точкової пружної опори за виразом (3.15).

Після визначення точкової жорсткості пружних опор C_z можна визначити розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи з урахуванням епюри розкладання брусів (шпал), використовуючи відоме співвідношення між величиною жорсткості окремих пружних опор та модулем пружності основи:

$$U_z = \frac{K_{z_0}}{l_i}, \quad (3.26)$$

де l_i – відстань між пружними опорами (по осях), обумовлена епюрою розкладання брусів (або шпал).

3.2.4. Визначення сумарної жорсткості рейкових ниток. Розрахунок прогинів рейкових ниток

Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкової нитки, що враховує спільну роботу рейки (хрестовини) та підрейкової основи, визначається за відомим виразом «Правил розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість» [46]

$$K_{z(p.n.)} = \sqrt[4]{64 \cdot E \cdot I_i} \cdot \sqrt[4]{U_z^3}, \quad (3.27)$$

де $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа – модуль пружності рейкової сталі;

I_i – момент інерції рейкової нитки, що приймає участь в роботі на вигин у вертикальній площині (для звичайної колії приймається момент інерції рейки; для багатониткових конструкцій потрібно приймати приведений момент інерції рейкової нитки I_{i-np} , що враховує вплив незавантажених рейкових ниток у роботі на вигин розрахункової (завантаженої) нитки.

U_z – модуль пружності у вертикальній площині підрейкової основи в розгляданому i -му перерізі, визначений раніше.

Для колії звичайної конструкції розрахункові жорсткості для обох рейкових ниток приймаються однаковими (з урахуванням гіпотези про рівнозавантаженість рейкових ниток) і постійними по довжині рейкової нитки для прийнятої епюри розкладання шпал. Для колій індивідуальних конструкцій, наприклад багатониткових або стрілочних переводів, потрібно визначати розрахункову жорсткість кожної рейкової нитки, з урахуванням впливу на неї інших, при цьому значення жорсткості буде змінним по довжині рейкової нитки.

Знаючи розрахункову жорсткість по довжині рейкової нитки $C_{z(p.n.)}$, легко визначити динамічні прогини в будь-якому перерізі кожної рейкової нитки:

$$z_p^{\partial_{ин}} = \frac{P_i^{\partial_{ин}}}{K_{z(p.n.)}}, \quad (3.28)$$

де $P_i^{\text{дин}}$ – вертикальне динамічне навантаження, що передається на розглядану рейкову нитку в i -му перерізі.

Вертикальне динамічне навантаження від колеса на рейку $P_i^{\text{дин}}$ можна визначати за типовою методикою практичних розрахунків колії на міцність із використанням уже розрахованих значень модуля пружності підрейкової основи в межах стрілочного переводу U_z .

3.3. Розрахунок жорсткісних параметрів колії

3.3.1. Модулі для виконання комплексних розрахунків модуля пружності підстрілочної основи, вертикальної жорсткості та вертикальних динамічних прогинів рейкових ниток

За описаною вище методикою автором (під керівництвом д.т.н. проф. Е. І. Даніленка та к.т.н., доц. Молчанова В.М.) були виконані розрахунки жорсткісних параметрів колії для сучасного симетричного стрілочного переводу типу Р50 марки 1/9 на дерев'яних брусах і щебеневому баласті.

У зв'язку з тим, що в сучасних умовах для розв'язання наукових та інженерно-прикладних задач широко використовується електронно-обчислювальна техніка (ЕОМ), в даній дисертації постановка розглянутої задачі та її розв'язання здійснені за допомогою комп'ютерної програми з розрахунку жорсткісних параметрів підрейкової основи стрілочних переводів (залізничної колії), розробленої в ДУІТ за участю автора.

Алгоритм розв'язання даної задачі можна представити у вигляді узагальненої послідовності, кожен пункт якої являє собою окрему задачу [40]:

1) Введення початкових даних для конкретного перерізу стрілочного переводу: довжина L , висота h , ширина b бруса; точки прикладання навантаження Q відносно початку бруса a_i ; модулі пружності E_i та моменти

інерції I_i бруса і рейок; коефіцієнт постілі бруса C_B та відстань між осями бруса l_i ; площа підкладок ω і модуль пружності при стисканні бруса E_{cm} ; жорсткість скріплень $K_{скр}$; значення вертикальних динамічних сил взаємодії $P^{дин}$;

2) Розрахунок пружних прогинів підрейкових опор під дією одиничних сил, прикладених у підрейкових перерізах, як балок, що лежать на суцільній рівно пружній основі, методом початкових параметрів з розв'язку диференціального рівняння:

$$EI \frac{d^4 Z}{dx^4} + C_B b Z = \sum_1^n Q_i \eta_i (x - a_i).$$

Звідки визначаються прогини в характерних перерізах Z_i та коефіцієнт згину бруса α ;

3) Визначення сумарної точкової жорсткості підрейкової основи як багатопарової конструкції:

- визначається складова жорсткості, яка враховує згин бруса і залежить від пружної просадки баластового шару та земляного полотна під брусом:

$$K_{z-\delta o} = \frac{C_{\delta} \cdot \alpha \cdot l \cdot b}{2};$$

- визначається складова жорсткості, яка залежить від роботи бруса на стискання в підрейковому перерізі:

$$\frac{1}{K_{z-\delta}^{cm}} = \frac{h \left(\frac{1}{\omega_i} + \frac{2}{\alpha \cdot l \cdot b} \right)}{2 \cdot E_{\delta}^{cm}};$$

- визначається значення точкової жорсткості (податливості):

$$\frac{1}{K_{zo}} = \frac{1}{K_{z-\delta o}} + \frac{1}{K_{z-\delta}} + \frac{1}{K_{z-скр}};$$

4) Визначення вертикального модуля пружності підрейкової основи з урахуванням епюри розкладки брусів:

$$U_z = \frac{K_{zo}}{l_i}.$$

5) Визначення приведенного моменту інерції розрахункової рейкової нитки $I_{i(np)}$, що працює на згин у вертикальній площині, який враховує вплив при роботі на згин і завантаженої нитки і незавантажених інших ниток:

$$I_{i(np)} = I_{i(розр)} + \sum_{n=1}^{n=m} k_{n(вплив)} \cdot I_{n(незавант)}.$$

6) Визначення сумарної жорсткості рейкових ниток, що працюють разом з підрейковою основою:

$$K_{z(p.n.)} = \sqrt[4]{64 \cdot E_{cm} \cdot I_{i(np)}} \cdot \sqrt[4]{U_{zi}^3}.$$

7) Розрахунок вертикальних динамічних сил взаємодії $P^{\partial_{ин}}$;

8) Визначення динамічних прогинів у конкретному перерізі для заданої рейкової нитки:

$$Z_p^{\partial_{ин}} = \frac{P_i^{\partial_{ин}}}{K_{z(pн)}}.$$

9) Виведення результатів розрахунку на друк: U_z , $K_{z(p.n.)}$, $Z_p^{\partial_{ин}}$.

Таким чином складна наукова задача структурується і набуває практичної реалізації. По кожному етапу розроблено більш деталізовані блок-схеми і складено програми для розрахунку. Отримані в попередніх етапах результати по черзі використовуються в подальших розрахунках. Безпосередньо автором було визначено жорсткісні параметри для симетричних стрілочних переводів на дерев'яних брусах, укладених на шпально-щебеневобетонну основу (типу метрополітену).

Деякі з лістингів отриманих результатів розрахунку брусів на згин при дії одиничних сил та результуючі жорсткісні параметри наведені нижче. Для усіх

брусів результати таких же розрахунків та результуючі жорсткісні параметри наведені в Додатку Б. Характер зміни прогинів брусів та згинальних моментів по їх довжині представлені на рис. 3.4–3.6. Результати розрахунків жорсткісних параметрів для відповідних брусів представлені на рис. 3.7–3.9.

Для певних частин стрілочного перевалу в передньому вильоті рамних рейок, на з'єднувальних коліях та в захрестовинній зоні, тобто на тих ділянках стрілочного перевалу, де на поверхні кочення не має конструктивних нерівностей, динамічні сили взаємодії між колесом та рейкою можна визначити з використанням типової методики розрахунків колії на міцність. А в зонах нерівностей на стрілці та хрестовині для визначення вертикальних динамічних сил потрібно застосовувати інші підходи, зокрема методи математичного моделювання.

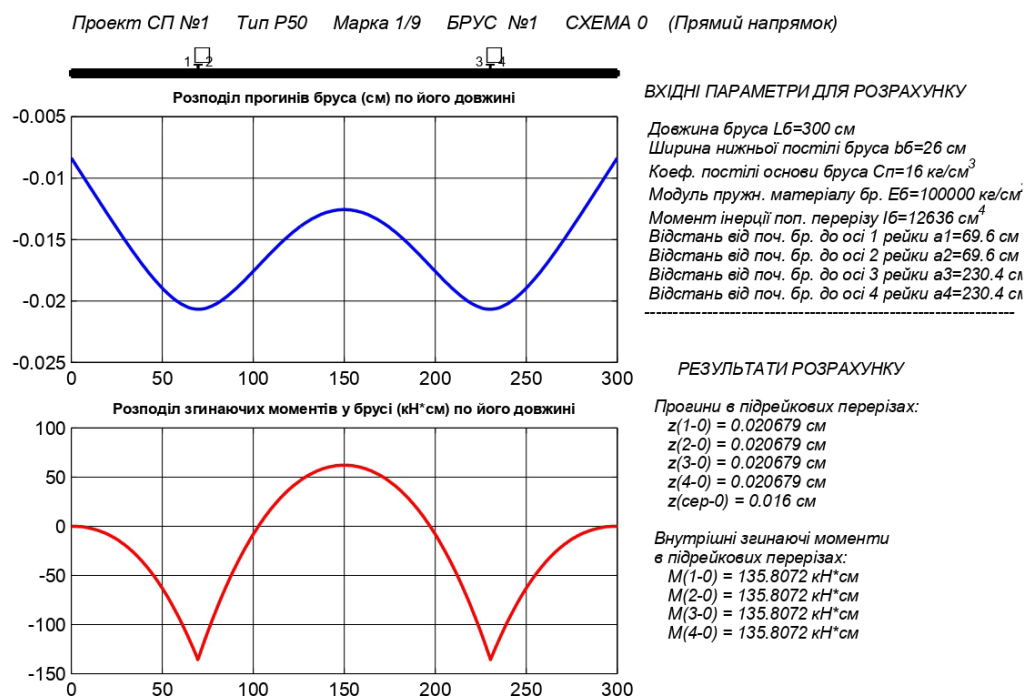


Рис. 3.4. Зміна прогинів та згинальних моментів по довжині бруса №1

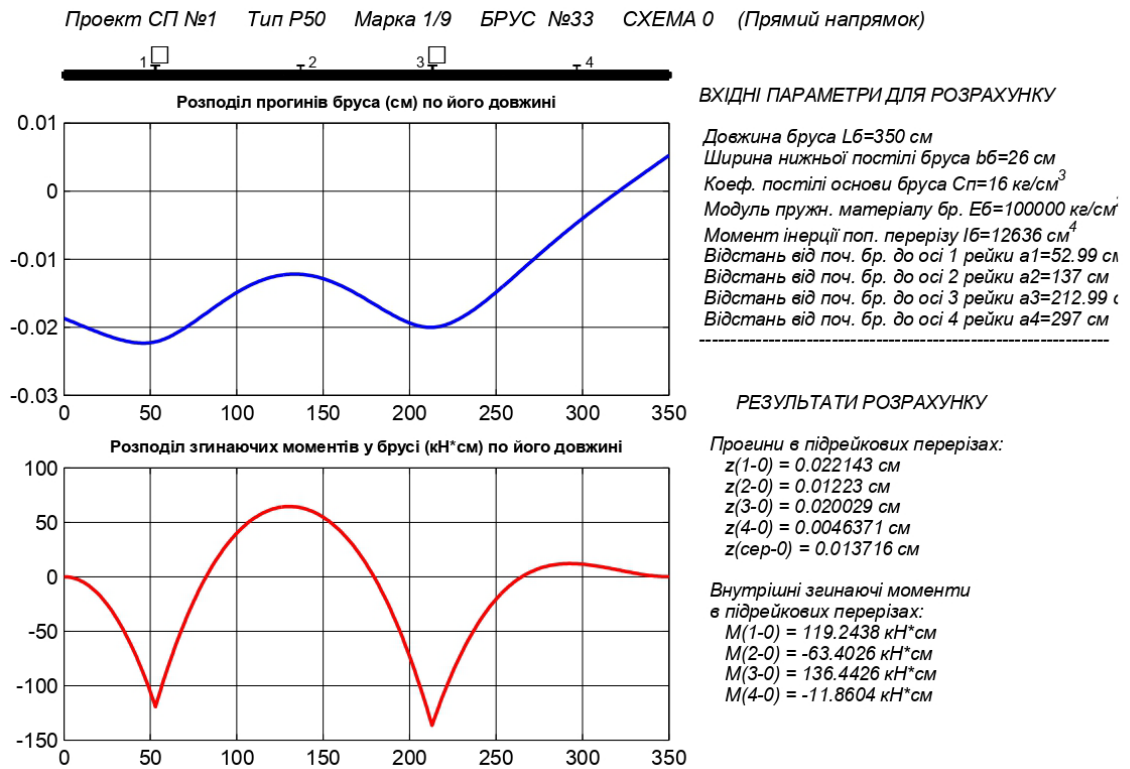


Рис. 3.5. Зміна прогинів та згинальних моментів по довжині бруса №33

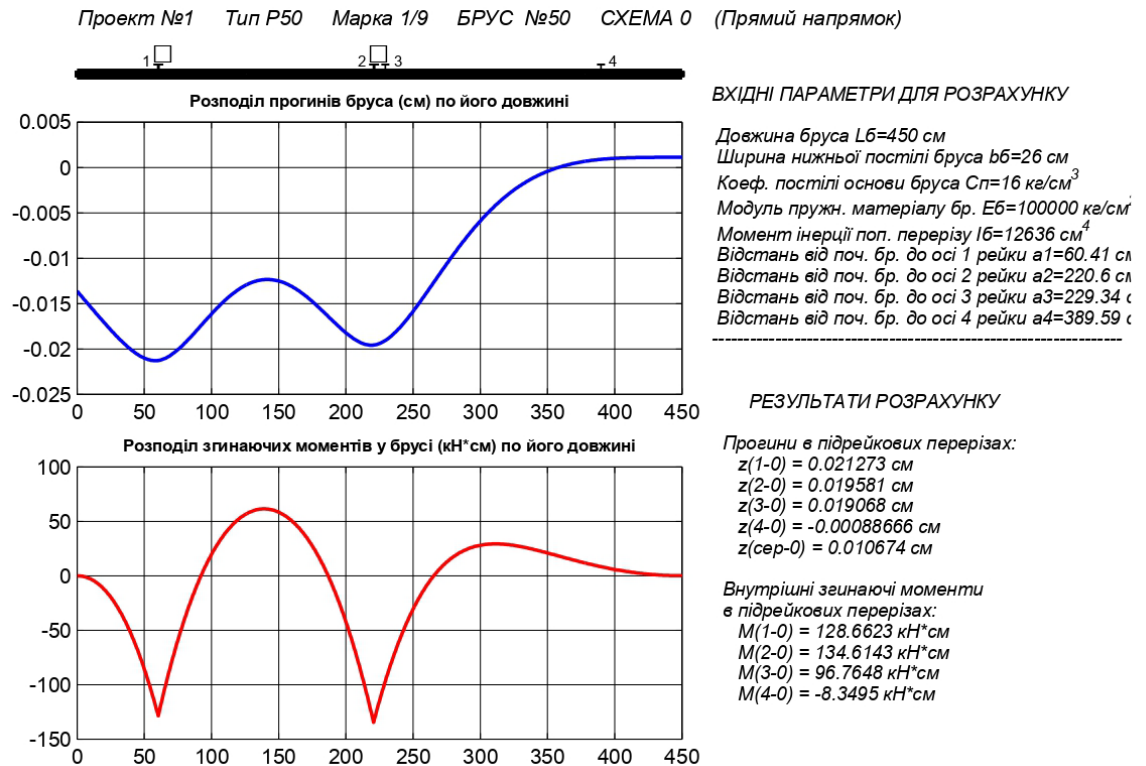


Рис. 3.6. Зміна прогинів та згинальних моментів по довжині бруса №50

РОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Проект №1 Тип Р50 Марка 1/9 БРУС №1

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса..... $L_o=300$ см
 Ширина бруса..... $b_o=26$ см
 Висота бруса..... $h_o=18$ см
 Відстань між осями пружних опор..... $l=60$ см
 Коефіцієнт постілі підрейкової основи..... $C_o=16$ кг/см³ (Літо)
 Модуль пружності матеріалу бруса на стискання..... $E^n=800$ кг/см²
 Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса..... $C_{зм}=250$ кг/см³
 Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою...<Omega>1=660 см²
 Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою...<Omega>2=660 см²
 Момент інерції 1-ї рейкової нитки..... $I_1=2018$ см⁴
 Момент інерції 2-ї рейкової нитки..... $I_2=2018$ см⁴
 Проміжне скріплення: ☐

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ по прямій/боковій колії стрілочного переводу

Пружнодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса α_i	<u>0.77375</u> 0.77375	<u>0.77375</u> 0.77375	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна K_{oo}	<u>48282</u> 48282	<u>48282</u> 48282	кг/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) K_{op}	<u>37265</u> 37265	<u>37265</u> 37265	кг/см
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	<u>21032</u> 21032	<u>21032</u> 21032	кг/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	<u>350.53</u> 350.53	<u>350.53</u> 350.53	кг/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток I_{np}	<u>2018</u> 2018	<u>2018</u> 2018	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток K_{pn}	<u>58463</u> 58463	<u>58463</u> 58463	кг/см

Рис. 3.7. Результати розрахунків жорсткісних параметрів для бруса №1

ОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТ

Проект №1 Тип Р50 Марка 1/9 БРУС №33

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса..... $L_0=350$ см
 Ширина бруса..... $b_0=26$ см
 Висота бруса..... $h_0=18$ см
 Відстань між осями пружних опор..... $l_0=54.5$ см
 Коефіцієнт постілі підрейкової основи..... $C_n=16$ кг/см³ (Літо)
 Модуль пружності матеріалу бруса на стискання..... $E_{cm}=800$ кг/см²
 Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса..... $C_{zm}=250$ кг/см³
 Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою... $\langle Omega \rangle 1=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою... $\langle Omega \rangle 2=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 3-ю рейковою ниткою... $\langle Omega \rangle 3=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 4-ю рейковою ниткою... $\langle Omega \rangle 4=600$ см²
 Момент інерції 1-ї рейкової нитки..... $I_1=2018$ см⁴
 Момент інерції 2-ї рейкової нитки..... $I_2=2018$ см⁴
 Момент інерції 3-ї рейкової нитки..... $I_3=2018$ см⁴
 Момент інерції 4-ї рейкової нитки..... $I_4=2018$ см⁴

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ по прямій/боковій колії стрілочного переводу

Пружнодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса $\langle \alpha \rangle_i$	$\frac{0.61944}{0.61949}$	$\frac{0.68483}{0.68482}$	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна $K_{\text{оо}}$	$\frac{45095}{45098}$	$\frac{49855}{49854}$	кг/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) $K_{\text{ор}}$	$\frac{36903}{34004}$	$\frac{37430}{37430}$	кг/см
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	$\frac{20295}{19386}$	$\frac{21379}{21379}$	кг/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	$\frac{372.38}{355.72}$	$\frac{392.27}{392.27}$	кг/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток $I_{\text{пр}}$	$\frac{2497.6}{2497.7}$	$\frac{3195.5}{3195.5}$	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток $K_{\text{рн}}$	$\frac{64525}{62347}$	$\frac{71356}{71355}$	кг/см

Рис. 3.8. Результати розрахунків жорсткісних параметрів для бруса №33

РОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Проект №1 Тип Р50 Марка 1/9 БРУС №50

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса..... $L_0=450$ см
 Ширина бруса..... $b_0=26$ см
 Висота бруса..... $h_0=18$ см
 Відстань між осями пружних опор..... $l_0=44$ см
 Коефіцієнт постілі під рейкової основи..... $C_n=16$ кг/см³ (Літо)
 Модуль пружності матеріалу бруса на стискання..... $E_{cm}=800$ кг/см²
 Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса..... $C_{3M}=250$ кг/см³
 Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_1=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_2=988$ см²
 Площа металевої підкладки під 3-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_3=988$ см²
 Площа металевої підкладки під 4-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_4=660$ см²
 Момент інерції 1-ї рейкової нитки..... $I_1=2018$ см⁴
 Момент інерції 2-ї рейкової нитки..... $I_2=5479.5$ см⁴
 Момент інерції 3-ї рейкової нитки..... $I_3=5479.5$ см⁴
 Момент інерції 4-ї рейкової нитки..... $I_4=2018$ см⁴

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ по прямій/боковій колії стрілочного переводу

Пружнодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса $\langle \alpha \rangle_i$	0.50177 0.50179	0.54512 0.54515	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна $K_{\text{оо}}$	46965 46967	51023 51025	кг/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) $K_{\text{бр}}$			
Сумарна точкова жорсткість під рейкової основи K_z	20733 20734	25932 25933	кг/см
Розрахункове значення модуля пружності під рейкової основи U_z	471.21 471.22	589.37 589.38	кг/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток $I_{\text{пр}}$	2246.1 2246.2	5569.6 5569.6	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток $K_{\text{рн}}$	74967 74970	111262 111264	кг/см

Рис. 3.9. Результати розрахунків жорсткісних параметрів для бруса №50

Використовуючи описану вище методику було виконано відповідні розрахунки та отримано залежності жорсткісних характеристик стрілочного

переводу по довжині (рис. 3.10). Результати розрахунків жорсткісних характеристик, що були виконані за допомогою ПК зведені в табл. 3.3.

В даному дослідженні було отримано відповідні результати величин вертикальних динамічних сил і динамічних прогинів рейкових ниток при русі по стрілочному переводу вагонів метрополітену. Приклад отриманих таким чином результатів розрахунку наведено на рис. 3.11. Результати розрахунків вертикальних динамічних сил і динамічних прогинів, виконаних на ПК, зведені в таблицю 3.4.

Таблиця 3.3

Результати розрахунків жорсткісних характеристик для стрілочного переводу типу Р50 марки 1/9 для умов метрополітену

№ бруса	U_z , МПа зовн	U_z , МПа внутр	K_z , МПа зовн	K_z , МПа внутр	$K_{\phi o}$, МПа зовн	$K_{\phi o}$, МПа внутр	K_{pn} , МПа зовн	K_{pn} , МПа внутр
0	38,57	38,57	20058	20071	44114	44169	62812	62844
1	35,05	35,05	21032	21032	48282	48282	58463	58463
19	37,94	38,4	20866	21121	47546	48679	73668	74283
20	38,94	39,54	20831	21156	47391	48839	72518	73785
26	39,39	41,1	20362	21234	45378	49191	70512	74537
27	47,48	48,25	20889	21231	47649	49181	81196	84115
33	37,24	39,23	20295	21379	45098	49855	64525	71356
34	38,24	39,28	20841	21405	47437	49974	65790	71700
38	37,33	39,49	20342	21521	45292	50514	62627	72662
39	38,26	39,5	20850	21523	47474	50526	64441	71993
41	37,84	39,58	20624	21571	46492	50751	62435	74000
42	38,46	39,56	20963	21562	47973	50707	63134	74363
45	39,59	44,44	22965	25773	47742	50776	73286	104624
46	39,91	44,42	23146	25764	48409	50748	73597	105356
50	47,12	58,94	20733	25932	46965	51023	74967	111262
51	37,55	46,21	21029	25876	48268	50839	63214	92688
63	38,69	39,60	21086	21582	48524	50800	63577	72804

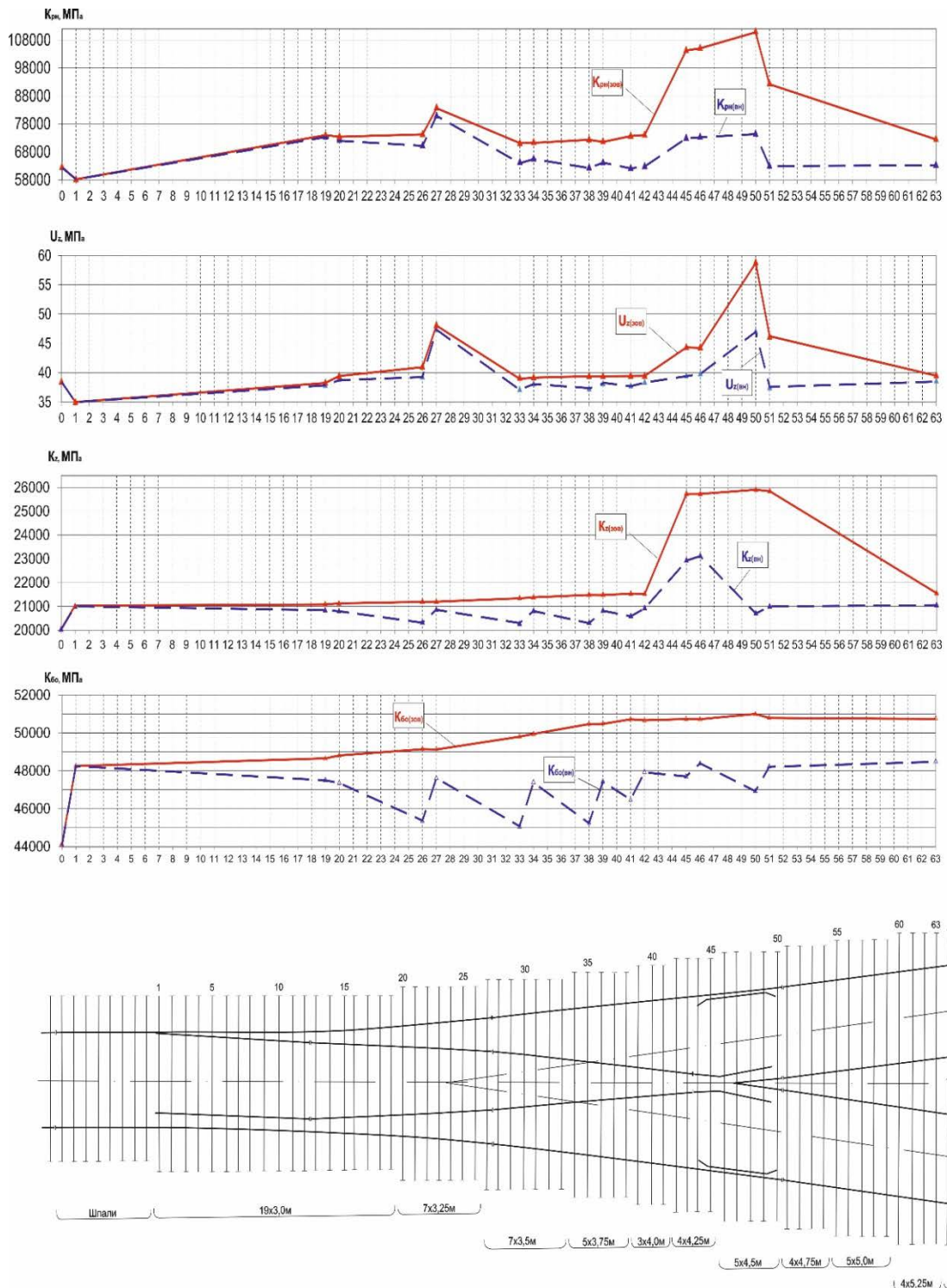


Рис. 3.10. Розподіл жорсткісних характеристик симетричного стрілочного переходу типу Р50 марки 1/9 на дерев'яних брусах по його довжині

Таблиця 3.4

Результати розрахунків вертикальних динамічних сил та динамічних прогинів для симетричного стрілочного переводі типу Р50 марки 1/9 для умов метрополітену

№ бруса	$Z_{дин}$, мм зовн	$Z_{дин}$, мм внутр	$P_{дин}$, кН зовн	$P_{дин}$, кН внутр	$\sigma_{\rho-к}$, МПа зовн	$\sigma_{\rho-к}$, МПа внутр	$\sigma_{n-к}$, МПа зовн	$\sigma_{n-к}$, МПа внутр
0	1,77	1,77	110,55	110,55	97,53	97,53	89,69	89,69
1	1,958	1,958	113,46	113,46	102,14	102,14	93,93	93,93
19	1,815	1,8	111,87	112,0	99,09	98,99	91,13	91,03
20	1,77	1,752	111,39	111,56	98,15	98,02	90,27	90,14
26	1,742	1,692	110,61	111,05	97,2	96,82	89,39	89,04
27	1,477	1,461	108,43	108,59	91,84	91,69	84,46	84,33
33	1,834	1,77	111,43	111,98	99,02	98,56	91,07	90,64
34	1,801	1,768	111,71	111,99	98,79	98,55	90,85	90,63
38	1,831	1,762	111,46	112,05	99,0	98,51	91,05	90,59
39	1,8	1,761	111,71	112,05	98,78	98,5	90,85	90,59
41	1,814	1,759	111,59	112,07	98,88	98,49	90,93	90,57
42	1,795	1,76	111,77	112,07	98,74	98,49	90,8	90,58
45	1,787	1,653	113,84	115,18	100,15	99,17	92,09	91,2
46	1,777	1,654	113,94	115,18	100,08	99,18	92,04	91,21
50	1,484	1,276	108,36	110,54	91,91	89,90	84,5	82,68
51	1,836	1,596	112,26	114,68	99,66	97,88	91,65	90,01
63	1,786	1,758	111,83	112,08	98,68	98,48	90,75	90,57

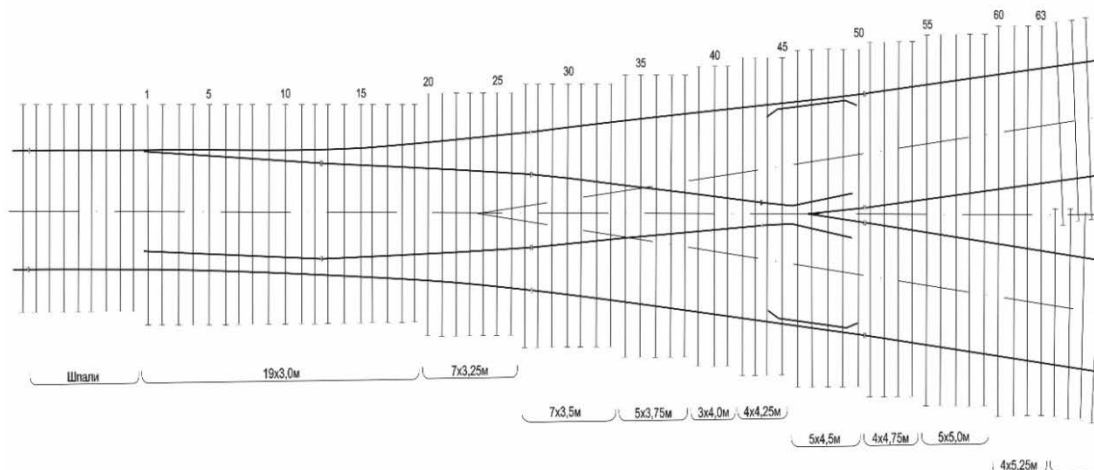
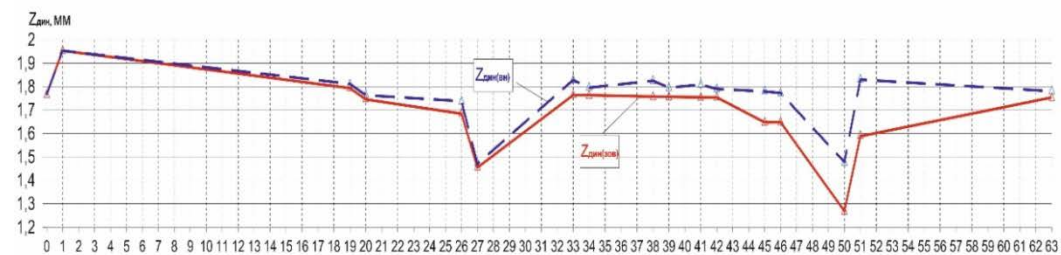
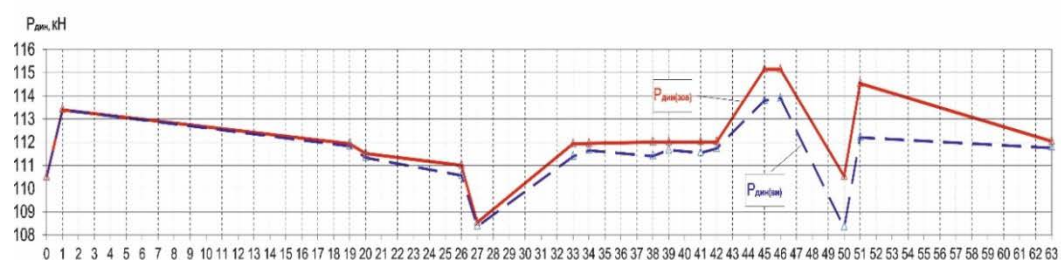
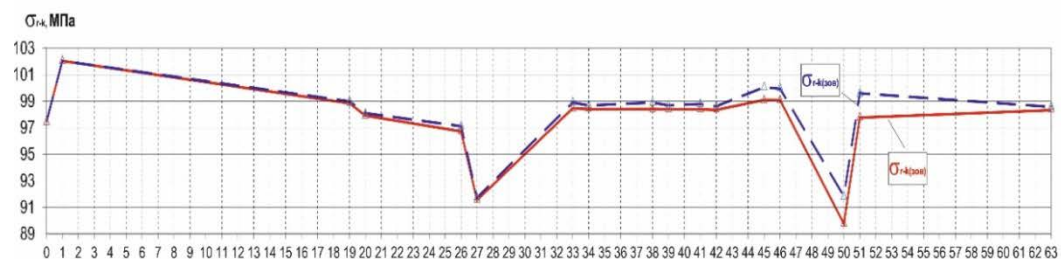
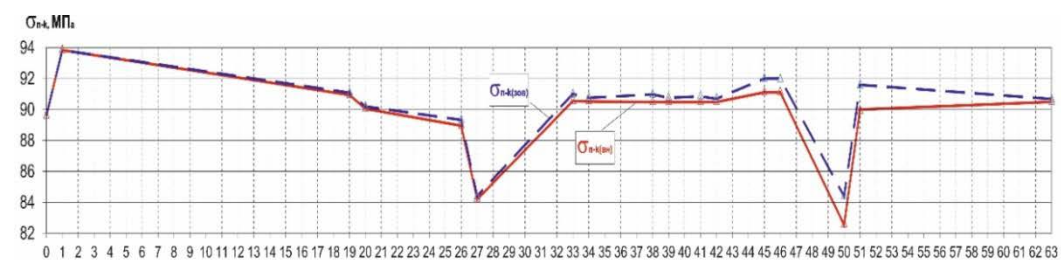


Рис. 3.11. Розподіл динамічних сил, напружень в рейках і динамічних прогинів стрілочного переводу тиру Р50 марки 1/9 на дерев'яних брусах по його довжині

3.3.2 Узагальнення отриманих результатів

Аналіз отриманих результатів розрахунків свідчить про те, що для такої багато ниткової конструкції як стрілочний перевід, розподіл жорсткісних характеристик по довжині залежить від багатьох чинників, однак, найбільший вплив мають жорсткість на згин рейкових ниток та щільність розкладання брусів під епюрою. Так, наявність контррейок, потужної хрестовини та лафетів дають значні скачки загальної жорсткості та модуля пружності. Дещо менші скачки жорсткості викликають щільно укладені бруси.

За рахунок зміни положення прикладання вертикальних навантажень по довжині стрілочних брусів та впливу незавантажених рейкових ниток відрізняється характер зміни жорсткісних параметрів по зовнішній та внутрішній рейкових нитках.

Оскільки для стрілочних переводів на дерев'яних брусах фактично не існує аналогів теоретичного визначення жорсткісних характеристик по усій довжині, тому для загального порівняльного аналізу отриманих результатів можна звернутися до подібних досліджень, проведених к.т.н. Молчановим В.М. [39] для стрілочного переводу на залізобетонних брусах (див. рис. 3.12). Таким чином порівняння результатів, отриманих автором з вище означеними результатами [39] показує наступне:

- в обох випадках жорсткісні характеристики по внутрішній рейковій нитці практично по усій довжині мають більші значення ніж по зовнішній;
- в обох випадках спостерігається значне зростання жорсткості в межах хрестовинної частини;
- в обох випадках наявні стрибки жорсткості в місцях зміни типорозмірів стрілочних брусів, при цьому вони мають більші значення по зовнішній рейковій нитці в порівнянні з внутрішньою;

- для стрілочного перевodu на дерев'яних брусах, на відміну від перевodu на залізобетонних брусах в корені вістряка спостерігається локальне зростання жорсткості, що пояснюється особливостями їх конструктивного оформлення, при цьому слід зауважити, що в проведених розрахунках не розгляділися бруси, розміщені по довжині вістряків, тому на графіках відсутні скачки жорсткості в межах протяжності вістряків;

- загальна картина розподілу жорсткісних параметрів в обох випадках має подібний характер, що непрямо підтверджує правильність отриманих залежностей.

Проведений аналіз розподілу жорсткісних характеристик стрілочних переводів по його довжині дозволяє зробити висновок про необхідність умовного розділення стрілочного перевodu на окремі зони, в межах яких жорсткісні параметри включають подібні складові, зокрема:

- передній виліт рамних рейок, де конструкція стрілочного перевodu мало відрізняється від звичайної колії;

- вістрякова зона, де загальна жорсткість включає вплив рамних рейок, вістряків, стрілочних подушок і башмаків;

- з'єднувальна частина, яка, по суті, є чотиринитковою конструкцією колії з двома завантаженими і двома незавантаженими рейковими нитками;

- хрестовинна частина, яка в свою чергу має ділянки з чотирма рейковими нитками, де біля зовнішніх ниток змонтовані контррейки, а в середній частині внутрішні нитки переходять хрестовину, що має змінний переріз і відповідну жорсткість на згин;

- захрестовинна частина, в межах якої чотириниткова конструкція стрілочного перевodu поступово переходить у два напрямки звичайної колії.

Отримані жорсткісні характеристики є передумовою до визначення силової завантаженості стрілочного перевodu по його довжині. При цьому, для визначення вертикальних динамічних сил та відповідних напружень у рейках потрібно мати прийнятну методику розрахунку.

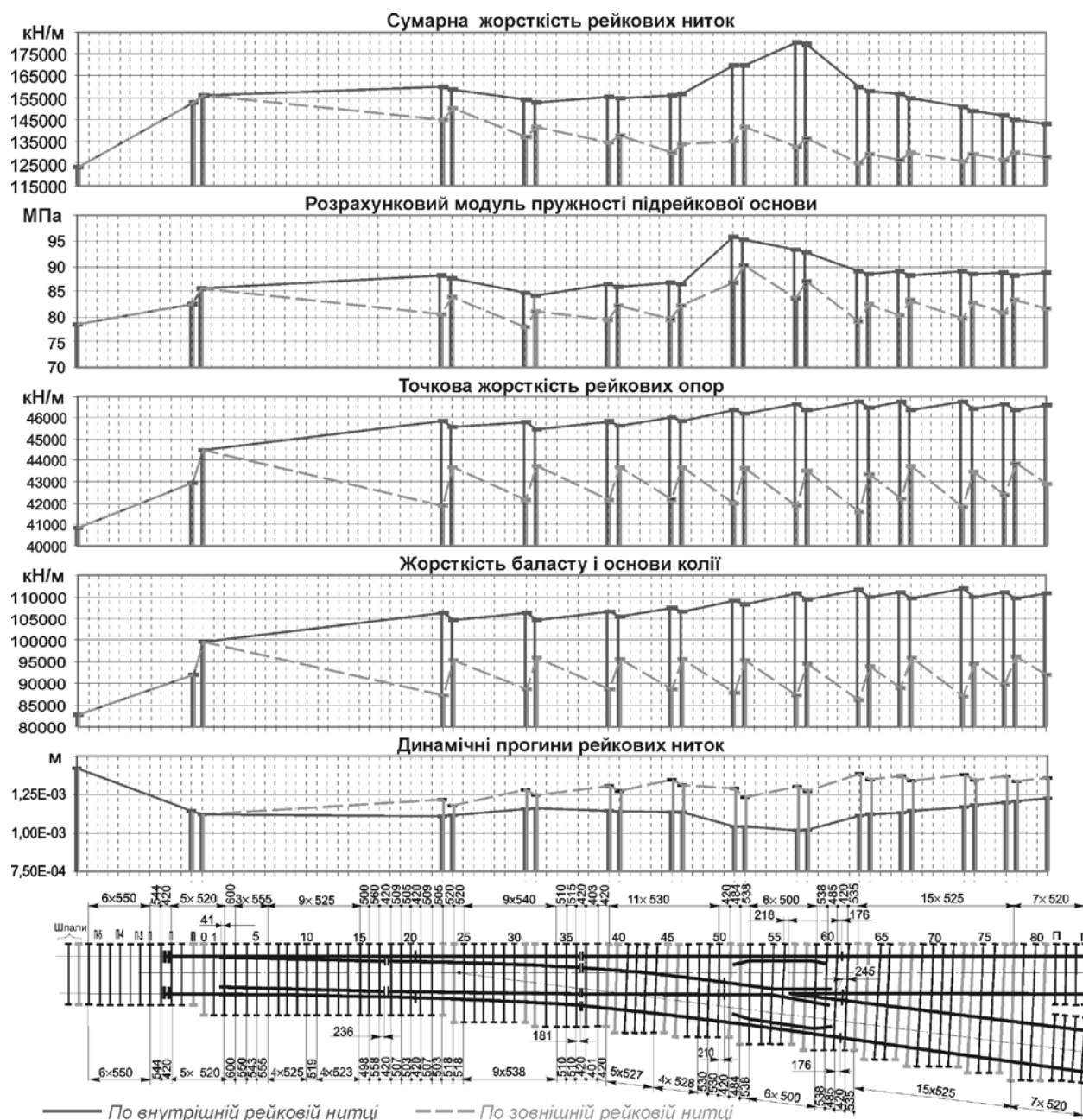


Рис. 3.12. Розподіл пружнодинамічних параметрів по довжині стрілочного переходу типу Р65 марки 1/11 на залізобетонних брусах (проект № 1740)

Очевидно, що на частинах стрілочного переходу, де на поверхні кочення утворюються конструктивні нерівності, методика розрахунку має відрізнятися від ділянок, подібних до звичайної колії. Тому, логічним буде розділення переходу на частини, аналогічно описаному вище принципу. У

такому випадку в межах вістрякової та хрестовинної частин визначення вертикальної динаміки має відбуватись за однією методикою, що враховує рух по нерівності, а на інших частинах переводу може бути застосована типова методика розрахунків колії на міцність.

На основі виконаного аналізу можна встановити базові етапи оцінки силової завантаженості стрілочного переводу по довжині.

1. Стрілочний перевід розділяється по довжині на частини: передвістрякова; вістрякова; з'єднувальна; хрестовинна; захрестовинна.

2. Для кожної частини з урахуванням конструктивних параметрів встановлюються геометричні, інерційні, пружні та інші розрахункові дані.

3. За описаною в п.п. 3.3 методикою розраховуються жорсткісні параметри колії в межах кожної виділеної частини стрілочного переводу.

4. На частинах стрілочного переводу, де його конструкція подібна до звичайної колії, вертикальні динамічні сили розраховуються за типовою методикою розрахунків колії на міцність.

5. В межах вістрякової та хрестовинної частин при відомих формах нерівностей на поверхні кочення розробляються математичні моделі взаємодії системи «рухомий склад – колія» у вертикальній площині та на основі їх реалізації визначаються відповідні динамічні сили.

6. На основі отриманих результатів силової завантаженості визначається напружений стан відповідних елементів стрілочного переводу.

3.4 Висновки до розділу 3

1. Конструктивні особливості стрілочного переводу вимагають застосовувати диференційований підхід до оцінки силової динаміки залежно від місця розташування рухомого навантаження по довжині стрілочного переводу.

2. Наявні в різних джерелах дані по розподілу жорсткісних характеристик підрейкової основи стрілочного переводу надто різняться і не можуть бути використані для нових конструкцій, а також для переводів укладених в тунелях метрополітенів, для яких повністю відсутні відповідні експериментальні дослідження.

3. Розроблено загальний алгоритм розрахунку жорсткісних характеристик стрілочних переводів.

4. Особливості конструктивного улаштування стрілочних переводів вимагають диференційованого підходу до оцінки його силової навантаженості та деформативності. Тому, доцільно ввести умовний поділ стрілочного переводу на частини, в межах яких силова динаміка має подібний характер формування.

5. Запропоновано базові засади методики оцінки силової навантаженості стрілочних переводів, які дозволяють отримати якісну картину розподілу вертикальних динамічних сил взаємодії системи «рухомий склад – колія» по усій довжині переводу з урахуванням особливостей його конструкції і роботи під навантаженням.

РОЗДІЛ IV

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ СИЛ ВЗАЄМОДІЇ НА ВЕРТИКАЛЬНИХ НЕРІВНОСТЯХ ПОВЕРХНІ КОЧЕННЯ ХРЕСТОВИН СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ

Як відомо [48, 72], до збуджуючих факторів, що визивають коливання системи “екіпаж-колія”, а відповідно і динамічну взаємодію колії та рухомого складу, відносять: геометричні нерівності рейкових ниток; геометричні нерівності на поверхні кочення коліс; пружні нерівності рейко-шпальної решітки; інерційні сили від обертання неврівноважених мас на колесах; неврівноважені інерційні сили, що виникають при переміщеннях мас рухомого складу; автоколивальні та резонансні явища в системі; люфти та зазори в елементах колії та рухомого складу.

За думкою відомих вчених професорів Вериги М.Ф., Когана А.Я., Яковлева В.Ф., Даніленка Е.І., Кудрявцева М.М. [72, 48, 47, 12, 13, 73] геометричні нерівності рейкових ниток, поверхні кочення коліс і пружні нерівності рейко-шпальної решітки практично повністю визначають формування сил інерції не обресорених мас, за рахунок яких (при справному рухомому складі) фактично повністю відбувається формування силової взаємодії. Одночасна дія цих факторів призводить до переміщення колеса у вертикальній площині, а відповідно утворенню вертикальної траєкторії руху центра колеса. Саме ця вертикальна траєкторія в системі “екіпаж-колія” багато в чому і визначає рівень сил взаємодії. Для стрілочних переводів, і зокрема хрестовин - найбільш складної конструкції з точки зору взаємодії, до перерахованих факторів необхідно додати специфічні процеси утворення нерівностей, що пов’язані з умовами перекочування з осердя на вусовик.

Утворення нерівностей в зоні жолобчастих хрестовин, як відомо, пов’язане, перш за все з умовами перекочування коліс з вусовика на осердя (і навпаки), що супроводжується передачею тиску від коліс на малі контактні

площі вусовика та осердя. Тому на ділянці перекочування з вусовика на осердя (чи навпаки) ці елементи найінтенсивніше зношуються, а робота верхніх шарів металу супроводжується пластичними деформаціями (зминання або розплющування) внаслідок високого контактного тиску, тому саме в цій зоні накопичується найбільший знос і дефекти від контактної утомлюваності металу.

Вагомий вклад в дослідження питань взаємодії колії та рухомого складу внесли відомі вчені, академік Лазарян В.А., професори Коган А.Я., Яковлев В.Ф., Кудрявцев М.М., Волошко Ю.Д., Данович В.Д., Єршков О.П. та інші [74, 75, 48, 10, 11].

Стосовно до вирішення питань взаємодії стрілочних переводів та рухомого складу, широко відомі роботи докторів технічних наук В.Ф. Яковлева, С.В. Амеліна, М.П. Смирнова, Е.І. Даніленко, Б.Е. Глюзберга, М.М. Путрі, кандидатів тех. наук Г.І. Іващенко, Р.С. Ліповського, А.М. Орловського, І.І. Семенова, В.І. Абросімова, Л.М. Фролова, М.І. Тітаренко та інших. [56, 34, 76, 74, 76, 80, 81, 13, 4, 77-79].

При визначенні сил взаємодії між конструкцією колії та колесами рухомого складу необхідно на сам перед враховувати нерівності на колії та колесах. При цьому ізольовані вертикальні нерівності рейкових ниток в межах довжини стрілочного переводу (при справних ходових частинах рухомого складу, що утримуються в межах норм) є визначаючими факторами процесу коливань і формують динамічні сили взаємодії.

Дослідженню зазначених питань було приділено велику увагу насамперед вченими ЛШЖТа, ВНШЖТа і ДШТа [82, 83], зокрема д.т.н. В.Ф. Яковлевим і к.т.н. І.І. Семеновим методами кореляційного аналізу встановлені взаємозв'язки між динамічними силами взаємодії та геометричними параметрами траєкторій перекочування коліс по нерівностям різного виду. У роботах [76, 82, 83] досліджено взаємний вплив нерівностей

на колеса та колії на рівень динамічних сил взаємодії в системі "екіпаж-колія" в різних сполученнях вказаних нерівностей.

Для визначення всього спектру вертикальних сил взаємодії між колесами рухомого складу та конструкцією колії в межах хрестовин стрілочних переводів насамперед необхідно знати спектр вертикальних нерівностей, що утворюються на хрестовинах конкретних конструкцій у зоні перекочування коліс з вусовика на осердя.

Функціональний зв'язок рівня вертикальних динамічних сил, що змінюються залежно від геометричних параметрів вертикальних траєкторій руху центра колеса при проходженні по нерівностям на поверхні кочення на хрестовинах з дерев'яною основою, отримано в роботах провідних вчених [56, 34].

4.1 Визначення вертикальних нерівностей на хрестовинах

Для виконання масових розрахунків силової взаємодії між колесом і рейкою доцільніше використовувати таку модель, де колесо моделюється з проектним обрисом. При цьому колесо незалежно від шляху, який ним пройдений, моделюється одним поперечним профілем. Тоді базою для визначення вертикальної нерівності буде вісь обертання колеса а, задача по визначенню вертикальної нерівності зводиться до визначення положення центра колеса по довжині хрестовини відносно бази вимірювань.

Дослідженнями вертикальних нерівностей на поверхні кочення хрестовин стрілочних переводів займались багато провідних вчених, і на сам перед наукова школа під керівництвом д.т.н., професора В.Ф. Яковлева (ЛПЗТ, Росія). В результаті проведених багаточисельних досліджень було встановлено, що основною причиною утворення вертикальних нерівностей на поверхні кочення на хрестовині є особливості будови її конструкції. В цьому можна упевнитись при розгляді схеми перекочування колісної пари по

хрестовині рис. 4.1 де безпосередньо в зоні перекочування колесо опирається на малі контактні площі на вусовику та осерді, тому саме в цій зоні вусовики і осердя більш інтенсивніше зношуються [29, 30].

Процес проходження екіпажів по хрестовині порівняно з іншими ділянками стрілочного перевodu є найбільш складним і несприятливим як у горизонтальній, так і вертикальній динаміці.

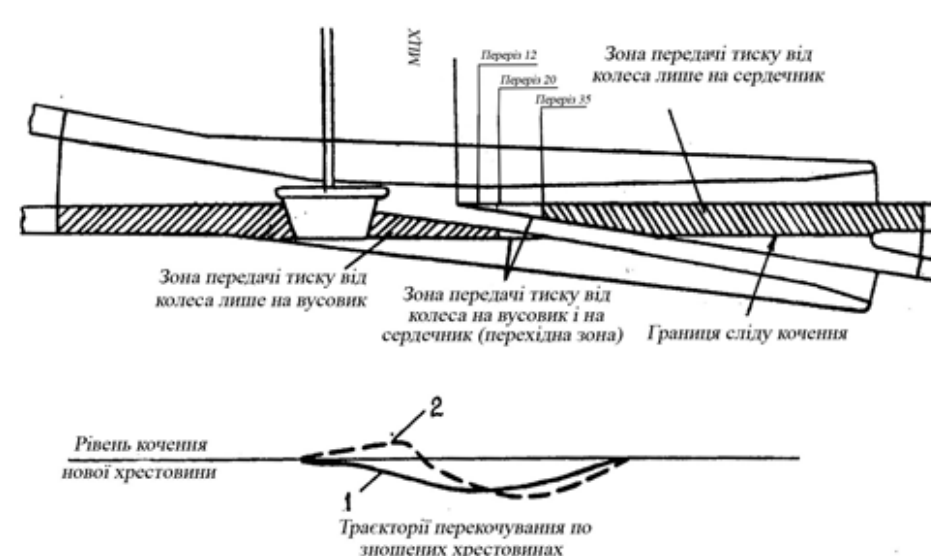


Рис. 4.1. Схема руху колісної пари по хрестовині

Так встановлено, що найбільш розповсюдженими, відповідно до класифікації проф. В. Ф. Яковлева [74] (рис. 4.2), є нерівності: синусоїдальної форми, а також впадини та горби. Найбільш несприятливими у відношенні силової взаємодії є нерівності у вигляді впадин, синусоїдальні на ділянках впадин та хвилеподібні, а найбільші сили взаємодії реалізуються на ділянках нерівності у зоні вкочування коліс на ухили зустрічного напрямку.

Також доведено, що вертикальна траєкторія руху центра нового колеса при перекочуванні по нерівності практично повністю ідентична самій вертикальній нерівності на поверхні кочення хрестовини.

Дослідженнями д.т.н., професора Яковлева В.Ф. [34, 80, 84] було встановлено, що головними характеристиками які визначають обрис нерівності при описанні траєкторії руху колеса є: форма і параметри

нерівності (довжина, глибина і уклони нерівностей). Тому для оцінки рівня динамічних сил взаємодії необхідно встановлювати ці характеристики.

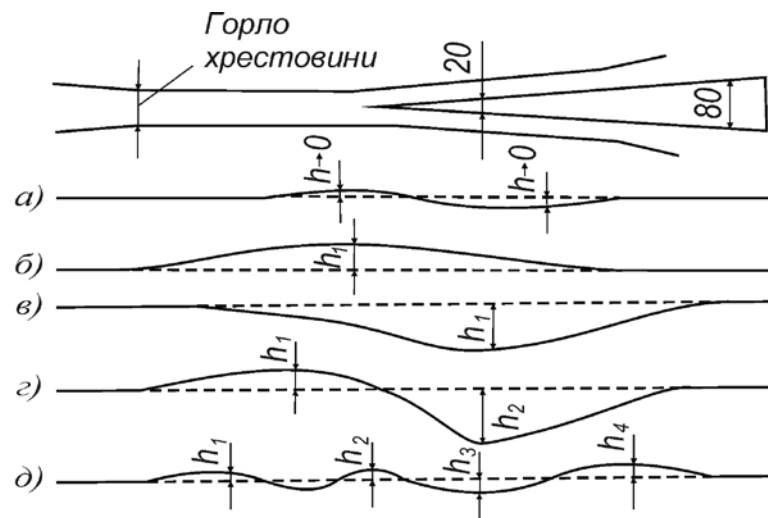


Рис. 4.2. Основні види вертикальних нерівностей на поверхні кочення жолобчатих хрестовин: а) прямолінійна, б) горб, в) впадина, г) синусоїдальна, д) хвилеподібна

У більшості випадків на практиці необхідно виконувати прогнозні оціночні розрахунки силової взаємодії колії та рухомого складу для тієї чи іншої конструкції як у новому стані, так і при різному стані зношеності. Тому, для оціночних прогнозних розрахунків при різній зношеності найбільш справедливо використовувати статистичні дані по утворенню вертикальних нерівностей. На теперішній момент науковцями зібрано досить обширний матеріал по хрестовинах з дерев'яною основою [56, 34, 82, 76, 83], також багато досліджень, проведених для стрілочних переводів на залізобетонних брусах [39, 85, 56]. У той самий час для експлуатації стрілочних переводів в умовах метрополітенів відомі експериментальні дослідження форм та параметрів вертикальних нерівностей, що проводились кафедрою ЗККГ ДУІТ за участю автора дисертації [86].

4.2. Експериментальні вимірювання вертикальних нерівностей на хрестовинах стрілочних переводів метрополітену

Для вирішення задачі силової оцінки сил взаємодії між колесом і хрестовиною стрілочного переводу були проведені експериментальні дослідження вертикальних траєкторій руху колеса хрестовинами в діючих коліях Київського метрополітену. Такі дослідження проведені вперше для конструкцій колій метрополітену та дозволяють комплексно підійти до оцінки сил взаємодії в межах хрестовин і порівняти отримані значення сил з аналогічними силами взаємодії, що реалізуються на конструкціях стрілочних переводів магістральних залізниць.

4.2.1 Методика вимірювань вертикальних нерівностей на хрестовинах стрілочних переводів

При експериментальних вимірюваннях траєкторій перекочування в межах хрестовин використовувався траєкторіограф – спеціальний прилад конструкції ЛПЗТа [87, 88], що імітує рух моделі колеса по хрестовині. Загальний вигляд траєкторіографа з розміщенням на хрестовині представлено на рис. 4.3.

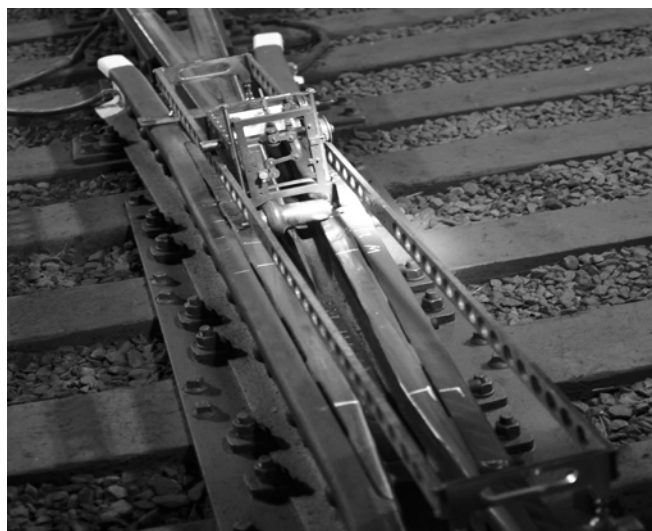


Рис. 4.3. Поздовжнє розміщення траєкторіографа на хрестовині

Траєкторіограф складається з механічної рухомої частини з записуючим пристроєм (рис. 4.4), який дозволяє безперервно реєструвати на стрічці положення центру ваги вимірювального колеса при його русі вздовж по поверхні кочення хрестовини. Рухома частина з записуючим пристроєм переміщується по двом направляючим рейкам довжиною 2 м, які направляють переміщення прибору відповідно до заданої траєкторії та до заданого ексцентриситету відносно робочої грані головки рейки, що дозволяє вимірювати нерівність по довжині хрестовин типів Р50 і Р65 марки 1/9 від врізки вусовиків до перерізу осердя де його ширина становить 60 мм.

Візок прибору спирається на три несучі ролики: два з них – для направлення руху, а один безребордний – для підтримки прибору. Запис виконується на паперовій стрічці за допомогою записуючого стрічкопротяжного механізму, який з'єднаний з важелями переміщення ролика у вертикальній площині. Одночасно із записом нерівності, на цій самій стрічці, іншим нерухомим самописцем наноситься положення базової лінії, відносно якої виконується розшифрування отриманої нерівності. В горизонтальному напрямку – масштаб запису нерівності складає 3:10, у вертикальному – 1:4.



Рис. 4.4. Загальний вигляд траєкторіографа конструкції ЛІЗТа

Перед початком вимірювань на хрестовинах визначаються і закріплюються мітками розрахункові перерізи, які характеризують відповідно: врізка вусовика (В), горло хрестовини (Г), її математичний центр (МЦК), перерізи осердя 12, 20, 30, 40, 50 і 60 міліметрів.

Вертикальна нерівність на хрестовині являє собою траєкторію руху центра вимірювального колеса, який має поверхню кочення, виконану за формою бандажу колеса. Ролик закріплюється в рухомій вертикальній рамі. Його переміщення в вертикальній площині передаються, на записуюче перо самописця, системою важелів. При дослідженнях можливе використання вимірювальних роликів, що обточені під різний профіль колеса (з новим профілем, середньо зношеним або максимально зношеним). Також можливе використання ролика інших форм та профілю з різними параметрами зносу та в тому числі для вагонного або локомотивного колеса. При проведенні вимірювань вертикальних траєкторій руху використовувався профіль ролика, що обточений під профіль нового колеса вагона метро.

Можливість переміщення направляючих рейок у поперечній площині відносно осі хрестовини дозволяє встановлювати вимірювальний ролик пристроєм майже з будь-яким зазором відносно робочої грані вусовика чи осердя хрестовини, тобто дає можливість вибирати ексцентриситет положення колеса відносно робочої грані рейки.

Прилад відносно робочої грані рейки розміщувався таким чином щоб в поперечній площині хрестовини вісь ролика прибору знаходилась з ексцентриситетом 5 мм усередину колії відносно робочої бокової грані рейки. Також направляючі рейки в поперечній площині виставлялись за рівнем.

У поздовжній площині направляючі рейки розміщувались таким чином, щоб досліджувати всю зону перекочування колеса з вусовика на осердя (чи навпаки), від врізки вусовика до перерізу осердя 60 мм.

Під час прокочування пристроєм, безпосередньо в зоні вимірювань, на стрічці фіксувалось положення досліджуваних перерізів.

Для прикладу на рис. 4.5 наведено запис вертикальної нерівності з позначенням характерних перерізів. Нульовою лінією вертикальної нерівності є початковий та кінцевий перерізи (врізка та переріз осердя 60 мм (або навпаки)).

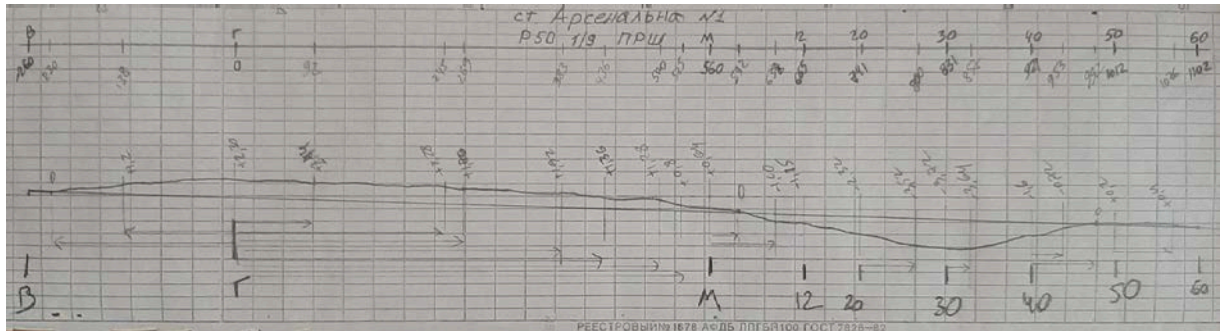


Рис. 4.5. Натурний запис вертикальної нерівності з позначенням характерних перерізів

4.2.2 Характеристики стрілочних переходів вибраних для досліджень вертикальних нерівностей

Для встановлення закономірностей формування вертикальних траєкторій руху на хрестовинах стрілочних переводів Київського метрополітену в дослідженні були задіяні стрілочні переводи, які експлуатуються в підземних і наземних ділянках головних колій Святошинсько-Броварської, Куренівсько-Червоноармійської та Сирецько-Печерської лінії.

Всього в головних коліях Київського метрополітену експлуатується 46 стрілочних переводів.

Розподіл стрілочних переводів по гілках метро наступний: Святошино-Броварська лінія – 16 переводів типу Р50 марки 1/9; Куренівсько-Червоноармійська лінія – 14 переводів типу Р50 марки 1/9; Сирецько-Печерська лінія – 18 переводів типу Р65 марки 1/9.

Із загальної кількості стрілочних переводів, що експлуатуються в головних коліях в дослідженні вертикальних нерівностей були задіяні 37 переводів (73% від загальної кількості).

З них 22 стрілочних переводи проекту 2497 типу Р50 марки 1/9 (73%):

- Святошино-Броварська лінія – 14 переводів (88%);
- Куренівсько-Червоноармійська лінія – 8 переводів (50%),

та 15 стрілочних переводів проекту 2433 типу Р65 марки 1/9 (83%) Сирецько-Печерської лінії.

Підбір переводів виконувався таким чином, щоб досліджувані конструкції різнилися характеристиками пропущеного при експлуатації тоннажу, а також мали різні умови експлуатації (переважний напрямок руху поїздів – пошерстний (ПШ) або протишерстний (ПРШ), різні швидкості руху та ін.). Вихідними даними для визначення умов експлуатації слугували надані Службою колії, тунельних споруд і будівель Київського метрополітену експлуатаційні характеристики ділянок.

Встановлена швидкість руху V , км/год, по переводах прямим напрямком складає до $V_{max} = 80$ км/год, боковим напрямком до $V_{max} = 40$ км/год.

Вантажонапруженість, Γ млн. т на рік, ділянок метрополітену на час дослідження складала: на Святошинсько-Броварській лінії – 25,23 млн. т на рік; на Куренівсько-Червоноармійській лінії – 21 млн. т на рік; на Сирецько-Печерській лінії – 17,1 млн. т на рік.

Стрілочних переводів з переважним ПШ напрямком руху типів Р50 і Р65 було досліджено 13 і 10 відповідно, а переводів з переважним ПРШ напрямком руху досліджено 9 та 5 відповідно.

Вимірювання виконувались лише за прямим напрямком руху (основний поїздопотік).

Перелік стрілочних переводів, на яких виконувались дослідження вертикальних нерівностей, з детальною характеристикою їх конструкцій, умов експлуатації, річною вантажонапруженістю та пропущеним тоннажем на час спостережень наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Характеристика стрілочних переводів для проведення експлуатаційних випробувань в Київському метрополітені

№ стр. пер.	Станція	Тип і марка хрестовини	Переважний напрямок руху	Завод виробник і заводський номер хрестовини	Дата укладання стрілочного переводу	Встановлена швидкість руху, V, км/год	Кількість поїздів за добу	Вантажонапруженість по стрілочних переводах, Г, млн. т бруто	Пропущений. тоннаж по хрестовині на час вимірювання, Т, млн. т бруто
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Святошинсько-Броварська лінія									
1	Святошин	Р50 М1/9	ПШ	ДНСП442 №43/12	01. 2003р.	80	380	25,23	48,94
2	Святошин		ПРШ	ДС3.96 ПЗ 2497	01. 2006р.	80	380		106,93
1	Шулявська		ПШ	Д-ІУ-97	12. 1997р.	70	380		111,22
2	Шулявська		ПШ	ДНСП442 №110/12	11. 2012р.	70	380		31,34
1	Хрещатик		ПРШ	ДС3.97	02. 1999р.	70	380		112,86
2	Хрещатик		ПШ	ДНС3.01	03. 1999р.	70	380		112,86
1	Арсенальна		ПРШ	А-ІУ-10	11. 1997р.	80	380		51,15
2	Арсенальна		ПШ	Д-6-89	02. 1998р.	80	380		88,62
1	Дарниця		ПРШ	ДС300	03. 2003р.	80	380		80,18
2	Дарниця		ПРШ	ДС300	11. 1997р.	80	380		26,13
6	Дарниця		ПШ	ДС308	04. 2009р.	80	380		122,41
7	Дарниця		ПШ	К-У-01	03. 2005р.	80	398		65,94
9	Дарниця		ПРШ	А-Ш-11	03. 2005р.	80	398		27,99
11	Дарниця		ПШ	ДС307	12. 2008р.	70	380		133,41
Куренівсько-Червоноармійська лінія									
1	Васильківська	Р-50 М 1/9	ПШ	ДнСЗ №244	15.12.2010	80	307	21	61,42
2	Васильківська		ПРШ	ДнСЗ №274	15.12.2010	80	307		61,42
1	Либідська		ПШ	ДнСЗ №54	10.07.2010	80	308		70,82
2	Либідська		ПШ	ДнСЗ №369	23.04.2009	80	308		34,35
1	Контрактова площа		ПРШ	ДСЗ №275/08	27.09.2002	80	307		55,12

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	Контрактова площа	P50 M1/9	ПШ	ДСЗ 51112	29.03.2002	80	307	21	34,12
2	Оболонь		ПШ	ДСЗ №370/06	27.05.2011	80	307		13,12
1	Героїв Дніпра		ПРШ	ДСЗ №265/07	21.01.2010	80	307		80,59
Сирецько-Печерська лінія									
1	Дорогожичі	P65 M 1/9	ПШ	ДнСЗ 158	30.03.2000	80	233	17,1	24,55
2	Дорогожичі		ПРШ	ДнСЗ 5831	30.03.2000	80	233		75,05
1	Луканівська		ПШ	ДнСЗ 15/8	30.12.1996	80	263		106,21
2	Луканівська		ПРШ	ДнСЗ 276	30.12.1996	80	263		24,78
1	Золоті Ворота		ПШ	ДнСЗ 3605	31.12.1989	80	263		25,06
2	Золоті Ворота		ПШ	ДнСЗ 3441	31.12.1989	80	263		74,91
1	Кловська		ПШ	ДнСЗ 2769	31.12.1989	80	264		28,25
2	Кловська		ПРШ	ДнСЗ 276	31.12.1989	80	264		32,23
1	Дружби Народів		ПРШ	ДнСЗ 3421С93	30.12.1991	80	264		97,45
2	Дружби Народів		ПШ	ДнСЗ 718	30.12.1991	80	264		91,2
1	Видубичі		ПШ	ДнСЗ 313	30.12.1991	40	264		93,79
2	Видубичі		ПШ	ДнСЗ 512/5	30.12.1991	40	264		91,68
1	Осокорки		ПРШ	ДнСЗ 276	30.12.1992	80	264		68,17
2	Осокорки		ПШ	ДнСЗ 968	30.12.1992	80	264		88,08
2	Харківська		ПШ	ДнСЗ 27695.508	28.12.1994	80	264		70,46

4.2.3 Результати вимірювань вертикальних нерівностей на хрестовинах типу Р50 і Р65 марки 1/9

Пропущений тоннаж T , млн. т, з моменту вкладання до часу натурних досліджень по хрестовинах типу Р50 становив від 13,1 до 133,4 млн. т, а по хрестовинах типу Р65 від 24,6 до 106,2 млн. т.

В результаті обробки стрічок запису траєкторій перекочування (рис. 4.5) були отримані координати усіх характерних точок де змінюється обрис нерівності, а також в усіх нормованих перерізах. Тобто, отримані значення відстані від початку вимірювань до характерної точки l , мм, та ординати нерівності $\pm h$, мм.

Результати вимірювань вертикальних нерівностей у вигляді траєкторій перекочування в межах кожної хрестовини стрілочного перевodu, що досліджувався, наведено в додатку В: для типу Р50 марки 1/9 відповідно для ПШ (рис. В.1-В.3) і ПРШ напрямку руху (рис. В.4-В.6); для типу Р65 марки 1/9 відповідно для ПШ (рис. В.7-В.9) і ПРШ напрямку руху (рис. В.10-В.11).

Для можливості проведення аналізу щодо встановлення тенденцій розвитку нерівностей на різних стадіях експлуатації, всі отримані натурні вертикальні нерівності були систематизовані в групи залежно від пропущеного тоннажу та переважного ПШ або ПРШ напрямку руху поїздів. В одну групу включались нерівності з пропущеним тоннажем, який характеризує початкову, основну та кінцеву стадію експлуатації, що дозволило при аналізі встановити тенденції розвитку, їх форму та параметри залежно від пропущеного тоннажу на різних стадіях експлуатації. В групи не включались нерівності які мають нехарактерний обрис, що може бути пов'язано з особливістю виготовлення або іншими причинами (виконання шліфування поверхні кочення та ін.).

Після систематизації масиву траєкторій по експлуатаційним характеристикам була виконана математична обробка статистичного матеріалу з побудовою середніх нерівностей які утворюються на поверхні кочення хрестовин після пропуску різних нормативів тоннажу, відповідно:

- початковий період експлуатації (близько до 40 млн. т бруто);
- середньозношений стані (близько 50-90 млн. т бруто);
- знос близький до максимального (близько 100-120 млн. т бруто).

Результати розрахунку параметрів вертикальних нерівностей на хрестовинах типу Р50 і Р65 марок 1/9 з розподілом їх на відповідні групи наведені в табл. 4.2.

Вертикальні нерівності, що систематизовані в групи для хрестовин типу Р50 марки 1/9 наведено на рис. 4.7 і рис. 4.8, а для типу Р65 марки 1/9 на рис. 4.9 і 4.10 відповідно при переважному ПШ і ПРШ напрямку руху поїздів з вказаними параметрами пропущеного тоннажу. На цих рисунках також наведено середні вертикальні нерівності для кожної з груп, які позначено суцільною лінією.

Для кожної вертикальної нерівності визначався її тип за класифікацією проф. Яковлева В.Ф. [74], величина сумарного та зустрічного ухилу, глибина нерівності та місце її розташування по довжині хрестовини.

Відповідно до розрахунків табл. 4.2 вертикальні нерівності на хрестовинах за формою, мають наступний розподіл, що представлено на рис. 4.6:

- типів Р50 і Р65 марки 1/9 при ПШ напрямку руху: симетричні – 52,6%; бугор – 15,8%; впадина – 26,3%; прямолінійні – 5,3;
- типів Р50 і Р65 марки 1/9 при ПРШ напрямку руху: симетричні – 77,8%; бугор – 11,1%; впадина – 11,1%; прямолінійні – 0%.

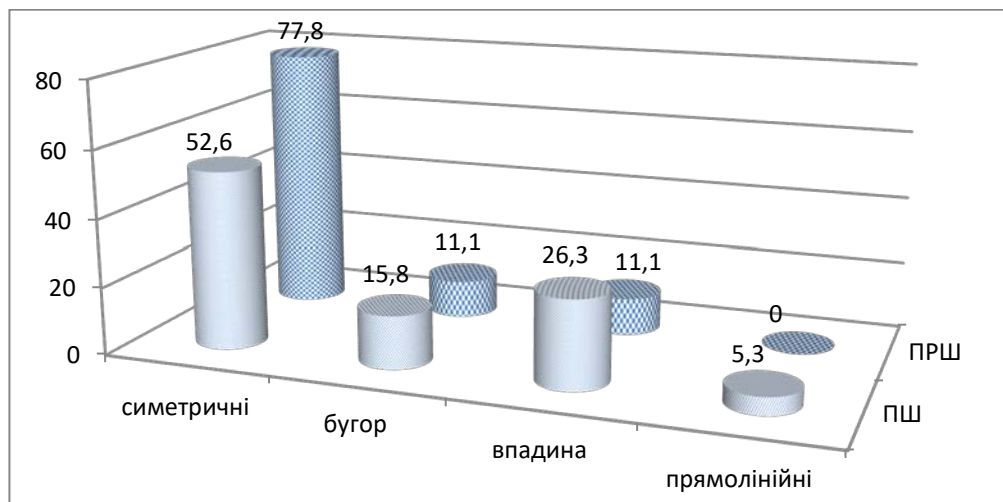


Рис. 4.6. Розподіл вертикальних нерівностей за типами на хрестовинах стрілочних переходів метрополітену типу Р50 і Р65 марки 1/9

Таблиця 4.2

Характеристики вертикальних нерівностей хрестовин типа Р50 і Р65 марки 1/9

Умовна нумерація нерівностей	Станція де розміщено стрілочний перевід	№ переводу	Пропущений тоннаж, млн. т брутто	Тип нерівності	Глибина впадини, мм	Місце розташування впадини на хрестовині	Найбільша висота горба, мм	Місце розташування найбільшої висоти горба на хрестовині	Максимальний сумарний ухил Σi , ‰	Максимальний зустрічний ухил i_z , ‰
1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12
Тип Р50 ПШ										
1. Пропущений тоннаж до 40 млн. т брутто										
1	ст. Шулявська	2	35,74	синусоїда	-0,9	12 мм	3,5	Г	35,8	20,0
2	ст. Либідська	2	38,5	впадина	-4,5	20 мм	0,80	Г + 400 мм	62,8	32,4
3	ст. Оболонь	2	17,5	синусоїда	-2,6	12 мм	1,5	Г + 400 мм	55,3	23,4
2. Пропущений тоннаж від 40 до 90 млн. т брутто										
4	ст. Святошин	1	53,06	синусоїда	-1,9	12÷20 мм	2,5	Г	53,1	16,4
5	ст. Дарниця	7	69,38	бугор	-1,5	20 мм	4,4	Г + 250 мм	43,3	6,9
6	ст. Васильківська	1	66,0	синусоїда	-2,1	20 мм	2,9	Г	66,5	18,2
7	ст. Либідська	1	75,0	впадина	-5,3	МЦХ	0,8	Г	50,6	30,6
8	ст. Контрактова площа	1	59,5	синусоїда	-3,2	МЦХ÷12 мм	1,3	Г	41,1	30,5
3. Пропущений тоннаж понад 90 млн. т брутто										
9	ст. Шулявська	1	117,74	впадина	-6,3	12 мм	-	-	73,5	31,8
10	ст. Хрещатик	2	116,64	синусоїда	-4,0	12÷20 мм	3,5	Г + 380 мм	68,9	37,1
11	ст. Арсенальна	2	94,61	синусоїда	-2,0	12 мм	2,3	Г + 300 мм	28,7	13,0
12	Дарниця	6	125,64	впадина	-3,5 (-3,5)	Г (12÷20 мм)	-	-	23,0	10,6
13	Дарниця	11	136,64	бугор	-1,2	12 мм	3,4	Г + 180 мм	41,5	21,6
Тип Р50 ПРШ										
1. Пропущений тоннаж до 40 млн. т брутто										
14	ст. Контрактова площа	2	38,5	синусоїда	-3,6	МЦХ÷12 мм	2,8	Г	68,2	45,8
15	ст. Дарниця	2	31,54	впадина	-1,2	30 -40 мм	5,6	Г + 400 мм	20,1	2,3
16	ст. Дарниця	9	33,64	синусоїда	-2,4	МЦХ÷12 мм	1,6	Г	28,3	16,7
2. Пропущений тоннаж від 40 до 90 млн. т брутто										
17	ст. Васильківська	2	66,0	синусоїда	-5,4	30 - 40 мм	4,8	Г	85,0	52,2
18	ст. Героїв Дніпра	1	85,0	синусоїда	-3,3	20 мм	3,4	Г + 470 мм	39,1	20,8
19	ст. Арсенальна	1	54,67	синусоїда	-3,7	30 мм	2,3	Г	41,0	25,3

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12
20	ст. Дарниця	1	86,2	синусоїда	-1,8	30 - 40 мм	2,4	Г + 230 мм	30,8	21,1
3. Пропущений тоннаж понад 90 млн. т бруто										
21	ст. Святошин	2	113,54	бугор	-0,9	40 мм	6,7	Г + 480 мм	22,7	3,3
22	ст. Хрещатик	1	116,64	синусоїда	-5,6	30 - 40 мм	4,3	Г	57,2	30,0
Тип Р65 ПШ										
1. Пропущений тоннаж до 40 млн. т бруто										
23	ст. Дорогожичі	1	25,20	синусоїда	-6,4	12 мм	4,0	Г	76,7	44,2
24	ст. Кловська	1	29,9	впадина	-7,6	МЦХ	-	-	72,2	48,2
2. Пропущений тоннаж від 40 до 90 млн. т бруто										
25	ст. Харківська	2	75,5	прямолінійна	0,3	МЦХ÷12 мм	1,6	Г	16,0	13,9
3. Пропущений тоннаж понад 90 млн. т бруто										
26	ст. Осокорки	2	89,8	бугор	-	-	3,3	МЦХ-	16,7	16,7
27	ст. Дружби Народів	2	91,2	синусоїда	-2,3	МЦХ÷12 мм	2,8	Г +380 мм	94,2	27,5
28	ст. Лук'янівська	1	108,3	синусоїда	-1,8	МЦХ÷12 мм	4,1	Г +350 мм	27,4	6,0
Тип Р65 ПРШ										
1. Пропущений тоннаж до 40 млн. т бруто										
29	ст. Лук'янівська	2	24,2	впадина	-3,2	МЦХ÷12 мм	0,5	Г - 150 мм	33,3	5,5
30	ст. Золоті Ворота	1	24,2	синусоїда	-3,7	МЦХ÷12 мм	3,7	Г + 250 мм	81,2	72,0
31	ст. Кловська	2	34,2	синусоїда	-2,5	20÷30 мм	3,7	Г + 290 мм	48,5	30,6
2. Пропущений тоннаж від 40 до 90 млн. т бруто										
32	ст. Осокорки	1	69,8	синусоїда	-3,6	20 мм	4,0	Г + 200 мм	38,3	18,9
33	ст. Золоті Ворота	2	78,4	синусоїда	-3,0	12 мм	3,6	Г	78,2	30,0
34	ст. Дорогожичі	2	76,9	синусоїда	-1,7	20÷30 мм	2,3	Г - 100 мм	13,8	6,5
3. Пропущений тоннаж понад 90 млн. т бруто										
35	ст. Дружби Народів	1	99,7	синусоїда	-4,0	30÷40 мм	2,7	Г + 50 мм	45,6	8,9
36	ст. Видубичі	1	95,5	синусоїда	-3,1	30 мм	2,8	Г	26,9	4,9
37	ст. Видубичі	2	93,3	бугор	-1,3	12 мм	2,9	Г + 500 мм	63,7	36,0

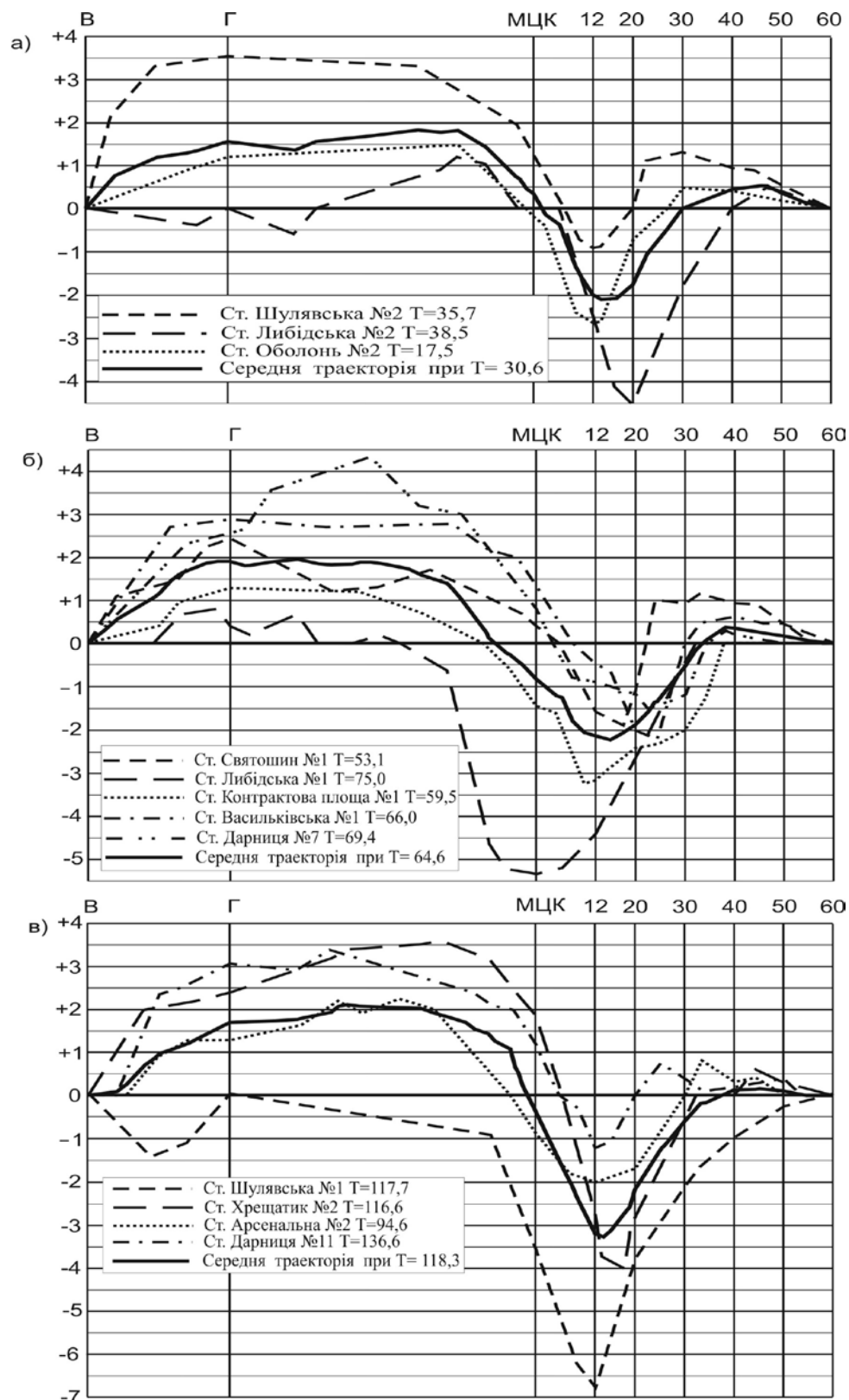


Рис. 4.7. Вертикальні нерівності для хрестовин типу Р50 марки 1/9 при ПШ русі на різних стадіях експлуатації: а – початковий період експлуатації; б) середньозношений стан; в) знос близький до максимального

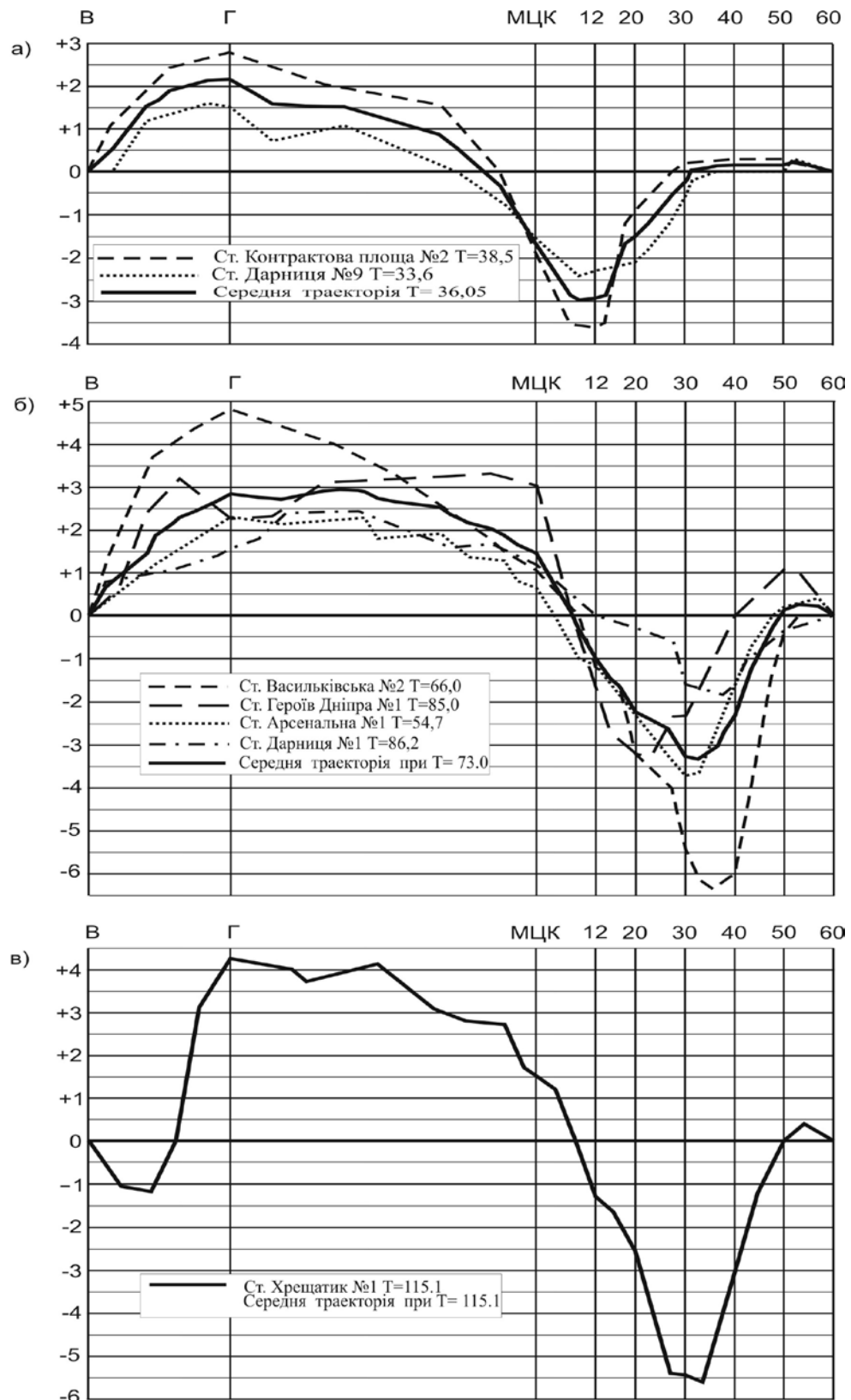


Рис. 4.8. Вертикальні нерівності для хрестовин типу Р50 марки 1/9 при ПРШ русі на різних стадіях експлуатації: а – початковий період експлуатації; б) середньозношений стан; в) знос близький до максимального

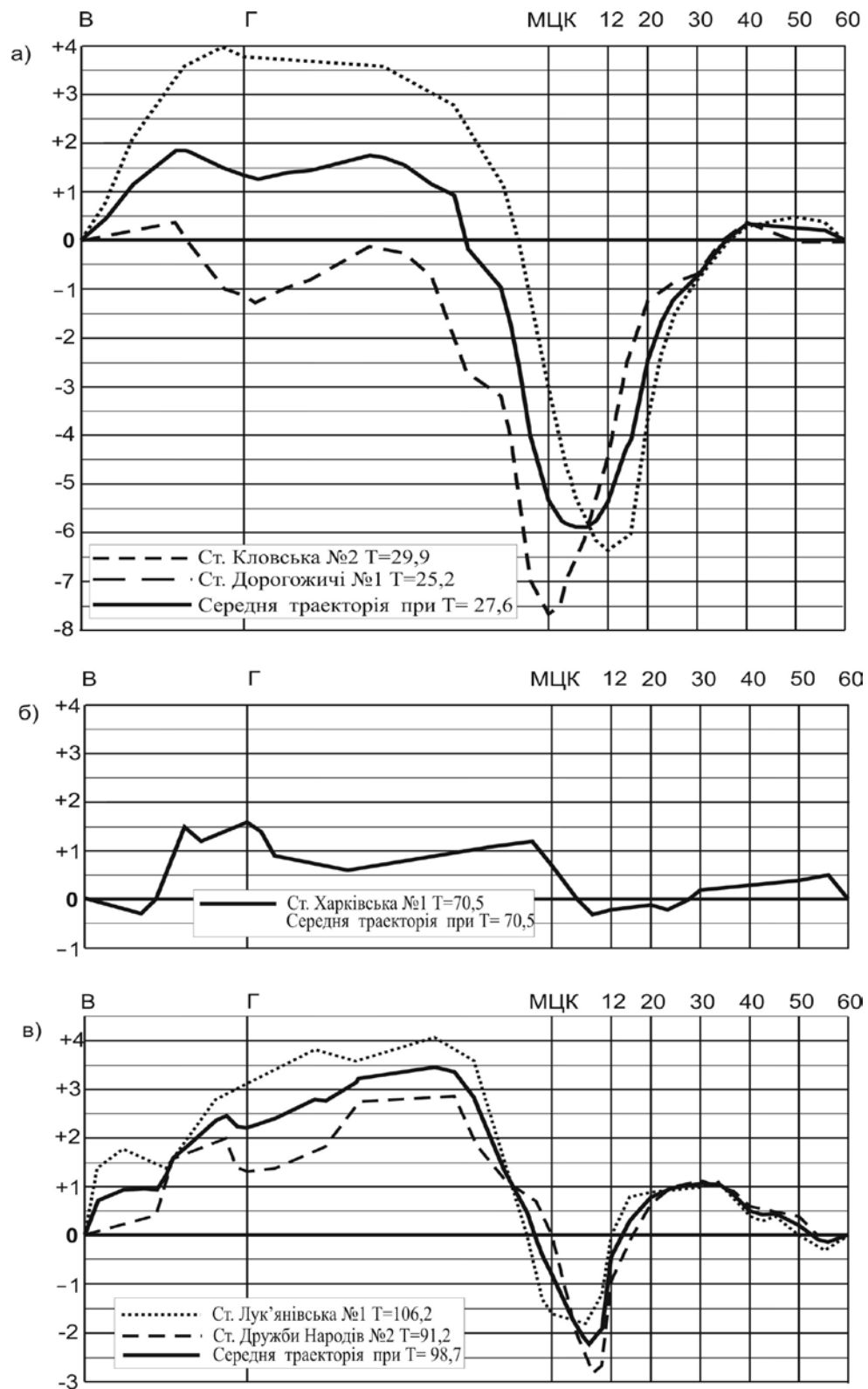


Рис. 4.9. Вертикальні нерівності для хрестовин типу Р65 марки 1/9 при ПШ русі на різних стадіях експлуатації: а – початковий період експлуатації; б) середньозношений стан; в) знос близький до максимального

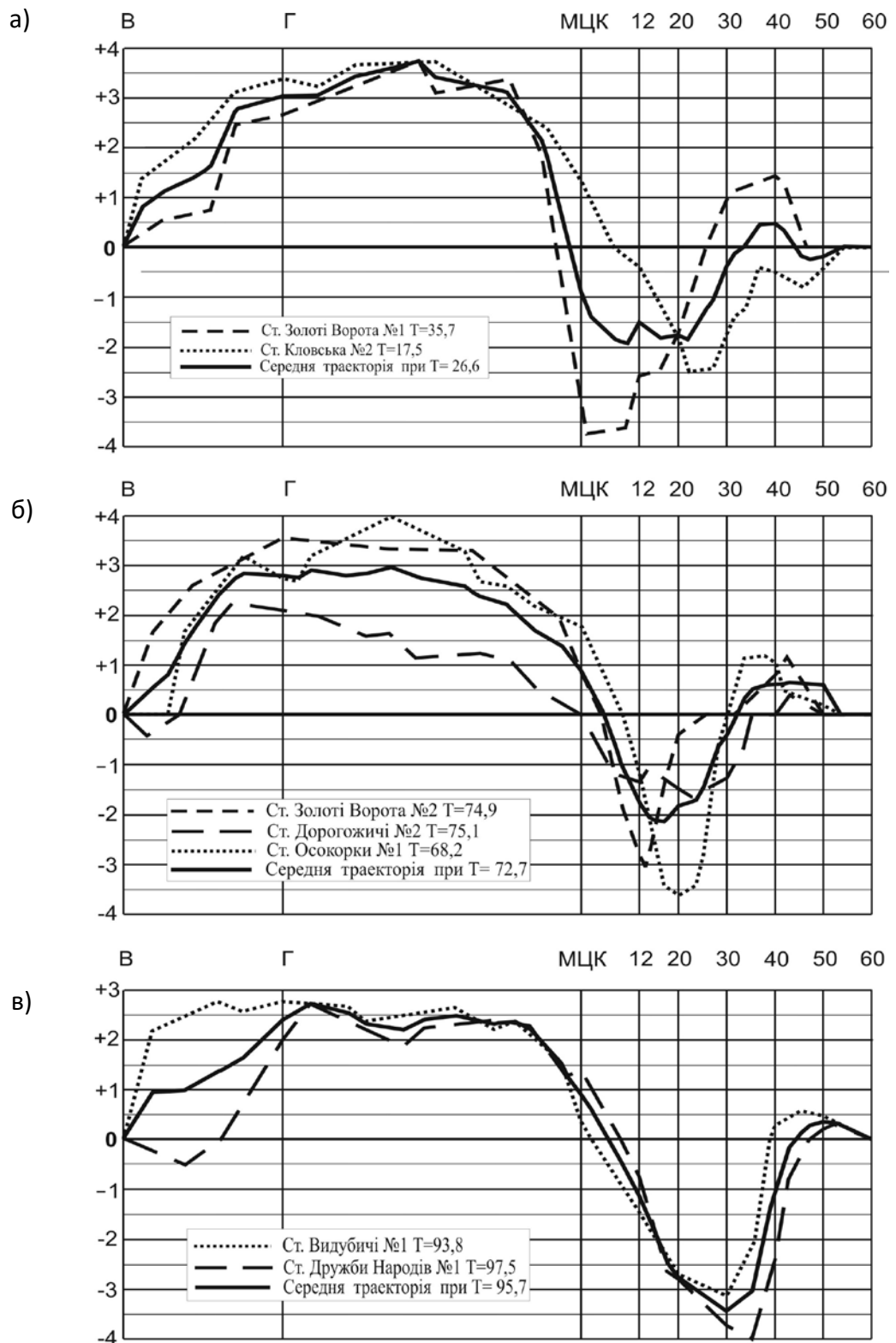


Рис. 4.10. Вертикальні нерівності для хрестовин типу Р65 марки 1/9 при ПРШ русі на різних стадіях експлуатації: а – початковий період експлуатації; б) середньозношений стан; в) знос близький до максимального

Для можливості подальшого використання отриманих нерівностей при математичному моделюванні були оцифровані геометричні параметри середньостатистичних нерівностей.

Результати розрахунку координат середньостатистичних нерівностей для хрестовин стрілочних переводів типу Р50 марки 1/9 і Р65 марки 1/9 на різних стадіях експлуатації при ПШ і ПРШ напрямках руху наведено в табл. 4.3 і 4.4 відповідно.

Таблиця 4.3

Координати середньостатистичних нерівностей на хрестовинах
стрілочних переводів типу Р50 марки 1/9

Пошерстний рух						Протишерстний рух					
Пропущений тоннаж						Пропущений тоннаж					
T=30,6 млн. т брутто		T=64,6 млн. т брутто		T=118,3 млн. т брутто		T=36,1 млн. т брутто		T=73,0 млн. т брутто		T=115,1 млн. т брутто	
X, мм	Y, мм	X, мм	Y, мм	X, мм	Y, мм	X, мм	Y, мм	X, мм	Y, мм	X, мм	Y, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	+0,13	37	+0,04	48	0	30	+0,35	30	+0,65	60	-1,04
90	+0,37	90	+0,18	90	+0,08	46	+0,54	46	+0,82	115	-1,16
117	+0,51	127	+0,24	134	+0,12	107	+1,54	107	+1,46	160	0
127	+0,52	181	+0,35	142	+0,09	130	+1,69	122	+1,87	203	+3,12
181	+0,45	197	+0,38	181	-0,01	150	+1,9	155	+2,18	260	+4,24
271	0	232	+0,08	232	-0,28	220	+2,14	166	+2,30	373	+4,0
297	-0,46	242	-0,04	242	-0,3	260	+2,16	195	+2,44	398	+3,72
336	-1,03	252	-0,18	271	-0,73	305	+1,83	235	+2,68	529	+4,12
361	-1,75	271	-0,55	307	-1,44	338	+1,59	260	+2,85	632	+3,08
392	-2,06	290	-0,85	314	-1,56	398	+1,54	310	+2,77	696	+2,8
420	-2,08	322	-1,33	322	-1,73	435	+1,52	338	+2,74	760	+2,72
433	-1,99	327	-1,36	361	-2,38	469	+1,52	352	+2,72	797	+1,72
455	-1,6	336	-1,53	372	-2,71	643	+0,87	430	+2,92	820	+1,52
467	-1,32	342	-1,62	385	-2,9	662	+0,69	450	+2,94	852	+1,2
485	-0,73	361	-1,89	407	-3,15	675	+0,56	460	+2,95	890	0
496	-0,37	385	-2,05	420	-3,26	755	-0,35	493	+2,93	929	-1,28
522	-0,13	407	-2,21	433	-3,18	767	-0,56	505	+2,9	960	-1,64
542	+0,35	433	-2,11	467	-2,55	820	-1,66	529	+2,74	1001	-2,52
557	+0,46	455	-2,04	477	-2,36	882	-2,87	560	+2,67	1064	-5,4
569	+0,69	477	-1,8	485	-2,16	890	-2,91	643	+2,53	1091	-5,44
577	+0,74	496	-1,25	496	-1,93	898	-2,98	662	+2,37	1124	-5,6
631	+1,43	507	-1,2	542	-0,82	929	-2,94	696	+2,17	1181	-3,04
682	+1,82	542	-0,84	569	-0,24	947	-2,86	737	+2,03	1225	-1,2
714	+1,78	569	-0,5	583	+0,07	983	-1,67	760	+1,89	1272	0
755	+1,82	577	-0,43	592	+0,23	1001	-1,5	785	+1,67	1310	+0,4

Продовження таблиці 4.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
840	+1,7	592	-0,27	619	+0,66	1025	-1,2	820	+1,48	1362	0
942	+1,57	597	-0,24	631	+0,83	1064	-0,64	852	+0,73		
980	+1,37	631	+0,13	656	+0,96	1069	-0,55	882	+0,1		
1102	+1,57	640	+0,23	672	+1,03	1091	-0,2	897	-0,31		
1158	+1,33	682	+1,04	697	+1,04	1105	+0,01	929	-1,0		
1177	+1,3	697	+1,27	714	+1,12	1135	+0,09	955	-1,46		
1232	+1,2	755	+1,6	729	+1,17	1151	+0,13	971	-1,62		
1310	+0,76	777	+1,73	755	+1,2	1181	+0,15	1001	-2,24		
1362	0	792	+1,78	792	+1,26	1272	+0,15	1025	-2,39		
		829	+1,87	866	+1,25	1293	+0,25	1060	-2,61		
		847	+1,9	889	+1,3	1362	0	1069	-2,63		
		866	+1,9	905	+1,31			1091	-3,26		
		881	+1,87	919	+1,26			1181	-2,3		
		919	+1,83	973	+1,01			1203	-1,59		
		942	+1,86	980	+0,98			1213	-1,22		
		980	+1,97	1021	+0,86			1252	-0,28		
		1031	+1,9	1067	+0,70			1272	+0,13		
		1067	+1,82	1102	+0,77			1300	+0,26		
		1102	+1,91	1165	+0,50			1336	+0,22		
		1127	+1,92	1177	+0,47			1362	0		
		1147	+1,88	1189	+0,47						
		1189	+1,67	1197	+0,45						
		1197	+1,61	1232	+0,44						
		1212	+1,47	1242	+0,36						
		1232	+1,19	1260	+0,34						
		1242	+1,09	1292	+0,03						
		1310	+0,57	1310	-0,08						
		1332	+0,33	1317	-0,09						
		1362	0	1362	0						

Таблиця 4.4

Координати середньостатистичних нерівностей на хрестовинах
стрілочних переводів типу Р65 марки 1/9

Пошерстний рух						Протишерстний рух					
Пропущений тоннаж						Пропущений тоннаж					
T=27,6 млн. т брутто		T=70,5 млн. т брутто		T=98,7 млн. т брутто		T=26,6 млн. т брутто		T=72,7 млн. т брутто		T=98,7 млн. т брутто	
X, мм	Y, мм	X, мм	Y, мм	X, мм	Y, мм	X, мм	Y, мм	X, мм	Y, мм	X, мм	Y, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	+0,2	37	+0,5	37	-0,15	35	+0,81	55	+0,55	55	+0,98
90	+0,25	90	+0,4	55	-0,1	76	+1,12	83	+0,81	114	+0,99
181	+0,35	181	+0,3	90	+0,2	96	+1,22	105	+1,24	178	+1,38
212	+0,07	271	+0,2	132	+0,45	129	+1,39	114	+1,43	185	+1,39
228	-0,11	293	0	157	+0,42	135	+1,43	135	+1,78	225	+1,65
271	-0,74	329	-0,2	181	+0,5	153	+1,54	178	+2,41	300	+2,4
310	-1,16	361	0	212	+0,86	165	+1,65	209	+2,75	351	+2,73

Продовження таблиці 4.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
316	-1,27	433	-0,2	237	+1,06	193	+2,33	225	+2,84	422	+2,53
337	-1,67	471	-0,3	271	+1,08	209	+2,73	300	+2,8	455	+2,31
361	-2,44	494	0	324	+1,47	215	+2,8	327	+2,76	525	+2,2
392	-4,08	542	+0,7	361	+0,78	300	+3,02	351	+2,91	565	+2,41
402	-4,28	578	+1,2	392	+0,41	365	+3,06	365	+2,89	624	+2,49
433	-5,36	648	+1,1	402	+0,29	435	+3,44	416	+2,8	695	+2,31
457	-5,75	917	+0,6	433	-0,46	455	+3,49	455	+2,84	702	+2,34
475	-5,89	1052	+0,9	452	-1,92	535	+3,69	501	+2,98	735	+2,37
494	-5,87	1077	+1,4	475	-2,22	555	+3,73	555	+2,75	763	+2,21
512	-5,81	1102	+1,6	485	-2,09	585	+3,42	640	+2,58	821	+1,54
520	-5,75	1183	+2,0	494	-1,89	624	+3,33	656	+2,49	835	+1,23
542	-5,32	1217	+1,5	542	-0,8	678	+3,21	719	+2,21	860	+0,9
578	-4,0	1269	0	561	-0,43	710	+3,15	725	+2,13	876	+0,61
597	-2,68	1297	-0,3	573	-0,09	719	+3,12	770	+1,7	933	-0,46
613	-1,7	1357	-0,2	589	+0,45	785	+2,15	821	+1,39	969	-1,11
627	-1,13	1402	0	632	+1,35	795	+1,79	860	+0,88	995	-1,81
632	-0,98			648	+1,94	813	+1,05	898	+0,05	1020	-2,47
692	-0,18			680	+2,61	860	-0,9	922	-0,71	1041	-2,75
717	+0,93			687	+2,82	876	-1,39	933	-1,0	1131	-3,43
759	+1,17			723	+3,46	922	-1,84	969	-1,77	1179	-3,02
808	+1,56			759	+3,67	933	-1,88	985	-2,03	1212	-1,37
847	+1,72			899	+3,23	945	-1,92	995	-2,09	1221	-1,05
872	+1,76			905	+3,13	969	-1,5	1013	-2,11	1248	-0,17
980	+1,45			960	+2,76	1007	-1,81	1020	-2,02	1271	+0,13
1024	+1,39			980	+2,79	1041	-1,76	1041	-1,83	1287	+0,28
1077	+1,27			1052	+2,4	1057	-1,84	1073	-1,71	1312	+0,35
1102	+1,35			1102	+2,2	1094	-1,21	1087	-1,45	1337	+0,33
1142	+1,5			1122	+2,22	1100	-1,13	1094	-1,24	1402	0
1204	+1,83			1142	+2,45	1106	-1,04	1115	-0,65		
1212	+1,86			1161	+2,36	1131	-0,38	1131	-0,41		
1229	+1,86			1239	+1,6	1146	-0,12	1146	-0,15		
1307	+1,16			1252	+1,24	1164	0	1164	+0,34		
1357	+0,45			1269	+0,94	1191	+0,45	1179	+0,51		
1402	0			1292	+0,85	1221	+0,47	1204	+0,6		
				1330	+0,93	1238	+0,34	1221	+0,61		
				1377	+0,71	1271	-0,19	1238	+0,62		
				1402	0	1278	-0,25	1248	+0,67		
						1312	-0,2	1312	+0,06		
						1351	0	1344	0		
						1402	0	1402	0		

Для сумісного аналізу щодо зміни форми та параметрів нерівностей при різному пропущеному тоннажу отримані середньостатистичні траєкторії перекочування хрестовин типу Р50 і Р65 марки 1/9 при переважному ПШ і ПРШ напрямку руху поїздів з різними параметрами пропущеного тоннажу приведено на рис. 4.11 - 4.14, а їх характеристики наведено в табл. 4.5.

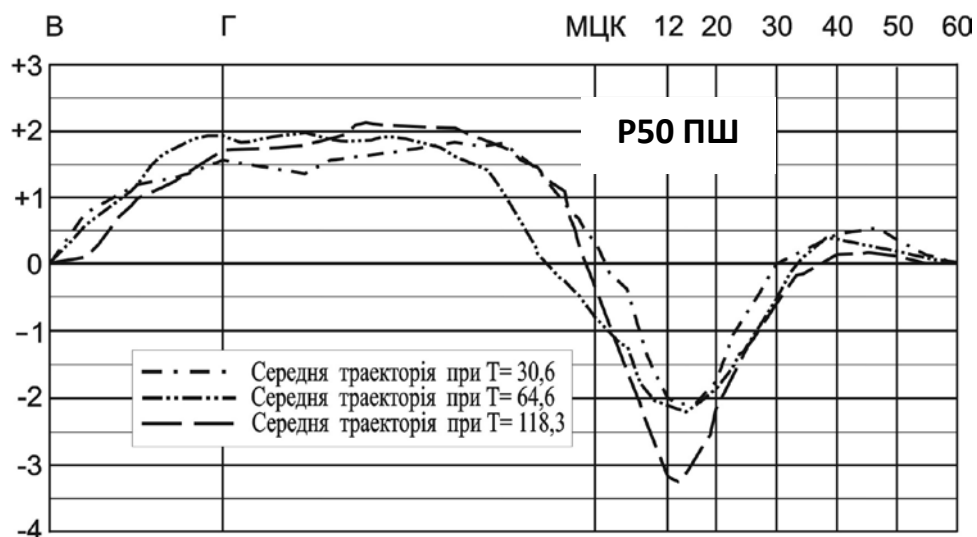


Рис. 4.11. Середньостатистичні вертикальні нерівності для (ПШ) хрестовин типу Р50 марки 1/9 на різних стадіях експлуатації

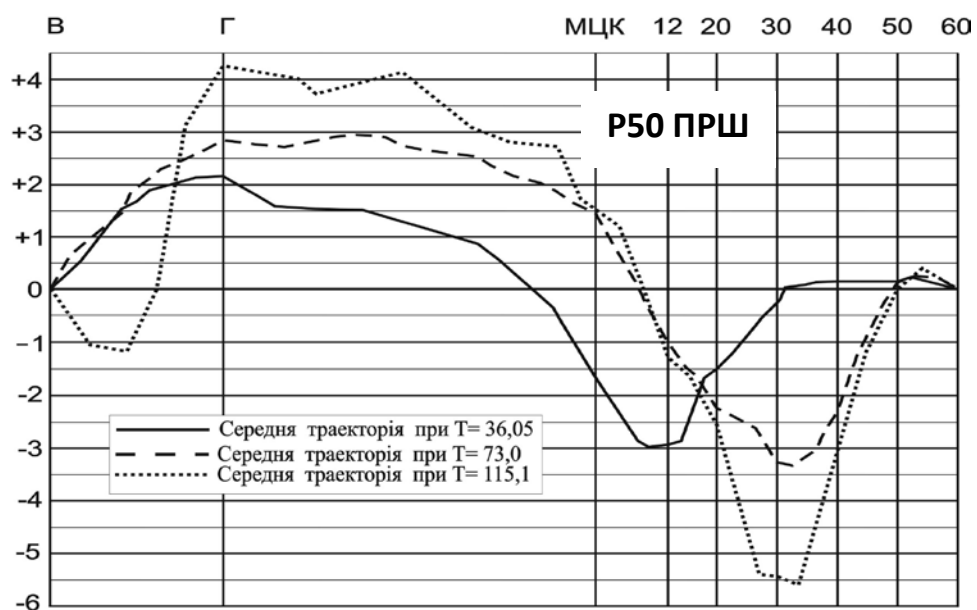


Рис. 4.12. Середньостатистичні вертикальні нерівності для (ПРШ) хрестовин типу Р50 марки 1/9 на різних стадіях експлуатації

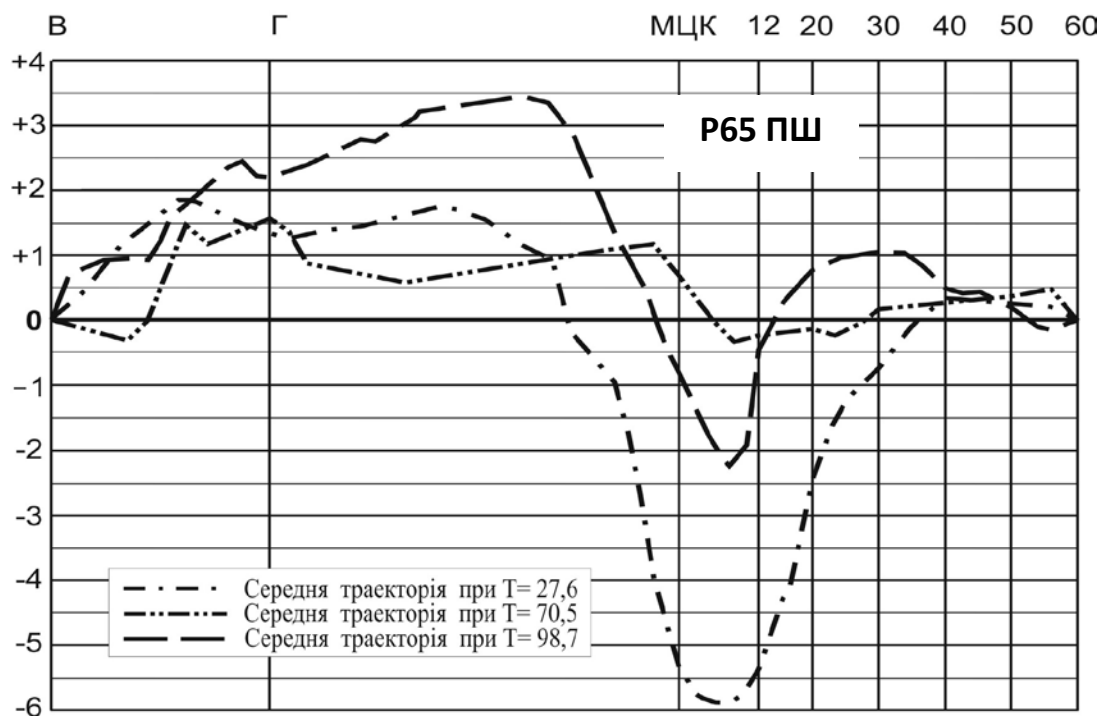


Рис. 4.13. Середньостатистичні вертикальні нерівності для (ПШ) хрестовин типу Р65 марки 1/9 на різних стадіях експлуатації

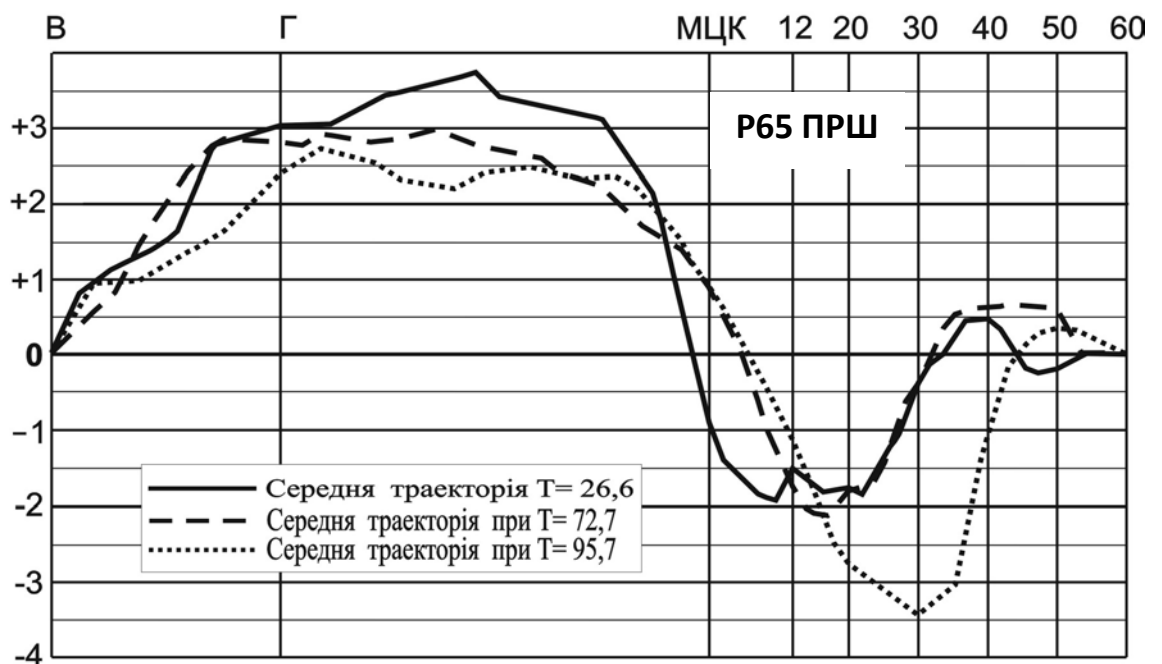


Рис. 4.14. Середньостатистичні вертикальні нерівності для (ПРШ) хрестовин типу Р65 марки 1/9 на різних стадіях експлуатації

Таблиця 4.5

**Характеристики середньостатистичних вертикальних нерівностей
хрестовин типу P50 і P65 марки 1/9**

Умовні № нерівностей з яких визначались середні траєкторії	Середній пропущений тоннаж	Тип нерівності	Глибина впадини, h, мм	Місце розташування впадини на хрестовині	Найбільша висота горба, мм	Місце розташування найбільшої висоти горба на хрестовині	Максимальний сумарний ухил Σi , ‰	Максимальний зустрічний ухил i_z , ‰
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип P50 ПШ								
1. Пропущений тоннаж до 40 млн. т бруто								
№1-№2-№3	30,6	синусоїда	-2,1	12 ÷ 20мм	1,8	Г + 420 мм	38,6	21,0
2. Пропущений тоннаж від 40 до 80 млн. т бруто								
№4-№5-№6- №7-№8	64,6	синусоїда	-2,2	12 ÷ 20мм	2,0	Г + 100	29,4	14,3
3. Пропущений тоннаж понад 80 млн. т бруто								
№9-№10-№11- №13	118,3	синусоїда	-3,3	12 мм	2,2	Г + 200 мм	41,5	26,4
Тип P50 ПРШ								
1. Пропущений тоннаж до 40 млн. т бруто								
№14-№16	36,1	синусоїда	-3,0	МЦХ÷12 мм	2,2	Г	55,0	36,1
2. Пропущений тоннаж від 40 до 80 млн. т бруто								
№17-№18- №19-№20	73,0	синусоїда	-3,3	30 мм	3,0	Г + 200 мм	40,4	25,0
3. Пропущений тоннаж понад 80 млн. т бруто								
№22	115,1	синусоїда	-5,6	30 мм	4,3	Г	46,7	32,1
Тип P65 ПШ								
1. Пропущений тоннаж до 40 млн. т бруто								
№24-№23	27,6	впадина	-5,9	МЦХ÷12 мм	1,8	Г + 240 мм	66,2	31,2
2. Пропущений тоннаж від 40 до 80 млн. т бруто								
№25	70,5	прямолинійна	-0,3	МЦХ÷12 мм	1,6	Г	16,0	13,9
3. Пропущений тоннаж понад 80 млн. т бруто								
№27-№28	98,7	синусоїда	-2,2	МЦХ÷12 мм	3,4	Г + 350 мм	65,0	22,9
Тип P65 ПРШ								
1. Пропущений тоннаж до 40 млн. т бруто								
№30-№31	26,6	синусоїда	-1,9	12 ÷ 20 мм	3,7	Г + 250	40,2	17,3
2. Пропущений тоннаж від 40 до 80 млн. т бруто								
№32-№33-№34	72,7	синусоїда	-2,1	12 ÷ 20 мм	3,0	Г + 200 мм	45,5	21,1
3. Пропущений тоннаж понад 80 млн. т бруто								
№35-№36	98,7	синусоїда	-3,4	30 мм	2,7	Г + 50 мм	44,4	30,6

4.2.4 Аналіз результатів дослідження вертикальних нерівностей на хрестовинах

Загальний аналіз динаміки зміни вертикальних нерівностей, які описують вертикальні траєкторії руху незношеного колеса по зношеним хрестовинам типу P50 і P65 марки 1/9, дозволив встановити такі

закономірності, які відносяться до форми, параметрів траєкторій та місця розташування на хрестовині:

1. Основний обрис нерівності на хрестовині практично формується на початковому етапі експлуатації при пропуску до 30 млн. т бруто, в подальшому форма нерівностей змінюється мало, а змінюються такі параметри як глибина та уклони, що характеризують крутизну нерівності.

2. На початковій стадії експлуатації формування впадини нерівності відбувається між математичним центром хрестовини і перерізом осердя 20 мм як для ПШ і ПРШ напрямку руху, так і для типів переводів Р50 і Р65.

3. По мірі збільшення пропущеного тоннажу по хрестовинах з ПШ напрямком впадини зміщується в напрямку МЦХ та розташовується ближче до перерізу 12 мм осердя, а при ПРШ напрямку зміщується в напрямку перерізу 40 мм осердя та розташовується в зоні перерізу 30 мм осердя.

При цьому зі збільшенням пропущеного тоннажу збільшуються зустрічні уклони, як при ПШ так і при ПРШ напрямках, за рахунок більш інтенсивного збільшення максимальної глибини впадини для хрестовин типу Р65 з переважним ПШ напрямком руху зазначене збільшення зустрічних ухилів та глибини нерівності не підтверджується. Це може бути пов'язане з недостатньою кількістю саме переводів з такими експлуатаційними умовами, які можливо було дослідити.

4. На форми нерівностей якісний вплив здійснює напрямок рух поїздів по хрестовинах (ПШ чи ПРШ).

Порівняльний аналіз середніх вертикальних траєкторій перекочування на хрестовинах типу Р50 марки 1/9 при ПШ та ПРШ русі дозволив встановити наступне:

- глибина нерівності для ПШ і ПРШ хрестовин при пропуску тоннажу близького до максимального склала відповідно $h = 3,3$ мм і $h = 5,6$ мм;
- на ПРШ хрестовинах як зустрічні i_z , так і сумарні Σi ухили мають більші значення при однакових значеннях пропущеного тоннажу. Так при

пропуску тоннажу $T \cong 100 - 120$ млн. т при ПРШ русі зустрічні ухили i_z в 1,2 рази, а сумарні ухили Σi в 1,12 рази більшими ніж для ПШ руху.

Порівняльний аналіз середніх вертикальних траєкторій перекочування на хрестовинах типу Р65 марки 1/9 при ПШ та ПРШ русі показав наступне:

- глибина нерівності для ПШ і ПРШ хрестовин при пропуску тоннажу близького до максимального склала відповідно $h = 2,2$ мм і $h = 3,4$ мм;

- зустрічні ухили i_z на ПРШ хрестовинах є більшими, а сумарні ухили Σi навпаки мають більші значення на ПШ хрестовинах при однакових значеннях пропущеного тоннажу. Так при пропуску тоннажу $T \cong 100 - 120$ млн. т при ПРШ русі зустрічні ухили i_z в 1,34 рази є більшими, а сумарні ухили Σi в 1,46 рази є меншими ніж для ПШ руху.

Порівняльний аналіз середньостатистичних вертикальних траєкторій перекочування на хрестовинах типу Р65 і Р50 марки 1/9 на дерев'яних брусах, що вкладені в головних колія Київського метрополітену дозволив встановити такі основні відмінності, тенденції та закономірності їх розвитку при експлуатації в колії та дозволив зробити наступні висновки:

1. Для пошерстних хрестовин (ПШ).

Форма та параметри нерівностей для хрестовин типу Р50 і Р65 суттєво не відрізняються, хоча на хрестовинах типу Р65 спостерігається більш локальний характер нерівності.

Для хрестовин що пропустили тоннаж близький до $T \cong 100 - 120$ млн. т брутто параметри нерівностей на хрестовинах мають такі середні значення:

- глибини нерівностей складають $h=3,3$ мм і $h=2,2$ мм відповідно для хрестовин типу Р50 і Р65 ;

- максимальна ордината глибини нерівності для хрестовин типу Р50 розміщена в між перерізами 12 і 20 мм осердя, а для типу Р65 між перерізами МЦХ і 12 мм осердя.

- зустрічні ухили нерівностей складають $i_{зустр}=26,4\%$ та $i_{зустр}=22,9\%$, відповідно для хрестовин типу Р50 і Р65;

- сумарні ухили нерівностей складають $\Sigma i=41,5\text{‰}$ та $\Sigma i=65,0\text{‰}$, відповідно для хрестовин типу P50 і P65.

Тобто, нерівності на хрестовинах типу P65 мають в 1,4 рази крутіші сумарні ухили, а зустрічні ухили навпаки є на 15 % більш крутішими для хрестовин типу P50.

2. Для протишерстних хрестовин (ПРШ).

Форма та параметри нерівностей для хрестовин типу P50 і P65 відрізняються несуттєво, а саме: – форми нерівностей однакові та мають вид близький до синусоїдальних, при цьому нерівності на хрестовинах типу P65 носять більш локальний характер і мають меншу довжину.

Для хрестовин що пропустили тоннаж близький до встановленого $T \cong 100 - 120$ млн. т брутто параметри нерівностей на хрестовинах мають такі середні значення:

- глибини нерівностей складають $h=5,6$ мм і $h=3,4$ мм відповідно для хрестовин типу P50 і P65;

- максимальна ордината глибини нерівності для хрестовин типу P50 і P65 розміщена в зоні перерізу 30 мм осердя;

- зустрічні ухили нерівностей складають $i_{зустр}=32,1\text{‰}$ та $i_{зустр}=30,6\text{‰}$, відповідно для хрестовин типу P50 і P65;

- сумарні ухили нерівностей складають $\Sigma i=46,7\text{‰}$ та $\Sigma i=44,4\text{‰}$, відповідно для хрестовин типу P50 і P65.

Тобто, величини зустрічних і сумарних ухилів на нерівностях для хрестовин типу P50 на 5% більші ніж для типу P65.

4.3 Вибір розрахункової схеми для визначення динамічних сил взаємодії на хрестовинах стрілочних переводів

Складність конструкцій стрілочних переводів та складність врахування розрахункових параметрів колії та рухомого складу пояснює необхідність

ретельного вибору та обґрунтування розрахункової схеми взаємодії в системі «колія – рухомий склад».

На сучасному рівні розвитку наукових шкіл та технологій розроблено достатньо велику кількість схем і методів розрахунку динамічних сил взаємодії. Використання тієї чи іншої розрахункової схеми потребує обґрунтування виходячи з поставленої задачі дослідження та отримання результатів у найбільш простому вигляді з достатньою для практичних інженерних цілей точністю.

З досліджень проф. В.Ф. Яковлева [80] випливає, що вибір розрахункової схеми і точність визначення розрахункових параметрів суттєво впливає на результат, і при неправильному їх підборі може призвести до невідповідності реальній картині взаємодії.

Надмірна деталізація моделі взаємодії колії та рухомого складу в просторі та врахування при цьому великої кількості ступенів свободи системи потребує деталізації та підбору великої кількості вихідних даних. Це, як правило, може призвести до ймовірного внесення в розрахунок помилкових вихідних даних, що кінцевому підсумку може відбитись на точності обчислень.

Відомі та використовувані в практичних інженерних обчисленнях розрахункові схеми взаємодії, що відображають вплив на залізничну колію: одиночного колеса у вигляді одиночної вертикальної системи зосереджених мас із пружними й дисипативними зв'язками між ними [89, 76, 90, 91]; двовісного візка у вигляді аналогічної вертикальної системи мас і зв'язків між ними [78, 92, 93]; плоскої механічної системи, що представляє вплив на рейкову нитку всієї системи коліс екіпажа [94, 56, 11, 95] або механічної системи, сформованої в площині колісної пари й враховуючої вплив екіпажа на обидві рейкові нитки [56, 96], а також просторові розрахункові схеми, що імітують вплив усього екіпажа на обидві рейкові нитки [97-100].

Розвиток комп'ютерного та програмного забезпечення дозволив останнім часом використовувати такі програми, як наприклад

«Універсальний механізм», що дозволяє, в першу чергу, дослідити механічні об'єкти у вигляді механічних систем з твердих тіл, пов'язаних кінетичними та силовими елементами.

Ці програмні комплекси дозволяють детально моделювати об'єкти та елементи рухомого складу, а моделювання конструкцій залізничної колії (крім безпосередньо рейок) не в повній мірі відображене у відомих наукових роботах [34, 78, 101, 36, 96], а щодо пояснень вибору розрахункових параметрів відомі лише роботи [49, 56, 89].

Стрілочний перевід має значно складнішу конструкцію ніж залізнична колія, тому схема взаємодії представляється моделлю з великою кількістю свободи з нелінійними пружними кінематичними зв'язками та масами, що змінюються по довжині колії. Через особливість конструкції стрілочного переводу слід також враховувати взаємний вплив рейкових ниток під рухомим складом через їх нерівно жорсткість, різну схему передачі сил через можливість руху прямим та боковими напрямками, наявність нерівностей на металевих елементах стрілочних переводів і колесах рухомого складу та ін.

Тому, використовуючи досвід розрахунків сил взаємодії для хрестовин стрілочних переводів [56, 8, 89, 102, 76, 78, 90, 91, 103] в роботі обрана розрахункова схема взаємодії із зосередженими параметрами, що розроблена проф. Даніленком Е.І. [56] (рис. 4.15).

Ця плоска розрахункова схема взаємодії була апробована професором Даніленком Е.І. для розрахунків сил взаємодії на стрілочних переводах марок 1/11, 1/9, 1/7 на дерев'яних брусах та дозволяє отримати результати з достатньою точністю (до 15% похибки порівняно з реальним визначенням сил) при правильному визначенні розрахункових параметрів.

У подальшому схема (рис. 4.15) була використана в дослідженнях для стрілочних переводів на залізобетонних брусах з відповідними розрахунками на персональному комп'ютері [85, 39].

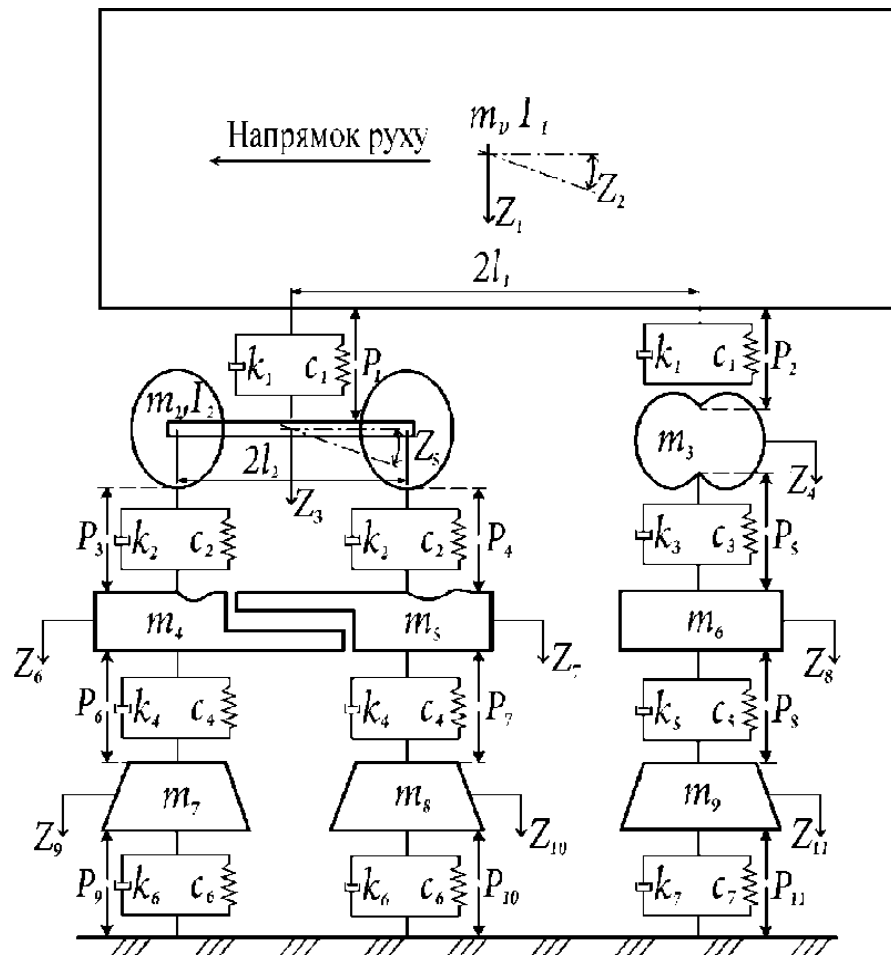


Рис. 4.15. Розрахункова схема взаємодії хрестовини та екіпажу в поздовжній площині

Сутність використання розрахункової схеми (рис. 4.15) полягає у вирішенні просторової задачі шляхом розділення об'ємної схеми на дві плоскі [104]. Спочатку розглядається плоска задача дії екіпажу на рейкову нитку в поздовжній площині (рис. 4.15), а на другому етапі розглядається друга плоска задача в поперечній площині, тобто у площині колісної пари. При розгляді першої задачі в поздовжній площині рейкової нитки хрестовини схема представлена у вигляді n-вісного візка, зв'язаного через раму та кузов з другим візком. При цьому в якості збуджувального чинника в розрахунковій схемі приймаються нерівності на колії (стрілочному переводі) та колесах.

На другому поперечну розрахункову схему слід використовувати при розгляді вертикальних нерівностей на обох рейкових нитках. В інших

розрахункових випадках друга розрахункова рейкова нитка впливає на сили взаємодії до 10% і тому в дисертаційному дослідженні не розглядається.

4.3.1 Математична модель взаємодії при русі по нерівностях на хрестовинах стрілочних переводів метрополітену

Мета розрахунку сил взаємодії за прийнятою розрахунковою схемою (рис. 4.15) [56] адаптованою для умов метрополітену, полягає в тому, щоб за відомими середньостатистичним вертикальними нерівностями на хрестовинах стрілочних переводів метрополітену механічними характеристиками конструкції колії (стрілочного переводу) і рухомого складу визначити сили взаємодії, які виникають при проході вагону метро по нерівності на хрестовині.

Розрахункова схема взаємодії (рис. 4.15) для вирішення плоскої задачі дії екіпажу на рейкову нитку, представлена у вигляді 2 - вісного візка, зв'язаного через раму та кузов із другим візком. Для визначення сил взаємодії в системі «екіпаж-стрілочний перевід» екіпажна частина моделюється у вигляді кузова на двох візках, з яких направляючий візок розглядається як маса на 2-х колесах, а задній візок розглядається як єдина зосереджена маса. Тобто, в математичній моделі взаємодіючі елементи розділені на 10 зосереджених мас, з'єднаних пружними та дисипативними зв'язками.

Особливістю прийнятої розрахункової схеми є врахування взаємного впливу на прогин під кожним із коліс, що розглядається, сусіднього колеса у візку через загальну для коліс опору – хрестовину.

Прийнята розрахункова схема взаємодії достатньо повно описує коливальний процес механічної системи екіпаж-колія і дозволяє при правильному виборі розрахункових параметрів колії (стрілочного переводу) та екіпажу, отримати результат із необхідною точністю, що задовольняє практичним цілям задачі, що вирішується. В якості збуджуючого чинника в

прийнятій розрахунковій схемі враховуються нерівності на поверхні кочення хрестовин.

В якості одиниці рухомого складу для проведення розрахунків силової взаємодії прийнято найбільш розповсюджену конструкцію вагону метро – 4-х вісні вагони моделей 81-714, 81-717.

При розв’язанні поставленої задачі з визначення впливу детермінованої нерівності на поверхні кочення на вертикальні сили взаємодії між екіпажем та елементами хрестовини відповідно до [60, 95, 105] розглядаються переміщення приведених мас лише у вертикальному напрямку, поздовжні та поперечні переміщення не враховуються, а також не розглядаються бокові коливання (виляння) та бокова качка екіпажу.

Диференціальні рівняння процесу коливань описаної механічної системи екіпаж-колія, в площині рейки (хрестовини) (рис. 4.15) відповідно до принципу д’Аламбера [56, 39, 85] представлено у вигляді системи з 11-ти рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} m_1 Z_1'' + P_1 + P_2 &= 0 \\ I_1 Z_2'' + P_2 l_1 + P_1 l_1 &= 0 \\ m_{22} Z_3'' - P_1 + P_3 + P_4 &= 0 \\ m_3 Z_4'' - P_2 + P_5 &= 0 \\ I_2 Z_5'' - P_3 l_2 + P_4 l_2 &= 0 \\ m_4 Z_6'' - P_3 + P_6 + \delta_{6-7} P_7 &= 0 \\ m_5 Z_7'' - P_4 + P_7 + \delta_{7-6} P_6 &= 0 \\ m_6 Z_8'' - P_5 + P_8 &= 0 \\ m_7 Z_9'' - P_6 - \delta_{6-7} P_7 + P_9 &= 0 \\ m_8 Z_{10}'' - P_7 - \delta_{7-6} P_6 + P_{10} &= 0 \\ m_9 Z_{11}'' - P_8 + P_{11} &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (4.1)$$

Сили вертикальної взаємодії P_i , які входять в систему диференціальних рівнянь (4.1), визначаються через характеристики цих зв’язків залежностями:

$$\left. \begin{aligned}
P_1 &= c_1(Z_1 - Z_3 - l_1 Z_2) + k_1(Z'_1 - Z'_3 - l_1 Z'_2) \\
P_2 &= c_1(Z_1 - Z_4 - l_1 Z_2) + k_1(Z'_1 - Z'_4 - l_1 Z'_2) \\
P_3 &= c_2(Z_3 - Z_6 - l_2 Z_5 - \eta_1(V_t)) + k_2(Z'_3 - Z'_6 - l_2 Z'_5 - \eta_1(V_t)) \\
P_4 &= c_2(Z_3 - Z_7 + l_2 Z_5 - \eta_2(V_t)) + k_2(Z'_3 - Z'_7 - l_2 Z'_5 - \eta_2(V_t)) \\
P_5 &= c_3(Z_4 - Z_8 - \eta_3(V_t)) + k_3(Z'_4 - Z'_8 - \eta_3(V_t)) \\
P_6 &= c_4(Z_6 - Z_9) + k_4(Z'_6 - Z'_9) \\
P_7 &= c_4(Z_7 - Z_{10}) + k_4(Z'_7 - Z'_{10}) \\
P_8 &= c_5(Z_8 - Z_{11}) + k_5(Z'_8 - Z'_{11}) \\
P_9 &= c_6 Z_9 + k_6 Z'_9 \\
P_{10} &= c_6 Z_{10} + k_6 Z'_{10} \\
P_{11} &= c_7 Z_{11} + k_7 Z'_{11}
\end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

У рівняннях (4.1 і 4.2) прийняті такі позначення:

m_1 – маса половини кузова;

$m_2 = m_3$ – маса половини візка;

$m_4 = m_5$ – приведена маса хрестовини, що віднесена до одного колеса;

m_6 – подвоєна приведена маса хрестовини, що віднесена до двох коліс 2-го візка;

$m_7 = m_8$ – приведена маса основи стрілочного переводу, що віднесена до одного колеса;

m_9 – подвоєна приведена маса основи, що віднесена до двох коліс 2-го візка;

Z_i, Z'_i, Z''_i – вертикальні переміщення мас, їх перші та другі похідні;

c_i и k_i – відповідні жорсткості пружних зв'язків і коефіцієнти в'язкого тертя дисипативних в'язкого між елементами механічної системи;

$\delta_{6-7} = \delta_{7-6}$ – ординати лінії впливу переміщення під силою P_6 від сили P_7 і навпаки;

$\eta_1(Vt), \eta_2(Vt), \eta_3(Vt)$ – функції нерівностей під першим, другим колесами та під серединою 2-го візка залежно від пройденого шляху;

I_1 – момент інерції кузова відносно осі, що перпендикулярна поздовжній площині симетрії вагона;

I_2 – момент інерції візка відносно осі, що перпендикулярна повздовжній площині симетрії вагона;

I_3 – момент інерції кузова відносно осі, що перпендикулярна поперечній площині симетрії вагона;

I_4 – момент інерції візка відносно осі, що перпендикулярна поперечній площині симетрії вагона;

$2l_1$ – відстань між точками обпирання кузова на візок;

$2l_2$ – відстань між осями коліс у візку.

Для розв'язання систем диференціальних рівнянь як правило застосовують чисельні методи, і найбільш розповсюдженим і зручним у програмуванні є метод Рунге–Кутта 4-го порядку, який дозволяє досягти необхідної точності інтегрування. Для чисельного рішення системи диференціальних рівнянь прийнятий саме цей метод з постійним шагом інтегрування [12]. Шаг інтегрування визначено експериментально на основі порівняння результатів рішення системи з одним тим самим збуджуючим фактором, але з різним шагом інтегрування, що дорівнює – 0,0001 секунди.

Зазначений метод дозволяє вирішувати системи звичайних диференціальних рівнянь першого порядку. Для рішення системи рівнянь другого порядку (4.1) необхідно зробити відповідні перетворення.

Позначимо: $Z_{12} = Z'_1$, $Z_{13} = Z'_2$, $Z_{14} = Z'_3$, $Z_{15} = Z'_4$, $Z_{16} = Z'_5$, $Z_{17} = Z'_6$,
 $Z_{18} = Z'_7$, $Z_{19} = Z'_8$, $Z_{20} = Z'_9$, $Z_{21} = Z'_{10}$, $Z_{22} = Z'_{11}$.

Тоді: $Z''_1 = Z'_{12}$, $Z''_2 = Z'_{13}$, $Z''_3 = Z'_{14}$, $Z''_4 = Z'_{15}$, $Z''_5 = Z'_{16}$, $Z''_6 = Z'_{17}$, $Z''_7 = Z'_{18}$,
 $Z''_8 = Z'_{19}$, $Z''_9 = Z'_{20}$, $Z''_{10} = Z'_{21}$, $Z''_{11} = Z'_{22}$.

Перепишемо систему (4.1), підставив введені позначення. Тоді система набуде новий вигляд, прийнятний для розрахунку на ПЕОМ:

$$\left. \begin{aligned}
Z'_1 &= Z_{12}; & Z'_{12} &= -\frac{P_1 + P_2}{m_1}; \\
Z'_2 &= Z_{13}; & Z'_{13} &= \frac{P_1 l_1 - P_2 l_1}{I_1}; \\
Z'_3 &= Z_{14}; & Z'_{14} &= \frac{P_1 - P_3 - P_4}{m_2}; \\
Z'_4 &= Z_{15}; & Z'_{15} &= \frac{P_2 - P_5}{m_3}; \\
Z'_5 &= Z_{16}; & Z'_{16} &= \frac{P_3 l_2 - P_4 l_2}{I_2}; \\
Z'_6 &= Z_{17}; & Z'_{17} &= \frac{P_3 - P_6 - P_7 \cdot \delta_{6-7}}{m_4}; \\
Z'_7 &= Z_{18}; & Z'_{18} &= \frac{P_4 - P_7 - P_6 \cdot \delta_{7-6}}{m_5}; \\
Z'_8 &= Z_{19}; & Z'_{19} &= \frac{P_5 - P_8}{m_6}; \\
Z'_9 &= Z_{20}; & Z'_{20} &= \frac{P_6 + P_7 \cdot \delta_{6-7} - P_9}{m_7}; \\
Z'_{10} &= Z_{21}; & Z'_{21} &= \frac{P_7 + P_6 \cdot \delta_{7-6} - P_{10}}{m_8}; \\
Z'_{11} &= Z_{22}; & Z'_{22} &= \frac{P_8 - P_{11}}{m_9}.
\end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

У виразі (4.3) через P_i позначено рівняння відповідних сил взаємодії, що визначаються системою виразів (4.2).

4.3.2 Розрахункові параметри колії та рухомого складу

Як зазначалось вище, для правильного визначення динамічних сил взаємодії колії та рухомого складу в межах хрестовин стрілочних переводів, потрібно з достатньою точністю встановити значення всіх розрахункових параметрів для прийнятої плоскої схеми із зосередженими масами.

В даній дисертаційній роботі вихідні данні для розрахунків динамічних сил взаємодії величини приведених мас хрестовини, основи під хрестовиною та пружно-динамічні параметри колії визначені теоретично за методикою

[81, 39, 40]. Розрахунки виконано відповідно до алгоритму наведеному в [39, 86] з використанням програмного забезпечення розробленого для ПЕОМ.

Розрахунки виконано для збірних хрестовин типу Р50 і Р65 марки 1/9 загального лиття осердя та найбільш зношеної частини вусовиків, без лафета.

Результати розрахунків пружно-динамічних характеристик усіх параметрів, відповідно до розрахункової схеми (рис. 4.15), наведено у табл. 4.6. При цьому, враховуючи підвищену жорсткість підрейкової основи, прийнято, що жорсткість по довжині хрестовини не змінюється. При розрахунках пружно-динамічних параметрів, розрахункові характеристики, що відносяться до екіпажу, прийняті з фундаментальних робіт по динаміці рухомого складу [105].

Таблиця 4.6

Розрахункові параметри до поздовжньої схеми взаємодії в межах хрестовини стрілочного перевалу для умов метрополітену

Найменування параметру	Умове позначення	Одиниця виміру	Розрахункова величина
1	2	3	4
Маси			
Маса 1/2 кузова і підресореної частини візка	m_1	$H \cdot c^2 / m$	36900
Маса 1/2 непідресореної частини візка з колесами	$m_2 = m_3$	$H \cdot c^2 / m$	1950
Маса хрестовини	$m_4 = m_5$	$H \cdot c^2 / m$	567
	m_6	$H \cdot c^2 / m$	1134
Маса основи під хрестовиною	$m_7 = m_8$	$H \cdot c^2 / m$	1151
	m_9	$H \cdot c^2 / m$	2302
Характеристики пружних зв'язків			
Жорсткість комплекту ресор візка	c_1	H / m	$2 \cdot 10^6$
Жорсткість контакту колеса та рейки	c_2	H / m	$5 \cdot 10^8$
	c_3	H / m	$1 \cdot 10^9$
Жорсткість основи хрестовини	c_4	H / m	$1,93 \cdot 10^8$
	c_5	H / m	$3,86 \cdot 10^8$
Жорсткість основи колії	c_6	H / m	$0,15 \cdot 10^8$
	c_7	H / m	$0,3 \cdot 10^8$
Коефіцієнт в'язкого тертя в комплекті ресор візка	k_1	$H \cdot c^2 / m$	28750

Продовження таблиці 4.6

1	2	3	4
Коефіцієнт в'язкого тертя в контакті колеса та рейки	k_2 k_3	$H \cdot c^2/m$ $H \cdot c^2/m$	5000 10000
Коефіцієнт в'язкого тертя в основі хрестовини	k_4 k_5	$H \cdot m/c$ $H \cdot m/c$	235000 470000
Коефіцієнт в'язкого тертя в основі колії	k_6 k_7	$H \cdot m/c$ $H \cdot m/c$	200000 400000
Момент інерції 1/2 кузова відносно поперечної осі симетрії	I_1	$кг \cdot м^2$	138500
Момент інерції 1/2 візка відносно поперечної осі симетрії	I_2	$кг \cdot м^2$	2275
Інші характеристики			
Відстань між точками обпирання кузова	$2l_1$	$м$	15,6
Відстань між осями колісних пар	$2l_2$	$м$	2,1

4.3.3 Розрахунок динамічних сил в системі взаємодії “екіпаж - колія” на хрестовинах

Найбільш широкі дослідження даного питання проводились ще в 70-80 роки минулого сторіччя, при чому розрахунки сил взаємодії виконувались із застосуванням аналогових електронно-обчислювальних машин [56, 79, 83, 76, 82, 105, 90, 91, 93], а отримані результати давали добру збіжність з експериментальними даними та успішно використовувались для моделювання процесів взаємодії колії та рухомого складу. На теперішній час для розв'язку систем диференціальних рівнянь використовуються персональні комп'ютери та відповідне програмне алгоритмічне забезпечення: мови програмування (Turbo Pascal, Borland Delphi, MS Visual C++, та ін.), та математичні й інженерні пакети (Mathematica, MathCAD, Maple, MatLab, Skilab, та ін.).

При розрахунках сил взаємодії відповідно до схеми (рис. 3.15) використано розроблену на кафедрі ЗККГ ДУІТ під керівництвом проф. Даніленка Е.І. комп'ютерну програму, яка була реалізована в [39, 85], яка трансформована для конструкцій стрілочних переводів метрополітену. Програма складена в математичному пакеті Maple із застосуванням методу

Рунге-Кутта-Фельберга. Програма Maple дозволяє використовувати велику кількість вбудованих функцій для вирішення практично всіх інженерних та математичних задач. Також в зручному для користувача виді можна задавати чи корегувати пружно-динамічні характеристики хрестовин і параметри вертикальних нерівностей, проводити графічну оцінку розподілу динамічних сил взаємодії по довжині вертикальної нерівності.

Загальна послідовність вирішення задачі має наступний алгоритм етапів, які реалізуються в наступній послідовності:

- 1 – попереднє встановлення розрахункових параметрів рухомого складу та колії для прийнятої моделі й кроку інтегрування;
- 2 – задавання швидкості руху екіпажу;
- 3 – задавання початкових умов;
- 4 – введення координат розрахункових нерівностей;
- 5 – інтегрування системи звичайних диференціальних рівнянь одним з чисельних методів;
- 6 – отримання результатів розрахунку у вигляді масиву значень $Z_{i,j}$;
- 7 – знаходження шуканих сил взаємодії P_i шляхом підстановки отриманих значень переміщень $Z_{i,j}$ у рівняння реакцій кінематичних зв'язків (4.2)
- 8 – побудова графічних залежностей розподілу відповідних сил взаємодії по довжині нерівності і вирішення задачі пошуку максимального значення динамічних добавок ΔP_i .

У якості збурюючих функцій задаються траєкторії руху центрів мас коліс рухомого складу при перекочування їх по вертикальних нерівностях на хрестовинах з різним ступенем зносу (на різній стадії експлуатації). Відповідні нерівності встановлено в пункті 4.2.3 на основі безпосередніх натурних вимірювань та статистичної обробки результатів, виконаних у ДУІТ за участю автора [86, 106].

До розрахунку прийнято середньостатистичні нерівності (рис. 4.11-4.14), отримані для ПШ й ПРШ напрямків руху поїздів на початковій стадії

експлуатації, при середньозношеному стані та при зносі близькому до максимального для хрестовини марки 1/19 типу Р50 і Р65. Прийняті до розрахунку середньостатистичні нерівності достатньо надійно відображають інформацію про реальні нерівності на хрестовинах колій метрополітену у відповідні періоди їх експлуатації, оскільки вони отримані на основі охоплення більшої кількості конструкцій стрілочних переводів, що експлуатуються.

Середньостатистичні нерівності задаються координатами точок по довжині (табл. 4.3 і 4.4).

Програма розрахунку сил взаємодії при проході вертикальними нерівностями на хрестовинах з деталізацією відповідно до наведеного вище алгоритму представлена в додатку Г.

Для прикладу на рис. 3.16 наведено блок програми задачі координат вертикальної траєкторії з графічним їх представленням для хрестовини стрілочного переводу типу Р50 марки 1/9 з ПРШ напрямком руху.

```
xnB1:=[0,0.0001,0.030,0.046,0.107,0.130,0.150,0.220,0.260,0.305,0.338,0.398,0.435,0.469,0.643,0.662,0.675,0.755,0.767,0.820,0.882,0.890,0.898,0.929,0.947,0.983,1.001,1.025,1.064,1.069,1.091,1.105,1.135,1.151,1.181,1.272,1.293,1.362,1.363]:
ynB1:=[0,0,0.00035,0.00054,0.00154,0.00169,0.00190,0.00214,0.00216,0.00183,0.00159,0.00154,0.00152,0.00152,0.00087,0.00069,0.00056,-0.00035,-0.00056,-0.00166,-0.00287,-0.00291,-0.00298,-0.00294,-0.00286,-0.00167,-0.00150,-0.00120,-0.00064,-0.00055,-0.0002,0.00001,0.00009,0.00013,0.00015,0.00015,0.00025,0,0]:
> eta3 := spline(xnB1,ynB1,X1,1):
```

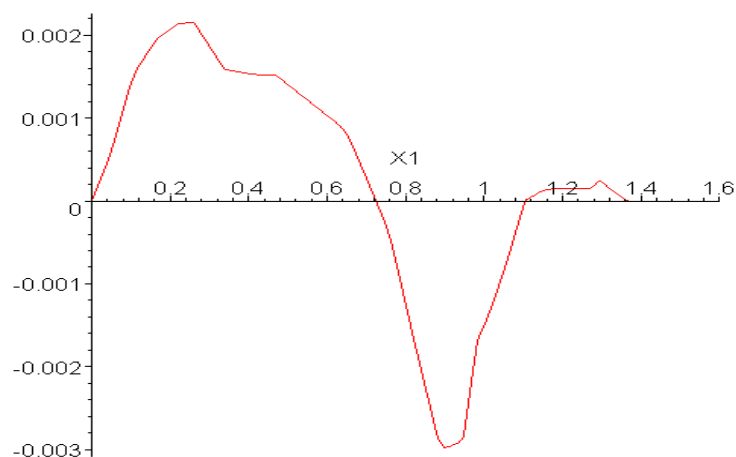


Рис. 4.16. Графічне представлення нерівності

Графічне представлення результатів розрахунку динамічних сил взаємодії P_3 з графічним розподілом розрахункових величин по довжині наведено на рис. 4.17.

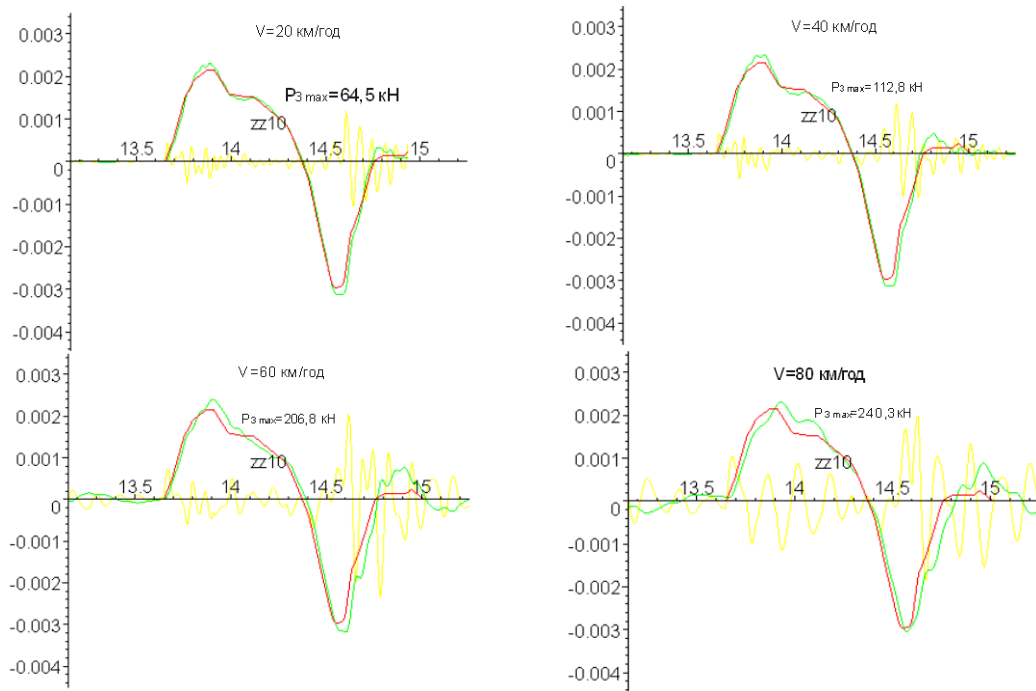


Рис. 4.17. Розподіл вертикальних динамічних сил і динамічних прогинів рейкової нитки в контакті колеса і рейки P_3 на хрестовинах

Зазначений алгоритм та наведена програма розрахунків сил взаємодії (Додаток Г) дозволяє визначати динамічні сили між усіма масами динамічної системи відповідно до прийнятих розрахунків схеми (рис. 4.15).

Зокрема: при розрахунках визначались динамічні сили в контакті під 1-м і 2-м колесами візка: колеса з хрестовиною (P_3 і P_4), хрестовиною і брусом (P_6 і P_7), брусом і основою (P_9 і P_{10}).

Результати розрахунків сил взаємодії P_3 , P_4 , P_6 , P_7 , P_9 , P_{10} залежно від швидкості руху поїзда метро для середньостатистичної нерівності (див. рис. 4.11-4.14) наведено в табл. 4.7 і табл. 4.8 відповідно для хрестовин стрілочних переводів типу P50 марки 1/9 і P65 марки 1/9.

На основі виконаних розрахунків (табл. 4.7 і табл. 4.8) були побудовані залежності динамічних сил взаємодії $P_i = f(V_i)$ в контакті під 1-м колесом P_3 (рис. 4.18-4.21), які відображають максимальні значення діючих динамічних

сил і які в подальшому можна використовувати для розрахунків міцності конструкції та оцінки її працездатності.

Таблиця 4.7

Сили взаємодії на хрестовинах стрілочних переводів типу Р50 марки
1/9 при ПРШ та ПШ напрямках руху поїздів

Напря- мок	Пропущений середній тоннаж T , млн. т	Сила P , кН	Швидкість V , км/год						
			20	30	40	50	60	70	80
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПРШ	$T_{сер} = 36,1$	P_3	64,5	110,2	112,8	134,3	206,8	197,3	240,3
		P_4	64,7	110,1	112,9	134,2	206,6	198,0	238,5
		P_6	51,0	84,6	93,8	123,5	175,0	168,9	149,4
		P_7	51,1	84,5	93,9	123,4	174,9	169,6	149,9
		P_9	20,7	46,2	69,5	91,8	120,8	119,6	118,8
		P_{10}	20,8	46,1	69,6	91,6	120,9	120,7	117,9
	$T_{сер} = 73,0$	P_3	47,2	71,7	161,1	181,8	191,2	218,2	267,6
		P_4	47,8	71,3	161,4	181,6	191,1	219,0	267,9
		P_6	36,5	56,7	120,0	122,1	127,5	187,2	224,0
		P_7	36,8	56,4	120,3	122,0	127,4	188,2	223,1
		P_9	26,3	41,1	49,7	67,5	105,5	145,1	162,4
		P_{10}	26,6	40,8	50,1	67,3	106,0	145,0	163,5
	$T_{сер} = 115,1$	P_3	124,6	209,5	196,5	291,5	362,0	363,5	389,8
		P_4	124,0	209,1	197,9	347,8	361,2	364,8	386,0
		P_6	94,7	155,1	181,3	240,2	273,7	247,5	263,2
		P_7	94,3	154,8	182,8	258,2	273,7	247,3	275,0
		P_9	37,1	83,1	112,4	160,0	175,3	212,2	232,1
		P_{10}	36,6	82,8	115,9	158,1	176,0	213,5	232,0
ПШ	$T_{сер} = 30,6$	P_3	69,3	98,9	171,6	119,1	141,3	155,5	212,2
		P_4	69,0	98,9	171,9	118,8	140,7	155,8	209,2
		P_6	45,9	66,8	131,2	102,5	117,9	105,1	138,9
		P_7	45,6	66,8	131,4	102,4	116,8	106,6	136,7
		P_9	17,4	45,8	75,8	96,8	121,1	125,8	128,6
		P_{10}	17,2	45,9	76,3	96,5	120,5	126,5	130,6
	$T_{сер} = 64,6$	P_3	41,2	76,9	60,8	124,7	123,1	137,1	191,2
		P_4	41,0	76,8	64,1	124,6	122,8	138,0	198,1
		P_6	35,0	56,7	57,3	106,5	110,1	117,0	151,2
		P_7	34,9	56,6	57,6	106,4	109,7	117,5	151,8
		P_9	15,0	23,6	39,6	68,1	79,4	92,6	93,5
		P_{10}	14,8	23,5	40,0	67,7	79,6	92,1	94,6
	$T_{сер} = 118,3$	P_3	60,1	53,8	80,1	139,7	183,1	154,7	168,2
		P_4	60,1	57,6	80,1	139,7	183,0	155,4	170,1
		P_6	44,2	40,6	73,9	109,4	113,2	109,7	126,2
		P_7	44,2	40,7	73,9	109,4	132,9	110,5	127,4
		P_9	20,8	40,6	57,9	84,1	103,6	118,6	129,2
		P_{10}	20,8	40,7	58,0	83,8	103,9	118,8	128,3

Таблиця 4.8

Сили взаємодії на хрестовинах стрілочних переводів типу Р65 марки

1/9 при ПРШ та ПШ напрямках руху поїздів

Напря-мок	Пропущений середній тоннаж T , млн. т	Сила P , кН	Швидкість V , км/год						
			20	30	40	50	60	70	80
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПРШ	$T_{сер} = 26,6$	P_3	77,7	120,5	143,9	209,1	233,0	239,0	288,8
		P_4	78,0	120,0	144,4	208,9	232,5	250,6	286,0
		P_6	57,5	93,5	94,4	167,6	161,1	183,3	206,2
		P_7	57,7	93,1	94,8	167,5	161,1	184,1	203,8
		P_9	27,0	53,7	79,1	85,3	84,8	111,0	140,0
		P_{10}	27,0	53,1	79,8	84,9	84,3	110,8	141,5
	$T_{сер} = 72,7$	P_3	32,1	57,1	116,9	127,8	141,2	206,7	179,6
		P_4	32,1	56,5	117,5	127,6	141,3	207,2	178,6
		P_6	26,0	43,4	86,0	102,6	134,7	188,0	163,4
		P_7	26,0	42,9	86,5	102,4	134,9	188,5	162,9
		P_9	14,9	41,4	61,2	75,8	98,4	116,9	115,2
		P_{10}	15,0	40,9	61,8	75,7	99,0	117,1	116,6
	$T_{сер} = 98,7$	P_3	105,5	119,1	183,8	181,8	276,8	384,4	405,5
		P_4	105,8	118,8	184,1	181,7	276,9	384,8	407,3
		P_6	80,8	90,1	149,5	160,0	217,6	300,0	303,5
		P_7	81,0	89,9	149,7	160,0	217,8	300,4	303,2
		P_9	37,4	52,4	70,9	91,1	137,6	176,8	198,3
		P_{10}	37,7	52,1	71,2	91,0	138,4	176,5	199,7
ПШ	$T_{сер} = 27,6$	P_3	86,7	116,7	144,0	277,0	285,1	308,3	344,6
		P_4	86,8	116,9	143,6	276,9	286,1	308,1	343,0
		P_6	63,9	91,0	119,5	169,6	190,9	268,9	326,1
		P_7	64,0	91,2	119,3	169,6	190,6	266,8	326,1
		P_9	40,4	51,3	81,9	137,1	194,7	253,5	264,8
		P_{10}	40,3	51,6	81,6	136,1	196,9	251,1	266,6
	$T_{сер} = 70,5$	P_3	37,8	77,0	99,5	123,2	194,4	220,6	222,1
		P_4	37,6	76,7	99,9	123,1	194,2	220,8	213,6
		P_6	28,8	58,3	71,9	72,9	112,5	146,7	144,6
		P_7	28,6	58,1	72,2	72,8	112,4	146,0	145,8
		P_9	23,7	41,5	48,3	60,9	66,1	61,9	68,6
		P_{10}	23,6	41,2	48,6	60,7	66,1	60,0	71,5
	$T_{сер} = 98,7$	P_3	147,7	222,0	325,1	331,8	362,3	385,0	423,1
		P_4	164,3	265,9	325,9	363,3	363,2	383,9	422,7
		P_6	93,2	167,6	234,0	293,3	236,2	363,5	472,1
		P_7	102,5	185,1	234,6	293,4	235,3	364,4	468,6
		P_9	56,5	79,4	98,0	129,7	135,0	138,5	151,2
		P_{10}	55,9	79,1	98,9	129,0	135,0	138,6	152,6

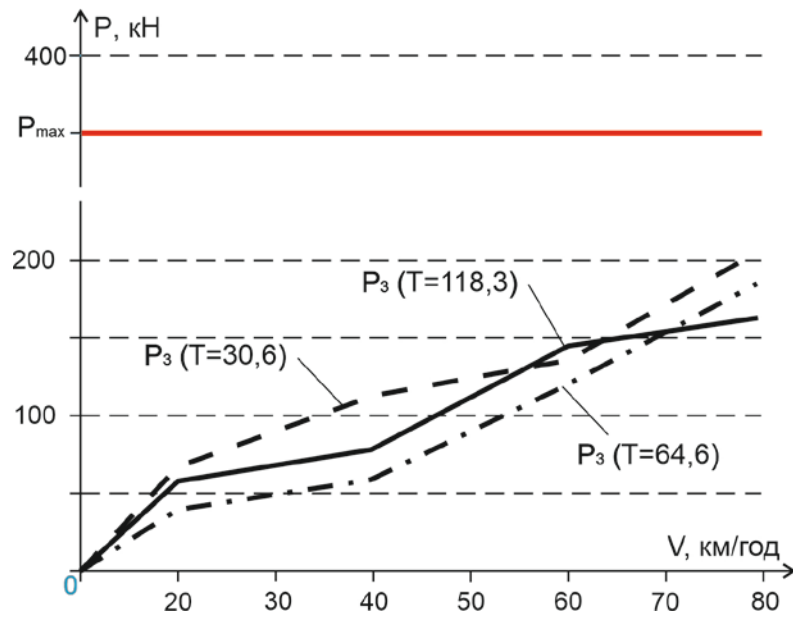


Рис. 4.18. Залежності динамічних сил взаємодії $P_i = f(V_i)$ в контактї під 1-м колесом P_3 для стрілочних переводів типу Р50 ПШ напрямку

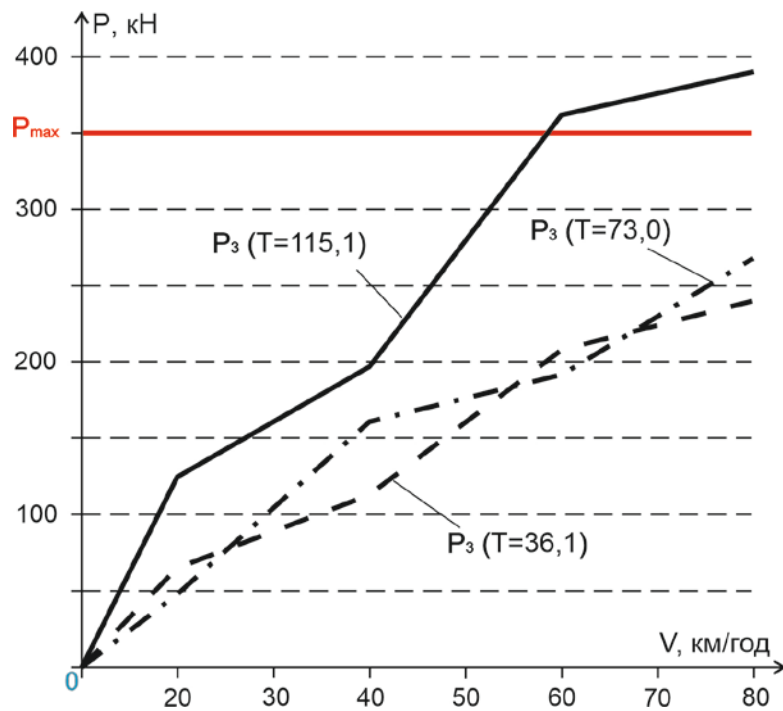


Рис. 4.19. Залежності динамічних сил взаємодії $P_i = f(V_i)$ в контактї під 1-м колесом P_3 для стрілочних переводів типу Р50 ПРШ напрямку

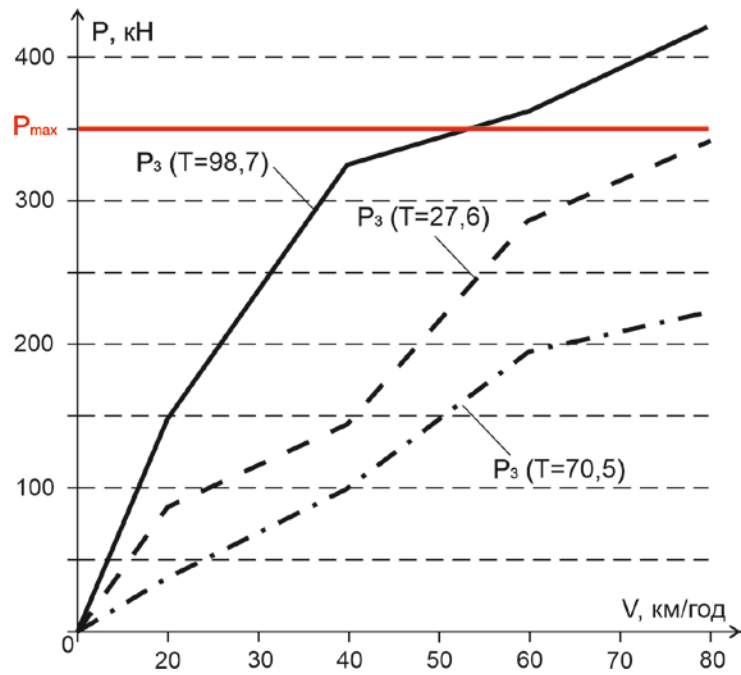


Рис. 4.20. Залежності динамічних сил взаємодії $P_i = f(V_i)$ в контактї під 1-м колесом P_3 для стрілочних переводів типу Р65 ПШ напрямку

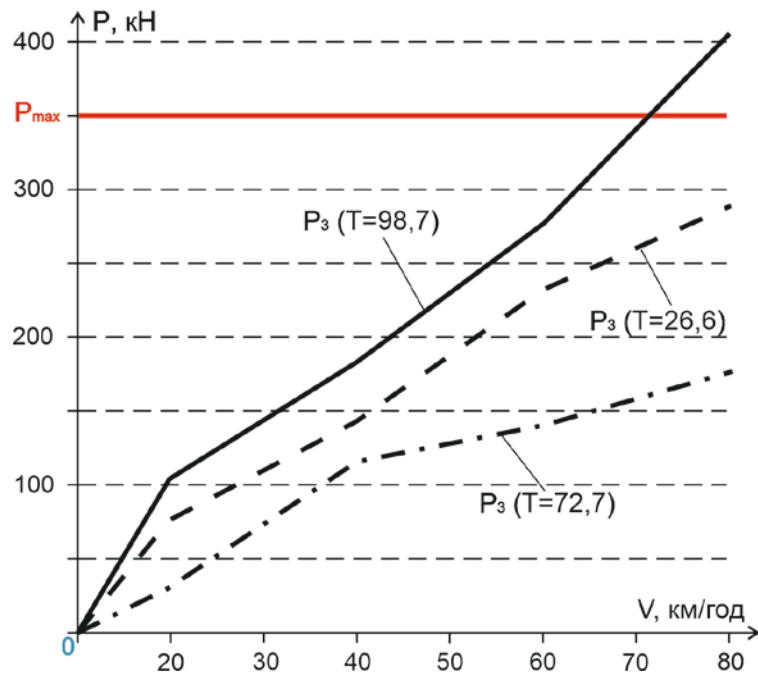


Рис. 4.21. Залежності динамічних сил взаємодії $P_i = f(V_i)$ в контактї під 1-м колесом P_3 для стрілочних переводів типу Р65 ПРШ напрямку

З урахуванням того, що дослідженнями [29, 30, 46] встановлено, що рівень динамічних сил на хрестовинах істотно перевищує такий в усіх інших

зонах стрілочного перевodu, допустимі швидкості руху по прямій колії стрілочних переводів встановлюються за умовами силової динаміки на хрестовинах.

Використовуючи розрахунковий апарат для визначення вертикальних динамічних сил взаємодії при русі по нерівностях на хрестовинах при різних швидкостях руху, і знаючи значення допустимих вертикальних сил, можна визначити допустимі швидкості руху рухомого складу по хрестовинах і, як наслідок, по стрілочних переводах в цілому $[V] = f[P_{\max}^{\text{дин}}]$.

Рекомендовані значення допустимих динамічних сил $[P_{\max}^{\text{дин}}]$ для хрестовин за умовами тривалої міцності конструкцій встановлені у вказаних вище дослідженнях [29, 30, 46, 109] і складають $[P_{\max}^{\text{дин}}] \leq 450-490$ кН (відповідно для зношених і нових конструкцій). Відповідно допустимий рівень динамічної добавки вертикальних сил від впливу нерівностей на поверхні кочення хрестовин можна обмежити значеннями $[\Delta P_{\kappa}]_{\text{дон}} = 370 \div 330$ (кН). У середньому може бути прийнята $[\Delta P_{\kappa}]_{\text{дон}} = 350$ кН.

Аналізуючи отримані розрахункові сили взаємодії (табл. 4.7 і 4.8) можна зробити висновок, що при певних умовах експлуатації, а саме: 1) при реалізації швидкості руху $V > 60$ км/год для хрестовин типу Р50 марки 1/9 при ПРШ напрямку руху (знос хрестовин близький до максимального при $T = 115,1$ млн. т) отримано, що сили взаємодії P_3 досягають граничних допустимих значень $360 \div 390$ кН, а це свідчить про можливість загрози втрати міцності конструкції хрестовин з появою характерних деформацій та дефектів і потребує більш ретельного догляду та обмеження швидкості руху поїздів, а за необхідності й заміни конструкції хрестовини; 2) для хрестовин типу Р65 марки 1/9 при ПШ і ПРШ русі (знос хрестовин близький до максимального $T = 98,7$ млн. т) спостерігається аналогічна картина реалізації максимальних сил. В деяких випадках при переважно ПШ русі поїздів форма та параметри нерівностей створюють умови взаємодії для значного зростання

сил при таких самих рівнях швидкості на початковій стадії напрацювання тоннажу $T=27,6$ млн. т.

4.4 Висновки до розділу 4

1. Проведено експериментальні дослідження з формування вертикальних нерівностей на хрестовинах стрілочних переводів типу Р50 і Р65 марки 1/9 в умовах експлуатації метрополітену та вперше отримана їх характерні форми та геометричні параметри (зустрічний ухил, сумарний ухил, глибина).

2. Встановлено обрис нерівності на хрестовині в діапазоні пропущеного тоннажу від $T=17$ до $T=136$ млн. т. для хрестовин типу Р50 марки 1/9 і від $T=24$ до $T=128$ млн. т. для хрестовин типу Р65 марки 1/9.

3. Встановлено тенденції формування нерівностей в процесі збільшення пропущеного тоннажу. По мірі збільшення пропущеного тоннажу по хрестовинах з ПШ напрямком впадина зміщуються в напрямку МЦХ та розташовується ближче до перерізу 12 мм осердя, а при ПРЦ напрямку зміщується в напрямку перерізу 40 мм осердя та розташовується в зоні перерізу 30 мм осердя.

При цьому зі збільшенням пропущеного тоннажу збільшуються зустрічні ухили, як при ПШ, так і при ПРШ напрямках, за рахунок більш інтенсивного збільшення максимальної глибини впадини для хрестовин типу Р65 з переважним ПШ напрямком руху зазначене збільшення зустрічних ухилів та глибини нерівності не підтверджується.

4. Для ПШ хрестовин форма та параметри нерівностей для хрестовин типу Р50 і Р65 суттєво не відрізняються, хоча на хрестовинах типу Р65 спостерігається більш локальний характер нерівності, а для протишерстних ПРШ хрестовин форма та параметри нерівностей для хрестовин типу Р50 і Р65 відрізняються несуттєво, а саме: – форми нерівностей однакові та мають

вид близький до синусоїдальних, при цьому нерівності на хрестовинах типу Р65 носять більш локальний характер і мають меншу довжину.

4. На основі аналізу розрахункових схем взаємодії колії та рухомого складу в межах хрестовин за розрахункову була прийнята плоска поздовжня схема. Основні розрахункові параметри схеми для хрестовин на дерев'яних брусах отримані теоретично. В якості збуджуючого чинника прийнято вертикальні нерівності на поверхні кочення хрестовин метро, що отримані експериментальним шляхом.

5. При розрахунках сил взаємодії використана комп'ютерна програма системи аналітичної математики Maple, що дозволяє задавати чи корегувати пружно-динамічні характеристики хрестовин і параметри вертикальних нерівностей, проводити графічну оцінку розподілу динамічних сил взаємодії по довжині вертикальної нерівності.

6. Виконано теоретичні розрахунки з визначенням вертикальних динамічних сил взаємодії P_k між колесами рухомого складу та хрестовинами стрілочних переводів типу Р50 і Р65 марки 1/9 в діапазоні швидкостей від $V=20$ до $V=80$ км/год (для 4-вісного вагону метро), які показали наступне:

- для хрестовин типу Р50 і Р65 марки 1/9 динамічні сили в контакті колеса і хрестовини P_3 досягають найбільших значень, що показує тенденцію на зростання при збільшенні швидкості руху по вертикальній нерівності;

- сили взаємодії для Р50 марки 1/9 при ПРШ русі поїздів з максимальною швидкістю $V=80$ км/год в 1,13; 1,4; 2,3 рази більші порівняно з ПШ рухом відповідно при мінімальному ($T \approx 30$ млн. т), середньому ($T \approx 65-75$ млн. т) та максимальному зносі ($T \approx 1200$ млн. т);

- сили взаємодії для Р65 марки 1/9 при ПШ русі поїздів з максимальною швидкістю $V=80$ км/год в 1,19; 1,23; 1,04 рази більші порівняно з ПРШ рухом при приблизно таких самих значеннях пропущеного тоннажу, тобто спостерігається зворотна тенденція при умовно такому самому рівні зносу;

- при порівнянні сил взаємодії на хрестовинах типу Р50 і Р65 марки 1/9 з ПРШ напрямком руху не виявлено очевидних закономірностей щодо величини рівня максимальних сил. За одних і тих самих умов (за рівнем зношеності) спостерігається різне співвідношення сил між типами хрестовин Р65 і Р50;

- при порівнянні сил взаємодії на хрестовинах типу Р50 і Р65 марки 1/9 з ПШ напрямком руху явно переважає силова завантаженість на хрестовинах типу Р65.

7. При певних умовах експлуатації, а саме: 1) при реалізації швидкості руху $V > 60$ км/год для хрестовин типу Р50 марки 1/9 при ПРШ напрямку руху (знос хрестовин близький до максимального при $T = 115,1$ млн. т) отримано, що сили взаємодії на рівні «колесо-хрестовина» досягають граничних допустимих значень $[\Delta P_k]$ 360÷390 кН, а це свідчить про можливість загрози втрати міцності конструкції хрестовин з появою характерних деформацій та дефектів і потребує більш ретельного догляду та обмеження швидкості руху поїздів, а за необхідності й заміни конструкції хрестовини; 2) для хрестовин типу Р65 марки 1/9 при ПШ і ПРШ русі (знос хрестовин близький до максимального $T = 98,7$ млн. т) спостерігається аналогічна картина реалізації максимальних сил. В деяких випадках при переважно ПШ русі поїздів форма та параметри нерівностей створюють умови взаємодії для значного зростання сил при таких самих рівнях швидкості на початковій стадії напруження тоннажу $T = 27,6$ млн. т.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі – розробці наукових основ проектування раціональних параметрів симетричних стрілочних переводів за умовами безпеки руху в межах відведених вістряків.

Основні наукові та практичні результати полягають в наступному:

1. Виконаний аналіз попередніх наукових досліджень за темою дисертації а встановлено, що раніше як на українських, так і на залізницях СРСР не розглядались в комплексі питання проектування раціональних параметрів симетричних стрілочних переводів на основі забезпечення безпеки руху в межах відведених вістряків сумісно з питанням силової динаміки в межах стрілочного переводу.

2. Проаналізовано існуючі розмірні параметри симетричних стрілочних переводів найбільш розповсюджених марок для звичайних умов експлуатації (1/7, 1/9, 1/11) та вперше для українських залізниць розроблено та визначено раціональні розміри жолобів між рамними криволінійними рейками і відведеними криволінійним вістряками в зоні прилягання вістряків до рамних рейок.

3. Виконані практичні розрахунки геометричних розмірів симетричних стрілочних переводів типу Р50 марок 1/9 та 1/11 і на основі розробленої в дисертації нової методики розрахунків покращені практичні параметри існуючих проектів стрілочних переводів: перевід Р50 1/9, проект 2064 – скорочена практична довжина на 2,020 м, переводу Р50 1/11, проект 2063 – скорочена практична довжина на 6,431 м.

4. Вперше для українських залізниць методом теоретичних розрахунків визначені пружно-жорсткісні параметри рейкових ниток у вертикальній площині для симетричних стрілочних переводів, що укладені на жорсткій шпально-щебенево-бетонній основі.

5. На основі отриманих пружно-жорсткісних характеристик рейкових ниток в межах симетричного стрілочного переводу вперше для українських

залізниць виконані розрахунки силової завантаженості та напружено-деформативного стану рейкових ниток по довжині симетричного стрілочного переводу і побудовані графіки розподілу динамічних сил, напружень і деформацій по довжині стрілочного переводу.

6. Вперше для ліній українських метрополітенів виконане визначення вертикальних нерівностей на поверхні кочення хрестовин стрілочних переводів типів Р50 1/9 і Р65 1/9, що експлуатуються на діючих коліях Київського метрополітену. Вертикальні нерівності були отримані шляхом експериментальних вимірювань за допомогою унікального траєкторіографа.

7. На основі отриманих траєкторій перекочування коліс по поверхні кочення хрестовин, що знаходились в різних умовах експлуатації (пошерстні – ПШ і протишерстні - ПРШ) і пропустили різний тоннаж, вперше для ліній метрополітенів встановлені середньостатистичні нерівності при переважному русі в напрямках ПШ і ПРШ.

8. Методами математичного моделювання на ЕОМ із використанням теоретичної моделі взаємодії професорів В.Ф. Яковлева і Е.І. Даніленка розраховані вертикальні динамічні сил, що діють в зоні перекочування на хрестовині; сили розраховані з використанням отриманих результатів пружно-жорсткісних параметрів та із застосуванням отриманих середньостатистичних нерівностей на хрестовинах.

9. В результаті впровадження покращених проектів стрілочних переводів типу Р50 марок 1/9 і 1/11 може бути досягнений економічний ефект за рахунок скорочення їх довжин на 2,020 м і 6,431 м відповідно. Зокрема, для переводів типу Р50 марки 1/9 і 1/11 вартість конструкції може бути зменшена на 22,6 тис. грн. і на 69,3 тис. грн. відповідно (за рахунок зменшення довжин рейок, кількості брусів з комплектами скріплень та щебеневого баласту).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Амелин С.В. Соединения и пересечения рельсовых путей. – Москва: Транспорт, 1968. 262 с.
2. Амелин С. В. Соединения и пересечения рельсовых путей. – Москва: Трансжелдориздат, 1957.
3. Основы устройства и расчетов железнодорожного пути / В.Г. Альбрехт, С.В. Амелин, М.П. Смирнов, В.Я. Шульга и др.; под ред. С.В. Амелина и Т.Г. Яковлевой. – М.: Транспорт, 1990. 367 с.
4. Иващенко Г.И. Условия движения подвижного состава по прямому пути стрелочных переводов. Тр. ЦНИИ МПС. 1962. вып. 229. С. 13 – 19.
5. Иващенко Г.И. Новые стрелочные переводы. М.: Транспорт, 1965. 68 с.
6. Путря Н.Н. Современные конструкции стрелочных переводов и их работа под подвижной нагрузкой / Н.Н. Путря, Л.Г. Крысанов, В.П. Михайлова [и др.] // Совершенствовании конструкций пути и стрелочных переводов: Труды ВНИИЖТ. – Вып. 501. – М.: Транспорт, 1974. С. 134 – 162.
7. Глюзберг Б.Э. Особенности износа крестовин стрелочных переводов // Вестник ВНИИЖТ. 1984. №3. С 39 – 42.
8. Фришман М. А. Как работает путь под. поїздами / М. А.Фришман : 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1983. 186 с.
9. Фришман М.А., Орловский А.Н., Жилин Г.К. Вертикальная жесткость стрелочного перевода на железобетонных брусьях// Тр./ДИИТ, 1974. Вып.146. С.3–8.
10. Волошко Ю.Д., Орловский А.Н. Как работают стрелочные переводы под поездами. – М.: Транспорт, 1987. 120 с.
11. Волошко Ю.Д. Особенности взаимодействия нестандартной конструкции пути с подвижным составом / Ю. Д. Волошко, М. И. Уманов, В. А. Маковский // Межв. сб. трудов. – Днепропетровск, 1994. С. 37 – 42.

12. Даниленко Э.И. Расчетно-теоретический метод определения упругодинамических параметров для обычной конструкции пути и многониточных путей / Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Межвузовский сборник научных трудов ДИИТ. Под. ред. проф. Э.И. Даниленка – Днепропетровск, 1997. С. 32 – 41.

13. Даниленко Э.И. Силовое взаимодействие подвижного состава и крестовины с непрерывной поверхностью катания / Э.И. Даниленко, В.В. Гниломедов, В.И. Абросимов // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава: Межвузовский сборник научных трудов ДИИТ. – Днепропетровск, 1983. С. 98 – 107.

14. Даниленко Э.И., Моисеенко К.В. Расчет сил взаимодействия пути и подвижного состава в пределах крестовины при помощи персональной ЭВМ / Э.И. Даниленко, К.В. Моисеенко // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава: Межв. сб. науч. трудов ДИИТ. – Днепропетровск, 1997. С. 92 – 105.

15. Ангелейко В.И., Метлеркамп Е.А. Расчеты на прочность острижков стрелочных переводов. М., Трансжедцориздат, 1962, / Труды Харьковск. ин-та инж. ж.д. трансп., вып. 57.

16. Ангелейко В.И., Метлеркамп Е.А. О расчете острижков стрелочного перевода на прочность. – Вестник ВНИИЖТ, №1, М., 1961. 41 с.

17. Симон А.Л., Смыков Е.К. Содержание стрелочных переводов новых конструкций. Москва.: Транспорт, 1972. 152 с.

18. Смыков Е.К. Расчеты стрелочных переводов. Гомель.: БелИИЖТ, 1986. 71 с.

19. Ковтун В.П. Совершенствование допусков содержания рельсовой колеи на стрелке и соединительных путях стрелочных переводов: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.06 / В.П. Ковтун. – Ленинград, 1990. 180 с.

20. Мналимов Т.М. Разработка параметров цельнолитых крестовин типа Р65 облегченных конструкций. Автореферат дисс. канд. техн. наук, ЛИИЖТ, Л., 1984.

21. Березовский М.В. Двойные компактные стрелочные переводы для промышленного транспорта. Труды ЛИИЖТа. Вып. 282. Л.: Транспорт, 1968. С. 68 – 75.
22. Березовский М.В. Соединения путей на предприятиях черной металлургии. М.: Металлургиздат, 1960.
23. Яковлев В.Ф. Проектирование симметричных стрелочных переводов. В кн. «Проектирование железнодорожного пути / Под. ред. Г.М. Шахунянца. – М.: Транспорт, 1972. 320 с.
24. Путь и путевое хозяйство промышленных железных дорог / В.Ф. Яковлев, Б.А. Евдокимов, В. Е. Парунакян, А. Н. Перцев; Под ред. В.Ф. Яковлева. М.: Транспорт, 1990. 341 с.
25. Яковлев В.Ф. Некоторые вопросы статического расчета элементов стрелочных переводов: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук / В.Ф. Яковлев. – Л.: ЛИИЖТ, 1955.
26. Шахунянц Г. М. Железнодорожный путь / Г. М. Шахунянц. – М.: Транспорт, 1969. 536 с.
27. Шахунянц Г. М. Проектирование железнодорожного пути / Под. ред. Г. М. Шахунянца. – М.: Транспорт, 1972. 320 с.
28. Говоров В.В. Расчет эпюр стрелочных переводов с криволинейными острьяками и крестовинами методом хорд. Труды ЛИИЖТа. Вып. 282. Л.: Транспорт, 1968. С. 109 – 112.
29. Стрелочные переводы железных дорог Украины (Технология производства, эксплуатация в пути, расчеты и проектирование) / [Даниленко Э.И., Тараненко С.Д., Кутах А.П.]; под ред. д.т.н. профессора Э.И. Даниленко. – К.: – 2001. 296 с.
30. Даніленко, Е. І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом. Підруч. для вищ. навч. закл. – у 2-х т. – К.: Інпрес, 2010. – Т. 1. – 528 с.; Т. 2. 456 с.
31. Проектування і розрахунки конструкцій залізничної колії. Підручник для вищих навчальних закладів в 2-х томах / За ред. д.т.н., проф. Е.І. Даніленко. К.: «Хай-Тек Прес», Т.1, 2019. – 344 с. Т.2, 2020. 552 с.

32. Янковский А.К., Шлыгин М.И., Литвин Г.А. Проектирование стрелочных переводов. – Тр. ВНИИЖТ, вып. 27, М., 1948. 236 с.

33. Амелин С.В., Елсаков Н.Н. Соединения и пересечения рельсовых путей. Учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию. Л.: ЛИИЖТ, 1977. 43с.

34. Совершенствование ведения стрелочного хозяйства / С. В. Амелин, В. И. Абросимов, Н. Н. Елсаков, Е. К. Смыков, Л. Н. Фролов, В. Ф. Яковлев / Под редакцией С. В. Амелина. – М.: Транспорт, 1983. 240 с.

35. Елсаков Н.Н. Соединения и пересечения железнодорожных путей. Справочник инженера-путейца. В 2-х т. / Под ред. В.В. Басилова и М.А. Чернышева. – М.: Транспорт. – 1972. – Т. 1. 767 с.

36. Семенов И.И. Вопросы динамического расчета элементов стрелочных переводов на прочность под воздействием вертикальных сил: автореферат дис. ... канд. техн. наук / И. И. Семенов. – ЛИИЖТ. – Л., 1964. 20 с.

37. Семенов И.И. Расчет элементов стрелочного перевода на прочность под действием вертикальных сил как пространственной системы // Тр./ЛИИЖТ, 1964. Вып. 222. С. 138 – 167.

38. Глокман Ю.Ц. Расчет длины криволинейных остряков / Труды ЛИИЖТ «Вопросы пути и путевого хозяйства». Вып. 291. Л.: Транспорт, 1969. С. 47 – 52.

39. Молчанов В.М. Визначення пружнодинамічних параметрів колії та їх вплив на силову взаємодію на хрестовинах стрілочних переводів: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.06 / В.М. Молчанов. – Київ, 2013. 269 с.

40. Молчанов В. М. Визначення пружнодинамічних параметрів підрейкової основи як передумов для розв'язання проблем силового розрахунку стрілочних переводів / В. М. Молчанов // Зб. наук. праць Київського університету економіки і технологій транспорту: Сер. «Транспортні системи і технології». Вип. 1-2. – К.: КУЕТТ, 2003. С. 16 – 19.

41. Правила технічної експлуатації залізниць України. Міністерство транспорту України. К.: Транспорт України, 1995 р. 133 с.

42. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України (ЦП-0269). Нормативно-технічне видання / Даніленко Е.І., Курган М.Б., Карпов М.І., Яковлев В.О. та ін. – К.: Укрзалізниця, 2012. 456 с.
43. СОУ 45.080-00034045-002:2007 З'єднання та пересічення залізничних колій. Загальні технічні умови.
44. Каталог продукції ПАО «Дніпропетровський стрілочний завод». Під. ред. Тараненко С.Д. Дніпропетровськ.: ПАО ДнСЗ, 2016. 275 с.
45. Олійник О.А. Особливості проектування і розрахунків симетричних стрілочних переводів для магістрального і промислового транспорту. 3б. наук. праць УкрДУЗТ. – Вип. 169 – Х.: УкрДАЗТ, 2017. С. 54 – 63.
46. Правила розрахунку залізничної колії на міцність і стійкість / Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2005. 119 с.
47. Даниленко Э. И. Некоторые теоретические и практические вопросы, связанные с внедрением стрелочных переводов на железобетонных брусьях / Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Межвузовский сборник научных трудов ДИИТ. Под. ред. проф. Э.И. Даниленка – Днепропетровск, 1997. С. 20 – 31.
48. Вериго М.Ф., Коган А.Я., Взаимодействие пути и подвижного состава, М., Транспорт, 1968. 559 с.
49. Яковлев В.Ф., Семенов И.И. Исследование упругодинамических характеристик пути и определение динамических вертикальных сил в крестовине // Тр. ДИИЖТ, 1964. Вып. 222. С. 106 – 137.
50. Полетаев В.И., Семенов И.И. Исследование влияния упругодинамических характеристик и эксплуатационных особенностей пути и экипажей на упругодинамические характеристики рельсо-шпальной решетки в вертикальной плоскости//Тр./ЛИИЖГ, 1969. Вып. 296.
51. Ершков О.П. Характеристики пространственной упругости рельсовой нити//Тр./ВПИИЖГ, 1960. Вып.192. С. 59 – 101.
52. Данилов В.П. Расчет рельсовой нити в зоне стыка// Тр./ ВНИИЖТ, 1952. Вып.70. 113 с.

53. Данович В.Д. Колебания бесконечно длинной балки, лежащей на упругом основании, с двумя характеристиками под действием движущейся гармонической нагрузки// Колебания, прочность и устойчивость сложных механических систем. Киев: Наукова думка, 1979. С. 135 – 141.

54. Воробейчик Л.Я., Климов В.И. Моделирование неупругих сопротивлений на электроаналоговых моделях// Тр./ДИИТ, 1967. Вып. 69. С. 17 – 20.

55. Глюзберг Б.Э. Методы оптимизации основных элементов стрелочных переводов и их приложение к крестовинным узлам массовых конструкций: дис. ... доктора техн. наук: спец. 05.22.06 / Б.Э. Глюзберг. – М.: 1990. 297 с.

56. Даниленко Э.И. Теоретические основы и практические методы расчета прочности и износостойкости пересечений и соединений рельсовых путей промышленного транспорта: Дис. д.т.н./ЛИИЖТ. С.-Петербург, 1992. 546 с.

57. Фришман М.А., Гнатенко В.П. Исследование вертикальной жесткости по длине стрелочного перевода на ж.-б брусьях // Тр./ДИИТ, 1976. Вып.180/17. С. 12 – 16.

58. Ермаков В.М. Разработка вариантов подрельсового основания стрелочных переводов: Автореферат дис. канд. техн. наук// ЛИИЖТ. Л.,1989.

59. Фришман М.А. Современная оценка характеристик жесткости подрельсового основания// Тр./ДИИТ, 1977. Вып. 186/19. С.77 – 85.

60. Коган А.Я., Желнин Г.Г. Расчеты железнодорожного пути на вертикальную динамическую нагрузку//Тр./ВНИИЖТ, 1972. Вып. 502. 79 с.

61. Воробейник Л.Л., Гнатенко В.П., Климов В.И. Некоторые результаты экспериментального определения жесткости пути//Тр./ДИИТ, 1974. Вып. 148. С. 3 – 8.

62. Лысюк В.С. Методика расчета давления шпал на балласт// Тр./ВНИИЖТ, 1972. Вып.485. С. 68 – 82.

63. Жилин Г.К., Орловский А.Н., Татуревич А.П. Исследование вертикального модуля упругости подрельсового основания с ж.-б. брусьями//Тр./ДИИТ, 1973. Вып.142. С. 66 – 71.

64. Семенов И.И. Об упругих неровностях рельсовых нитей в пределах стрелочного перевода // Тр. ВНИИЖТ, 1963. Вып. 211. С. 158 – 179.

65. Жилин Г.К., Шатерков В.И. Современная оценка характеристик жесткости// Тр./ДИИТ, 1972. Вып.138. С. 73 – 77.

66. Бесстыковой путь. Под ред. В.Г. Альбрехта, Е.М. Бромберга. М.: Транспорт, 1982. 206 с.

67. Татуревич А.П. Результаты определения фактических значений жесткости пути для исследований взаимодействия пути и подвижного состава. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна. – 2003. Вип. 2. С. 95 – 100.

68. Башилов В. В. Справочник инженера-путейца. В 2 т. / Под ред. В. В. Башилова. и М. А. Чернышева. – М. : Транспорт. – 1972. – Т. 1. 767 с.

69. Крылов А. Н. Избранные труды / А. Н. Крылов / Математика и механика. Том 6. – М., 1937. – С. 513 – 537.

70. Скородумов Г. Е. Расчет коротких балок на упругом основании / Г. Е. Скородумов. – ЛИИЖТ. – Л., 1972. 57 с.

71. Воробейчик Л. Я. Методика определения оптимальных характеристик жесткости стрелочного перевода на железобетонных брусках / Л. Я. Воробейчик, В. П. Гнатенко // Тр. ДИИТТ. –1976.– Вып. 180/17.– С. 16 – 22.

72. Вериго М.Ф. Вертикальные силы, действующие на путь при прохождении подвижного состава / М.Ф. Вериго // Взаимодействие пути и подвижного состава и вопросы расчетов пути: Труды ВНИИЖТ – Вып. 97 – М.: Трансжелдориздат, 1955. С. 25 – 289.

73. Кудрявцев Н.Н. Исследование динамики необрессоренных масс вагонов / Н.Н. Кудрявцев // Труды ВНИИЖТ. – Вып. 287. – М., 1965. 82 с.

74. Яковлев В.Ф. Геометрические неровности рельсовых нитей / В.Ф. Яковлев, И.И. Семенов // Вопросы расчета на прочность элементов пути

и стрелочных переводов под действием вертикальных сил: Труды ЛИИЖТ – Вып. 222. – Ленинград, 1964. С. 26 – 67.

75. Ершков О.П. Графики и приближенные формулы для определения динамических давлений колес локомотивов на путь / О.П. Ершкова // М.:Вестник ВНИИЖТ. – Вып. 8. 1957.

76. Липовский Р.С. Причины износа и мероприятия по продлению срока службы крестовин / Р.С. Липовский // Сборник научных работ по вопросам путевого хозяйства. – Днепропетровск, 1957. С. 95 – 125.

77. Абросимов В.И., Семенов И.И., Фролов Л.Н. и др. Работа контрольного узла под нагрузкой. В кн. : Исследование движения экипажей на боковой путь. Труды Ленингр. ин-та инж. ж.д. транспорта., вып. 323. Л.: Транспорт, 1971. С. 102 – 125.

78. Глюзберг Б.Э. Исследование воздействия колес подвижного состава на крестовины стрелочных переводов / Б.Э. Глюзберг // Вестник ВНИИЖТ. – 1977. – №2. С. 37 – 39.

79. Орловский А.Н., Клименко В.Н. Обоснование выбора расчетной схемы для исследования взаимодействия колеса и пути в зоне неровностей //Тр. ДИИТ, 1965. Вып.57. С.42 – 49.

80. Яковлев В.Ф. Влияние расчетных характеристик элементов пути и подвижного состава на уровень динамических сил в контакте колеса и рельса / В.Ф. Яковлев // Труды ЛИИЖТ. – Вып. 233. – Ленинград, 1964. С. 96 – 145.

81. Даниленко Э.И. Практический метод расчета приведенной массы пути в зоне стрелочного перевода / Э.И. Даниленко // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава: Межв. сб. науч. трудов ДИИТ. – Днепропетровск, 1997. С. 46 – 50.

82. Яковлев В.Ф. Связь параметров неровностей в крестовинах с траекторией перекатывания колес по ним / В.Ф. Яковлев // В кн.: Совершенствование ведения стрелочного хозяйства. – М.: Транспорт, 1983. С. 98 – 105.

83. Яковлев В.Ф. К оценке сил взаимодействия пути и подвижного состава посредством эксплуатационных измерений траекторий

перекатывания колес по неровностям пути / В.Ф. Яковлев, И.И. Семенов // Исследование напряженного состояния рельсов и элементов стрелочных переводов: Труды ЛИИЖТ – Вып.260. – Ленинград, 1967. С. 59 – 87.

84. Яковлев В.Ф. Некоторые вопросы статического расчета элементов стрелочных переводов: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук / В.Ф. Яковлев. – Л.: ЛИИЖТ, 1955.

85. Бойко В. Д. Вплив зносу стрілочних переводів на залізобетонних брусах на динаміку взаємодії колії та рухомого складу: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.06 / В. Д. Бойко. – Київ, 2010. 198 с.

86. Встановлення умов експлуатації рейок і стрілочних переводів на коліях Київського метрополітену. Науково-дослідна робота. Договір №55-П-13 від 01.10.2013 р.

87. Яковлев В.Ф. Прибор для определения траектории движения колеса / В.Ф. Яковлев // Железнодорожный транспорт. – 1957. - №3. С. 79.

88. Неровности на крестовинах типа Р65 марки 1/11 с непрерывной поверхностью катания и обоснование норм износа / Э.И. Даниленко, В.И.Абросимов, А.Н.Трофимов [та ін.] // Межвузовский сборник научных трудов ДИИТ. – Днепропетровск, 1989. – С. 63 – 75.

89. Яковлев В. Ф. О параметрах расчетной схемы сил взаимодействия в контакте колеса и рельса / В. Ф. Яковлев, И. И. Семенов // Вопросы расчета на прочность элементов пути и стрелочных переводов под действием вертикальных сил: Труды ЛИИЖТ. – Ленинград, 1964. – Вып. 222. С. 187 – 211.

90. Амелин С. В. О расчете на прочность элементов стрелочных переводов / С. В. Амелин, В. Ф. Яковлев, И. И. Семенов // Вопросы расчета на прочность элементов пути и стрелочных переводов под действием вертикальных сил: Труды ЛИИЖТ. – Ленинград, 1964. – Вып. 222. С. 3 – 28.

91. Кудрявцев Н. Н. Применение аналоговых вычислительных машин для исследования взаимодействия колеса и рельса / Н. Н. Кудрявцев // Вестник ВНИИЖТ. – 1964. – №7. С. 7 – 12.

92. Бромберг Е. М. Взаимодействие пути и подвижного состава / Е. М. Бромберг, М. Ф. Вериге, В. Н. Данилов, М. А. Фришман. – М. : Трансжелдориздат, 1956. 280 с.

93. Клименко В. Н., Микитенко А. М. Исследование динамических сил взаимодействия крестовин и тележки четырехосного вагона / В. Н. Клименко, А. М. Микитенко // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава: Труды ДИИТ. – Днепропетровск, 1968. – Вып. 88. С. 78 – 82.

94. Вершинский С. В. Динамика вагонов / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, И. И. Челноков. – М. : Транспорт, 1978. 352 с.

95. Дьомін Ю. В. Основи динаміки вагонів / Ю. В. Дьомін, Г. Ю. Черняк : Навч. посібник. – К. : КУЕТТ, 2003. 269 с.

96. Фришман М. А. Выбор расчетной схемы для определения вертикальных сил при движении экипажа по стрелочному переводу / М. А. Фришман, Р. С. Липовский, В. П. Гнатенко, Н. П. Кущенко // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава: Труды ДИИТ. – Днепропетровск, 1975. – Вып. 167/16. С. 25 – 29.

97. Лазарян В. А. Вынужденные колебания четырехосного вагона, движущегося по инерционному пути / В. А. Лазарян, Р. В. Грановский, В. Д. Данович, Р. С. Липовский // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава: Труды ДИИТ. – Днепр-вск, 1970. – Вып. 117. С. 3 – 15.

98. Лазарян В. А. Дифференциальные уравнения пространственных колебаний четырехосного грузового вагона при движении по инерционному пути, рассматриваемому как дискретная система / В. А. Лазарян, М. Л. Коротенко, Р. С. Липовский, В. Д. Данович // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава: Труды ДИИТ. – Днепропетровск, 1972. – Вып. 138. С. 3 – 16.

99. Фришман М. А. Исследование сил взаимодействия 4-х осного вагона и элементов глухих пересечений / М. А. Фришман, А. П. Трякин, В. В. Рыбкин, Р. С. Липовский // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава: Межв. сб. трудов. – Днепропетровск, 1979. С. 110 – 117.

100. Вербицкий В. Введение в теорию устойчивости колесных экипажей и рельсового пути: Монография / В. Вербицкий, А. Новак, Э. Даниленко, М. Ситаж. – Донецк: «Вебер» (Донецкое отделение), 2007. 255 с.
101. Гнатенко В. П. Исследование эпюры раскладки железобетонных брусьев в зоне крестовины стрелочного перевода // Тр. ДИИТ. – 1977. – Вып. 188/18. – С. 37 – 40.
102. Яковлев В. Ф. О расчетных схемах взаимодействия экипажа и пути / В. Ф. Яковлев, И. И. Семенов, В. И. Полетаев / Вопросы пути и путевого хозяйства. Труды ЛИИЖТ. – Ленинград, 1973. – Вып. 360. С. 62 – 70.
103. Даниленко Э. И. К вопросу оптимального распределения брусьев под жесткой крестовиной Р65 1/11 / Э.И. Даниленко, С.В. Амелин, Т.М. Мналимов // Деп. рук. РЖ ВИНТИ Железнодорожный транспорт. – №10. – М., 1983, реф. 10Г128-83. 9 с.
104. Даніленко Е. І. Сучасний підхід до визначення сил взаємодії колії та рухомого складу в зоні стрілочного перевалу / Е. І. Даніленко, В. М. Молчанов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2003. – Вип. 2. – С. 147 – 150.
105. Лазарян В. А. Динамика транспортных средств / В. А. Лазарян. – Киев : Наукова думка, 1985. 525 с.
106. Molchanov V, Tverdomed V, Boiko V, Oliinyk O. Analysis of Vertical Irregularities and Dynamic Forces on the Switch Frogs of the Underground Railway. 7th International Scientific Conference “Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings” (Transbud-2018). – MATEC Web Conf. Volume 230, 2018, DOI <https://doi.org/10.1051/matecconf/201823001001>.
107. Даніленко Е.І., Йосифович Р.М., Сорока О.О., Олійник О.А. Дослідження впливу динамічних колісних навантажень, вантажонапруженості і швидкостей руху поїздів на міцність, стійкість і строки служби рейок, скріплень на інших елементів ВБК. Зб. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології», – Вип 22. – К.: ДЕТУТ, 2013. С. 9 – 19.

108. Олійник О.А., Сорока О.О. Розрахунок ширини мінімального жолобу в симетричному стрілочному переводі при кореневій відстані більшій за величину ходу шиберу стрілочного приводу ($U_n^0 > III_p$). Зб. наук. праць УкрДУЗТ. підписано до друку 05.03.2019 р. – Вип. 183 – Х.: УкрДАЗТ, 2019. С. 9 – 17.

109. Даніленко Е.І., Бойко В.Д., Твердомед В.М., Олійник О.А. на ін. Технічні умови на експлуатацію стрілочних переводів на коліях Київського метрополітену (Нормативний документ КП «Київський метрополітен»). К.: РВЦ КП «Київський метрополітен». 2015. 19 с.

110. Даніленко Е.І., Йосифович Р.М., Молчанов В.М., Олійник О.А. Про необхідність внесення змін в нормативні допуски по ширині рейкової колії в кривих на ділянках зі звичайними швидкостями руху поїздів та при впровадженні швидкісного руху на залізницях України. Науково-практичний журнал Залізничний транспорт України. – № 5. – 2014. С. 36 – 41.

111. Даніленко Е.І., Черніцький Р.Р., Йосифович Р.М., Молчанов В.М., Олійник О.А., Сорока О.О. Впровадження прискореного і швидкісного руху поїздів на залізницях України потребує розробки і застосування нових нормативних допусків по ширині рейкової колії в прямих і кривих. Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України». – № 2. – 2017. С. 45 - 54.

112. Г. Шрам. Верхнее строение и содержание пути железных дорог ФРГ. Трансжелдориздат, М., 1962. 388 с.

113. Европейские нормы на железобетонные шпалы и рельсовые скрепления. / Ж. Железные дороги мира. №9. 1999 р.

114. Путь и путевое хозяйство железных дорог США: Справочник / Под. ред. С.И. Финицкого, И.А. Недорезова. М.: Транспорт, 1983. 216 с.

115. Генеральная дирекция ПГДЖ. Технические стандарты. Подробные технические условия модернизации железнодорожной линии Куновице-Познань-Варшава-Тересполь. Варшава, 1993. 23 с.

116. Технически норми за устройство, построяване, поддържане и ремонт на безнаставов релсов път. Министерство на транспорта СО «Български държавни железници», София, 1988. 124 с.

117. Építési és pályafenntartási műszaki adatok, előírások. Közlekedési dokumentációs vállalat, Budapest, 1987. 325 o.

Додаток А

Розрахунок геометричних параметрів симетричних стрілочних переводів типу Р50 марок 1/9 і 1/11

РОЗРАХУНОК ОДИНОЧНОГО РІЗНОСТОРОННЬОГО СИМЕТРИЧНОГО СТРІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ ТИПУ Р50 МАРКИ 1/11

Вихідні дані приймаються з типового переводу, проекту 2063 Дніпропетровського стрілочного заводу, а саме: кут стрілочного переводу $\alpha=6^{\circ}20'25''$; початковий кут вістряка $\beta_{n-1}=0^{\circ}34'28,35''=0,01002764$ рад; радіус вістряка і радіус перевідної кривої відповідно $R_0=540\,000$ мм, $R=540\,000$ мм; довжина вістряка $l_0=8700$ мм; розміри передньої і задньої частини хрестовини відповідно $h=2650$ мм, $p=2300$ мм.

Розрахунок основних геометричних параметрів симетричного стрілочного переводу з криволінійними вістряками

Мінімальна довжина прямої вставки $d_{\min}$ перед хрестовиною приймається:

$$d_{\min} \geq h_{np} + \frac{l_n}{2} \geq 2650 + \frac{820}{2} \geq 3060 \text{ мм.}$$

Наведемо тут значення синусів, косинусів та тангенсів вже відомих нам кутів, що будуть застосовуватись у подальших розрахунках:

$$\cos \alpha = 0,9938836; \sin \alpha = 0,1104329; \operatorname{tg} \alpha = 0,1111126;$$

$$\cos \frac{\alpha}{2} = 0,9984697; \sin \frac{\alpha}{2} = 0,0553011; \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 0,0553859;$$

$$\cos \beta_{n-1} = 0,9999497; \sin \beta_{n-1} = 0,0100275.$$

Кут вістряка в корені $\beta_{новн-1}$ обчислюється (в рад):

$$\beta_{новн-1} = \beta_{n-1} + \frac{l_0}{R_0} = 0,01002764 + \frac{8700}{540000} = 0,026138755 \text{ рад} = 1,4976389^{\circ} = 1^{\circ}29'51,51''.$$

$$\cos \beta_{новн-1} = 0,9996584; \sin \beta_{новн-1} = 0,0261358.$$

Перевіряємо величину радіуса R за умовою обмеження величини непогашених відцентрових прискорень $\gamma_0^{розр}$, що діють при встановленому русі колісного екіпажу по стрілці при різних швидкостях руху $V_{бок}$ на боковий напрям.

$$\gamma_0^{розр} = \frac{V_{бок}^2}{R} \leq [\gamma_0] \rightarrow = \frac{(60 / 3,6)^2}{540,000} = 0,5144 \leq [\gamma_0] = 0,8 \text{ м / с}^2;$$

$$\gamma_0^{pozp} = \frac{(70 / 3,6)^2}{540,000} = 0,7002 \leq [\gamma_0] = 0,8 \text{ м / с}^2;$$

$$\gamma_0^{pozp} = \frac{(74 / 3,6)^2}{540,000} = 0,7825 \leq [\gamma_0] = 0,8 \text{ м / с}^2.$$

Умова виконується при максимальній швидкості руху на боковий напрямок колії до $V_{бок}^{max} = 74$ км/год. Таким чином можна встановити допускаєму швидкість по стрілочному переводу $V_{бок}^{max} = 70$ км/год.

Розрахунок довжини бокової строжки криволінійного вістряка симетричного стрілочного переводу

Для рішення задачі відомими або раніше визначеними параметрами є: $1/9$ (або кут α); $P50$; β_{n-1} ; l_0 ; R_0 ; $R_{pp}^{6H} = R_0 - S_{кр} = 538\,480$ мм (при встановленому нормативі ширини колії $S_{кр} = 1520$ мм).

Для визначення довжини бокової строжки вістряка λ_v розраховуємо деякі допоміжні величини, а саме.

1. Повний початковий кут між робочою гранню вістряка і робочою гранню рамної рейки:

$$\beta_n = \beta_{n-1} + \beta_{n-2}.$$

2. Невідомим є початковий кут рамної рейки β_{n-2}

$$\sin \beta_{n-2} = \frac{A}{R_{pp}^{6H}} = \frac{5414,85}{538\,480} = 0,0100561 \text{ рад.}$$

3. Відстань A можна визначити з виразу:

$$A = R_0 \cdot \sin \beta_{n-1} = 540\,000 \cdot 0,0100275 = 5414,85 \text{ мм.}$$

Звідси кут $\beta_{n-2} = 0,0100563 \text{ рад} = 0,5761833^\circ = 0^\circ 34' 34,26''$.

Отже, повний початковий кут між робочою гранню вістряка і робочою гранню рамної рейки дорівнює:

$$\beta_n = \beta_{n-1} + \beta_{n-2} = 0,01002765 + 0,01005627 = 0,02008392 \text{ рад.}$$

4. Стріли сегментів f і f_{6H} визначаються:

$$f = R_0 \cdot (1 - \cos \beta_{n-1}) = 540\,000(1 - 0,9999497) = 27,15 \text{ мм;}$$

$$f_{6H} = R_{pp}^{6H} - \sqrt{(R_{pp}^{6H})^2 - A^2} = 538\,480 - \sqrt{538\,480^2 - 5414,85^2} = 27,23 \text{ мм.}$$

5. Довжина прямої $A + \lambda'_v$, що включає величину проекції бокової строжки вістряка λ'_v на горизонтальну вісь визначається за формулою:

$$A + \lambda'_v = \sqrt{R_0^2 - (R_0 - B)^2} = \sqrt{(R_{pp}^{6H})^2 - (R_{pp}^{6H} - B_{6H})^2}.$$

У формулі (2.18) невідомими є B і B_{6H} , також потрібно знайти U'_0 .

6. Довжина B_{6H} визначається за формулою:

$$B_{6H} = U'_0 - [B - (f + f_{6H})] = U'_0 + (f + f_{6H}) - B.$$

Довжину U'_0 для 1-го етапу розрахунків можна визначити за формулою (2.20), так як кут ε_u є, поки що, невідомим

$$U'_0 = \frac{U_0}{\cos(\beta_{n-1} + \beta_{n-2})} = \frac{64,6}{\cos(0,01002764 + 0,01005627)} = 64,61 \text{ мм.}$$

В подальшому, після визначення довжини бокової строжки вістряка λ'_v слід уточнити значення U'_0 за формулою (2.20).

Довжина відрізка B визначається за формулою (2.24):

$$B = \frac{(U'_0 + f + f_{вн}) \cdot (2R_{pp}^{вн} - U'_0 - f - f_{вн})}{2(R_0 + R_{pp}^{вн} - U'_0 - f - f_{вн})} =$$

$$= \frac{(64,61 + 27,15 + 27,23) \cdot (2 \cdot 538480 - 64,61 - 27,15 - 27,23)}{2 \cdot (540\,000 + 538\,480 - 64,61 - 27,15 - 27,23)} = 59,41 \text{ мм.}$$

Після цього знайдемо $B_{вн}$

$$B_{вн} = U'_0 - [B - (f + f_{вн})] = U'_0 + (f + f_{вн}) - B =$$

$$= 64,61 + (27,15 + 27,23) - 59,41 = 59,51 \text{ мм.}$$

7. Тепер довжина проекції бокової строжки вістряка λ'_v на горизонтальну вісь знайдеться за формулою:

$$\lambda'_v = \sqrt{2R_0 B - B^2 - A} = \sqrt{2 \cdot 540\,000 \cdot 59,41 - 59,41^2 - 5414,85} = 2594,27 \text{ мм.}$$

Дійсна довжина бокової строжки вістряка λ_v визначається з виразу:

$$\lambda_v = \frac{\lambda'_v}{\cos \tau},$$

де кут τ знаходиться з виразу (2.27):

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{B_{вн} - f_{вн}}{\lambda'_v} = \frac{59,41 - 27,23}{2594,27} = 0,0124568,$$

звідси кут $\tau = 0,0124562 \text{ рад}$.

Отже,

$$\lambda_v = \frac{\lambda'_v}{\cos \tau} = \frac{2594,27}{\cos 0,0124562} = 2594,2 \text{ мм.}$$

Кут ε_u в кінці бокової строжки вістряка, визначиться з виразу

$$\sin \varepsilon_u = \frac{A + \lambda'_v}{R_0} = \frac{5414,85 + 2594,27}{540\,000} = 0,0148315,$$

звідси кут $\varepsilon_u = 0,01483203 \text{ рад} = 0,8498139^\circ = 0^\circ 50' 59,33''$.

Уточнюємо значення U'_0 за формулою (2.20)

$$U'_0 = \frac{U_0}{\cos \varepsilon_u} = \frac{64,6}{\cos 0,01483203} = 64,61 \text{ мм.}$$

Розрахунок довжини рамних рейок і величини переднього і заднього вильоту рамної рейки

Для рішення задачі в якості вихідних даних приймаються раніше визначені параметри: β_{n-1} ; l_0 ; R_0 ; R_{pp}^{6H} ; β_{n-2} ; A ; λ_v ; ε_u .

З рис. 2.3 можна побачити, що загальна довжина рамної рейки складається з 2-х прямолінійних і 2-х криволінійних відрізків:

$$l_{pp} = m_1 + \lambda_v + l_{pp}^{kp-1} + l_{pp}^{kp-2}.$$

Знайдемо послідовно ці відрізки.

1. Довжину 1-го криволінійного відрізка рамної рейки $b_1B_3 = l_{pp}^{kp-1}$ визначається з виразу:

$$l_{pp}^{kp-1} = R_{pp}^{6H} \cdot (\beta_{повн-2} - \varepsilon_u^{6H}).$$

Центральний кут $\beta_{повн-2}$ визначається з виразу:

$$\sin \beta_{повн-2} = \frac{A + l'_0}{R_{pp}^{6H}} = \frac{5414,84 + 8698,85}{538\,480} = 0,0262095.$$

У рівнянні невідома лише l'_0 - проекція вістряка на горизонталь, яка знайдеться з виразу:

$$\begin{aligned} l'_0 &= R_0 \cdot \sin \beta_{повн-1} - R_0 \cdot \sin \beta_{n-1} = \\ &= 540\,000 \cdot \sin 0,02613876 - 540\,000 \cdot \sin 0,01002764 = 8698,85 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Звідси кут $\beta_{повн-2} = 0,0262125 \text{ рад.}$

Центральний кут ε_u^{6H} можна визначити за формулою:

$$\varepsilon_u^{6H} = \beta_{n-2} + \varepsilon_{6H} = 0,01005627 + 0,0048173 = 0,0148732 \text{ рад,}$$

де кут ε_{6H} - визначається з виразу:

$$\sin\left(\frac{\varepsilon_{6H}}{2}\right) = \frac{\lambda_v}{2R_{pp}^{6H}} = \frac{2594,2}{2 \cdot 538\,480} = 0,0024086,$$

звідси кут $\varepsilon_{6H} = 0,0048173 \text{ рад.}$

Таким чином, визначені усі необхідні величини для розрахунку довжини 1-го криволінійного відрізка рамної рейки l_{pp}^{kp-1} за формулою:

$$l_{pp}^{kp-1} = R_{pp}^{6H} \cdot (\beta_{повн-2} - \varepsilon_u^{6H}) = 538\,480 \cdot (0,0262125 - 0,0148732) = 6105,98 \text{ мм.}$$

2. Довжина 2-го криволінійного відрізка рамної рейки $B_3B_4 = l_{pp}^{kp-2}$ є довжиною заднього вильоту рамної рейки $l_{pp}^{kp-2} = m_2$ і знаходиться за формулою:

$$l_{pp}^{kp-2} = R_{pp}^{6H} (\beta_{повн}^{pp} - \beta_{повн-2}).$$

У рівнянні невідомим є лише $\beta_{повн}^{pp}$ - центральний кут у кінці рамної рейки. Його можна визначити розглядаючи схему розкладки брусів від кореня вістряка до стику рамної рейки за формулою:

$$\sin \beta_{повн}^{pp} = \frac{A + l_0' + m_2'}{R_{pp}^{ен}} = \frac{5414,84 + 8695,85 + 1438,5}{538480} = 0,0288819,$$

звідси кут $\beta_{повн}^{pp} = 0,0288859 \text{ рад}$.

Для чого потрібно ще вирахувати довжину проекції заднього вильоту рамної рейки на горизонталь m_2' .

Приймаємо $b_{стр} = 540 \text{ мм}$, зазор в корені $\delta_{\kappa} = 5 \text{ мм}$, зазор в стику рамної рейки $\delta = 0$.

$$m_2' = \frac{c + \delta_{\kappa}}{2} + 2 \cdot b_{стр} + \frac{c - \delta}{2} = \frac{440 + 5}{2} + 2 \times 00 + \frac{440 - 8}{2} = 1438,5 \text{ мм}.$$

3. Довжину переднього вильоту рамної рейки m_1 за формулою:

$$m_1 = \frac{c - \delta}{2} + n_1 b_{стр} - m_0 = \frac{440 - 8}{2} + 3 \cdot 545 + 550 - 41 = 2360 \text{ мм}.$$

Отже,

$$l_{pp}^{кр-2} = R_{pp}^{ен} (\beta_{повн}^{pp} - \beta_{повн-2}) = 538\,480 \cdot (0,02482799 - 0,02215484) = 1439,3 \text{ мм}.$$

Загальна довжина рамної рейки:

$$l_{pp} = m_1 + \lambda_v + l_{pp}^{кр-1} + l_{pp}^{кр-2} = 2360 + 2594 + 6106 + 1440 = 12500 \text{ мм}.$$

Розрахунок ширини мінімального жолоба між рамною рейкою і відведеним вістряком

Для вирішення задачі відомими або раніше визначеними величинами є: $R_0, l_0, l_0', \beta_n, \beta_{n-1}, \beta_{n-2}, \varepsilon_u, \beta_{повн-1}, \beta_{повн-2}, Ш, a, U_0, U_n^0$.

Потрібно визначити: мінімальну ширину жолобу між рамною рейкою і відведеним вістряком $t_{\min-1}, t_{\min-2}, t_{\min \min}$.

З розгляду 2-ох варіантів схем взаємного розташування рамної рейки і відведеного вістряка: 1-й – при кореневій відстані більшій за величину ходу шиберу стрілочного приводу ($U_n^0 > Ш_p$); 2-й - при ($U_n^0 < Ш_p$) обираємо той, який підходить під наші задані умови.

Далі задача пошуку мінімальної ширини жолобу між рамною рейкою і відведеним вістряком буде вестись у декілька етапів

Рішення задачі за прикладом 1 (при $U_n^0 > Ш_p$)

Для визначення шуканих величин виконаємо деякі допоміжні побудови в кресленні на рис. 2.6. Проведемо хорду A_1B між коренем вістряка (точка B) і місцем кріплення стрілочної тяги до вістряка (точка A_1).

Максимальна стріла сегменту f_1 від хорди A_1B буде розташована на радіусі-перпендикулярі, що проходить через середину хорди – точку B_1 . На продовженні радіуса-перпендикуляра, проти стріли f_1 позначимо відстань між точками D_1' і D_1 через t_1 - це буде проекція мінімальної відстані $t_{\min-1}^{01}$ на радіус-перпендикуляр.

Другу конкуруючу мінімальну відстань між зовнішньою кромкою вістряка і горизонталлю CQ визначимо проти кінця горизонтальної строжки вістряка, між точками b_1E_1 , і позначимо цю відстань $t_{\min-2}^0$.

Після цього визначаються мінімальні значення усіх конкуруючих жолобів по найкоротшій відстані, тобто по нормалі до середньої лінії MN (див. рис. 2.6, б, в).

І лише після цього, в кінці кінців, визначається абсолютне мінімальне значення ширини жолоба між відведеним вістряком і рамною рейкою $(t_{\min \min})^{норм}$ на всій довжині їх взаємного розташування, із порівняння $(t_{\min-1})^{норм}$ і $(t_{\min-2})^{норм}$ та аналізу можливості наявності менших значень ширини жолоба на усій довжині взаємного розташування відведеного вістряка і рамної рейки.

Порядок вирішення задачі приймаємо наступний.

1 етап. Визначення $t_{\min-1}^0$ в перерізі B_4D .

1. Знайдемо величину III_p відстані між точками A_1 і A_2 за формулою:

$$III_p = III + t'_{uu} = 152 + 3,72 = 155,72 \text{ мм.}$$

де товщина вістряка проти стрілочної тяги t'_{uu} визначається також за відомою формулою (2.49), а кут β_{uu} за формулою:

$$t'_{uu} = R_0 (\cos \beta_{n-1} - \cos(\beta_{n-1} + \beta_{uu})) = 540\,000 ((\cos 0,01002765 - \cos(0,01002765 + 0,0006667))) = 3,72 \text{ мм.}$$

$$\beta_{uu} = \frac{a}{R_0} = \frac{360}{540\,000} = 0,0006667 \text{ рад.}$$

2. Визначимо ординату в корені вістряка U_n^0 від його робочої грані $(\cdot)B$ до розрахункової горизонталі CQ за ф-ою:

$$U_n^0 = R_0 (\cos \beta_{n-1} - \cos \beta_{новн-1}) = 540\,000 (\cos 0,01002764 - \cos 0,026138755) = 157,3 \text{ мм.}$$

Після цього порівнюємо величини III_p і U_n^0 , щоб упевнитись у вихідній умові рішення задачі за схемою рис. 2.6 для випадку, коли $U_n^0 > III_p \rightarrow 157,3 \text{ мм} > 155,72 \text{ мм}$.

3. Знайдемо кут ϕ_{0-uu} між радіусами-перпендикулярами до робочої грані вістряка за формулою:

$$\phi_{0-ш} = \beta_{новн-1} - \beta_{н-1} - \beta_{ш} = 0,02613877 - 0,01002764 - 0,0006667 = 0,0154444 \text{ рад} = 0,88490148^\circ = 0^\circ 53' 5,64''.$$

4. Знайдемо максимальну стрілу сегменту від хорди A_1B за формулою:

$$f_1 = R_0 - B_1O = 540000 - 539984 = 16 \text{ мм.}$$

де довжина перпендикуляру B_1O на хорду A_1B визначається з виразу:

$$B_1O = R_0 \cdot \cos \frac{\phi_{0-ш}}{2} = 540000 \cdot \cos \frac{0,0154444}{2} = 539984 \text{ мм.}$$

5. Кут $\angle DB_1D_1$ є рівним куту $\angle FA_1B$, тобто є рівним куту δ , який визначається з виразу:

$$\sin \delta = \frac{U_n^0 - III_p}{2R_0 \cdot \sin \frac{\phi_{0-ш}}{2}} = \frac{157,3 - 155,72}{2 \cdot 540000 \cdot \sin \frac{0,0154444}{2}} = 0,0001899,$$

звідси $\delta = 0,0001899 \text{ рад} = 0,0187995^\circ = 0^\circ 0' 39,17''$.

6. Перпендикуляр B_1D знайдемо за ф-ою (2.58):

$$B_1D = \frac{U_n^0 + III_p}{2}.$$

Відрізок B_1D_1 визначиться з ф-ли:

$$B_1D_1 = \frac{B_1D}{\cos \delta} = \frac{156,5}{\cos 0,0001899} = 156,5 \text{ мм.}$$

Тепер можна знайти довжину відрізка D_1D_1' (на рис. 2.6 це t_1):

$$t_1 = B_1D_1 - f_1 - U_0 = 156,5 - 16 - 64,6 = 75,9 \text{ мм.}$$

7. Після цього, визначаємо першу шукану величину $t_{\min-1}^{01}$ за ф-ою:

$$t_{\min-1}^{01} = D_1'D' = t_1 \cdot \cos \delta = 75,9 \cdot \cos 0,0001899 = 75,9 \text{ мм.}$$

Визначення $t_{\min-1}^{02}$ у перерізі B_4D (див. рис. 2.6 і 2.8).

1. Знаходимо центральний кут $\angle Z = \angle B_4OD_1'$ за ф-ою:

$$\angle Z = \frac{DD'}{R_0 + U_0} = \frac{1,53 \cdot 10^{-5}}{540,0 + 0,0646} = 2,83 \cdot 10^{-8}.$$

Відрізок прямої DD' визначаємо за ф-ою:

$$\begin{aligned} DD' &= \frac{U_n^0 + III_p}{2} \cdot \operatorname{tg} \delta - t_1 \cdot \sin \delta = \\ &= \frac{157,3 + 155,72}{2} \cdot \operatorname{tg} 0,0001899 - 75,9 \cdot \sin 0,0001899 = 1,53 \cdot 10^{-5} \text{ м.} \end{aligned}$$

2. Визначимо довжину половини хорди $B_4f = \frac{1}{2} B_4B_5$ за ф-ою:

$$B_4f = (R_0 + U_0) \cdot \sin Z = (540,0 + 0,0646) \cdot \sin 2,83 \cdot 10^{-8} = 1,53 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Після цього визначимо довжину відрізка B_1B_4 :

$$B_1B_4 = \frac{B_4 f}{\sin \delta} = \frac{1,53 \cdot 10^{-5}}{\sin 0,0001899} = 0,0806 \text{ м} = 80,6 \text{ мм.}$$

3. Після цього, визначаємо величина ($t_{\min-1}^{02}$):

$$t_{\min-1}^{02} = B_1D - B_1B_4 = 156,5 - 80,6 = 75,9 \text{ мм.}$$

2 етап. Визначення $t_{\min-2}^0$ в перерізі b_1E_1 (рис. 2.6).

1. Визначаємо довжину відрізка A_1b . Для цього визначимо кути трикутника OA_1b (рис. 2.8).

Кут OA_1b , як кут $\varepsilon_{u-u-\beta_{n-1}}$ визначається з виразу:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{u-u-\beta_{n-1}} &= \varepsilon_u - \beta_{n-1} - \beta_u = \\ &= 0,01483203 - 0,01002764 - 0,0006667 = 0,00413734 \text{ рад} = \\ &= 0,2370524^\circ = 0^\circ 14' 13,39". \end{aligned}$$

Два других кута трикутника A_1Ob визначаються з ф-ли:

$$\angle OA_1b = \angle ObA_1 = 90^\circ - \frac{\varepsilon_{u-u-\beta_{n-1}}}{2} = 90^\circ - \frac{0,2370524^\circ}{2} = 89,881474^\circ.$$

Половина довжини відрізка A_1b знаходимо з виразу:

$$A_1b = 2R_0 \cdot \sin \frac{\varepsilon_{u-u-\beta_{n-1}}}{2} = 2 \cdot 540000 \cdot \sin \frac{0,00413734}{2} = 2234,2 \text{ мм.}$$

2. Стріла f_2 визначиться за ф-ою:

$$\begin{aligned} f_2 &= 2R_0 \cdot \sin \frac{\varepsilon_{u-u-\beta_{n-1}}}{2} \cdot \sin \left(\frac{\phi_{0-u}}{2} - \frac{\varepsilon_{u-u-\beta_{n-1}}}{2} \right) = \\ &= 2 \cdot 540000 \cdot \sin \frac{0,00413734}{2} \cdot \sin \left(\frac{0,0154444}{2} - \frac{0,00413734}{2} \right) = 12,6 \text{ мм.} \end{aligned}$$

3. Визначимо ординату по вертикалі eb_1 з розгляду трикутника b_1eb (див. рис. 2.10). Тут перший гострий кут $\angle b_1eb = \angle DB_1D_1 = \angle \delta$.

Другий гострий кут $\angle eb_1b$ знаходимо із сумісного розгляду двох трикутників (на рис. 2.10) b_1eb і bee_1 . Кут $\angle ebe_1$ позначимо $\angle \gamma$ і визначимо за ф-ою:

$$\gamma = \frac{\phi_{0-u}}{2} - \varepsilon_{u-u-\beta_{n-1}} = \frac{0,0154444}{2} - 0,00413734 = 0,00358488 \text{ рад} = 0,2053984^\circ.$$

Тупий кут $\angle b_1be$ знаходимо:

$$\angle b_1be = (180^\circ - \gamma) = (180^\circ - 0,2053984^\circ) = 179,794602^\circ,$$

другий гострий кут $\angle eb_1b$, позначений як $\angle x$ знаходимо з:

$$\begin{aligned} \angle x = \angle eb_1b &= 180^\circ - (180^\circ - \gamma) - \delta = (\gamma - \delta) = \\ &= 0,00358488 - 0,0001899 = 0,00339499 \text{ рад} = 0,1945184^\circ. \end{aligned}$$

Тепер визначаємо ординату eb_1 за формулою:

$$b_1 e = U_0 \cdot \cos x + f_2 \cdot \cos \delta =$$

$$= 64,6 \cdot \cos 0,00339499 + 12,6 \cdot \cos 0,0001899 = 77,2 \text{ мм.}$$

4. Після цього визначаємо другу шукану величину $t_{\min-2}^0$ за ф-ою:

$$t_{\min-2}^0 = E_1 e - b_1 e = III_p + (\lambda'_v - a) \cdot \operatorname{tg} \delta - U_0 \cdot \cos x - f_2 \cdot \cos \delta =$$

$$= 155,72 + (2594,27 - 360) \cdot \operatorname{tg} 0,0001899 -$$

$$- 64,6 \cdot \cos 0,00339499 - 12,6 \cdot \cos 0,0001899 = 78,9 \text{ мм.}$$

Третій етап. Визначення $t_{\min-1}^{pp}$, $t_{\min-2}^{pp}$ і U_{pp} .

1. Визначаємо абсциси: CA_2 , CE_1 , CD , CD' , CQ .

$$CA_2 = a = 360 \text{ мм; } CE_1 = \lambda'_v; CQ = l'_0$$

$$CD = a + A_2 D = 360 + 4169,95 = 4529,95 \text{ мм,}$$

де $A_2 D$ знайдемо за формулою:

$$A_2 D = A_1 B_1 \cdot \cos \delta = R_0 \cdot \sin \frac{\phi_{0-ш}}{2} \cdot \cos \delta =$$

$$= 540000 \cdot \sin \frac{0,0154444}{2} \cdot \cos 0,0001899 = 4169,95 \text{ мм,}$$

$$CD' = a + A_2 D' = 360 + 4169,9 = 4529,73 \text{ мм}$$

де $A_2 D'$ визначаємо за формулою:

$$A_2 D' = R_0 \cdot \sin \frac{\phi_{0-ш}}{2} \cdot \cos \delta + \frac{U_n^0 + III_p}{2} \cdot \operatorname{tg} \delta - t_1 \cdot \sin \delta =$$

$$540000 \cdot \sin \frac{0,0154444}{2} \cdot \cos 0,0001899 + \frac{157,3 + 155,72}{2} \cdot \operatorname{tg} 0,0001899 -$$

$$- 75,9 \cdot \sin 0,0001899 = 4169,97 \text{ мм.}$$

2. Знаходимо необхідні ординати розташування робочої грані рамної рейки відносно розрахункової горизонталі CQ . Визначаємо вертикальні ординати $EE_1 = t_{\min-2}^{pp}$; $D'D'_2 = t_{\min-1}^{pp}$; $DD_2 = (t_{\min-1}^{pp})'$, а також ординату проти кореня вістряка $QB'_3 = U_{pp}$, яка потрібна для проектування кореневого кріплення вістряка.

2.1. Визначаємо центральний кут $\beta_{t_{\min-2}^{pp}}$:

$$R_{pp}^{en} \cdot \sin \beta_{t_{\min-2}^{pp}} - R_{pp}^{en} \cdot \sin \beta_{n-2} = CE_1$$

$$538480 \cdot \sin \beta_{t_{\min-2}^{pp}} - 538480 \cdot \sin 0,01005672 = 2594,27,$$

звідси $\beta_{t_{\min-2}^{pp}} = 0,0148745 \text{ рад}$

Ординату $EE_1 = t_{\min-2}^{pp}$ знаходимо за виразом:

$$R_{pp}^{en} \cdot \cos \beta_{n-2} - R_{pp}^{en} \cdot \cos \beta_{t_{\min-2}^{pp}} = EE_1 = t_{\min-2}^{pp}$$

$$538480 \cdot \cos 0,01005672 - 538480 \cdot \cos 0,0148745 = 32,34 \text{ мм.}$$

2.2. Центральний кут $(\beta_{t_{\min-1}^{pp}})'$ визначаємо з виразу:

$$R_{pp}^{6H} \cdot \sin(\beta_{t_{\min-1}^{pp}})' - R_{pp}^{6H} \cdot \sin \beta_{H-2} = CD$$

$$538480 \cdot \sin(\beta_{t_{\min-1}^{pp}})' - 538480 \cdot \sin 0,01005627 = 4529,95.$$

Звідси $(\beta_{t_{\min-1}^{pp}})' = 0,0184693 \text{ рад}$

Ординату $DD_2 = (t_{\min-1}^{pp})'$ визначаємо за формулою:

$$R_{pp}^{6H} \cdot \cos \beta_{H-2} - R_{pp}^{6H} \cdot \cos(\beta_{t_{\min-1}^{pp}})' = DD_2 = (t_{\min-1}^{pp})' =$$

$$538480 \cdot \cos 0,01005627 - 538480 \cdot \cos 0,0184693 = 64,61 \text{ мм.}$$

2.3. Другу ординату в іншому перерізі $D'D_2' = t_{\min-1}^{pp}$, знаходимо за допомогою центрального кута $\beta_{t_{\min-1}^{pp}}$, який визначаємо за формулою:

$$R_{pp}^{6H} \cdot \sin \beta_{t_{\min-1}^{pp}} - R_{pp}^{6H} \cdot \sin \beta_{H-2} = CD'$$

$$538480 \cdot \sin \beta_{t_{\min-1}^{pp}} - 538480 \cdot \sin 0,01005627 = 4529,73 \text{ мм,}$$

звідси кут $\beta_{t_{\min-1}^{pp}} = 0,0184694 \text{ рад}$.

$D'D_2' = t_{\min-1}^{pp}$ визначаємо з рівняння:

$$R_{pp}^{6H} \cdot \cos \beta_{H-2} - R_{pp}^{6H} \cdot \cos \beta_{t_{\min-1}^{pp}} = D'D_2' = t_{\min-1}^{pp}$$

$$538480 \cdot \cos 0,01005627 - 538480 \cdot \cos 0,0184694 = 64,61 \text{ мм.}$$

2.4. Визначаємо третю шукана величину $U_{pp} = QB_3'$ за допомогою кута $\beta_{\text{повн-2}}$, який знаходимо за ф-ою:

$$R_{pp}^{6H} \cdot \sin \beta_{\text{повн-2}} - R_{pp}^{6H} \cdot \sin \beta_{H-2} = CQ = l_0'$$

$$538480 \cdot \sin \beta_{\text{повн-2}} - 538480 \cdot \sin 0,01005627 = 8698,85 \text{ мм,}$$

звідси кут $\beta_{\text{повн-2}} = 0,0262125 \text{ рад}$

$$U_{pp} = QB_3' = R_{pp}^{6H} \cdot \cos \beta_{H-2} - R_{pp}^{6H} \cdot \cos \beta_{\text{повн-2}} =$$

$$538480 \cdot \cos 0,01005627 - 538480 \cdot \cos 0,0262125 = 157,75 \text{ мм.}$$

4 етап. Визначення шуканих мінімальних значень ширини жолоба між рамною рейкою і відведеним вістряком у розрахункових перерізах $t_{\min-1}$ та $t_{\min-2}$ і абсолютного мінімального жолоба $t_{\min \min}$.

Мінімальну ширину жолоба $t_{\min-1}$ (по вертикалі) в зоні максимального вигину вістряка визначаємо за виразами:

$$t_{\min-1} = t_{\min-1}^{01} + t_{\min-1}^{pp} = 75,90 + 64,61 = 140,51 \text{ мм;}$$

$$(t_{\min-1})' = t_{\min-1}^{02} + (t_{\min-1}^{pp})' = 75,90 + 64,61 = 140,51 \text{ мм.}$$

З двох значень $t_{\min-1}$ і $(t_{\min-1})'$ знаходимо найменше:

$$\left. \begin{matrix} t_{\min-1} \\ (t_{\min-1})' \end{matrix} \right\} (\min t_{\min-1})_{(верт)} = 140,51 \text{ мм.}$$

Мінімальну ширину жолобу $t_{\min-2}$ визначаємо за формулою:

$$(t_{\min-2})_{\text{верт}} = t_{\min-2}^0 + t_{\min-2}^{pp} = 78,9 + 32,34 = 111,3 \text{ мм.}$$

Кінцеві значення мінімальної ширини жолобу по нормалі в розрахункових перерізах $D_1'D'D_2'$ і B_4DD_2 (у зоні максимального вигину вістряка) знайдемо за формулами:

у перерізі $D_1'D'D_2'$ (див. рис. 2.6, 2.11):

$$\begin{aligned} (t_{\min-1})_{\text{норм}} &= (t_{\min-1})_{\text{верт}} \cdot \cos\left(\frac{\beta_{t_{\min-1}^{pp}} - \delta}{2}\right) - \\ &\quad - (t_{\min-1})_{\text{верт}} \cdot \sin\left(\frac{\beta_{t_{\min-1}^{pp}} - \delta}{2}\right) \cdot \text{tg}\left(\frac{\beta_{t_{\min-1}^{pp}} - \delta}{2}\right) \\ &= 140,51 \cdot \cos\left(\frac{0,0184694 - 0,0001899}{2}\right) - 140,51 \cdot \sin\left(\frac{0,0184694 - 0,0001899}{2}\right) \times \\ &\quad \times \text{tg}\left(\frac{0,0184694 - 0,0001899}{2}\right) = 140,49 \text{ мм;} \end{aligned}$$

у перерізі B_4DD_2 (див. рис. 2.6, 2.12):

$$\begin{aligned} (t_{\min-1})'_{\text{норм}} &= (t_{\min-1})'_{\text{верт}} \cdot \cos\frac{(\beta_{t_{\min-1}^{pp}})' - \delta_1}{2} - \\ &\quad - (t_{\min-1})'_{\text{верт}} \cdot \sin\frac{(\beta_{t_{\min-1}^{pp}})' - \delta_1}{2} \cdot \text{tg}\frac{(\beta_{t_{\min-1}^{pp}})' - \delta_1}{2} \\ &= 140,51 \cdot \cos\left(\frac{0,0184693 - 0,0001899}{2}\right) - 140,51 \cdot \sin\left(\frac{0,0184693 - 0,0001899}{2}\right) \times \\ &\quad \times \text{tg}\left(\frac{0,0184693 - 0,0001899}{2}\right) = 140,49 \text{ мм.} \end{aligned}$$

З 2-х визначених розрахункових значень обираємо абсолютно найменшу величину:

$$\left. \begin{aligned} (t_{\min-1})_{\text{норм}} &= 140,49 \text{ мм} \\ (t_{\min-1})'_{\text{норм}} &= 140,49 \text{ мм} \end{aligned} \right\} \min(t_{\min-1})_{(\text{норм})} = 140,49 \text{ мм.}$$

Мінімальну ширину жолоба проти кінця бокової строжки вістряка знаходимо за виразом:

$$\begin{aligned} (t_{\min-2})_{\text{норм}} &= (t_{\min-2})_{\text{верт}} \cdot \cos\left(\frac{y+x}{2}\right) - (t_{\min-2})_{\text{верт}} \cdot \sin\left(\frac{y+x}{2}\right) \cdot \text{tg}\left(\frac{y-x}{2}\right) \\ &= 111,3 \cdot \cos\left(\frac{0,0148745 + 0,0033949}{2}\right) - 111,3 \cdot \sin\left(\frac{0,0148745 + 0,0033949}{2}\right) \times \\ &\quad \times \text{tg}\left(\frac{0,0148745 - 0,0033949}{2}\right) = 111,3 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Визначити абсолютно мінімальну ширину жолоба $t_{\min \min}$ між рамною рейкою і відведеним вістряком як найменшу із порівняння 3-х величин:

$$\left. \begin{aligned} (t_{\min-1})_{\text{норм}} &= 140,49 \text{ мм} \\ (t_{\min-1})'_{\text{норм}} &= 140,49 \text{ мм} \\ (t_{\min-2})_{\text{норм}} &= 111,3 \text{ мм} \end{aligned} \right\} \rightarrow t_{\min \min}^{\text{розр}} = 111,3 \text{ мм}.$$

На цьому задача пошуку та визначення мінімальної розрахункової ширини жолоба $t_{\min \min}^{\text{розр}}$ вирішена повністю для схеми відведеного вістряка за рис. 2.6.

Після визначення мінімальної розрахункової ширини жолобу $t_{\min \min}^{\text{розр}}$ порівнюємо її з допустимим мінімальним розміром жолоба $[t_{\min}]_{\text{дон}} = 71 \text{ мм}$. Фактичний розрахунковий мінімальний жолоб більше допустимого, тобто виконується нерівність $t_{\min \min}^{\text{розр}} = 111,3 \text{ мм} > [t_{\min}]_{\text{дон}} = 71 \text{ мм}$, умови безпеки проходу колісних пар по розглядуваній зоні стрілочного переводу забезпечені.

Визначення довжини рейок, що входять до складу симетричного переводу з криволінійними вістряками

Приймаємо довжини рейок:

$$l_1 = l_3 = l_5 = l_7 = l_{\text{н.р.}} / 4 = 25,0 / 4 = 6,25 \text{ м}.$$

Довжини рейок l_2 і l_8 визначаються з урахуванням кривизни вістряка за формулою:

$$\begin{aligned} l_2 = l_8 &= m_1 - S_{\text{вістрп}} \cdot \text{tg} \beta_{\text{н-1}} + \left(R_0 - S_{\text{кр}} - \frac{b_c}{2} \right) \cdot (\beta_{\text{повн-1}} - \beta_{\text{н-1}}) + \\ &+ \left(R - S_{\text{кр}} - \frac{b_c}{2} \right) \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - \beta_{\text{повн-1}} \right) + d + p + S_0 \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} - l_{\text{р.р}} - l_7 - 2\delta = \\ &= 2360 - 1528 \cdot \text{tg} 0,01002764 + \left(540000 - 1520 - \frac{70}{2} \right) \cdot (0,026138755 - 0,01002764) + \\ &+ \left(540000 - 1520 - \frac{70}{2} \right) \cdot \left(\frac{0,0906598}{2} - 0,026138755 \right) + 3060 + 2300 + 1520 \cdot \text{tg} \frac{0,0906598}{2} - \\ &- 12500 - 6250 - 0 - 8 = 9427 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Довжини рейок l_4 і l_6 визначаємо виходячи з розгляду сумарної довжини по внутрішній нитці за формулою:

$$l_4 = l_6 = \left(R + \frac{b_z}{2} \right) \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - \beta_{повн-1} \right) + d - l_3 - h - \delta =$$

$$\left(540000 + \frac{70}{2} \right) \cdot \left(\frac{0,0906598}{2} - 0,026138755 \right) + 3060 - 6250 - 2650 - 8 = 5943 \text{ мм.}$$

Розрахунок координат для розбивки кривої переходу з криволінійними вістрями

У цьому випадку відомими вихідними даними для виконання розрахунків будуть: R , α , β_{n-1} , $\beta_{повн-1}$, d , $S_{вістр}$, L_T , l_0' .

Теоретичну і практичну довжини симетричного стрілочного переходу з криволінійними вістрями визначимо за формулами:

$$L_T = R_0 (\sin \beta_{повн-1} - \sin \beta_{n-1}) + R (\sin \alpha / 2 - \sin \beta_{повн-1}) + d \cdot \cos \alpha / 2 =$$

$$= 540000 \cdot (\sin 0,026138755 - \sin 0,01002764) +$$

$$540000 \cdot \left(\sin \frac{0,0906598}{2} - \sin 0,026138755 \right) +$$

$$+ 3060 \cdot \cos \frac{0,0906598}{2} = 22112 \text{ мм;}$$

$$L_{II} = m_1 + L_T + p \cdot \cos \alpha / 2 = 2360 + 22112 + 2300 \cdot \cos \frac{0,0906598}{2} = 26770 \text{ мм.}$$

За початок прямокутної системи координат приймається точка C , що знаходиться на осі прямої колії (осі симетрії) навпроти кореня вістря.

Абсциси x проміжних точок приймають послідовно рівними $x_1=2000$ мм, $x_2=4000$ мм, $x_3=6000$ мм і т.д. Абсциса кінця перевідної кривої визначиться за формулою:

$$x_k = R \left(\sin \frac{\alpha}{2} - \sin \beta_{повн-1} \right) = 540000 \left(\frac{0,0906598}{2} - 0,026138755 \right) = 10356 \text{ мм;}$$

або

$$x_k = L_T - l_0' - d \cdot \cos \frac{\alpha}{2} = 22112 - 8698,85 - 3060 \cdot \cos \frac{0,0906598}{2} = 10356 \text{ мм.}$$

Ординати точок перевідної кривої відповідно до рис. 2.4 визначимо за формулами (2.46) і всі розрахунки зведемо у таблицю А.1.

Таблица А.1

x_i , мм	$\sin \gamma_i = \sin \beta_{\text{повн-1}} + \frac{x_i}{R}$	$\cos \gamma_i$	y_i , мм
$x_0=0$	$\sin \gamma_0 = \sin \beta_{\text{повн-1}} = 0,02613875$	0,9996584	$y_0 = \frac{1520}{2} - 540000(0,9999497 - 0,9996584) = 602,7$
$x_1=2000$	$\sin \gamma_1 = 0,02613875 + \frac{2000}{540000} = 0,0298395$	0,9995547	$y_1 = 602,7 - 540000(0,9996584 - 0,9995547) = 546,7$
$x_2=4000$	$\sin \gamma_2 = 0,02613875 + \frac{4000}{540000} = 0,0335432$	0,9994373	$y_2 = 602,7 - 540000(0,9996584 - 0,9994373) = 483,3$
$x_3=6000$	$\sin \gamma_3 = 0,02613875 + \frac{6000}{540000} = 0,0372469$	0,9993061	$y_3 = 602,7 - 540000(0,9996584 - 0,9993061) = 412,4$
$x_4=8000$	$\sin \gamma_4 = 0,02613875 + \frac{8000}{540000} = 0,0409506$	0,9991612	$y_4 = 602,7 - 540000(0,9996584 - 0,9991612) = 334,2$
$x_5=10000$	$\sin \gamma_5 = 0,02613875 + \frac{10000}{540000} = 0,04446543$	0,999003	$y_5 = 602,7 - 540000(0,9996584 - 0,999003) = 248,5$
$x_6=10356$	$\sin \gamma_6 = \sin \frac{\alpha}{2} = 0,045314$	0,998973	$y_7 = d \cdot \sin \frac{\alpha}{2} = 3060 \cdot \sin \frac{0,0906598}{2} = 203,7$

РОЗРАХУНОК ОДИНОЧНОГО РІЗНОСТОРОННЬОГО СИМЕТРИЧНОГО СТРІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ ТИПУ Р50 МАРКИ 1/9

Вихідні дані приймаються з типового перевodu, проекту 2064 Дніпропетровського стрілочного заводу, а саме: кут стрілочного перевodu $\alpha=6^{\circ}20'25''$; початковий кут вістряка $\beta_{n-1}=0^{\circ}34'28,35''=0,01002765$ рад; радіус вістряка і радіус перевідної кривої відповідно $R_0=540\,000$ мм, $R=421939$ мм; довжина вістряка $l_0=6515$ мм; розміри передньої і задньої частини хрестовини відповідно $h=2085$ мм, $p=1880$ мм.

Але відмінність прийнятого до розрахунку стрілочного перевodu від типового полягає в тому, що радіус перевідної кривої $R=421939$ мм, згідно прийнятої в теорії розрахункової методики, починається безпосередньо від кореня вістряка, на відміну від типового проекту, де цей радіус R починається лише після абсциси $x_1=4069$ мм за коренем вістряка.

Розрахунок основних геометричних параметрів симетричного стрілочного перевodu з криволінійними вістряками

Мінімальна довжина прямої вставки $d_{\min}$ перед хрестовиною приймається за формулою:

$$d_{\min} \geq h_{np} + \frac{l_n}{2} \geq 2085 + \frac{820}{2} \geq 2495 \text{ мм.}$$

Наведемо тут значення синусів, косинусів та тангенсів вже відомих нам кутів, що будуть застосовуватись у подальших розрахунках:

$$\cos \alpha = 0,9938836; \sin \alpha = 0,1104329; \operatorname{tg} \alpha = 0,1111126;$$

$$\cos \frac{\alpha}{2} = 0,9984697; \sin \frac{\alpha}{2} = 0,0553011; \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 0,0553859;$$

$$\cos \beta_{n-1} = 0,9999497; \sin \beta_{n-1} = 0,0100275.$$

Кут вістряка в корені $\beta_{\text{повн-1}}$ обчислюється (в рад) за формулою:

$$\beta_{\text{повн-1}} = \beta_{n-1} + \frac{l_0}{R_0} = 0,01002764 + \frac{6515}{540000} = 0,02209246 \text{ рад} = 1,26580473^{\circ} = 1^{\circ}15'56,89'',$$

$$\cos \beta_{\text{повн-1}} = 0,9997559; \sin \beta_{\text{повн-1}} = 0,0220907.$$

Отримавши кут $\beta_{\text{повн-1}}$ можемо розрахувати повну довжину прямої вставки за формулою:

$$d = \frac{\frac{S_0}{2} - R(\cos \beta_{повн-1} - \cos \frac{\alpha}{2}) - R_0 \cdot (\cos \beta_{н-1} - \cos \beta_{повн-1})}{\sin \frac{\alpha}{2}} =$$

$$\frac{\frac{1520}{2} - 421939(0.9997559 - 0.9984697) - 540000(0.9999497 - 0.9997559)}{0.0553011} = 2037,11 \text{ мм.}$$

Оскільки повна довжина прямої вставки d отримана меншою за мінімальну $d_{\min}$, то для подальшого розрахунку приймаємо величину мінімальної прямої вставки $d_{\min} = 2495$ мм.

Перевіряємо величину радіуса R за умовою обмеження величини непогашених відцентрових прискорень $\gamma_0^{розр}$, що діють при встановленому русі колісного екіпажу по стрілці при різних швидкостях руху $V_{бок}$ на боковий напрям.

$$\gamma_0^{розр} = \frac{V_{бок}^2}{R} \leq [\gamma_0] \rightarrow \gamma_0^{розр} = \frac{(50 / 3,6)^2}{421939} = 0,4572 \leq [\gamma_0] = 0,8 \text{ м / с}^2;$$

$$\gamma_0^{розр} = \frac{(60 / 3,6)^2}{421,939} = 0,6584 \leq [\gamma_0] = 0,8 \text{ м / с}^2;$$

$$\gamma_0^{розр} = \frac{(65 / 3,6)^2}{421,939} = 0,7727 \leq [\gamma_0] = 0,8 \text{ м / с}^2;$$

$$\gamma_0^{розр} = \frac{(66 / 3,6)^2}{421,939} = 0,7966 \leq [\gamma_0] = 0,8 \text{ м / с}^2.$$

Умова виконується при максимальній швидкості руху на боковий напрям колії до $V_{бок}^{\max} = 66$ км/год. Таким чином можна встановити допускаєму швидкість по стрілочному переводу $V_{бок}^{\max} = 65$ км/год.

Розрахунок довжини бокової строжки криволінійного вістряка симетричного стрілочного переводу

Розрахунок довжини строжки криволінійного вістряка симетричного переводу виконується відповідно до схеми і позначень рис. 2.2.

Для рішення задачі відомими або раніше визначеними параметрами є: $1/9$ (або кут α); $P50$; $\beta_{н-1}$; l_0 ; R_0 ; $R_{pp}^{\text{ен}} = R_0 - S_{кр} = 538\,480$ мм (при встановленому нормативі ширини колії $S_{кр} = 1520$ мм).

Для визначення довжини бокової строжки вістряка λ_v розраховуємо деякі допоміжні величини, а саме.

1. Повний початковий кут між робочою гранню вістряка і робочою гранню рамної рейки за формулою:

$$\beta_n = \beta_{н-1} + \beta_{н-2}.$$

2. У виразі невідомим є початковий кут рамної рейки β_{n-2} , його можна визначити за формулою:

$$\sin \beta_{n-2} = \frac{A}{R_{pp}^{en}} = \frac{5414,85}{538\,480} = 0,0100561 \text{ рад.}$$

3. Відстань A можна визначити з виразу:

$$A = R_0 \cdot \sin \beta_{n-1} = 540\,000 \cdot 0,0100275 = 5414,85 \text{ мм.}$$

Звідси кут $\beta_{n-2} = 0,0100563 \text{ рад} = 0,5761833^\circ = 0^\circ 34' 34,26''$.

Отже, повний початковий кут між робочою гранню вістряка і робочою гранню рамної рейки дорівнює:

$$\beta_n = \beta_{n-1} + \beta_{n-2} = 0,01002765 + 0,0100563 = 0,02008392 \text{ рад.}$$

4. Стріли сегментів f і f_{en} визначаються з виразів:

$$f = R_0 \cdot (1 - \cos \beta_{n-1}) = 540\,000(1 - 0,9999497) = 27,15 \text{ мм.}$$

$$f_{en} = R_{pp}^{en} - \sqrt{(R_{pp}^{en})^2 - A^2} = 538\,480 - \sqrt{538\,480^2 - 5414,85^2} = 27,23 \text{ мм.}$$

5. Довжина прямої $A + \lambda'_v$, що включає величину проекції бокової строжки вістряка λ'_v на горизонтальну вісь визначається за формулою:

$$A + \lambda'_v = \sqrt{R_0^2 - (R_0 - B)^2} = \sqrt{(R_{pp}^{en})^2 - (R_{pp}^{en} - B_{en})^2}.$$

У формулі (2.18) невідомими є B і B_{en} , також потрібно знайти U'_0 .

6. Довжина B_{en} визначається з рис. 2.2 за формулою (2.19):

$$B_{en} = U'_0 - [B - (f + f_{en})] = U'_0 + (f + f_{en}) - B.$$

Довжину U'_0 для 1-го етапу розрахунків можна визначити за формулою (2.20), так як кут ε_u є, поки що, невідомим

$$U'_0 = \frac{U_0}{\cos(\beta_{n-1} + \beta_{n-2})} = \frac{64,6}{\cos(0,01002764 + 0,0100559)} = 64,61 \text{ мм.}$$

В подальшому, після визначення довжини бокової строжки вістряка λ'_v слід уточнити значення U'_0 за формулою:

Довжина відрізка B визначається за формулою:

$$\begin{aligned} B &= \frac{(U'_0 + f + f_{en}) \cdot (2R_{pp}^{en} - U'_0 - f - f_{en})}{2(R_0 + R_{pp}^{en} - U'_0 - f - f_{en})} = \\ &= \frac{(64,61 + 27,15 + 27,23) \cdot (2 \cdot 538\,480 - 64,61 - 27,15 - 27,23)}{2 \cdot (540\,000 + 538\,480 - 64,61 - 27,15 - 27,23)} = 59,41 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Після цього знайдемо B_{en}

$$\begin{aligned} B_{en} &= U'_0 - [B - (f + f_{en})] = U'_0 + (f + f_{en}) - B = \\ &= 64,61 + (27,15 + 27,23) - 59,41 = 59,99 \text{ мм.} \end{aligned}$$

7. Тепер довжина проекції бокової строжки вістряка λ'_v на горизонтальну вісь знайдеться за формулою:

$$\lambda'_v = \sqrt{2R_0B - B^2} - A = \sqrt{2 \cdot 540\,000 \cdot 59,41 - 59,41^2} - 5414,85 = 2567,26 \text{ мм.}$$

8. Дійсна довжина бокової строжки вістряка λ_v визначається з виразу:

$$\lambda_v = \frac{\lambda'_v}{\cos \tau},$$

де кут τ знаходиться з виразу:

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{B_{\text{вн}} - f_{\text{вн}}}{\lambda'_v} = \frac{59,99 - 27,23}{2567,26} = 0,0127616,$$

звідси кут $\tau = 0,0127609 \text{ рад}$.

Отже,

$$\lambda_v = \frac{\lambda'_v}{\cos \tau} = \frac{2567,26}{\cos 0,0127609} = 2567,47 \text{ мм.}$$

Кут ε_u в кінці бокової строжки вістряка, визначиться з виразу:

$$\sin \varepsilon_u = \frac{A + \lambda'_v}{R_0} = \frac{5414,85 + 2567,26}{540\,000} = 0,0147820,$$

звідси кут $\varepsilon_u = 0,0147825 \text{ рад} = 0,8469722^\circ = 0^\circ 50' 49,1''$.

Уточнюємо значення U'_0 за формулою:

$$U'_0 = \frac{U_0}{\cos \varepsilon_u} = \frac{64,6}{\cos 0,0147825} = 64,61 \text{ мм.}$$

Розрахунок довжини рамних рейок і величини переднього і заднього вильоту рамної рейки

Задача вирішується з розгляду рис. 2.3. Для рішення задачі в якості вихідних даних приймаються раніше визначені параметри: β_{n-1} ; l_0 ; R_0 ; $R_{pp}^{\text{вн}}$; β_{n-2} ; A ; λ_v ; ε_u .

З рис. 2.3 можна побачити, що загальна довжина рамної рейки складається з 2-х прямолінійних і 2-х криволінійних відрізків:

$$l_{pp} = m_1 + \lambda_v + l_{pp}^{kp-1} + l_{pp}^{kp-2}.$$

Знайдемо послідовно ці відрізки.

1. Довжину 1-го криволінійного відрізка рамної рейки $b_1B_3 = l_{pp}^{kp-1}$ визначається з виразу:

$$l_{pp}^{kp-1} = R_{pp}^{\text{вн}} \cdot (\beta_{\text{повн-2}} - \varepsilon_u^{\text{вн}}).$$

Центральний кут $\beta_{\text{повн-2}}$ визначається з виразу:

$$\sin \beta_{\text{повн-2}} = \frac{A + l'_0}{R_{pp}^{\text{вн}}} = \frac{5414,85 + 6514,1}{538\,480} = 0,02215302.$$

У рівнянні невідома лише l'_0 - проекція вістряка на горизонталь, яка знайдеться з виразу:

$$l'_0 = R_0 \cdot \sin \beta_{повн-1} - R_0 \cdot \sin \beta_{н-1} =$$

$$= 540\,000 \cdot \sin 0,0220907 - 540\,000 \cdot \sin 0,0100275 = 6514,128 \text{ мм.}$$

Звідси кут $\beta_{повн-2} = 0,02215484 \text{ рад.}$

Центральний кут ε_u^{6H} можна визначити з рис. 2.3 за формулою:

$$\varepsilon_u^{6H} = \beta_{н-2} + \varepsilon_{6H} = 0,0100563 + 0,004768 = 0,0148243 \text{ рад,}$$

де кут ε_{6H} - визначається з виразу:

$$\sin\left(\frac{\varepsilon_{6H}}{2}\right) = \frac{\lambda_v}{2R_{pp}^{6H}} = \frac{2567,47}{2 \cdot 538\,480} = 0,00238399,$$

звідси кут $\varepsilon_{6H} = 0,004768 \text{ рад.}$

Таким чином, визначені усі необхідні величини для розрахунку довжини 1-го криволінійного відрізка рамної рейки l_{pp}^{kp-1} за формулою:

$$l_{pp}^{kp-1} = R_{pp}^{6H} \cdot (\beta_{повн-2} - \varepsilon_u^{6H}) = 538\,480 \cdot (0,02215484 - 0,0148243) = 3947,36 \text{ мм.}$$

2. Довжина 2-го криволінійного відрізка рамної рейки $B_3B_4 = l_{pp}^{kp-2}$ є довжиною заднього вильоту рамної рейки $l_{pp}^{kp-2} = m_2$ знаходиться за формулою:

$$l_{pp}^{kp-2} = R_{pp}^{6H} (\beta_{повн}^{pp} - \beta_{повн-2}).$$

У рівнянні невідомим є лише $\beta_{повн}^{pp}$ - центральний кут у кінці рамної рейки. Його можна визначити розглядаючи схему розкладки брусів від кореня вістряка до стику рамної рейки за формулою:

$$\sin \beta_{повн}^{pp} = \frac{A + l'_0 + m'_2}{R_{pp}^{6H}} = \frac{5414,85 + 6514,1 + 1522,5}{538480} = 0,0248254,$$

звідси кут $\beta_{повн}^{pp} = 0,0248279 \text{ рад.}$

для чого потрібно ще вирахувати довжину проекції заднього вильоту рамної рейки на горизонталь m'_2 за формулою.

Приймаємо $b_{стр} = 540 \text{ мм}$, зазор в корені $\delta_k = 5 \text{ мм}$, зазор в стику рамної рейки $\delta = 0$.

$$m'_2 = \frac{c + \delta_k}{2} + 2 \cdot b_{стр} + \frac{c - \delta}{2} = \frac{440 + 5}{2} + 2 \times 540 + \frac{440 - 0}{2} = 1522,5 \text{ мм.}$$

3. Довжину переднього вильоту рамної рейки m_1 за формулою (2.39).

З умови забезпечення плавності відводу уширення колії, згідно вимог безпеки руху поїздів по стрілочних переводах із встановленими швидкостями, довжина переднього вильоту рамних рейок повинна бути не менше ніж встановлена за формулою.

Для забезпечення усіх необхідних вимог довжину переднього вильоту рамних рейок потрібно визначати за формулою:

$$\left. \begin{aligned} \min(m_1) &\geq m_1' \\ \text{тобто, потрібно щоб } m_1 &= \frac{c - \delta}{2} + n_1 b_{\text{стр}} - m_0 \geq \frac{S_{\text{вістрп}} - S_{\text{рр}}}{i_{\text{дон}}} \end{aligned} \right\},$$

де $i_{\text{дон}}$ = допустимий ухил відводу ширини колії, приймається при швидкостях руху на боковий напрямок $V_{\text{бок}} \leq 50$ км/год $i_{\text{дон}} = 0,002$ (марка 1/9, симетричний).

$$\begin{aligned} \min(m_1) &\geq m_1'; \\ m_1 &= \frac{c - \delta}{2} + n_1 b_{\text{стр}} - m_0 \geq \frac{S_{\text{вістрп}} - S_{\text{рр}}}{i_{\text{дон}}}; \\ m_1 &= \frac{440 - 8}{2} + 8 \cdot 540 - 41 = 4495 \text{ мм} \geq \frac{1528 - 1520}{0,002} = 4000 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Нерівність виконується.

Отже,

$$l_{\text{рр}}^{\text{кр}-2} = R_{\text{рр}}^{\text{вн}} (\beta_{\text{повн}}^{\text{рр}} - \beta_{\text{повн}-2}) = 538\,480 \cdot (0,02482799 - 0,02215484) = 1439,3 \text{ мм}.$$

Загальна довжина рамної рейки:

$$\begin{aligned} l_{\text{рр}} &= m_1 + \lambda_v + l_{\text{рр}}^{\text{кр}-1} + l_{\text{рр}}^{\text{кр}-2} = \\ &= 4495 + 2567,4 + 3947,3 + 1439,3 = 12500 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Розрахунок ширини мінімального жолоба між рамною рейкою і відведеним вістряком

Для вирішення задачі відомими або раніше визначеними величинами є: $R_0, l_0, l_0', \beta_n, \beta_{n-1}, \beta_{n-2}, \varepsilon_u, \beta_{\text{повн}-1}, \beta_{\text{повн}-2}, III, a, U_0, U_n^0$.

Потрібно визначити: мінімальну ширину жолобу між рамною рейкою і відведеним вістряком $t_{\text{мін}-1}, t_{\text{мін}-2}, t_{\text{мін}} \text{ мін}$.

З розгляду 2-ох варіантів схем взаємного розташування рамної рейки і відведеного вістряка: 1-й – при кореневій відстані більшій за величину ходу шиберу стрілочного приводу ($U_n^0 > III_p$); 2-й - при ($U_n^0 < III_p$) обираємо той, який підходить під наші задані умови.

Далі задача пошуку мінімальної ширини жолобу між рамною рейкою і відведеним вістряком буде вестись у декілька етапів

Рішення задачі за прикладом 2 (при $U_n^0 < III_p$)

Для визначення шуканих величин виконаємо деякі допоміжні побудови в кресленні 2.7. Проведемо хорду A_1B між коренем вістряка (точка B) і місцем кріплення стрілочної тяги до вістряка (в точці A_1).

Максимальна стріла сегменту f_1 від хорди A_1B буде розташована на радіусі-перпендикулярі, що проходить через середину хорди – точку B_1 . На продовженні радіуса-перпендикуляра проти стріли f_1 позначимо відстань між точками $B_4D_1 = t_1$, а відстань по вертикалі між точками $B_4D = t_{\min-1}^0$ - це буде мінімальна відстань по вертикалі між відведеним вістрямом і розрахунковою горизонталлю CQ . У цьому перерізі (проти точки B_4) потрібно буде визначити мінімальну відстань $DD_2 = t_{mn-1}^{pp}$ від рамної рейки до розрахункової горизонталі CQ . І після цього потрібно визначити сумарний мінімальний жолоб між відведеним вістрямом і рамною рейкою в першому конкуруючому перерізі – проти $(\cdot)B_4$ - максимального вигину вістряка

$$(t_{\min-1})^{perm} = t_{\min-1}^0 + t_{\min-1}^{pp}. \quad (2.102)'$$

Другу конкуруючу мінімальну відстань між зовнішньою кромкою вістряка і рамною рейкою потрібно визначити проти точки b_1 (кінця горизонтальної строжки вістряка) в перерізі b_1E_1E .

$$(t_{\min-2})^{perm} = t_{\min-2}^0 + t_{\min-2}^{pp}. \quad (2.105)'$$

Для розрахунків мінімальної відстані $b_1E_1 = t_{\min-2}^0$ від відведеного вістряка до розрахункової горизонталі CQ виконаємо допоміжні побудови в кресленні 2.7.

- 1) Проведемо радіус Obb_1 із центра кола в точку b_1 - кінця строжки вістряка;
- 2) Проведемо також радіуси OC_1 і OA_1 ;
- 3) Проведемо горизонталь A_1F до пересічення з вертикаллю QBF в корені вістряка;
- 4) Проведемо також хорду A_1B і перпендикуляри be_2 і B_3B_5 в розглядуваних перерізах із точок $(\cdot)b$ і $(\cdot)B_3$ на горизонталь A_1F .

Порядок вирішення задачі приймаємо наступний.

1 етап. Визначення $t_{\min-1}^0$ в перерізі B_4D .

- 1) Знайдемо величину III_p відстані між точками A_1 і A_2 за формулою:

$$III_p = III + t'_{uu} = 152 + 3,72 = 155,72 \text{ мм};$$

$$t'_{uu} = R_0 (\cos \beta_{n-1} - \cos(\beta_{n-1} + \beta_u)) = 540\,000 ((\cos 0,01002765 - \cos(0,01002765 + 0,0006667))) = 3,72 \text{ мм};$$

$$\beta_u = \frac{a}{R_0} = \frac{360}{540\,000} = 0,0006667 \text{ рад.}$$

Знайдемо величину ординати $BQ = U_n^0$ в корені вістряка також за відомою формулою:

$$U_n^0 = R_0 (\cos \beta_{n-1} - \cos \beta_{новн-1}) = 540\,000(0,9999497 - 0,9997564) = 104,6 \text{ мм.}$$

Після цього порівнюємо величини III_p і U_n^0 , щоб упевнитись у вихідній умові рішення задачі за схемою рис. 2.7 для випадку, коли $U_n^0 < III_p \rightarrow 104,6 \text{ мм} < 155,72 \text{ мм}$.

2) Знайдемо деякі допоміжні величини для визначення $t_{\min-1}^0$. Половина довжини хорди A_1B позначена $B_1B = A_1B_1$ визначається за формулою (2.57), а кут $\phi_{0-ш}$ за формулою (2.51):

$$\begin{aligned} \phi_{0-ш} &= \beta_{новн-1} - \beta_{n-1} - \beta_{ш} = 0,0220925 - 0,01002765 - 0,0006667 = \\ &= 0,0113981 \text{ рад} = 0,6530642^\circ = 0^\circ 39' 11'', \end{aligned}$$

$$B_1B = A_1B_1 = R_0 \cdot \sin \frac{\phi_{0-ш}}{2} = 540\,000 \cdot \sin \frac{0,01139812}{2} = 3077,48 \text{ мм.}$$

Уся довжина хорди визначиться за формулою:

$$A_1B = B_1B + B_1A_1 = 2R_0 \cdot \sin \frac{\phi_{0-ш}}{2} = 2 \cdot 3077,48 = 6154,96 \text{ мм.}$$

Максимальна стріла сегменту від хорди A_1B знайдеться за формулою:

$$f_1 = R_0 - B_1O = 540\,000 - 539\,991,23 = 8,77 \text{ мм,}$$

де довжина перпендикуляра на хорду визначиться за формулою:

$$B_1O = R_0 \cdot \cos \frac{\phi_{0-ш}}{2} = 540\,000 \cdot \cos \frac{0,01139812}{2} = 539\,991,23 \text{ мм.}$$

Величина відрізка BF визначається з формули:

$$BF = III_p - U_n^0 = 155,72 - 104,6 = 51,1 \text{ мм.}$$

Кут BA_1F позначений $\angle \delta$ з виразу:

$$\sin \delta = \frac{BF}{A_1B} = \frac{51,1}{6154,96} = 0,0083029,$$

звідси $\delta = 0,0083029 \text{ рад} = 0,4757194^\circ = 0^\circ 28' 32,59''$.

Довжина відрізка B_1B_2 визначиться з виразу:

$$B_1B_2 = A_1B_1 \cdot \operatorname{tg} \delta = 3077,48 \cdot \operatorname{tg} 0,0082979 = 3077,48 \cdot 0,0083029 = 25,55 \text{ мм.}$$

Відстань між точками B_2B_3 знайдеться з виразу:

$$B_2B_3 = f_1 + B_1B_2 = f_1 + \left(R_0 \cdot \sin \frac{\phi_{0-ш}}{2} \right) \cdot \operatorname{tg} \delta = 8,77 + 25,55 = 34,32 \text{ мм.}$$

Відстань по вертикалі між точками B_3B_5 , позначена на рис. 2.7 як $B_3B_5 = Z_1$ знайдеться з виразу:

$$Z_1 = B_3B_5 = B_2B_3 \cdot \cos \delta = 34,32 \cdot \cos 0,0083029 = 34,32 \text{ мм.}$$

3) Після цього можна визначити шукану величину $t_{\min-1}^0 = B_4D$ в перерізі B_4D за формулою:

$$t_{\min-1}^0 = III_p - Z_1 - \frac{U_0}{\cos \delta} = 155,72 - 34,32 - \frac{64,6}{\cos 0,0083029} = 56,81 \text{ мм.}$$

Для подальших розрахунків також буде потрібно знати довжину відрізка B_4D_1 , його можна знайти за формулою:

$$B_4D_1 = \frac{t_{\min-1}^0}{\cos \delta} = \frac{56,81}{\cos 0,0083029} = 56,87 \text{ мм.}$$

2 етап. Визначення $t_{\min-2}^0$ в перерізі b_1E_1 .

1) Знайдемо спочатку деякі допоміжні величини.

Кут $\angle OA_1b$ 3-кутника OA_1b (рис. 2.7) знайдеться з виразу (2.122), а невідомий кут $\varepsilon_{u-u-\beta_{n-1}}$ за формулою (2.74)

$$\begin{aligned} \varepsilon_{u-u-\beta_{n-1}} &= \varepsilon_u - \beta_{n-1} - \beta_u = 0,0147825 - 0,01002765 - 0,0006667 = \\ &= 0,0040882 \text{ рад} = 0,2342222^\circ = 0^\circ 14' 3,25'', \end{aligned}$$

тут кут $\varepsilon_u = 0,0147825 \text{ рад}$.

$$\angle OA_1b = \frac{180^\circ - \varepsilon_{u-u-\beta_{n-1}}}{2} = 90^\circ - \frac{\varepsilon_{u-u-\beta_{n-1}}}{2} = 90^\circ - \frac{0,2342222^\circ}{2} = 89,197744^\circ.$$

Кут $\angle bA_1e_2$, позначений як кут χ , знайдеться за формулою (4.255), а кут $\angle FA_1O$ за формулою (2.123)

$$\angle \chi = \angle OA_1b - \angle FA_1O = 89,40716^\circ - 89,197744^\circ = 0,209416^\circ = 0,01195792 \text{ рад},$$

де кут $\angle FA_1O$ знайдеться з виразу:

$$\begin{aligned} \angle FA_1O &= \angle BA_1O - \angle \delta = 90^\circ - \frac{\phi_{0-u}}{2} - \delta = \\ &= 90^\circ - \frac{0,6502778^\circ}{2} - 0,4757194^\circ = 89,197744^\circ. \end{aligned}$$

Довжина перпендикуляру be_2 , опущеного з $(\cdot)b$ на горизонталь A_1F і позначеного на рис. 2.7 як $be_2 = Z_2$ визначається з виразу (2.126), а невідоме значення A_1b за формулою:

$$\begin{aligned} A_1b &= 2R_0 \cdot \sin \frac{\varepsilon_{u-u-\beta_{n-1}}}{2} = 2 \cdot 540\,000 \cdot \sin \frac{0,0040882}{2} = 2207,62 \text{ мм}, \\ Z_2 &= A_1b \cdot \sin \chi = 2207,62 \cdot \sin 0,0119579 = 26,39 \text{ мм}. \end{aligned}$$

2) Після цього можна визначити шукану величину $t_{\min-2}^0$ за формулою:
 $t_{\min-2}^0 = III_p - Z_2 - U_0 \cdot \cos \chi = 155,72 - 26,39 - 64,6 \cdot \cos 0,01195792 = 64,74 \text{ мм}.$

3 етап. Визначення $t_{\min-1}^{pp}$, $t_{\min-2}^{pp}$ і U_{pp} .

1) Потрібно визначити абсциси: CE_1 , CD , CQ .

Відомо $CA_2 = a = 360 \text{ мм}$; $CE_1 = \lambda'_v = 2567,26,04 \text{ мм}$; $CD = 360 \text{ мм} + A_2D$.

З рис. 2.7 видно, що, $A_2D = A_1B_5$ де $A_1B_5 = A_1B_2 - B_2B_5$. Тобто, скориставшись формулою (2.128), можна визначити A_2D за формулою (2.129)

$$A_2 D = R_0 \frac{\sin \frac{\phi_{0-u}}{2}}{\cos \delta} - Z_1 \cdot \operatorname{tg} \delta = 540\,000 \frac{\sin \frac{0,0113981}{2}}{\cos 0,0083029} - 34,32 \cdot \operatorname{tg} 0,00823029 = 3077,3 \text{ мм.}$$

Отже, $CD = 360 + 3077,3 = 3437,3 \text{ мм.}$

Абсциса CQ визначається за формулою:

$$CQ = l'_0 = R_0 \cdot \sin \beta_{\text{новн-1}} - R_0 \cdot \sin \beta_{\text{н-1}} = 6514,1 \text{ мм.}$$

Таким чином усі необхідні абсциси визначені.

2) Після визначення абсцис знайдемо необхідні ординати. Порядок розрахунку наступний.

2.1. Ордината U_{pp} - від рамної рейки до розрахункової горизонталі CQ визначається за формулою:

$$\begin{aligned} U_{pp} &= BQ = R_{pp}^{\text{сн}} \cdot \cos \beta_{\text{н-2}} - R_{pp}^{\text{сн}} \cdot \cos \beta_{\text{новн-2}} = \\ &= 538480 \cdot \cos 0,0100563 - 538480 \cdot \cos 0,02215484 = 104,92 \text{ мм.} \end{aligned}$$

2.2. Першу шукану ординату $t_{\min-1}^{pp}$ можна визначити розглядаючи рівняння проекцій відносно центрального кута $\beta_{t_{\min-1}^{pp}}$. Центральний кут

$\beta_{t_{\min-1}^{pp}}$ проти шуканої ординати $t_{\min-1}^{pp}$ у точці $(\cdot)D_2$ можна визначити з виразу (2.131), де абсциса CD вже відома і знайдена за формулою (2.91). Далі з виразу 2.131 визначається спочатку $\sin \beta_{t_{\min-1}^{pp}}$, а потім і сам кут $\beta_{t_{\min-1}^{pp}}$.

$$\sin \beta_{t_{\min-1}^{pp}} = \frac{CD + R_{pp}^{\text{сн}} \cdot \sin \beta_{\text{н-2}}}{R_{pp}^{\text{сн}}} = \frac{3437,3 + 538480 \cdot \sin 0,0100563}{538480} = 0,0164394,$$

$$\text{звідси } \beta_{t_{\min-1}^{pp}} = 0,0164402 \text{ рад.}$$

Після цього можна визначити першу шукану ординату $t_{\min-1}^{pp}$ в перерізі DD_2 за формулою:

$$\begin{aligned} t_{\min-1}^{pp} &= DD_2 = R_{pp}^{\text{сн}} \cdot \cos \beta_{\text{н-2}} - R_{pp}^{\text{сн}} \cdot \cos \beta_{t_{\min-1}^{pp}} = \\ &= 538480 \cdot \cos 0,0100563 - 538480 \cdot \cos 0,0164402 = 45,54 \text{ мм.} \end{aligned}$$

2.3. Аналогічно визначаємо другу шукану ординату $t_{\min-2}^{pp}$, розглядаючи рівняння проекцій відносно центрального кута $\beta_{t_{\min-2}^{pp}}$.

Центральний кут $\beta_{t_{\min-2}^{pp}}$ проти шуканої ординати $t_{\min-2}^{pp}$ в точці $(\cdot)E$ можна визначити з виразу (2.133), де абсциса CE_1 вже визначена раніше $CE_1 = \lambda'_v$. Далі з визначається спочатку $\sin \beta_{t_{\min-2}^{pp}}$, а потім і сам кут $\beta_{t_{\min-2}^{pp}}$.

$$\sin \beta_{t_{\min-2}^{pp}} = \frac{CE_1 + R_{pp}^{\text{сн}} \cdot \sin \beta_{\text{н-2}}}{R_{pp}^{\text{сн}}} = \frac{2567,26 + 538480 \cdot \sin 0,0100563}{538480} = 0,0148237,$$

звідси кут $\beta_{t_{\min-2}^{pp}} = 0,0148243 \text{ рад}$.

Після цього можна визначити другу шукану ординату $t_{\min-2}^{pp}$ в перерізі E_1E :

$$\begin{aligned} t_{\min-2}^{pp} = EE_1 &= R_{pp}^{\text{сн}} \cdot \cos \beta_{\text{н-2}} - R_{pp}^{\text{сн}} \cdot \cos \beta_{t_{\min-2}^{pp}} = \\ &= 538480 \cdot \cos 0,0100563 - 538480 \cdot \cos 0,0148243 = 31,94 \text{ мм.} \end{aligned}$$

4 етап. Визначення шуканих мінімальних значень ширини жолоба між рамною рейкою і відведеним вістряком у розрахункових перерізах $t_{\min-1}$ та $t_{\min-2}$ і абсолютного мінімального жолоба $t_{\min \min}$.

Мінімальну ширину жолоба $t_{\min-1}$ (по вертикалі) в зоні максимального вигину вістряка (в перерізі B_4DD_2) визначаємо за формулою:

$$(t_{\min-1})_{\text{верт}} = t_{\min-1}^0 + t_{\min-1}^{pp} = 56,81 + 45,54 = 102,35 \text{ мм.}$$

Мінімальна ширина жолоба $t_{\min-2}$ (по вертикалі) проти кінця горизонтальної строжки вістряка (у перерізі b_1E_1E) визначається за формулою:

$$(t_{\min-2})_{\text{верт}} = t_{\min-2}^0 + t_{\min-2}^{pp} = 64,74 + 31,94 = 96,68 \text{ мм.}$$

Абсолютно мінімальний жолоб $t_{\min \min}$ між рамною рейкою і відведеним вістряком визначимо із порівняння двох знайдених значень мінімального жолоба $(t_{\min-1})_{\text{верт}}$ і $(t_{\min-2})_{\text{верт}}$. Ординату абсолютного мінімального жолобу знайдемо по найкоротшій відстані між рамною рейкою і вістряком за формулами:

у перерізі B_4DD_2 :

$$\begin{aligned} (t_{\min-1})_{\text{норм}} &= (t_{\min-1})_{\text{верт}} \cdot \cos \left(\frac{\beta_{t_{\min-1}^{pp}} + \delta}{2} \right) - (t_{\min-1})_{\text{верт}} \times \\ &\times \sin \left(\frac{\beta_{t_{\min-1}^{pp}} + \delta}{2} \right) \cdot \text{tg} \left(\frac{\beta_{t_{\min-1}^{pp}} - \delta}{2} \right) = 102,35 \cdot \cos \left(\frac{0,0164402 + 0,0083029}{2} \right) - \\ &- 102,35 \cdot \sin \left(\frac{0,0164402 + 0,0083029}{2} \right) \cdot \text{tg} \left(\frac{0,0164402 - 0,0083029}{2} \right) = 102,33 \text{ мм,} \end{aligned}$$

у перерізі b_1E_1E :

$$\begin{aligned} (t_{\min-2})_{\text{норм}} &= (t_{\min-2})_{\text{верт}} \cdot \cos \left(\frac{\beta_{t_{\min-2}^{pp}} + x}{2} \right) - (t_{\min-2})_{\text{верт}} \times \\ &\times \sin \left(\frac{\beta_{t_{\min-2}^{pp}} + x}{2} \right) \cdot \text{tg} \left(\frac{\beta_{t_{\min-2}^{pp}} - x}{2} \right) = 96,67 \cdot \cos \left(\frac{0,0148243 + 0,01195792}{2} \right) - \\ &- 96,5 \cdot \sin \left(\frac{0,0148243 + 0,01195792}{2} \right) \cdot \text{tg} \left(\frac{0,0148243 - 0,01195792}{2} \right) = 96,67 \text{ мм.} \end{aligned}$$

З 2-х визначених розрахункових значень вибираємо абсолютно найменшу величину, яка і буде визначати абсолютно мінімальний жолоб між рамною рейкою і відведеним вістряком за формулою:

$$\left. \begin{matrix} (t_{\min-1})_{\text{норм}} \\ (t_{\min-2})_{\text{норм}} \end{matrix} \right\} \min(t_{\min \min}) \quad \left. \begin{matrix} 102,33 \text{ мм} \\ 96,67 \text{ мм} \end{matrix} \right\} 96,67 \text{ мм.}$$

На цьому задача пошуку та визначення мінімальної ширини жолоба $t_{\min \min}$ вирішена повністю для схеми відведеного вістряка за рис. 2.7.

Визначення довжини рейок, що входять до складу симетричного переводу з криволінійними вістряками

Визначення довжини рейок виконується з розгляду рис. 4.30. Приймаємо довжини рейок:

$$l_1 = l_3 = l_5 = l_7 = l_{н.р.} / 4 = 25,0 / 4 = 6,25 \text{ м.}$$

Довжини рейок l_2 і l_8 визначаються з урахуванням кривизни вістряка за формулою:

$$\begin{aligned} l_2 = l_8 = m_1 - S_{\text{вістрп}} \cdot \operatorname{tg} \beta_{н-1} + \left(R_0 - S_{кр} - \frac{b_z}{2} \right) \cdot (\beta_{повн-1} - \beta_{н-1}) + \\ + \left(R - S_{кр} - \frac{b_z}{2} \right) \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - \beta_{повн-1} \right) + d + p + S_0 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - l_{п.р} - l_7 - 2\delta = \\ = 4495 - 1528 \cdot \operatorname{tg} 0,01002765 + \left(540000 - 1520 - \frac{70}{2} \right) \cdot (0,0220925 - 0,01002765) + \\ + \left(540000 - 1520 - \frac{70}{2} \right) \cdot \left(\frac{0,1106587}{2} - 0,0220925 \right) + 2495 + 1880 + 1520 \cdot \operatorname{tg} \frac{0,1106587}{2} - \\ - 12500 - 6250 - 0 - 8 = 10641,08 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Довжини рейок l_4 і l_6 визначаємо виходячи з розгляду сумарної довжини по внутрішній нитці за формулою:

$$\begin{aligned} l_4 = l_6 = \left(R + \frac{b_z}{2} \right) \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - \beta_{повн-1} \right) + d - l_3 - h - \delta = \\ \left(421939 + \frac{70}{2} \right) \cdot \left(\frac{0,1106587}{2} - 0,022095 \right) + 2495 - 6250 - 2085 - 8 = 8168,82 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Ширина колії S_0 , $S_{\text{вістрп}}$ приймається згідно нормативів «Інструкції» [42].

Розрахунок координат для розбивки кривої переходу з криволінійними вістрями

У цьому випадку відомими вихідними даними для виконання розрахунків будуть: R , α , β_{n-1} , $\beta_{повн-1}$, d , $S_{вістр}$, L_T , l'_0 .

Теоретичну і практичну довжини симетричного стрілочного переходу з криволінійними вістрями визначимо за формулами:

$$\begin{aligned} L_T &= R_0(\sin \beta_{повн-1} - \sin \beta_{n-1}) + R(\sin \alpha / 2 - \sin \beta_{повн-1}) + d \cdot \cos \alpha / 2 = \\ &= 540000 \cdot (\sin 0,0220925 - \sin 0,01002765) + 421939 \cdot \left(\sin \frac{0,1106587}{2} - \sin 0,0220925 \right) + \\ &+ 2495 \cdot \cos \frac{0,1106587}{2} = 23017,81 \text{ мм}, \end{aligned}$$

$$L_{II} = m_1 + L_T + p \cdot \cos \alpha / 2 = 44495 + 23017,81 + 1880 \cdot \cos \frac{0,1106587}{2} = 29389,93 \text{ мм}.$$

За початок прямокутної системи координат приймається точка C , що знаходиться на осі прямої колії (осі симетрії) навпроти кореня вістря (рис. 2.2).

Абсциси x проміжних точок приймають послідовно рівними $x_1=2000$ мм, $x_2=4000$ мм, $x_3=6000$ мм і т.д. Абсциса кінця перевідної кривої визначиться за формулою:

$$x_{\kappa} = R \left(\sin \frac{\alpha}{2} - \sin \beta_{повн-1} \right) = 421939 \left(\frac{0,1106587}{2} - 0,0220925 \right) = 14012,51 \text{ мм};$$

або

$$x_{\kappa} = L_T - l'_0 - d \cdot \cos \frac{\alpha}{2} = 23017,81 - 6514,1 - 2495 \cdot \cos \frac{0,1106587}{2} = 14012,63 \text{ мм}.$$

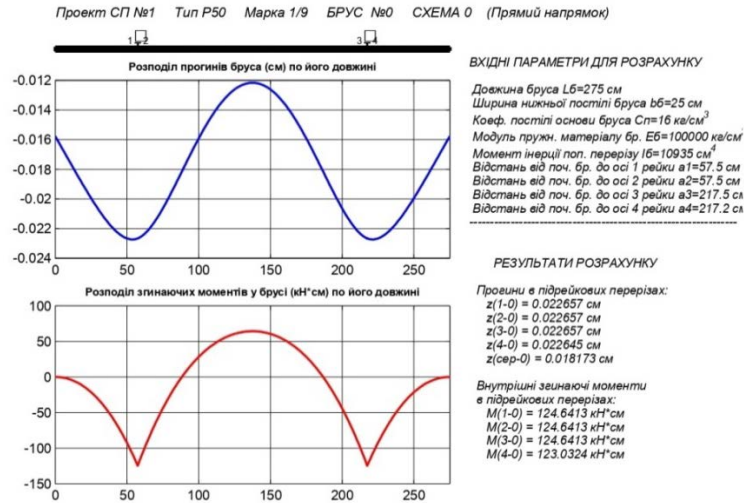
Ординати точок перевідної кривої відповідно до рис. 2.4 визначимо за формулами (2.46) і всі розрахунки зведемо у таблицю А.2.

Таблица А.2

x_i , мм	$\sin \gamma_i = \sin \beta_{\text{повн-1}} + \frac{x_i}{R}$	$\cos \gamma_i$	y_i , мм
$x_0=0$	$\sin \gamma_0 = \sin \beta_{\text{повн-1}} = 0,0220907$	0,0999756	$y_0 = \frac{1520}{2} - 540000(0,9999497 - 0,999756) = 655,37$
$x_1=2000$	$\sin \gamma_1 = 0,0220907 + \frac{2000}{421939} = 0,0268307$	0,9996399	$y_1 = 655,37 - 421939(0,999756 - 0,9996399) = 606,44$
$x_2=4000$	$\sin \gamma_2 = 0,0220907 + \frac{4000}{421939} = 0,0315707$	0,9995015	$y_2 = 655,37 - 421939(0,999756 - 0,9995015) = 548,01$
$x_3=6000$	$\sin \gamma_3 = 0,0220907 + \frac{6000}{421939} = 0,0363107$	0,9993406	$y_3 = 655,37 - 421939(0,999756 - 0,9993406) = 480,09$
$x_4=8000$	$\sin \gamma_4 = 0,0220907 + \frac{8000}{421939} = 0,0410507$	0,9991571	$y_4 = 655,37 - 421939(0,999756 - 0,9991571) = 402,67$
$x_5=10000$	$\sin \gamma_5 = 0,0220907 + \frac{10000}{421939} = 0,0457907$	0,9989511	$y_5 = 655,37 - 421939(0,999756 - 0,9989511) = 315,75$
$x_6=12000$	$\sin \gamma_6 = 0,0220907 + \frac{12000}{421939} = 0,0505307$	0,9987225	$y_6 = 655,37 - 421939(0,999756 - 0,9987225) = 219,31$
$x_7=14013$	$\sin \gamma_7 = \sin \frac{\alpha}{2} = 0,0553011$	-	$y_7 = d \cdot \sin \frac{\alpha}{2} = 2495 \cdot \sin \frac{0,1106587}{2} = 137,98$

Додаток Б

Результати розрахунку брусів на згин при дії одиничних сил та результуючі жорсткісні параметри



РОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

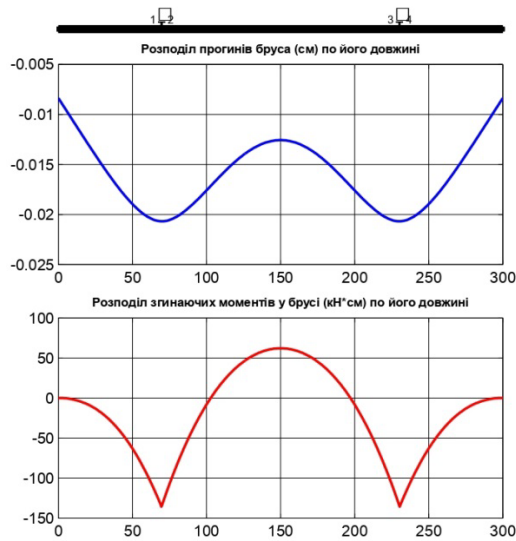
Проект №1 Тип Р50 Марка 1/9 БРУС №0

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса..... $L_0=275$ см
 Ширина бруса..... $b_0=25$ см
 Висота бруса..... $h_0=18$ см
 Відстань між осями пружних опор..... $l_0=52$ см
 Коефіцієнт постілі підрейкової основи..... $C_0=16$ кз/см³ (Літо)
 Модуль пружності матеріалу бруса на стискання..... $E_{cm}=800$ кз/см²
 Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса..... $C_{zm}=250$ кз/см³
 Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_1=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_2=660$ см²
 Момент інерції 1-ї рейкової нитки..... $I_1=2018$ см⁴
 Момент інерції 2-ї рейкової нитки..... $I_2=2018$ см⁴
 Проміжне скріплення: ☐

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ по прямій/боковій колії стрілочного переводу

Пружнодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса $\langle \alpha \rangle_i$	0.80207 0.80207	0.80308 0.80308	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна K_{bo}	44114 44114	44169 44169	кГ/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) K_{op}	36783 36783	36790 36790	кГ/см
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	20058 20058	20071 20071	кГ/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	385.73 385.73	385.99 385.99	кГ/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток I_{np}	2018 2018	2018 2018	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток K_{pn}	62812 62812	62844 62844	кГ/см



ВХІДНІ ПАРАМЕТРИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ

Довжина бруса $L_0=300$ см
 Ширина нижньої постілі бруса $b_0=26$ см
 Коеф. постілі основи бруса $C_n=16$ кг/см³
 Модуль пружн. матеріалу бр. $E_b=100000$ кг/см²
 Момент інерції поп. перерізу $I_0=12636$ см⁴
 Відстань від поч. бр. до осі 1 рейки $a_1=69,6$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 2 рейки $a_2=69,6$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 3 рейки $a_3=230,4$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 4 рейки $a_4=230,4$ см

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ

Прогини в підрейкових перерізах:
 $z(1-0) = 0,020679$ см
 $z(2-0) = 0,020679$ см
 $z(3-0) = 0,020679$ см
 $z(4-0) = 0,020679$ см
 $z(сер-0) = 0,016$ см

Внутрішні згинаючі моменти в підрейкових перерізах:
 $M(1-0) = 135,8072$ кН*см
 $M(2-0) = 135,8072$ кН*см
 $M(3-0) = 135,8072$ кН*см
 $M(4-0) = 135,8072$ кН*см

РОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

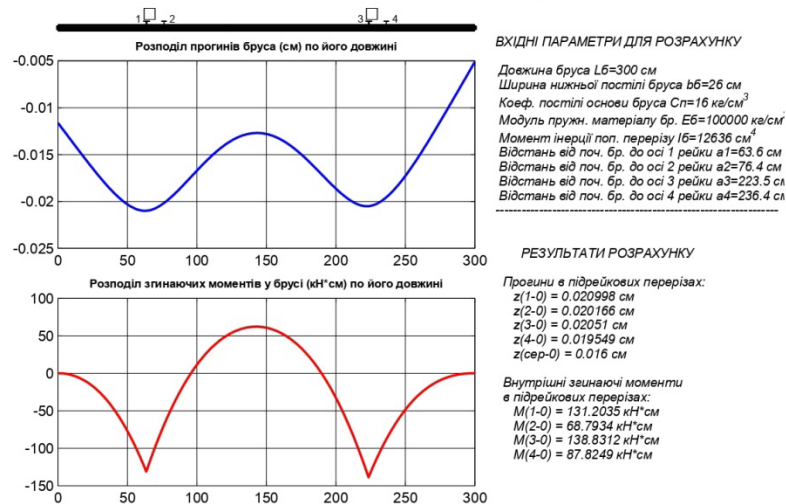
Проект №1 Тип Р50 Марка 1/9 БРУС №1

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса..... $L_0=300$ см
 Ширина бруса..... $b_0=26$ см
 Висота бруса..... $h_0=18$ см
 Відстань між осями пружних опор..... $l_0=60$ см
 Коефіцієнт постілі підрейкової основи..... $C_n=16$ кг/см³ (Літо)
 Модуль пружності матеріалу бруса на стискання..... $E_{ст}=800$ кг/см²
 Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса..... $C_{зм}=250$ кг/см³
 Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою...< Ω > $\Omega=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою...< Ω > $\Omega=660$ см²
 Момент інерції 1-ї рейкової нитки..... $I_1=2018$ см⁴
 Момент інерції 2-ї рейкової нитки..... $I_2=2018$ см⁴
 Проміжне скріплення: ☐

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ
 по прямій/боковій колії стрілочного переводу

Пружнодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса $\langle \alpha \rangle_i$	0.77375 0.77375	0.77375 0.77375	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна $K_{бо}$	48282 48282	48282 48282	кг/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) $K_{бр}$	37265 37265	37265 37265	кг/см
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	21032 21032	21032 21032	кг/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	350.53 350.53	350.53 350.53	кг/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток $I_{пр}$	2018 2018	2018 2018	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток $K_{рн}$	58463 58463	58463 58463	кг/см



РОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

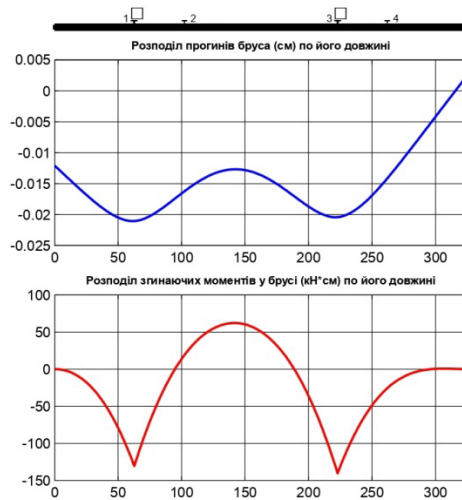
Проект №1 Тип P50 Марка 1/9 БРУС №19

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса..... $L_0=300$ см
 Ширина бруса..... $b_0=26$ см
 Висота бруса..... $h_0=18$ см
 Відстань між осями пружних опор..... $l_0=55$ см
 Коефіцієнт постілі підрейкової основи..... $C_n=16$ кг/см³ (Літо)
 Модуль пружності матеріалу бруса на стискання..... $E_0=800$ кг/см²
 Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса..... $C_{zm}=250$ кг/см³
 Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою...<Omega>1=660 см²
 Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою...<Omega>2=660 см²
 Площа металевої підкладки під 3-ю рейковою ниткою...<Omega>3=660 см²
 Площа металевої підкладки під 4-ю рейковою ниткою...<Omega>4=600 см²
 Момент інерції 1-ї рейкової нитки..... $I_1=2018$ см⁴
 Момент інерції 2-ї рейкової нитки..... $I_2=2018$ см⁴
 Момент інерції 3-ї рейкової нитки..... $I_3=2018$ см⁴
 Момент інерції 4-ї рейкової нитки..... $I_4=2018$ см⁴

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ по прямій/боковій колії стрілочного переводу

Пружнодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса α_i	0.76197 0.76204	0.78013 0.78015	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна K_{00}	47546 47551	48679 48681	кг/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) K_{0p}	37186 34244	37308 37308	кг/см
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	20866 19907	21121 21121	кг/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	379.39 361.95	384.01 384.02	кг/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток I_{np}	4013.0 4011.6	4000.4 4001.7	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток K_{pn}	73668 71108	74283 74290	кг/см



ВХІДНІ ПАРАМЕТРИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ

Довжина бруса $L_0=325$ см
 Ширина нижньої постілі бруса $b_0=26$ см
 Коef. постілі основи бруса $C_n=16$ кг/см³
 Модуль пружн. матеріалу бр. $E_0=100000$ кг/см²
 Момент інерції поп. перерізу $I_0=12636$ см⁴
 Відстань від поч. бр. до осі 1 рейки $a_1=62.8$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 2 рейки $a_2=102.4$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 3 рейки $a_3=222.9$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 4 рейки $a_4=262.2$ см

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ

Прогини в підрейкових перерізах:
 $z(1-0) = 0.021057$ см
 $z(2-0) = 0.016229$ см
 $z(3-0) = 0.020432$ см
 $z(4-0) = 0.014131$ см
 $z(свр-0) = 0.014762$ см

Внутрішні згинаючі моменти в підрейкових перерізах:
 $M(1-0) = 130.5033$ кН·см
 $M(2-0) = -19.2564$ кН·см
 $M(3-0) = 140.3434$ кН·см
 $M(4-0) = 25.4777$ кН·см

РОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

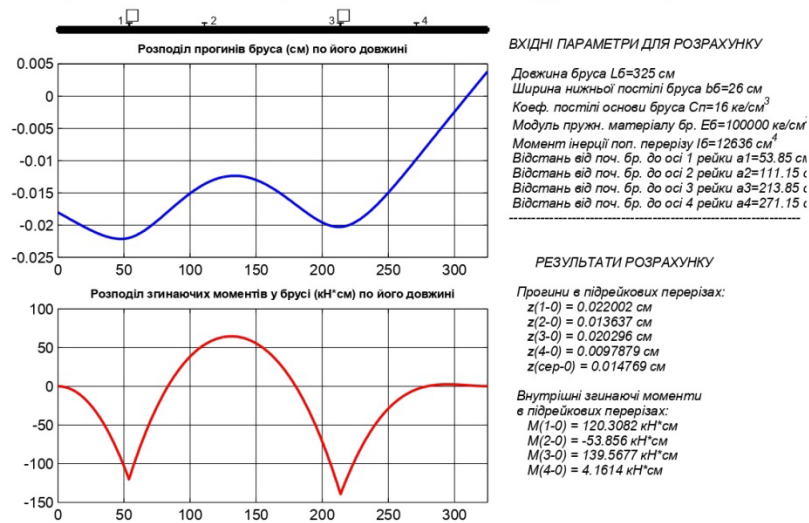
Проект №1 Тип Р50 Марка 1/9 БРУС №20

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса..... $L_0=325$ см
 Ширина бруса..... $b_0=26$ см
 Висота бруса..... $h_0=18$ см
 Відстань між осями пружних опор..... $l_0=53.5$ см
 Коефіцієнт постілі підрейкової основи..... $C_n=16$ кг/см³ (Літо)
 Модуль пружності матеріалу бруса на стискання..... $E_{cm}=800$ кг/см²
 Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса..... $C_{zm}=250$ кг/см³
 Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою... $<Omega>1=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою... $<Omega>2=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 3-ю рейковою ниткою... $<Omega>3=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 4-ю рейковою ниткою... $<Omega>4=600$ см²
 Момент інерції 1-ї рейкової нитки..... $I_1=2018$ см⁴
 Момент інерції 2-ї рейкової нитки..... $I_2=2018$ см⁴
 Момент інерції 3-ї рейкової нитки..... $I_3=2018$ см⁴
 Момент інерції 4-ї рейкової нитки..... $I_4=2018$ см⁴

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ по прямій/боковій колії стрілочного переводу

Пружнодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса $\langle \alpha \rangle_i$	0.70106 0.70088	0.72248 0.7223	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна $K_{\text{бо}}$	47391 47379	48839 48827	кг/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) $K_{\text{бр}}$	37168 34228	37325 37323	кг/см
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	20831 19872	21156 21153	кг/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	389.36 371.43	395.44 395.39	кг/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток $I_{\text{пр}}$	3485.9 3492.5	3566.2 3559.5	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток $K_{\text{рн}}$	72518 70032	73785 73743	кг/см



РОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

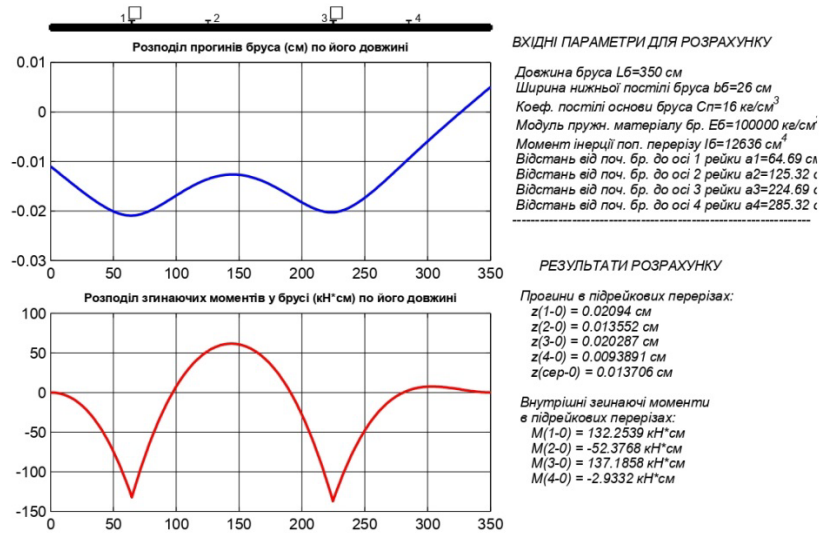
Проект №1 Тип Р50 Марка 1/9 БРУС №26

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса..... $L_6=325$ см
 Ширина бруса..... $b_6=26$ см
 Висота бруса..... $h_6=18$ см
 Відстань між осями пружних опор..... $l_6=51.7$ см
 Коефіцієнт постілі підрейкової основи..... $C_n=16$ кГ/см³ (Літо)
 Модуль пружності матеріалу бруса на стискання..... $E_6=800$ кГ/см²
 Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса..... $C_{3m}=250$ кГ/см³
 Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_1=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_2=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 3-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_3=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 4-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_4=660$ см²
 Момент інерції 1-ї рейкової нитки..... $I_1=2018$ см⁴
 Момент інерції 2-ї рейкової нитки..... $I_2=2018$ см⁴
 Момент інерції 3-ї рейкової нитки..... $I_3=2018$ см⁴
 Момент інерції 4-ї рейкової нитки..... $I_4=2018$ см⁴

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ по прямій/боковій колії стрілочного перевалу

Пружнодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса $\langle \alpha \rangle_i$	0.67128	0.72768	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна K_{60}	45378	49191	кГ/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) K_{op}	36937	37361	кГ/см
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	20362	21234	кГ/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	393.86	410.71	кГ/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток I_{np}	3010.5	3314.8	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток K_{pn}	70512	74537	кГ/см
	68122	74537	



РОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

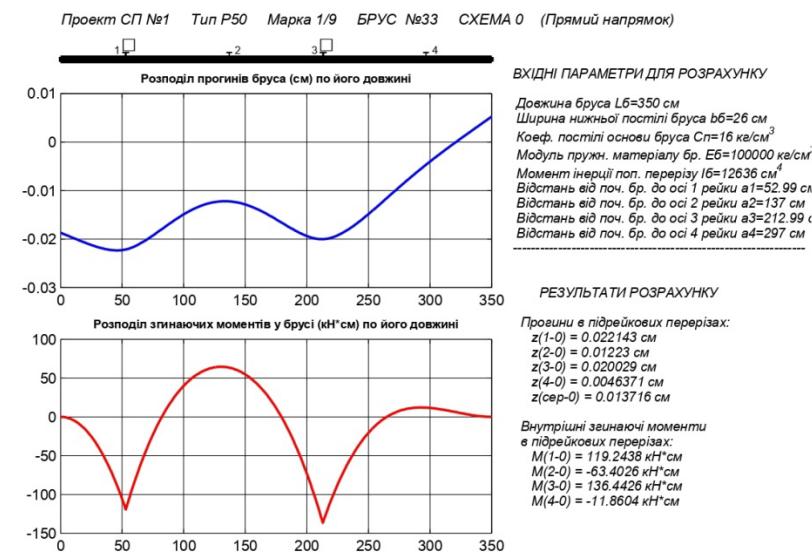
Проект №1 Тип P50 Марка 1/9 БРУС №27

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса..... $L_6=350$ см
 Ширина бруса..... $b_6=26$ см
 Висота бруса..... $h_6=18$ см
 Відстань між осями пружних опор..... $l=44$ см
 Коефіцієнт постілі підрейкової основи..... $C_n=16$ кг/см³ (Літо)
 Модуль пружності матеріалу бруса на стискання..... $E_{cm}=800$ кг/см²
 Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса..... $C_{zm}=250$ кг/см³
 Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою...<Omega>1=660 см²
 Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою...<Omega>2=660 см²
 Площа металевої підкладки під 3-ю рейковою ниткою...<Omega>3=660 см²
 Площа металевої підкладки під 4-ю рейковою ниткою...<Omega>4=660 см²
 Момент інерції 1-ї рейкової нитки..... $I_1=2018$ см⁴
 Момент інерції 2-ї рейкової нитки..... $I_2=2018$ см⁴
 Момент інерції 3-ї рейкової нитки..... $I_3=2018$ см⁴
 Момент інерції 4-ї рейкової нитки..... $I_4=2018$ см⁴

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ
по прямій/боковій колії стрілочного переводу

Пружнодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса $\langle \alpha \rangle_i$	0.65453 0.65451	0.67557 0.67558	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна $K_{\text{до}}$	47649 47648	49181 49181	кг/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) $K_{\text{бр}}$	37197 34253	37360 37360	кг/см
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	20889 19927	21231 21232	кг/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	474.76 452.90	482.54 482.54	кг/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток $I_{\text{пр}}$	3022.1 3022.0	3315.1 3315.2	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток $K_{\text{рн}}$	81196 78375	84115 84116	кг/см



РОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

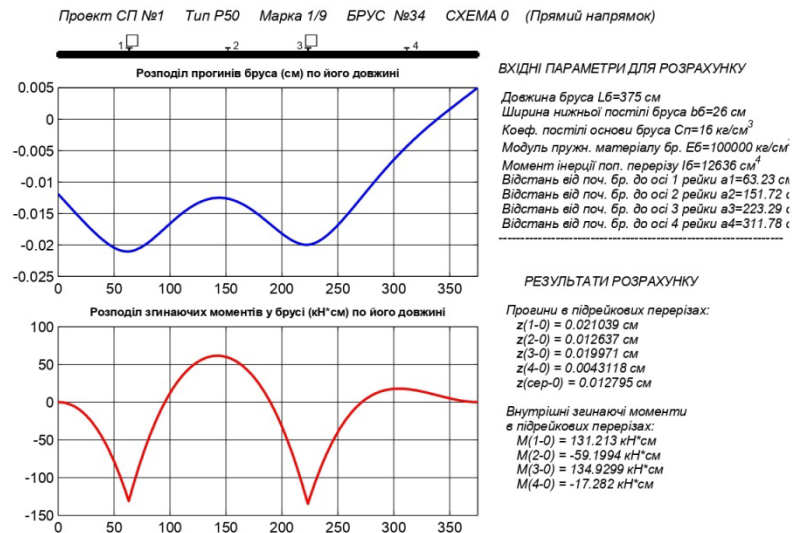
Проект №1 Тип Р50 Марка 1/9 БРУС №33

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса..... $L_0=350$ см
 Ширина бруса..... $b_0=26$ см
 Висота бруса..... $h_0=18$ см
 Відстань між осями пружних опор..... $l_0=54.5$ см
 Коефіцієнт постілі підрейкової основи..... $C_n=16$ кг/см³ (Літо)
 Модуль пружності матеріалу бруса на стискання..... $E_0=800$ кг/см²
 Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса..... $C_{zm}=250$ кг/см³
 Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_1=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_2=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 3-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_3=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 4-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_4=600$ см²
 Момент інерції 1-ї рейкової нитки..... $I_1=2018$ см⁴
 Момент інерції 2-ї рейкової нитки..... $I_2=2018$ см⁴
 Момент інерції 3-ї рейкової нитки..... $I_3=2018$ см⁴
 Момент інерції 4-ї рейкової нитки..... $I_4=2018$ см⁴

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ по прямій/боковій колії стрілочного переводу

Пружнодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса $\langle \alpha \rangle_i$	0.61944 0.61949	0.68483 0.68482	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна $K_{\text{бо}}$	45095 45098	49855 49854	кг/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) $K_{\text{бр}}$	36903 34004	37430 37430	кг/см
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	20295 19386	21379 21379	кг/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	372.38 355.72	392.27 392.27	кг/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток $I_{\text{пр}}$	2497.6 2497.7	3195.5 3195.5	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток $K_{\text{РН}}$	64525 62347	71356 71355	кг/см



РОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

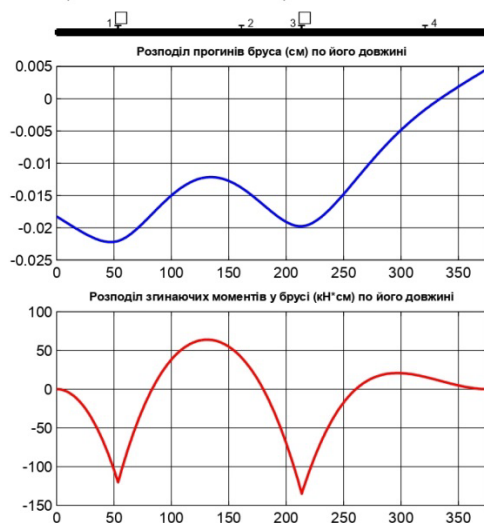
Проект №1 Тип Р50 Марка 1/9 БРУС №34

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса..... $L_6=375$ см
 Ширина бруса..... $b_6=26$ см
 Висота бруса..... $h_6=18$ см
 Відстань між осями пружних опор..... $l_6=54.5$ см
 Коефіцієнт постілі підрейкової основи..... $C_n=16$ кк/см³ (Літо)
 Модуль пружності матеріалу бруса на стискання..... $E_{cm}=800$ кк/см²
 Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса..... $C_{zm}=250$ кк/см³
 Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою... $<\Omega_{\omega}>1=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою... $<\Omega_{\omega}>2=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 3-ю рейковою ниткою... $<\Omega_{\omega}>3=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 4-ю рейковою ниткою... $<\Omega_{\omega}>4=660$ см²
 Момент інерції 1-ї рейкової нитки..... $I_1=2018$ см⁴
 Момент інерції 2-ї рейкової нитки..... $I_2=2018$ см⁴
 Момент інерції 3-ї рейкової нитки..... $I_3=2018$ см⁴
 Момент інерції 4-ї рейкової нитки..... $I_4=2018$ см⁴

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ по прямій/боковій колії стрілочного переводу

Пружнодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса $<\alpha>_i$	0.60817 0.60815	0.6407 0.64071	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна $K_{\text{бо}}$	47437 47435	49974 49975	кГ/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) $K_{\text{бр}}$	37173 34233	37442 37442	кГ/см
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	20841 19883	21405 21405	кГ/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	382.41 364.83	392.75 392.75	кГ/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток $I_{\text{пр}}$	2492.6 2492.5	3245.8 3245.9	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток $K_{\text{рн}}$	65790 63509	71700 71700	кГ/см



ВХІДНІ ПАРАМЕТРИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ

Довжина бруса $L_6=375$ см
 Ширина нижньої постілі бруса $b_6=26$ см
 Коef. постілі основи бруса $C_n=16$ к/см³
 Модуль пружн. матеріалу бр. $E_6=100000$ к/см²
 Момент інерції поп. перерізу $I_6=12636$ см⁴
 Відстань від поч. бр. до осі 1 рейки $a_1=53.66$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 2 рейки $a_2=161.34$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 3 рейки $a_3=213.66$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 4 рейки $a_4=321.34$ см

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ

Прогини в підрейкових перерізах:
 $z(1-0) = 0.022051$ см
 $z(2-0) = 0.013838$ см
 $z(3-0) = 0.019771$ см
 $z(4-0) = 0.0016651$ см
 $z(\text{свр-0}) = 0.012804$ см

Внутрішні згинаючі моменти в підрейкових перерізах:
 $M(1-0) = 120.3207$ кН*см
 $M(2-0) = -40.4295$ кН*см
 $M(3-0) = 134.9851$ кН*см
 $M(4-0) = -15.6249$ кН*см

РОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

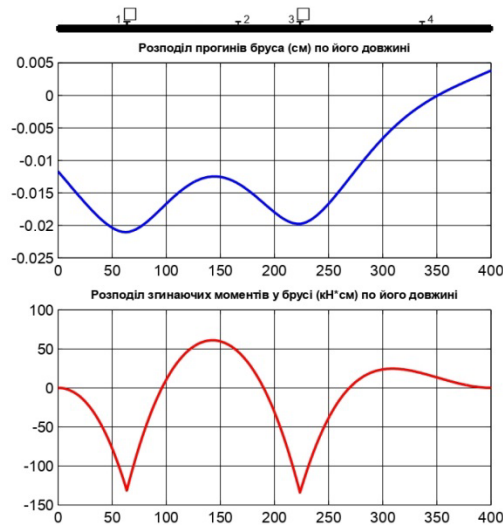
Проект №1 Тип Р50 Марка 1/9 БРУС №38

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса..... $L_6=375$ см
 Ширина бруса..... $b_6=26$ см
 Висота бруса..... $h_6=18$ см
 Відстань між осями пружних опор..... $l=54.5$ см
 Коефіцієнт постілі підрейкової основи..... $C_n=16$ к/см³ (Літо)
 Модуль пружності матеріалу бруса на стискання..... $E_n=800$ к/см²
 Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса..... $C_{3M}=250$ к/см³
 Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою...<Omega>1=660 см²
 Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою...<Omega>2=660 см²
 Площа металевої підкладки під 3-ю рейковою ниткою...<Omega>3=660 см²
 Площа металевої підкладки під 4-ю рейковою ниткою...<Omega>4=600 см²
 Момент інерції 1-ї рейкової нитки..... $I_1=2018$ см⁴
 Момент інерції 2-ї рейкової нитки..... $I_2=2018$ см⁴
 Момент інерції 3-ї рейкової нитки..... $I_3=2018$ см⁴
 Момент інерції 4-ї рейкової нитки..... $I_4=2018$ см⁴

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ по прямій/боковій колії стрілочного перевалу

Пружнодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса $\langle \alpha \rangle_i$	0.58068 0.58068	0.64762 0.64762	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна $K_{\text{до}}$	45292 45292	50514 50514	кг/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) $K_{\text{бр}}$	36927 34024	37496 37496	кг/см
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	20342 19429	21521 21521	кг/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	373.25 356.49	394.88 394.88	кг/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток $I_{\text{пр}}$	2201.1 2201.1	3368.5 3368.5	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток $K_{\text{рн}}$	62627 60506	72662 72662	кг/см



ВХІДНІ ПАРАМЕТРИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ

Довжина бруса $L_6=400$ см
 Ширина нижньої постілі бруса $b_6=26$ см
 Коеф. постілі основи бруса $C_n=16$ кН/см³
 Модуль пружн. матеріалу бр. $E_6=100000$ кН/см²
 Момент інерції поп. перерізу $I_6=12636$ см⁴
 Відстань від поч. бр. до осі 1 рейки $a_1=63.59$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 2 рейки $a_2=166.4$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 3 рейки $a_3=223.59$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 4 рейки $a_4=336.4$ см

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ

Прогини в підрейкових перерізах:
 $z(1-0) = 0.021028$ см
 $z(2-0) = 0.01357$ см
 $z(3-0) = 0.019758$ см
 $z(4-0) = 0.0014615$ см
 $z(ср-0) = 0.011999$ см

Внутрішні згинаючі моменти в підрейкових перерізах:
 $M(1-0) = 131.5913$ кН·см
 $M(2-0) = -46.3266$ кН·см
 $M(3-0) = 134.2579$ кН·см
 $M(4-0) = -18.7184$ кН·см

РОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

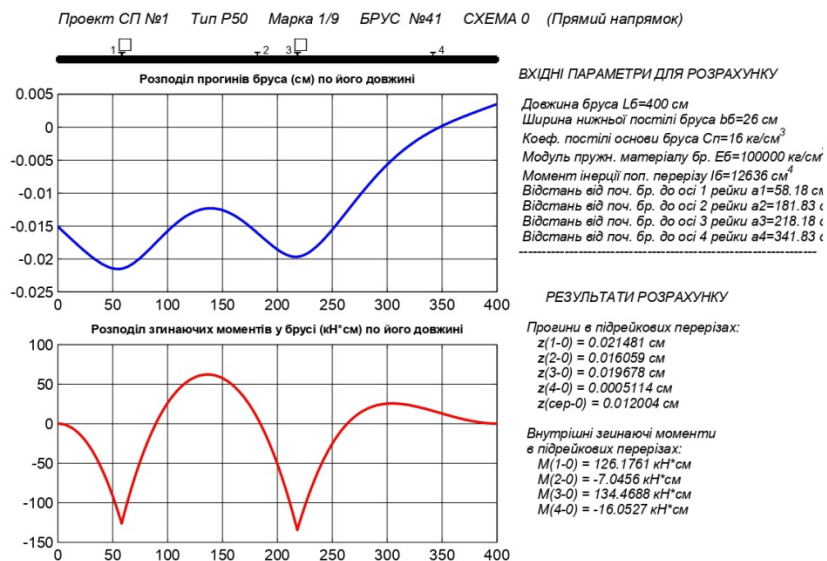
Проект №1 Тип Р50 Марка 1/9 БРУС №39

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса..... $L_6=400$ см
 Ширина бруса..... $b_6=26$ см
 Висота бруса..... $h_6=18$ см
 Відстань між осями пружних опор..... $l_6=54.5$ см
 Коефіцієнт постілі підрейкової основи..... $C_n=16$ кН/см³ (Літо)
 Модуль пружності матеріалу бруса на стискання..... $E_{cm}=800$ кН/см²
 Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса..... $C_{zm}=250$ кН/см³
 Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою...<Omega>1=660 см²
 Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою...<Omega>2=660 см²
 Площа металевої підкладки під 3-ю рейковою ниткою...<Omega>3=660 см²
 Площа металевої підкладки під 4-ю рейковою ниткою...<Omega>4=600 см²
 Момент інерції 1-ї рейкової нитки..... $I_1=2018$ см⁴
 Момент інерції 2-ї рейкової нитки..... $I_2=2018$ см⁴
 Момент інерції 3-ї рейкової нитки..... $I_3=2018$ см⁴
 Момент інерції 4-ї рейкової нитки..... $I_4=2018$ см⁴

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ по прямій/боковій колії стрілочного перевалу

Пружинодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса α_i	0.57061 0.57414	0.60729 0.60904	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна K_{60}	47474 47768	50526 50672	кН/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) K_{6p}	37178 34264	37497 37511	кН/см
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	20850 19952	21523 21554	кН/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	382.57 366.09	394.93 395.50	кН/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток $I_{пр}$	2291.6 2191.5	3244.9 3346.6	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток $K_{рн}$	64441 61656	71993 72629	кН/см



РОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

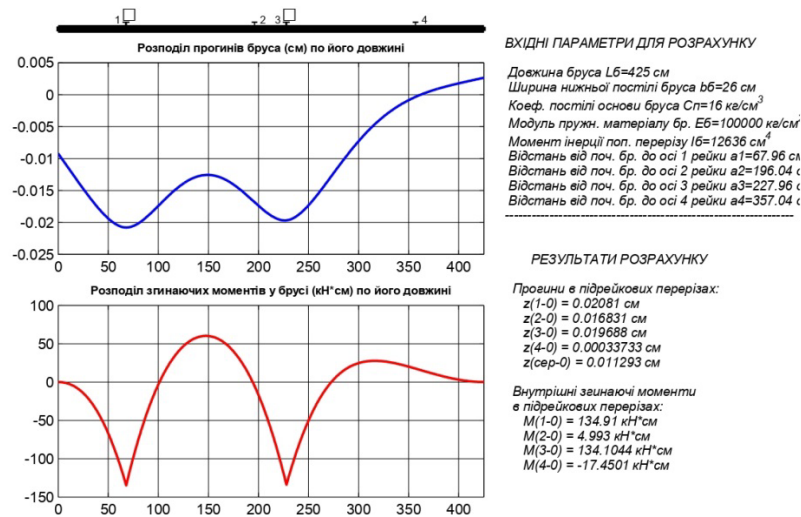
Проект №1 Тип Р50 Марка 1/9 БРУС №41

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса..... $L_6=400$ см
 Ширина бруса..... $b_6=26$ см
 Висота бруса..... $h_6=18$ см
 Відстань між осями пружних опор..... $l_6=54.5$ см
 Коефіцієнт постілі підрейкової основи..... $C_п=16$ кс/см³ (Літо)
 Модуль пружності матеріалу бруса на стискання..... $E_{cm}=800$ кс/см²
 Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса..... $C_{зм}=250$ кс/см³
 Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою... $\langle Omega \rangle 1=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою... $\langle Omega \rangle 2=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 3-ю рейковою ниткою... $\langle Omega \rangle 3=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 4-ю рейковою ниткою... $\langle Omega \rangle 4=600$ см²
 Момент інерції 1-ї рейкової нитки..... $I_1=2018$ см⁴
 Момент інерції 2-ї рейкової нитки..... $I_2=2018$ см⁴
 Момент інерції 3-ї рейкової нитки..... $I_3=2018$ см⁴
 Момент інерції 4-ї рейкової нитки..... $I_4=2018$ см⁴

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ по прямій/боковій колії стрілочного переводу

Пружнодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса $\langle \alpha \rangle_i$	0.5588 0.55877	0.61 0.61	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна $K_{\phi\phi}$	46492 46490	50751 50752	кг/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) $K_{ор}$	37067 34143	37519 37519	кг/см
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	20624 19685	21571 21572	кг/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	378.42 361.20	395.81 395.81	кг/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток $I_{пр}$	2086.3 2086.3	3597.10 3597.10	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток $K_{рн}$	62435 60291	74000 74000	кг/см



РОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

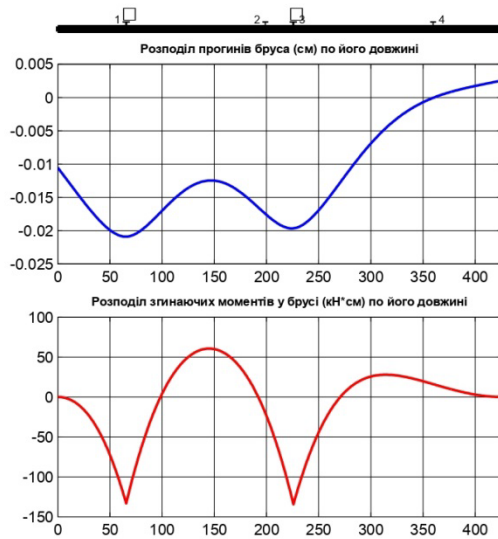
Проект №1 Тип P50 Марка 1/9 БРУС №42

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса..... $L_6=425$ см
 Ширина бруса..... $b_6=26$ см
 Висота бруса..... $h_6=18$ см
 Відстань між осями пружних опор..... $l_6=54.5$ см
 Коефіцієнт постілі підрейкової основи..... $C_n=16$ кН/см³ (Літо)
 Модуль пружності матеріалу бруса на стискання..... $E_6=800$ кН/см²
 Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса..... $C_{зм}=250$ кН/см³
 Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою... $<\Omega_{1-0}> I=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою... $<\Omega_{2-0}> 2=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 3-ю рейковою ниткою... $<\Omega_{3-0}> 3=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 4-ю рейковою ниткою... $<\Omega_{4-0}> 4=600$ см²
 Момент інерції 1-ї рейкової нитки..... $I_1=2018$ см⁴
 Момент інерції 2-ї рейкової нитки..... $I_2=2018$ см⁴
 Момент інерції 3-ї рейкової нитки..... $I_3=2018$ см⁴
 Момент інерції 4-ї рейкової нитки..... $I_4=2018$ см⁴

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ по прямій/боковій колії стрілочного переводу

Пружнодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса $\langle \alpha \rangle_i$	0.54269 0.54315	0.57361 0.57405	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна $K_{бо}$	47973 48014	50707 50746	кН/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) $K_{бр}$	37232 34287	37515 37519	кН/см
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	20963 20002	21562 21570	кН/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	384.64 367.02	395.64 395.79	кН/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток $I_{пр}$	2077.3 2071.3	3673.9 3680.0	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток $K_{рн}$	63134 60909	74363 74415	кН/см



ВХІДНІ ПАРАМЕТРИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ

Довжина бруса $L_6=425$ см
 Ширина нижньої постілі бруса $b_6=26$ см
 Коеф. постілі основи бруса $C_6=16$ кН/см³
 Модуль пружн. матеріалу бр. $E_6=100000$ кН/см²
 Момент інерції поп. перерізу $I_6=12636$ см⁴
 Відстань від поч. бр. до осі 1 рейки $a_1=65.61$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 2 рейки $a_2=199.14$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 3 рейки $a_3=225.87$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 4 рейки $a_4=359.39$ см

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ

Прогини в підрейкових перерізах:
 $z(1-0) = 0.020914$ см
 $z(2-0) = 0.017513$ см
 $z(3-0) = 0.019664$ см
 $z(4-0) = 7.2525e-005$ см
 $z(\text{ср-0}) = 0.011295$ см

Внутрішні згинаючі моменти в підрейкових перерізах:
 $M(1-0) = 133.3081$ кН*см
 $M(2-0) = 20.8399$ кН*см
 $M(3-0) = 134.2754$ кН*см
 $M(4-0) = -16.1519$ кН*см

РОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

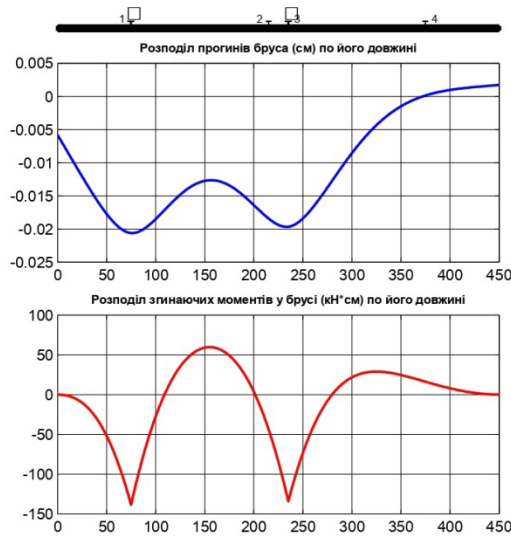
Проект №1 Тип Р50 Марка 1/9 БРУС №45

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса..... $L_6=425$ см
 Ширина бруса..... $b_6=26$ см
 Висота бруса..... $h_6=18$ см
 Відстань між осями пружних опор..... $l=58$ см
 Коефіцієнт постілі підрейкової основи..... $C_6=16$ кН/см³ (Літо)
 Модуль пружності матеріалу бруса на стискання..... $E_6=800$ кН/см²
 Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса..... $C_{зм}^{ст}=250$ кН/см³
 Площа металеві підкладки під 1-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_1=810$ см²
 Площа металеві підкладки під 2-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_2=980$ см²
 Площа металеві підкладки під 3-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_3=980$ см²
 Площа металеві підкладки під 4-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_4=810$ см²
 Момент інерції 1-ї рейкової нитки..... $I_1=3403$ см⁴
 Момент інерції 2-ї рейкової нитки..... $I_2=5479.5$ см⁴
 Момент інерції 3-ї рейкової нитки..... $I_3=5479.5$ см⁴
 Момент інерції 4-ї рейкової нитки..... $I_4=3403$ см⁴

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ по прямій/боковій колії стрілочного перевodu

Пружнодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса $\langle \alpha \rangle_i$	0.54007 0.54007	0.5744 0.57439	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна $K_{\text{бo}}$	47742 47742	50776 50776	кН/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) $K_{\text{бр}}$	44252 44252	52339 52339	кН/см
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	22965 22965	25773 25772	кН/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	395.96 395.95	444.36 444.36	кН/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток $I_{\text{пр}}$	3457.4 3457.5	10160.8 10160.7	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток $K_{\text{РН}}$	73286 73287	104624 104624	кН/см



ВХІДНІ ПАРАМЕТРИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ

Довжина бруса $L_6=450$ см
 Ширина нижньої постілі бруса $b_6=26$ см
 Коef. постілі основи бруса $C_n=16$ кс/см³
 Модуль пружн. матеріалу бр. $E_6=100000$ кс/см²
 Момент інерції поп. перерізу $I_6=12636$ см⁴
 Відстань від поч. бр. до осі 1 рейки $a_1=74.9$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 2 рейки $a_2=214.85$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 3 рейки $a_3=235.16$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 4 рейки $a_4=375.1$ см

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ

Прогини в підрейкових перерізах:
 $z(1-0) = 0.02062$ см
 $z(2-0) = 0.018399$ см
 $z(3-0) = 0.01967$ см
 $z(4-0) = -0.00014947$ см
 $z(ср-0) = 0.010665$ см

Внутрішні згинаючі моменти в підрейкових перерізах:
 $M(1-0) = 138.5308$ кН*см
 $M(2-0) = 42.892$ кН*см
 $M(3-0) = 134.105$ кН*см
 $M(4-0) = -16.1235$ кН*см

РОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

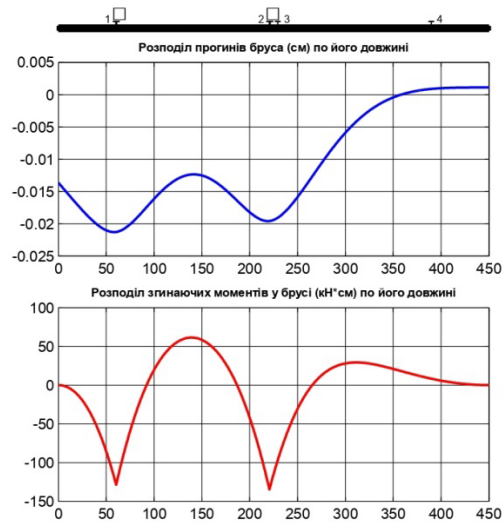
Проект №1 Тип Р50 Марка 1/9 БРУС №46

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса..... $L_6=450$ см
 Ширина бруса..... $b_6=26$ см
 Висота бруса..... $h_6=18$ см
 Відстань між осями пружних опор..... $l_6=58$ см
 Коefіцієнт постілі підрейкової основи..... $C_n=16$ кс/см³ (Літо)
 Модуль пружності матеріалу бруса на стискання..... $E_{cm}=800$ кс/см²
 Коefіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса..... $C_{zm}=250$ кс/см³
 Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_1=810$ см²
 Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_2=980$ см²
 Площа металевої підкладки під 3-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_3=980$ см²
 Площа металевої підкладки під 4-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_4=810$ см²
 Момент інерції 1-ї рейкової нитки..... $I_1=3403$ см⁴
 Момент інерції 2-ї рейкової нитки..... $I_2=5479.5$ см⁴
 Момент інерції 3-ї рейкової нитки..... $I_3=5479.5$ см⁴
 Момент інерції 4-ї рейкової нитки..... $I_4=3403$ см⁴

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ по прямій/боковій колії стрілочного переводу

Пружнодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коefіцієнти згину бруса $\langle \alpha \rangle_i$	0.5172 0.51719	0.54218 0.54218	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна K_{60}	48409 48409	50748 50747	кг/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) K_{6p}	44354 44354	52333 52333	кг/см
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	23146 23146	25764 25764	кг/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	399.08 399.08	444.21 444.21	кг/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток I_{np}	3434.5 3434.4	10458.3 10458.3	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток K_{pn}	73597 73596	105356 105355	кг/см



ВХІДНІ ПАРАМЕТРИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ

Довжина бруса $L_b=450$ см
 Ширина нижньої постілі бруса $b_b=26$ см
 Коеф. постілі основи бруса $C_p=16$ кН/см³
 Модуль пружн. матеріалу бр. $E_b=100000$ кН/см²
 Момент інерції поп. перерізу $I_b=12636$ см⁴
 Відстань від поч. бр. до осі 1 рейки $a_1=60.41$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 2 рейки $a_2=220.6$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 3 рейки $a_3=229.34$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 4 рейки $a_4=389.59$ см

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ

Прогини в підрейкових перерізах:
 $z(1-0) = 0.021273$ см
 $z(2-0) = 0.019581$ см
 $z(3-0) = 0.019068$ см
 $z(4-0) = -0.00088666$ см
 $z(\text{свр-0}) = 0.010674$ см

Внутрішні згинаючі моменти в підрейкових перерізах:
 $M(1-0) = 128.6623$ кН·см
 $M(2-0) = 134.6143$ кН·см
 $M(3-0) = 96.7648$ кН·см
 $M(4-0) = -8.3495$ кН·см

РОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Проект №1 Тип P50 Марка 1/9 БРУС №50

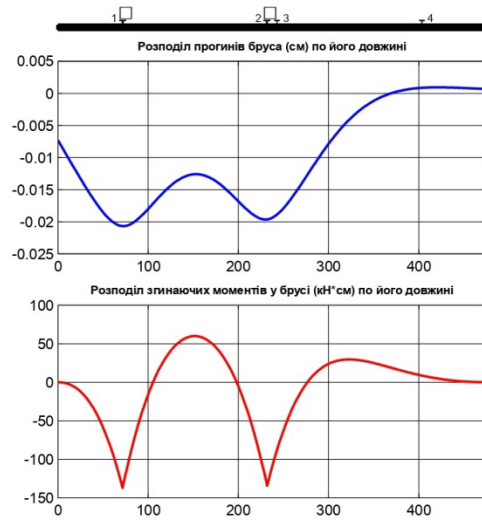
РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса..... $L_b=450$ см
 Ширина бруса..... $b_b=26$ см
 Висота бруса..... $h_b=18$ см
 Відстань між осями пружних опор..... $l=44$ см
 Коефіцієнт постілі підрейкової основи..... $C_p=16$ кН/см³ (Літо)
 Модуль пружності матеріалу бруса на стискання..... $E_b=800$ кН/см²
 Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса..... $C_{zm}=250$ кН/см³
 Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_1=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_2=988$ см²
 Площа металевої підкладки під 3-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_3=988$ см²
 Площа металевої підкладки під 4-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_4=660$ см²
 Момент інерції 1-ї рейкової нитки..... $I_1=2018$ см⁴
 Момент інерції 2-ї рейкової нитки..... $I_2=5479.5$ см⁴
 Момент інерції 3-ї рейкової нитки..... $I_3=5479.5$ см⁴
 Момент інерції 4-ї рейкової нитки..... $I_4=2018$ см⁴

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ по прямій/боковій колії стрілочного переводу

Пружнодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса $\langle \alpha \rangle_i$	$\frac{0.50177}{0.50179}$	$\frac{0.54512}{0.54515}$	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна $K_{\text{бо}}$	$\frac{46965}{46967}$	$\frac{51023}{51025}$	кН/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) $K_{\text{бр}}$			
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	$\frac{20733}{20734}$	$\frac{25932}{25933}$	кН/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	$\frac{471.21}{471.22}$	$\frac{589.37}{589.38}$	кН/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток $I_{\text{пр}}$	$\frac{2246.1}{2246.2}$	$\frac{5569.6}{5569.6}$	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток $K_{\text{рн}}$	$\frac{74967}{74970}$	$\frac{111262}{111264}$	кН/см

Проект №1 Тип P50 Марка 1/9 БРУС №51 СХЕМА 0 (Прямий напрямок)



ВХІДНІ ПАРАМЕТРИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ

Довжина бруса $L_0=475$ см
 Ширина нижньої постілі бруса $b_0=26$ см
 Коеф. постілі основи бруса $C_p=16$ кг/см³
 Модуль пружн. матеріалу бр. $E_b=100000$ кг/см²
 Момент інерції поп. перерізу $I_0=12636$ см⁴
 Відстань від поч. бр. до осі 1 рейки $a_1=71.7$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 2 рейки $a_2=231.95$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 3 рейки $a_3=243.06$ см
 Відстань від поч. бр. до осі 4 рейки $a_4=403.3$ см

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ

Прогини в підрейкових перерізах:
 $z(1-0) = 0.020688$ см
 $z(2-0) = 0.019642$ см
 $z(3-0) = 0.018858$ см
 $z(4-0) = -0.00085762$ см
 $z(\text{свр-0}) = 0.010107$ см

Внутрішні згинаючі моменти в підрейкових перерізах:
 $M(1-0) = 137.1205$ кН*см
 $M(2-0) = 134.282$ кН*см
 $M(3-0) = 87.2169$ кН*см
 $M(4-0) = -8.6063$ кН*см

РОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

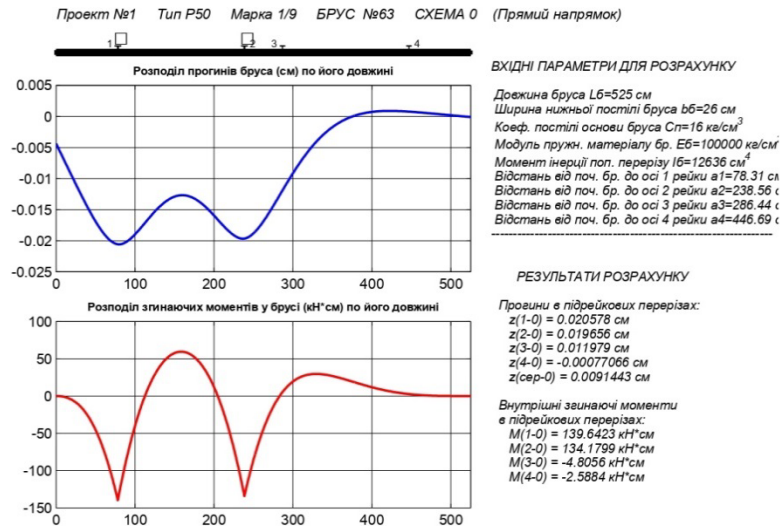
Проект №1 Тип P50 Марка 1/9 БРУС №51

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса..... $L_0=475$ см
 Ширина бруса..... $b_0=26$ см
 Висота бруса..... $h_0=18$ см
 Відстань між осями пружних опор..... $l_0=56$ см
 Коефіцієнт постілі підрейкової основи..... $C_p=16$ кг/см³ (Літо)
 Модуль пружності матеріалу бруса на стискання..... $E_b=800$ кг/см²
 Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса..... $C_{zm}=250$ кг/см³
 Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_1=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_2=988$ см²
 Площа металевої підкладки під 3-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_3=988$ см²
 Площа металевої підкладки під 4-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_4=660$ см²
 Момент інерції 1-ї рейкової нитки..... $I_1=2018$ см⁴
 Момент інерції 2-ї рейкової нитки..... $I_2=5479.5$ см⁴
 Момент інерції 3-ї рейкової нитки..... $I_3=5479.5$ см⁴
 Момент інерції 4-ї рейкової нитки..... $I_4=2018$ см⁴

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ по прямій/боковій колії стрілочного переводу

Пружнодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса $\langle \alpha \rangle_i$	0.48855 0.48854	0.51457 0.51456	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна $K_{\text{оо}}$	48268 48268	50839 50838	кг/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) $K_{\text{бр}}$			
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	21029 21029	25876 25876	кг/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	375.52 375.52	462.07 462.07	кг/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток $I_{\text{пр}}$	2243.6 2243.6	5566.2 5566.2	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток $K_{\text{рн}}$	63214 63214	92688 92687	кг/см



РОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Проект №1 Тип P50 Марка 1/9 БРУС №63

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса..... $L_6=525$ см
 Ширина бруса..... $b_6=26$ см
 Висота бруса..... $h_6=18$ см
 Відстань між осями пружних опор..... $l_6=54.5$ см
 Коефіцієнт постілі підрейкової основи..... $C_n=16$ кГ/см³ (Літо)
 Модуль пружності матеріалу бруса на стискання..... $E_{cm}=800$ кГ/см²
 Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса..... $C_{zm}=250$ кГ/см³
 Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_1=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_2=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 3-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_3=660$ см²
 Площа металевої підкладки під 4-ю рейковою ниткою... $\langle \Omega \rangle_4=660$ см²
 Момент інерції 1-ї рейкової нитки..... $I_1=2018$ см⁴
 Момент інерції 2-ї рейкової нитки..... $I_2=2018$ см⁴
 Момент інерції 3-ї рейкової нитки..... $I_3=2018$ см⁴
 Момент інерції 4-ї рейкової нитки..... $I_4=2018$ см⁴

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ по прямій/боковій колії стрілочного переводу

Пружнодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса $\langle \alpha \rangle_i$	$\frac{0.44436}{0.44436}$	$\frac{0.46521}{0.46521}$	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна $K_{\text{бo}}$	$\frac{48524}{48524}$	$\frac{50800}{50800}$	кГ/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) $K_{\text{бр}}$			
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	$\frac{21086}{21086}$	$\frac{21582}{21582}$	кГ/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	$\frac{386.90}{386.90}$	$\frac{396.00}{396.00}$	кГ/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток $I_{\text{пр}}$	$\frac{2098.9}{2098.9}$	$\frac{3365.9}{3365.9}$	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток $K_{\text{рн}}$	$\frac{63577}{63577}$	$\frac{72804}{72804}$	кГ/см

Додаток В

Натурні траєкторії руху по хрестовинах стрілочних переводів

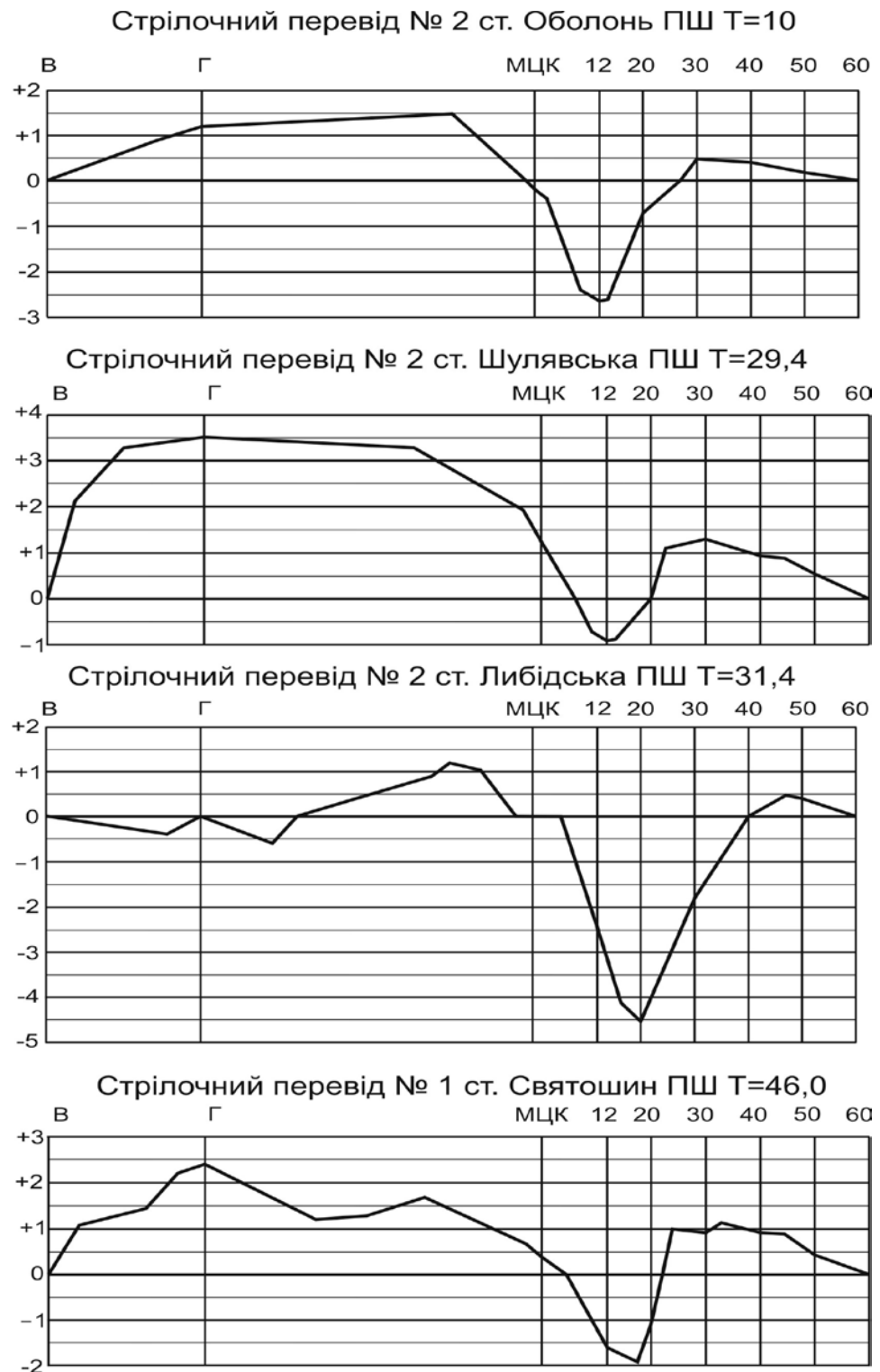


Рис. В.1

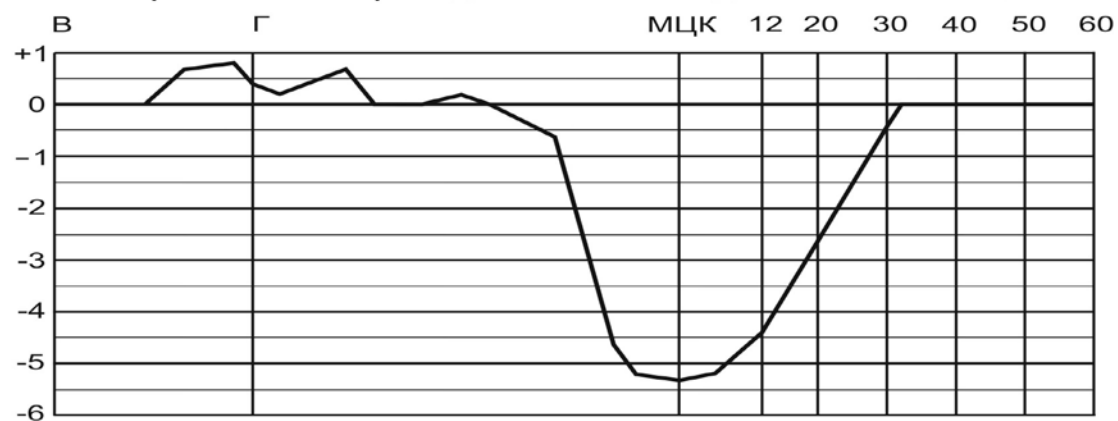
Стрілочний перевід № 2 ст. Контрактова площа ПШ T=54,1



Стрілочний перевід № 7 ст. Дарниця ПШ T=62,9



Стрілочний перевід № 1 ст. Либідська ПШ T=69,8



Стрілочний перевід № 2 ст. Арсенальна ПШ T= 86,1

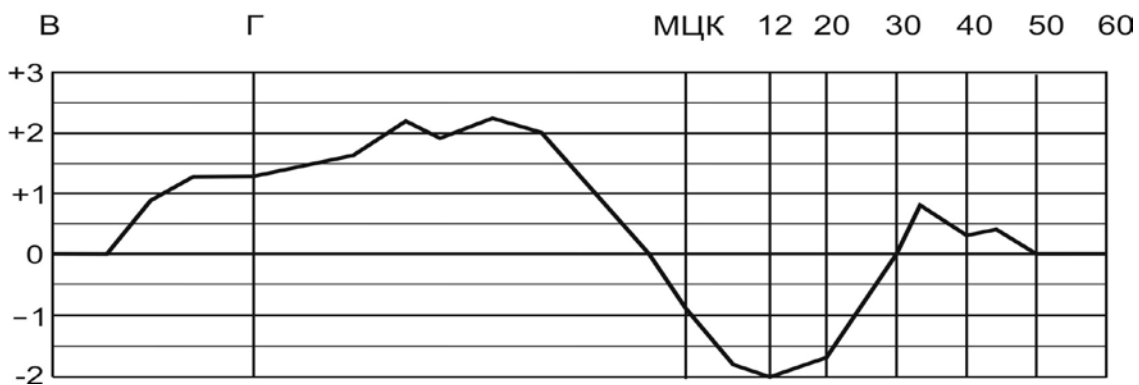
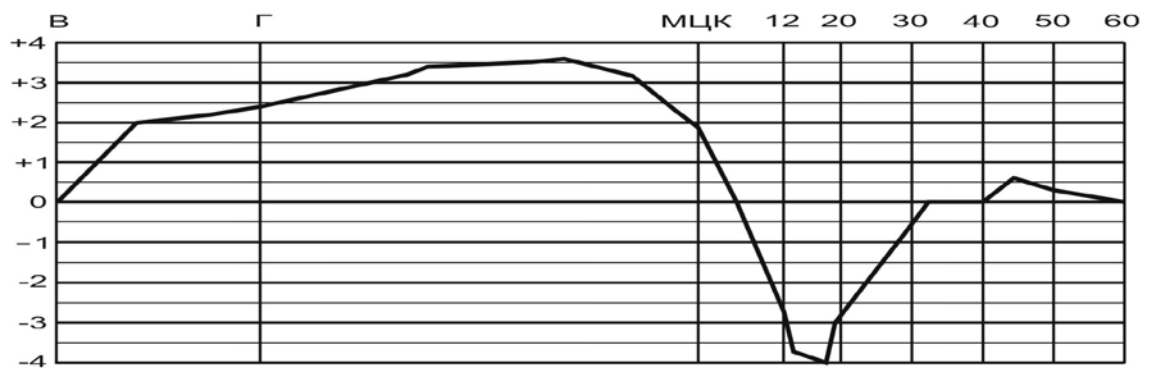


Рис. В.2

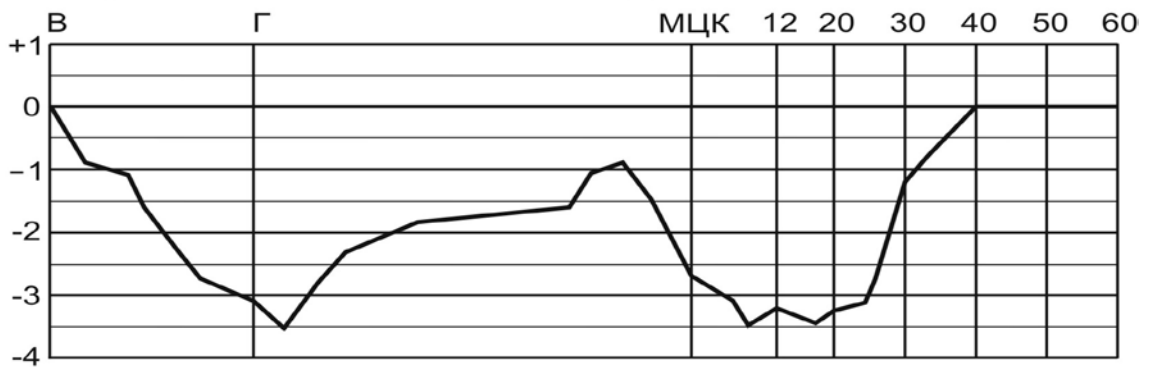
Стрілочний перевід № 1 ст. Шулявська ПШ T=109,2



Стрілочний перевід № 2 ст. Хрещатик ПШ T=105



Стрілочний перевід № 6 ст. Дарниця ПШ T=122 млн. т

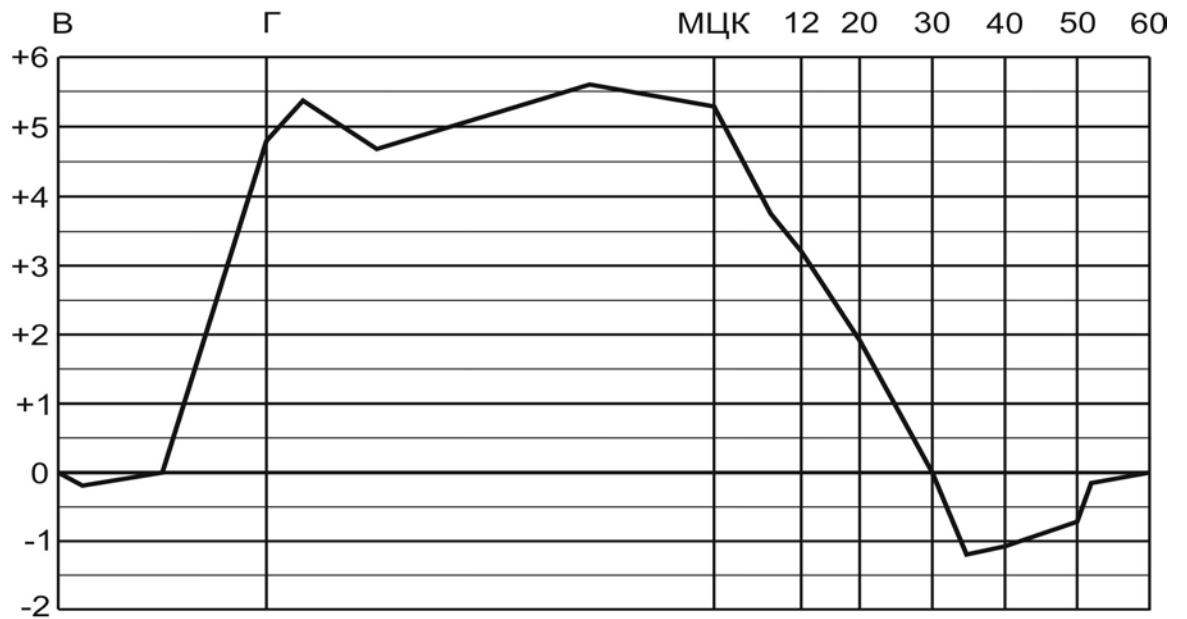


Стрілочний перевід № 11 ст. Дарниця ПШ T=130,3

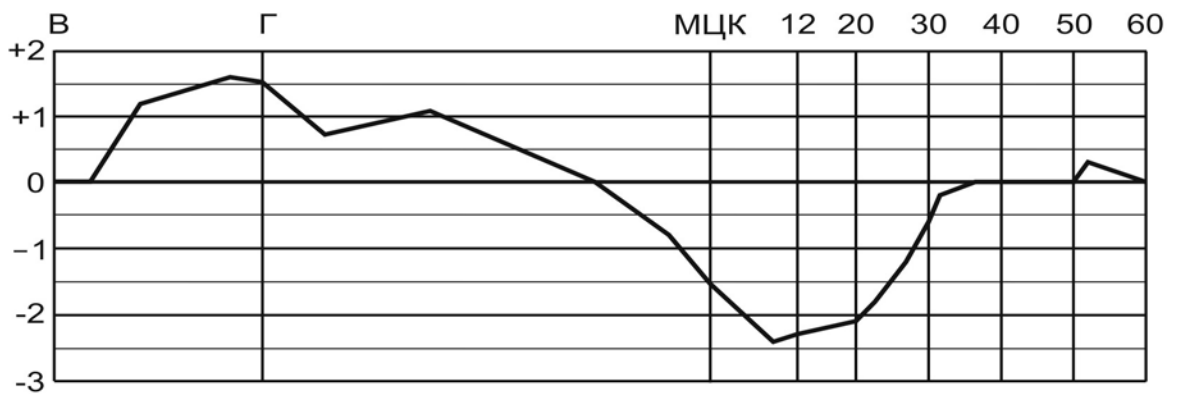


Рис. В.3

Стрілочний перевід № 2 ст. Дарниця ПРШ T=22,8



Стрілочний перевід № 9 ст. Дарниця ПРШ T=25,2



Стрілочний перевід № 1 ст. Дарниця ПРШ T=77,8

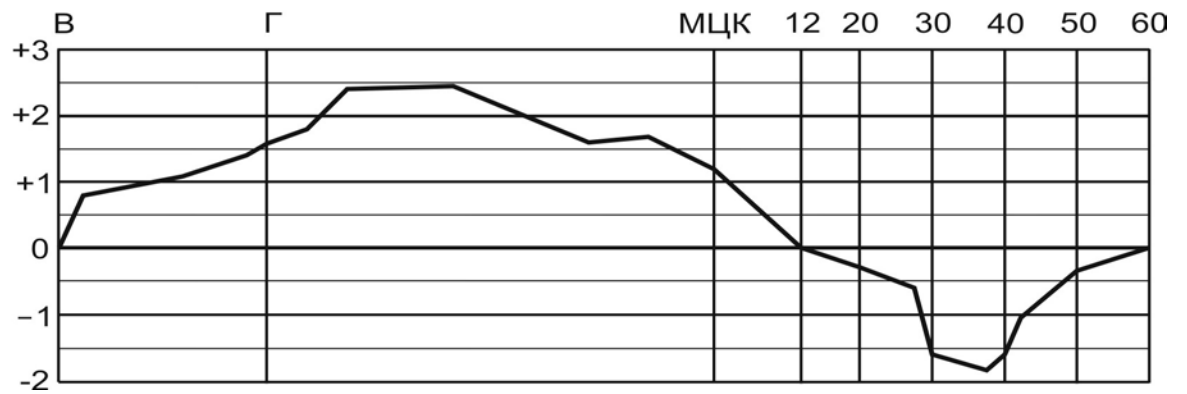
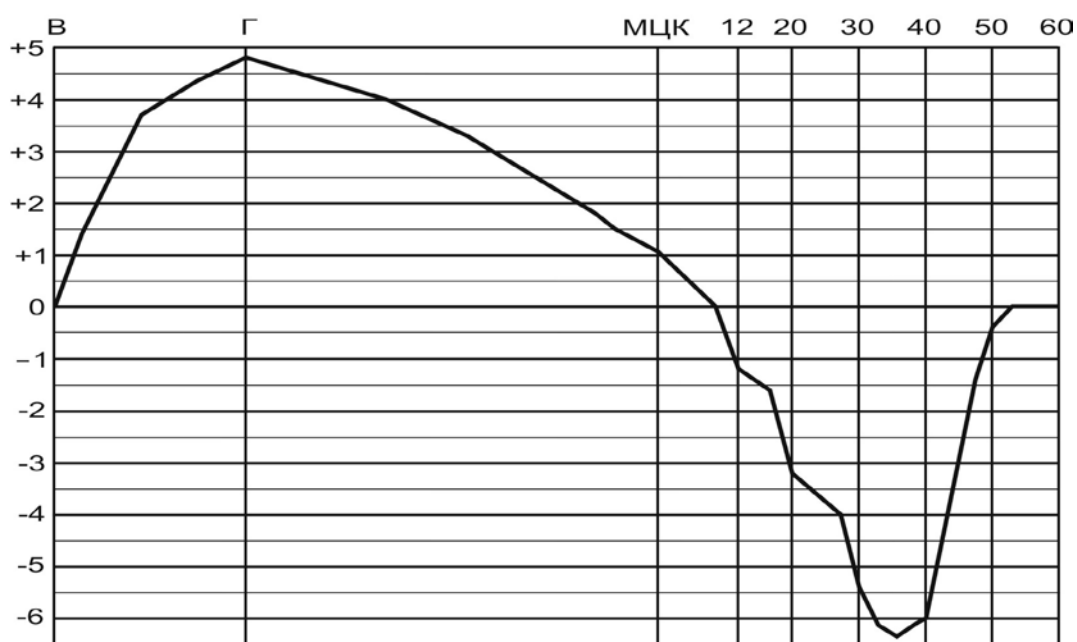
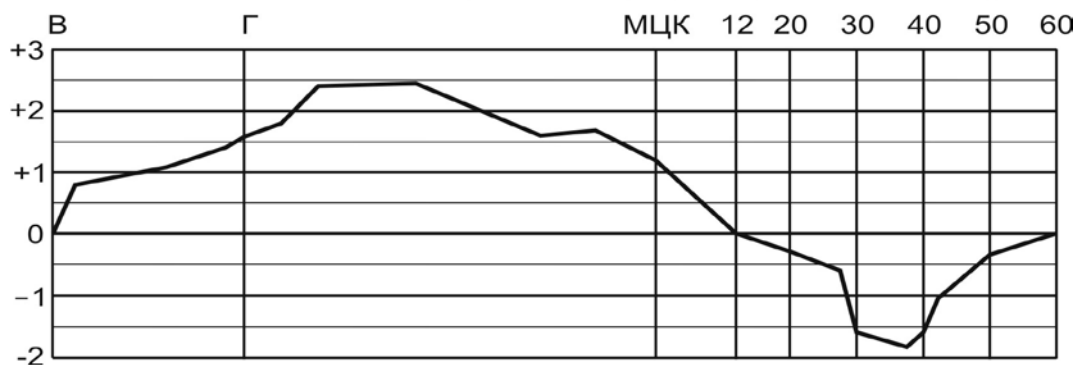


Рис. В.4

Стрілочний перевід № 2 ст. Васильківська ПРШ T=60,8



Стрілочний перевід № 1 ст. Дарниця ПРШ T=77,8



Стрілочний перевід № 1 ст. Героїв Дніпра ПРШ T=79,8

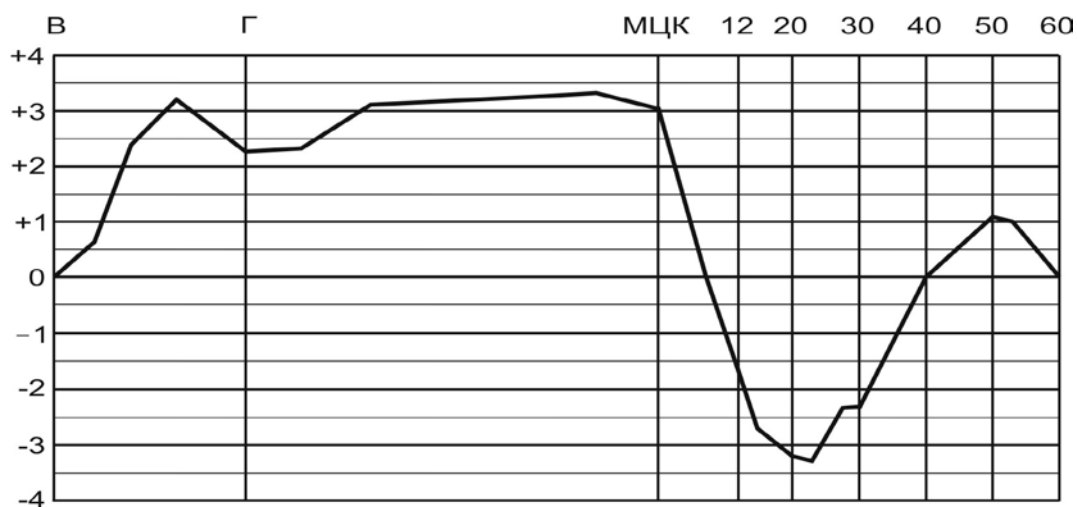


Рис. В.5

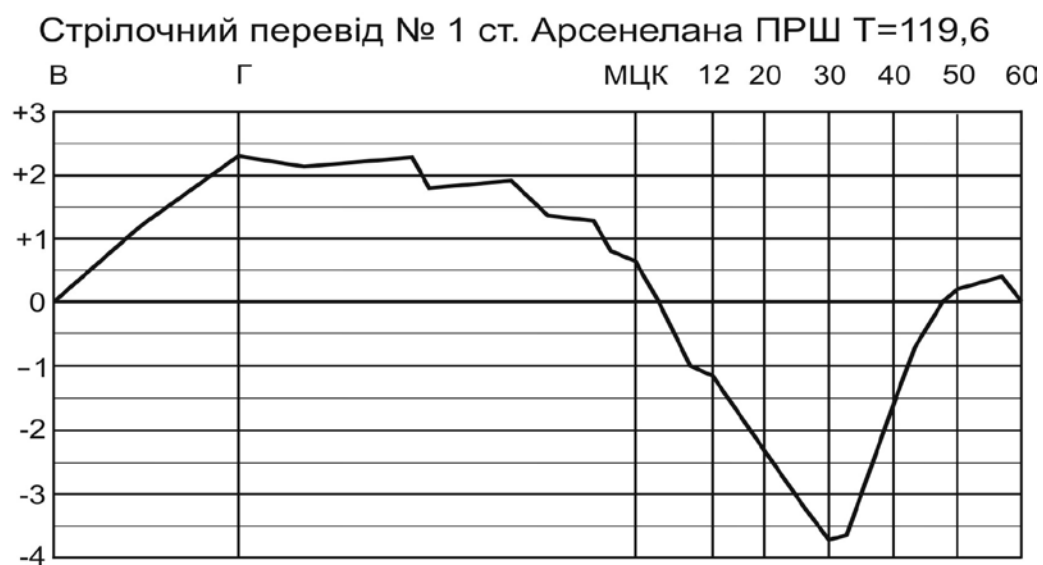
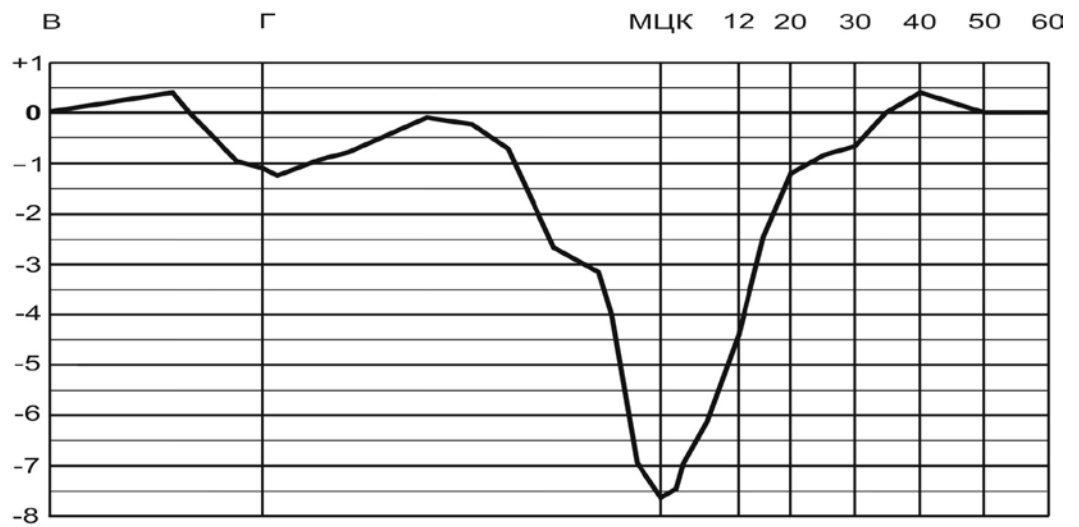


Рис. В.6

Стрілочний перевід № 1 ст. Дорогожичі ПШ, T=24,6



Стрілочний перевід № 1 ст. Золоті ворота ПШ, T=25,1



Стрілочний перевід № 1 ст. Кловська ПШ, T=28,3



Рис. В.7

Month	Visits (thousands)
В (Венесуэла)	1.6
Г (Германия)	1.4
МЦК (Минск)	2.5
12 (декабрь)	2.3
20 (январь)	2.5
30 (февраль)	1.4
40 (март)	1.6
50 (апрель)	1.8
60 (май)	1.6

МЦК (тыс.)	В (тыс. тенге)
0	0.0
10	1.7
20	2.6
30	3.6
40	3.4
50	3.3
60	1.9
70	0.0
80	-1.9
90	-3.1
100	-1.5
110	-0.5
120	0.0
130	0.0
140	0.5
150	1.2
160	0.0
170	0.0

Год	Изменение в тысячах человек
2007	0
2008	-0.3
2009	0.3
2010	-0.3
2011	0.5
2012	1.3
2013	1.4
2014	2.7
2015	3.4
2016	0

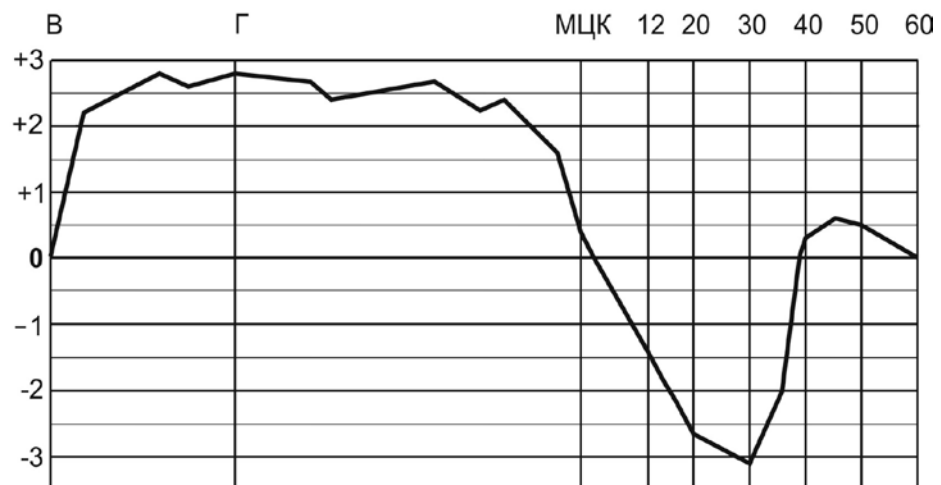
Year	Change in thousands of employees
2012	0.0
2013	1.4
2014	1.8
2015	1.4
2016	2.8
2017	3.1
2018	3.9
2019	3.6
2020	4.1
2021	-1.7
2022	0.1

243

Стрілочний перевід № 2 ст. Видубичі ПШ, T=91,3



Стрілочний перевід № 1 ст. Видубичі ПШ, T=93,4



Стрілочний перевід № 1 ст. Лук'янівська ПШ, T=106,2

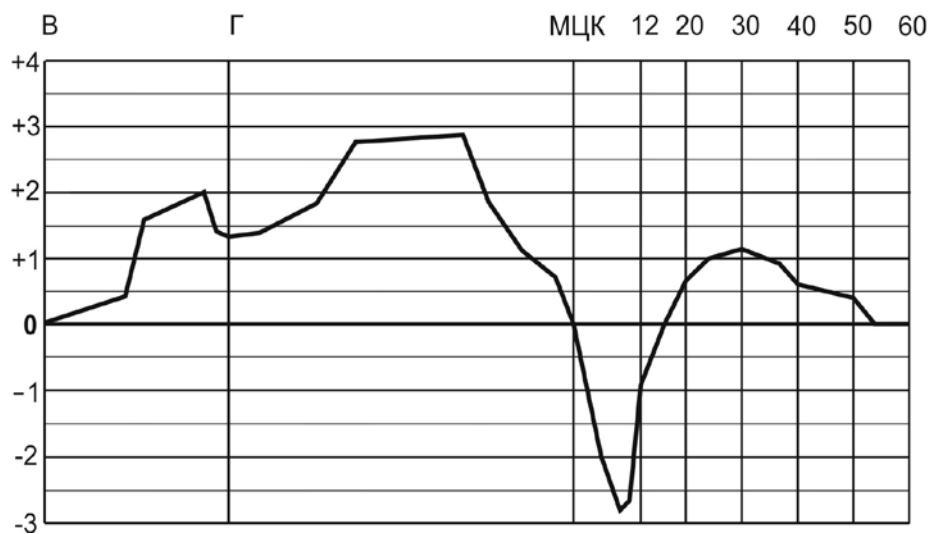
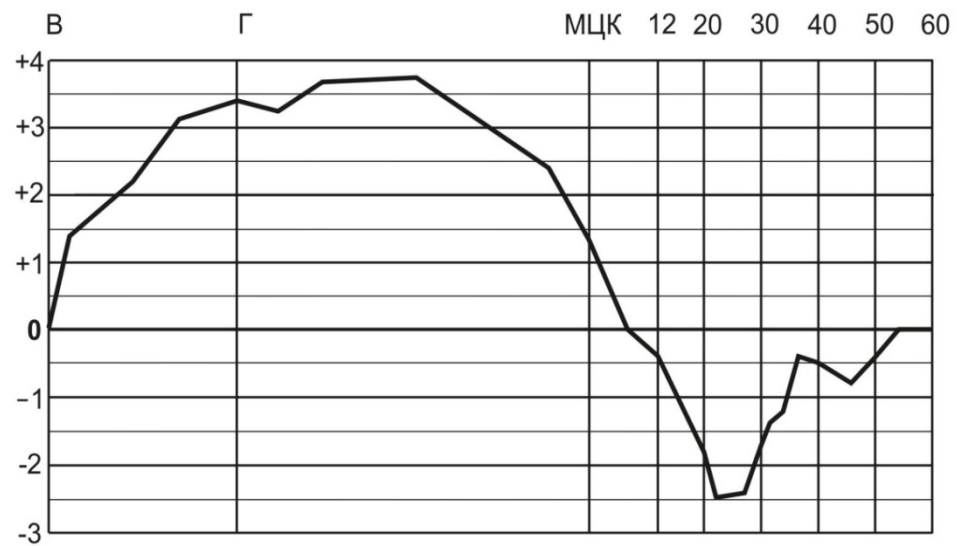


Рис. В.9

Стрілочний перевід № 2 ст. Лук'янівська ПРШ, T=24,8



Стрілочний перевід № 2 ст. Кловська ПРШ, T=32,2



Стрілочний перевід № 1 ст. Осокорки ПРШ, T=68,2

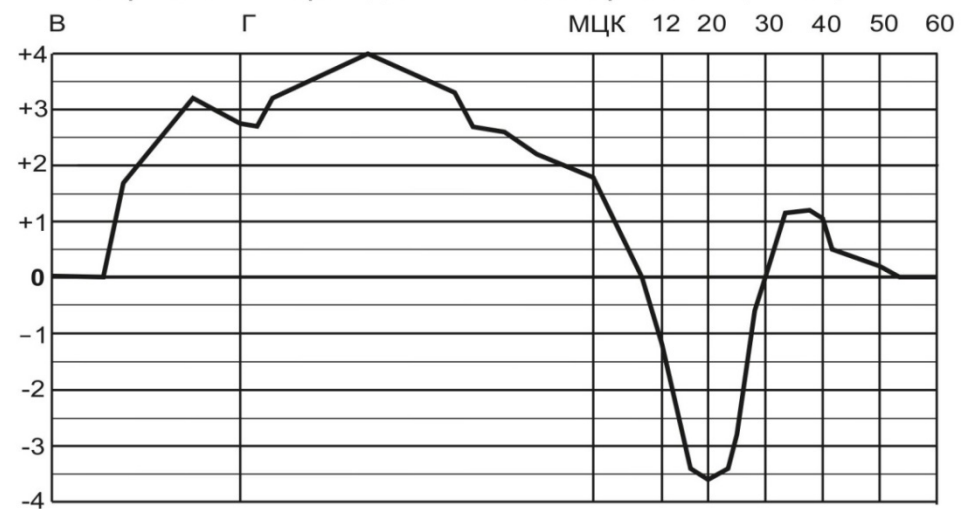


Рис. В.10

Стрілочний перевід № 2 ст. Дорогожичі ПРШ, T=75,1



Стрілочний перевід № 1 ст. Дружби народів ПРШ, T=97,5

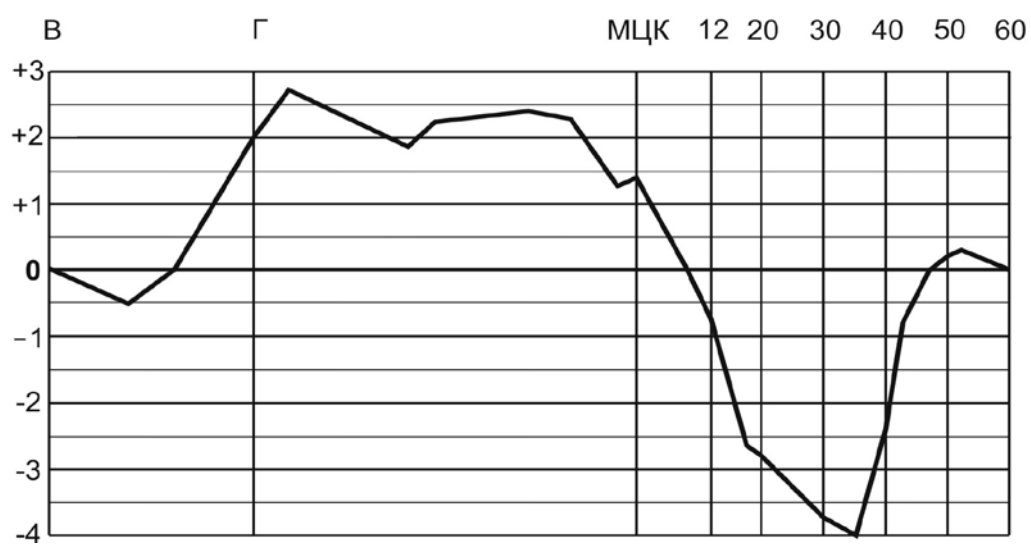


Рис. В.11

Програма розрахунку сил взаємодії в системі «екіпаж-колія» при русі по вертикальних нерівностях стрілочних переводів

```

xnB1:=[0,0.0001,0.030,0.046,0.107,0.130,0.150,0.220,0.260,0.305,0.338,
0.398,0.435,0.469,0.643,0.662,0.675,0.755,0.767,0.820,0.882,0.890,0.89
8,0.929,0.947,0.983,1.001,1.025,1.064,1.069,1.091,1.105,1.135,1.151,1.
181,1.272,1.293,1.362,1.363]:
ynB1:=[0,0,0.00035,0.00054,0.00154,0.00169,0.00190,0.00214,0.00216,0.0
0183,0.00159,0.00154,0.00152,0.00152,0.00087,0.00069,0.00056,-
0.00035,-0.00056,-0.00166,-0.00287,-0.00291,-0.00298,-0.00294,-
0.00286,-0.00167,-0.00150,-0.00120,-0.00064,-0.00055,-
0.0002,0.00001,0.00009,0.00013,0.00015,0.00015,0.00025,0,0]:
> eta3 := spline(xnB1,ynB1,x1,1):

```

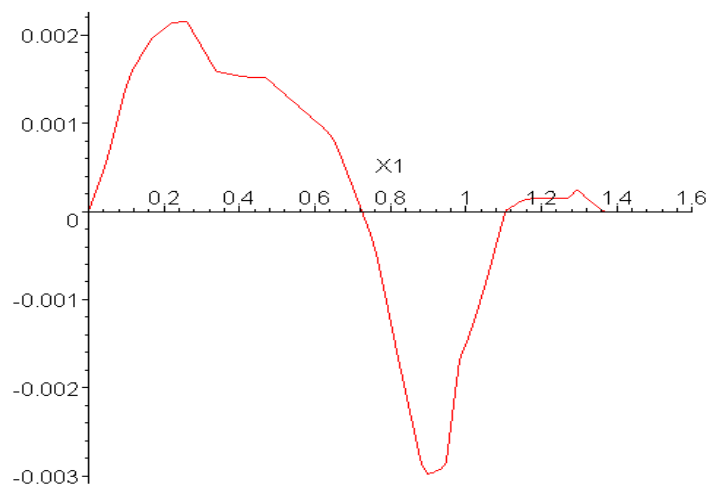


Рисунок Г.1 – Графічне представлення нерівності

Розрахункові параметри колії та рухомого складу (табл. 4.6) відповідно до розрахункової схеми 4.15 задаються у вигляді:

```

> m1:=36.90: m2:=1.95: m3:=m2: m4:=.567: m5:=m4: m6:=m4*2: m7:=1.151:
m8:=m7: m9:=2*m7:
m10:=0.769: m11:=m10: m12:=2*m7:
c1:=2000.000: c2:=500000.000: c3:=c2*2: c4:=193260.000: c5:=c4*2:
c6:=152542: c7:=c6*2:
k1:=28.750: k2:=5.000: k3:=k2*2: k4:=2350.000: k5:=k4*2: k6:=200.000:
k7:=k6*2:
I1:=138.500: I2:=2.275: l1:=12.6: l2:=2.1: delta:=0.23:

```

Вводимо змінні для підстановки в диференціальні рівняння:

```

> eta3t:=diff(eta3,t):
eta3tt:=diff(eta3t,t):
eta2t:=diff(eta2,t):

```

```

eta2tt:=diff(eta2t,t):
eta1t:=diff(eta1,t):
eta1tt:=diff(eta1t,t):
> eta1:=subs(V=VV,eta1):
eta1t:=subs(V=VV,eta1t):
eta1tt:=subs(V=VV,eta1tt):
> eta2:=subs(V=VV,eta2):
eta2t:=subs(V=VV,eta2t):
eta2tt:=subs(V=VV,eta2tt):
> eta3:=subs(V=VV,eta3):
eta3t:=subs(V=VV,eta3t):
eta3tt:=subs(V=VV,eta3tt):

```

Описуємо диференційні рівняння та відповідні початкові умови коливального процесу:

```

> P1:=c1*(z1(t)-z3(t)-l1*z2(t))+k1*(z1t(t)-z3t(t)-l1*z2t(t)):
P2:=c1*(z1(t)-z4(t)+l1*z2(t))+k1*(z1t(t)-z4t(t)+l1*z2t(t)):
P3:=c2*(z3(t)-z6(t)-l2*z5(t)+Z1(t))+k2*(z3t(t)-z6t(t)-
l2*z5t(t)+Z1t(t)):
P4:=c2*(z3(t)-z7(t)+l2*z5(t)+Z2(t))+k2*(z3t(t)-
z7t(t)+l2*z5t(t)+Z2t(t)):
P5:=c3*(z4(t)-z8(t)+Z3(t))+k3*(z4t(t)-z8t(t)+Z3t(t)):
P6:=c4*(z6(t)-z9(t))+k4*(z6t(t)-z9t(t)):
P7:=c4*(z7(t)-z10(t))+k4*(z7t(t)-z10t(t)):
P8:=c5*(z8(t)-z11(t))+k5*(z8t(t)-z11t(t)):
P9:=c6*z9(t)+k6*z9t(t):
P10:=c6*z10(t)+k6*z10t(t):
P11:=c7*z11(t)+k7*z11t(t):
> eq1:=diff(z1(t),t)=z1t(t):
eq2:=diff(z2(t),t)=z2t(t):
eq3:=diff(z3(t),t)=z3t(t):
eq4:=diff(z4(t),t)=z4t(t):
eq5:=diff(z5(t),t)=z5t(t):
eq6:=diff(z6(t),t)=z6t(t):
eq7:=diff(z7(t),t)=z7t(t):
eq8:=diff(z8(t),t)=z8t(t):
eq9:=diff(z9(t),t)=z9t(t):
eq10:=diff(z10(t),t)=z10t(t):
eq11:=diff(z11(t),t)=z11t(t):
eq12:=diff(z1t(t),t)=-(P1+P2)/m1:
eq13:=diff(z2t(t),t)=-l1*(-P1+P2)/I1:
eq14:=diff(z3t(t),t)=(P1-P3-P4)/m2:
eq15:=diff(z4t(t),t)=(P2-P5)/m3:
eq16:=diff(z5t(t),t)=l2*(P3-P4)/I2:
eq17:=diff(z6t(t),t)=(P3-P6-delta*P7)/m4:
eq18:=diff(z7t(t),t)=(P4-P7-delta*P6)/m5:
eq19:=diff(z8t(t),t)=(P5-P8)/m6:
eq20:=diff(z9t(t),t)=(P6+delta*P7-P9)/m7:
eq21:=diff(z10t(t),t)=(P7+delta*P6-P10)/m8:
eq22:=diff(z11t(t),t)=(P8-P11)/m9:
> eq23:=diff(Z1(t),t)=eta1t:
> eq24:=diff(Z1t(t),t)=eta1tt:

```

```

> eq25:=diff(Z2(t),t)=eta2t:
> eq26:=diff(Z2t(t),t)=eta2tt:
> eq27:=diff(Z3(t),t)=eta3t:
> eq28:=diff(Z3t(t),t)=eta3tt:
> eq29:=diff(zz10(t),t)=VV:
ys:=eq1,eq12,eq2,eq13,eq3,eq14,eq4,eq15,eq5,eq16,eq6,eq17,eq7,eq18,eq8
,eq19,eq9,eq20,eq10,eq21,eq11,eq22,eq23,eq24,eq25,eq26,eq27,eq28,eq29:
fcns:={z1(t),z1t(t),z2(t),z2t(t),z3(t),z3t(t),z4(t),z4t(t),z5(t),z5t(t)
),z6(t),z6t(t),z7(t),z7t(t),z8(t),z8t(t),z9(t),z9t(t),z10(t),z10t(t),z
11(t),z11t(t),Z1(t),Z1t(t),Z2(t),Z2t(t),Z3(t),Z3t(t),zz10(t)}:
nusl:=z1(0)=0,z1t(0)=0,z2(0)=0,z2t(0)=0,z3(0)=0,z3t(0)=0,z4(0)=0,z4t(0
)=0,z5(0)=0,z5t(0)=0,
z6(0)=0,z6t(0)=0,z7(0)=0,z7t(0)=0,z8(0)=0,z8t(0)=0,z9(0)=0,z9t(0)=0,z1
0(0)=0,z10t(0)=0,z11(0)=0,
z11t(0)=0,Z1(0)=0,Z1t(0)=0,Z2(0)=0,Z2t(0)=0,Z3(0)=0,Z3t(0)=0,zz10(0)=0

```

Прописуємо процедуру для чисельного розв'язання системи диференційних рівнянь:

```

F:=dsolve({sys,nusl},fcns,numeric,method=rkf45,output=listprocedure);

```

Встановлюємо процедури виведення результатів розрахунків динамічних сил взаємодії з реалізацією графічного представлення розподілу розрахункових величин по довжині нерівності, що наведено на рис. 4.17 (наведено процедуру представлення сил P_3 при швидкості руху $V=20, 40, 60$ і 80 км/Год):

```

> TCR:=odeplot(F,[[zz10(t),Z1(t)],[zz10(t),-(z3(t)-
l2*z5(t))],[zz10(t),P3*1e-5]],(l1+l2/2-
0.8)/VV..(l1+l2/2+L)/VV,numpoints=300):
> for i from 1 to 30 do [i,F[i]]; od:
> with(plottools):
> Step:=0.0003;L:=1.6;

```

Step := 0.0003

L := 1.6

```

> NCN:=(l1+l2/2-0.8)/(VV*Step);

```

NCN := 3855.000000

```

> NCN:=floor(%);

```

NCN := 3855

```

> NCK:=(l1+l2/2+L)/(VV*Step);

```

NCK := 4575.000000

```

> NCK:=round(%);

```

NCK := 4575

```

> c(i):=array(NCN..NCK):
> for i from NCN to NCK do
q33||i:=display(point([rhs(F[30](0.0003*i)), -
rhs(F[16](0.0003*i))+l2*rhs(F[20](0.0003*i))],
thickness=2,color=blue),point([rhs(F[30](0.0003*i)),c2*(rhs(F[16](0.00
03*i))-rhs(F[22](0.0003*i))-
l2*rhs(F[20](0.0003*i))+rhs(F[2](0.0003*i)))*1e-
5],color=black),textplot([11,0.001,cat("P3=",convert(c2*(rhs(F[16](0.0
003*i))-rhs(F[22](0.0003*i))-
l2*rhs(F[20](0.0003*i))+rhs(F[2](0.0003*i)))+k2*(rhs(F[17](0.0003*i))-
rhs(F[23](0.0003*i))-
l2*rhs(F[21](0.0003*i))+rhs(F[3](0.0003*i))),string)," кН"]):end do:
CC:=display([seq(q33||i,i=NCN..NCK)],insequence=true,view=[l1+l2/2-
0.5..l1+l2/2+L,-0.0045..0.0035]):
> display(TCR,CC);

```

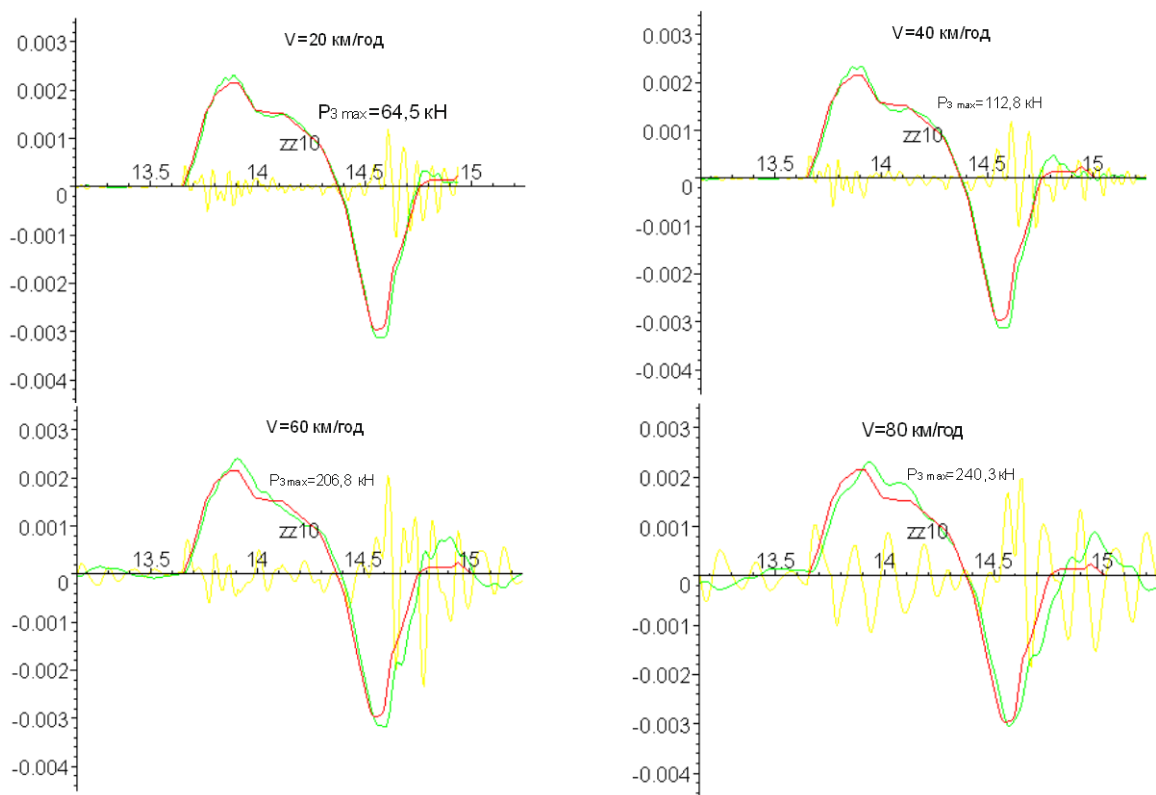


Рисунок Г.2 – Розподіл вертикальних динамічних сил і динамічних прогинів рейкової нитки в контакті колеса і рейки P_3 на хрестовинах

Додаток Д

Впровадження матеріалів дисертаційної роботи

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ
вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна
тел./факс: (044) 463-74-70, 482-51-26
E-mail: duit@duit.edu.ua
Код ЄДРПОУ 41330257



MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE
OF UKRAINE
STATE UNIVERSITY OF INFRASTRUCTURE
AND TECHNOLOGIES
9, Kyrylivska St., Kyiv, Ukraine, 04071
tel./fax: (+38044) 463-7470, 482-51-26
E-mail: duit@duit.edu.ua

Від «15» 09 2021 р. № 86

Затверджую:
Ректор ДУІТ

«__» __ 2021 р.

Довідка
про впровадження результатів дисертаційної роботи
Олійник Олени Андріївни на тему «Наукові основи проектування
симетричних стрілочних переводів за умовами безпеки руху коліс в межах
відведених вістряків», яка виконана на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

На підставі рішення Вченої ради Інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій (протокол № 1 від 30 серпня 2021 р.) та рішення кафедри «Залізнична колія та колійне господарство» (протокол № 10 від 24.05. 2021 р.) **впровадити в навчальний процес підготовки магістрів зі спеціальності 273 «Залізничний транспорт» результати науково-дослідної роботи і теоретичні положення сформульовані в дисертаційній роботі Олійник Олени Андріївни на тему «Наукові основи проектування симетричних стрілочних переводів за умовами безпеки руху коліс в межах відведених вістряків», а саме теоретичні основи сучасної методики вирішення задачі з розрахунків і проектування симетричних стрілочних переводів за умовами безпеки руху коліс в межах стрілочного переводу, а також за умовами недопущення небезпечних силових дій від рухомого складу на рейкові елементи стрілочних переводів.**

Директор Київського інституту
залізничного транспорту ДУІТ



В.М. Твердомед

Голова Вченої ради Київського
інституту залізничного транспорту ДУІТ

О.Г. Стрелко

Зав. кафедри «Залізнична колія та
колійне господарство» КІЗТ ДУІТ

Е.І. Даніленко



АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
«ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ СТІЛОЧНИЙ ЗАВОД»
вул. Любарського, 181
Україна, 49000, Дніпро

№ _____ від _____



Затверджую
Генеральний директор
АТ «Дніпропетровський
стрілочний завод»
С.Д. Тараненко

Акт

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Олійник Олени Андріївни «Наукові основи проектування
симетричних стрілочних переводів за умовами безпеки руху коліс в межах
відведених вістряків»

м. Дніпро

03.09.2021 р.

Дійсним Актом засвідчується, що під час впровадження в виробництво нових конструкцій симетричних стрілочних переводів на АТ «Дніпропетровський стрілочний завод» поряд з типовими методиками застосовується нова методика проектування симетричних стрілочних переводів за умовами забезпечення безпеки руху коліс в межах відведених вістряків, яка розроблена в дисертаційній роботі ст. викладача ДУІТ Олійник Олени Андріївни. Тобто, засвідчується що результати науково-дослідних і проектних досліджень дисертаційної роботи Олійник Олени Андріївни використовуються для проектних розрахунків нових конструкцій стрілочних переводів.

Головний конструктор
АТ «Дніпропетровський
стрілочний завод»

К.В. Корноухова

Ст. викладач
кафедри «Залізнична колія
та колійне господарство» ДУІТ

О.А. Олійник