

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

ОЛІЙНИК ОЛЕНА АНДРІЇВНА



УДК 625.151:625.153

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

05.22.06 – залізнична колія

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі залізничної колії та колійного господарства Державного університету інфраструктури та технологій (м. Київ) Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Даніленко Едуард Іванович,
Державний університет інфраструктури та технологій,
завідувач кафедри «Залізнична колія та колійне
господарство»,
м. Київ, Україна

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Курган Дмитро Миколайович,
Український державний університету науки і технологій,
доцент кафедри «Транспортна інфраструктура»,
м. Дніпро, Україна

кандидат технічних наук, доцент
Вітольберг Володимир Геннадійович,
Український державний університет залізничного транспорту,
доцент кафедри «Залізнична колія і транспортні споруди»,
м. Харків, Україна

Захист відбудеться 29 вересня 2021 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.820.01 в Державному університеті інфраструктури та технологій за адресою: 03049, м. Київ, вул. І. Огієнка, 19, ауд. № 305.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державного університету інфраструктури та технологій за адресою: 03049, м. Київ, вул. І. Огієнка, 19.

Автореферат розісланий “27” серпня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради К 26.820.01,

К. Т. Н., доц.



В.М. Молчанов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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 транспорті 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., Матвецов 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: [1] - проведення експериментальних досліджень з визначення вертикальних траєкторій руху поїздів в межах хрестовини; [2, 7, 14] - проведення розрахунків на міцність та стійкість елементів верхньої будови колії; [3] - дослідження процесів вписування екіпажів в криві; [5] - аналіз нормативних показників щодо утримання плавності кривих; [6] - розробка нової методики розрахунків і проектування симетричних стрілочних переводів; [9] - розробка одного з методів розрахунку мінімального жолоба між відведеним вістряком і рамною рейкою; [11, 12] - експериментальні дослідження геометричних параметрів стрілочних переводів; [13] - 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» ДЕТУТ (м. Київ, 12 грудня 2013 р.);

- VI Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» УкрДУЗТ (м. Харків, 19-21 квітня 2017 р.);

- Міжнародна науково-технічна конференція «Технології та інфраструктура транспорту» УкрДУЗТ (м. Харків, 14-16 травня 2018 р.);

- 78 Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна (м. Дніпро, 17-18

травня 2018 р.);

- VII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» УкрДУЗТ (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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми дисертації, зв'язок з науковими програмами, сформульована мета і завдання дослідження, викладена наукова новизна та практична значимість отриманих результатів. Також у вступі зазначений особистий внесок автора, апробація результатів, публікації за темою дисертаційної роботи, загальний обсяг та структура роботи.

У **першому розділі** проведений аналіз попередніх досліджень за темою дисертації, сформульовано актуальність проблеми та поставлені задачі дисертаційного дослідження.

Дослідженнями стрілочних переводів в СРСР займалися: наукові школи в ПГУПС (С-Петербург, Росія) на кафедрі «Залізнична колія» під керівництвом д.т.н., проф. С.В. Амеліна і також у ВНДІЗТ (Москва, Росія) в науково-дослідній стрілочній лабораторії під керівництвом к.т.н. Г.І. Іващенко, д.т.н. М.М. Путрі та д.т.н. Б.Е. Глюзберга.

В Україні основні наукові 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 та д.т.н., проф. Ю.Д. Волошко, а з 2000 року в ДЕТУТ (ДУІТ) (Київ, Україна) під керівництвом д.т.н., 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., Желнін Г.Г., 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., Уманов М.І., Молчанов В.М., Бойко В.Д., Твердомед В.М. та ін.

Питанням проектування раціональних параметрів стрілочних переводів займалися значно менша кількість дослідників та науковців, тим більше зовсім небагато дослідників займалися питаннями проектування параметрів симетричних стрілочних переводів. До таких науковців можна віднести наступних вчених: д.т.н.,

професорів Амеліна С.В., Березовського М.В., Смірнова М.П., Яковлева В.Ф., Говорова В.В., Даніленка Е.І.; к.т.н. Єлсакова М.М., Семенова І.І., Шлигіна М.І., Янковського А.К., Глокмана Ю.Ц., Смикова Е.К., Молчанова В.М.

Основні наукові питання, які розглядались в більшості досліджень в перерахованих вище наукових школах відносились до вирішення наступних задач: дослідження напружень і деформацій в рейкових елементах стрілочних переводів; визначення інтенсивності зносу та дефектності в стрілочних переводах та встановлення строків їх служби в різних експлуатаційних умовах; встановлення допустимих швидкостей по стрілочних переводах та деякі інші питання.

Однак, у виконаних раніше дослідженнях як на українських залізницях, так і на залізницях СРСР не розглядалось у комплексі питання проектування раціональних параметрів симетричних стрілочних переводів на основі безпеки руху поїздів в межах жолобів 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:

1) Проаналізувати існуючі розмірні параметри симетричних стрілочних переводів найбільш розповсюджених марок для звичайних умов експлуатації (1/9, 1/11) та визначити раціональні розміри жолобів між рамними криволінійними рейками і відведеними криволінійними вістряками за умовою безпеки руху коліс рухомого складу;

2) Визначити 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 вірогідних вертикальних траєкторій перекочування коліс по хрестовині з метою недопущення небезпечних силових дій рухомого складу на хрестовину симетричного стрілочного переводу.

Другий розділ присвячений геометричним розрахункам одиночного різностороннього симетричного стрілочного переводу з криволінійними вістряками.

У відомій технічній літературі (в Україні й колишньому СРСР) з розрахунків стрілочних переводів переважна увага присвячена геометричним розрахункам звичайних стрілочних переводів, в тому числі для звичайних швидкостей руху поїздів і швидкісного руху на магістральному транспорті, а також для невеликих швидкостей руху промислового транспорту (див. літературу в дисертації).

Але симетричні стрілочні переводи за своїм призначенням і конструктивним оформленням мають суттєві відмінності від найбільш розповсюджених звичайних стрілочних переводів. Однак, у відомій літературі вкрай мало приділено уваги проектуванню симетричних стрілочних переводів і особливо детальному проектуванню їх конструктивних частин і вузлів, в тому числі практично не розглядались детально питання забезпечення безпеки руху поїздів в межах стрілки при відведенні вістряків від рамних рейок.

Тому, в дисертації у другому розділі при проектуванні симетричного стрілочного переводу окрема увага приділена розрахункам ширини мінімального жолоба між рамною рейкою і відведеним вістряком стрілочного переводу.

Розрахунок ширини жолоба між рамною рейкою і відведеним вістряком, необхідний для виявлення фактичного мінімального розміру цього жолобу $t_{\min \min}$, виконується за умовою безпеки проходу колісних пар по розглядуваній зоні стрілочного переводу, 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 ПТЕ, приймається $t_{\min}^{\text{доп}} = 71$ 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:

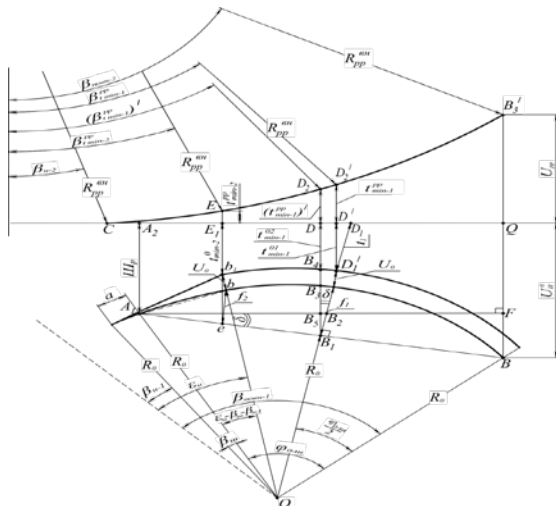
$$t_{\min}^{\text{розн}} \geq t_{\min}^{\text{доп}} \quad (1)$$

Особлива складність при вирішенні вказаної задачі полягає в тому, що:

1) при проектуванні симетричних стрілочних переводів потрібно розглядати різні схеми взаємного розміщення рамної рейки і відведеного вістряка: а) при розмірі кореневої відстані більшій ніж величина ходу шибєру при відведенні вістряка $U_n^0 > Ш_p$ (рис. 1, а); б) при зворотному співвідношенні $U_n^0 < Ш_p$ (рис. 1, б);

2) при визначенні мінімальної ширини жолоба між рамною рейкою і відведеним вістряком потрібно розглядати різні конкуруючі перерізи ($t_{\min-1}, t_{\min-2}, Ш_p$) для того, щоб визначити $t_{\min \min}$ (рис. 1, а, б);

а)



б)

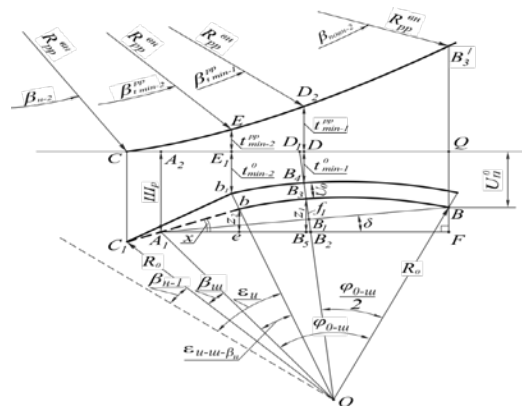


Рис. 1 – Схема взаємного розташування відведеного вістряка: а) при $U_n^0 > Ш_p$; б) при $U_n^0 < Ш_p$

3) крім цього суттєву складність при проектуванні складає проектування криволінійного вістряка симетричного стрілочного переводу, який, по-перше, має складні окреслення у плані та профілі (рис. 2), по-друге, його довжина знаходиться в функціональній залежності від умови (1), тобто потрібно змінювати довжину вістряка l_0 , послідовно збільшуючи його до тих пір поки умова (1) буде виконуватись. Якщо

умова (1) не буде виконуватись при збільшенні l_0 аж до максимально можливої довжини, обумовленої габаритною відстанню теоретичної довжини L_T , тоді потрібно збільшувати радіус R криволінійної частини, що спричинить збільшення повної довжини стрілочного переходу L_{II} .

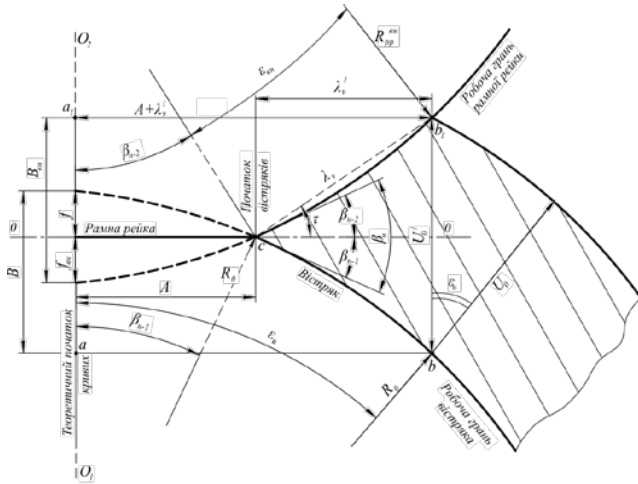


Рис. 2 – Розрахункова схема для визначення довжини стрічки при приляганні криволінійного вістряка до рамної рейки симетричного стрілочного переходу

У другому розділі задача проектування раціональних розмірів вістряків і жолобів вирішена саме так. на основі розгляду двох вказаних схем (рис. 1, а, б).

Заключні вирази для знаходження мінімальних жолобів між відведеним вістряком та криволінійною рамною рейкою, визначаються за наступними формулами:

- для схеми рис. 1, а:

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

$$(t_{\min-1}')_{\text{норм}} = (t_{\min-1}')_{\text{верт}} \cdot \cos\frac{(\beta_{t_{\min-1}^{pp}})' - \delta_1}{2} - (t_{\min-1}')_{\text{верт}} \cdot \sin\frac{(\beta_{t_{\min-1}^{pp}})' - \delta_1}{2} \cdot \text{tg}\frac{(\beta_{t_{\min-1}^{pp}})' - \delta_1}{2}; \quad (3)$$

- для схеми рис. 1, б:

$$(t_{\min-1})_{\text{норм}} = (t_{\min-1})_{\text{верт}} \cdot \cos\left(\frac{\beta_{t_{\min-1}^{pp}} + \delta}{2}\right) - (t_{\min-1})_{\text{верт}} \cdot \sin\left(\frac{\beta_{t_{\min-1}^{pp}} + \delta}{2}\right) \cdot \text{tg}\left(\frac{\beta_{t_{\min-1}^{pp}} + \delta}{2}\right); \quad (4)$$

$$(t_{\min-2})_{\text{норм}} = (t_{\min-2})_{\text{верт}} \cdot \cos\left(\frac{\beta_{t_{\min-2}^{pp}} + x}{2}\right) - (t_{\min-2})_{\text{верт}} \cdot \sin\left(\frac{\beta_{t_{\min-2}^{pp}} + x}{2}\right) \cdot \text{tg}\left(\frac{\beta_{t_{\min-2}^{pp}} - x}{2}\right). \quad (5)$$

В дисертації автором наведена повна методика проектування раціональних параметрів симетричного стрілочного переходу з криволінійними вістряками, яка була розроблена автором сумісно і під керівництво 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» (том 1, 2019 р.). При вивченні технічної літератури нами не виявлено будь-яких аналогічних підходів до вирішення задачі проектування симетричних стрілочних переводів з такими досконалими багатofакторними вихідними умовами.

За даною методикою 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 ($U_n^0 > Ш_p$) та $l_0=6515$ мм ($U_n^0 < Ш_p$).

Виконаними практичними розрахунками встановлено:

- при залишених незмінними таких параметрів – початковий кут вістряка β_{n-1} , початковий радіус вістряка R_0 та радіус перевідної привої R , а також передній h та задній p вильоти хрестовини;

- можна зменшити такі важливі параметри симетричного стрілочного переводу: як його теоретична L_T та практична довжина L_{II} , довжина рамної рейки l_{pp} , довжини з'єднувальних рейок $l_1 - l_8$; довжина перевідної кривої x_k .

Таким чином, 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 (рис. 3) 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.

При цьому зменшення загальної довжини стрілочних переводів дозволить більш ширше їх використовувати в стиснених умовах колійного розвитку станцій. А також зменшити металоємність конструкції, що в цілому зменшить вартість цих конструкцій.

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

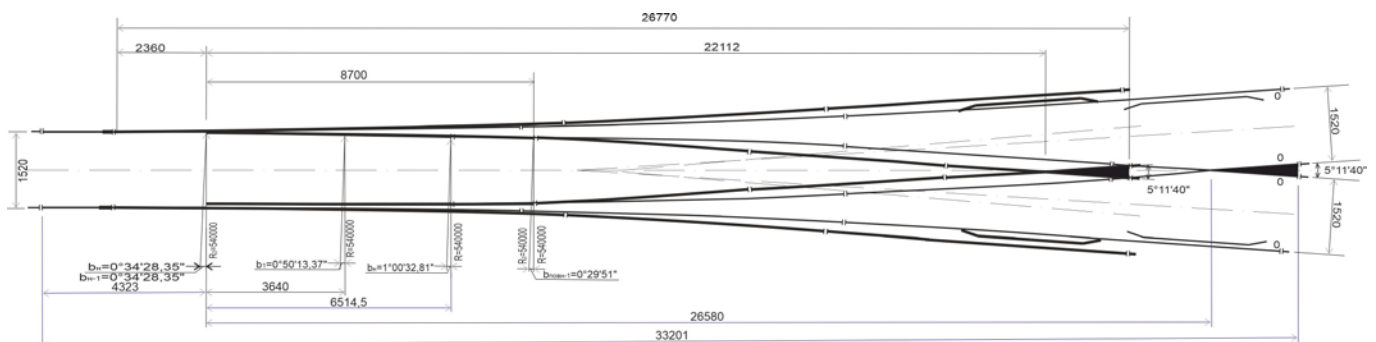


Рис. 3 – Основні геометричні розміри існуючого та запроєктованого стрілочного переводу типу P50 марки 1/11

Третій розділ присвячений по-перше: теоретичному рішення задачі з визначення пружно-жорсткісних параметрів рейкової колії в межах симетричного стрілочного переводу, що укладений на комбінованій підрейковій основі, тобто на дерев'яних брусах і на щебенево-бетонній основі (по типу метрополітену); по-друге: розділ присвячений також визначенню силової завантаженості рейкових ниток симетричного стрілочного переводу на основі теоретичних розрахунків залізничної колії на міцність з використанням отриманих пружно-жорсткісних параметрів рейкових ниток в межах стрілочного переводу.

Конструктивні особливості стрілочних переводів не дозволяють застосувати загальний підхід до визначення силової динаміки по усій довжині переводу із застосуванням типових методів розрахунків на міцність.

Для такої багатониткової 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 ними. Так, наявність контррейок, потужної хрестовини та лафетів дають значні скачки по довжині переводу загальної жорсткості та модуля пружності. Деяко менші скачки жорсткості викликає щільність укладення брусів. 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.

Аналіз розподілу жорсткісних характеристик стрілочних переводів по його довжині дозволяє зробити висновок про необхідність умовного розділення стрілочного переводу на окремі зони, в межах яких жорсткісні параметри змінюються незначно, зокрема: 1) передній виліт рамних рейок, де конструкція мало відрізняється від звичайної колії; 2) вістрякова зона, де загальна жорсткість більша, так як включає вплив рамних рейок і вістряків; 3) з'єднувальна частина, яка, по суті, є чотиринитковою конструкцією колії; 4) хрестовинна частина, яка має ділянки як з трьома, так і з чотирма рейковими нитками; 5) захрестовинна частина, в межах якої чотириниткова конструкція стрілочного переводу поступово переходить у два напрямки звичайної колії.

Визначення жорсткісних характеристик є передумовою до рішення задачі щодо силової завантаженості стрілочного переводу по його довжині. При цьому, для визначення вертикальних динамічних сил та напружень у рейкових нитках потрібно застосовувати відповідну методику розрахунків.

Теоретичне розв'язання зазначеної задачі виконується поетапно: на першому етапі визначаються жорсткісні характеристики підрейкової основи стрілочного переводу. При цьому конструкція колії розглядається наступним чином: рейка розглядається як балка, покладена на окремих пружних опорах в поздовжньому напрямку, а робота кожної опори (шпали або бруса) під впливом навантажень, переданих від рейок, розглядається як балка обмеженої довжини в поперечному напрямку, що лежить на суцільній рівнопружній «вінклерівській» основі (рис. 4).

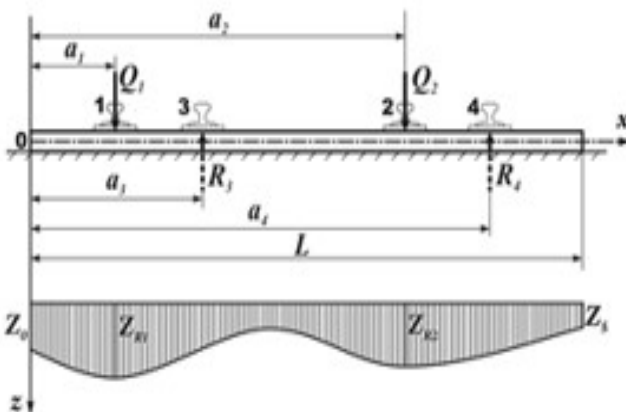


Рис. 4 – Розрахункова схема роботи шпали (бруса) як балки на суцільній рівнопружній основі

На другому етапі вирішується задача щодо визначення силової завантаженості рейкових ниток симетричного стрілочного переводу на основі існуючих Правил теоретичних розрахунків залізничної колії на міцність з використанням отриманих пружно-жорсткісних параметрів рейкових ниток в межах стрілочного переводу.

Розрахунок пружних прогинів підрейкових опор під дією одиничних сил, прикладених у підрейкових перерізах, як балок, що лежать на суцільній рівно пружній основі виконується наступним чином.

Вертикальні прогини стрілочних брусів визначаються із розв'язання диференціального рівняння вигину балки обмеженої довжини, що лежить на суцільній рівнопружній основі, завантаженої системою зосереджених вертикальних сил (рис. 4).

Диференціальне рівняння вигину такої балки вирішуємо за методом академіка Крилова А.М., розробленим ним у 1930-х рр.:

$$E_{\sigma} I_{\sigma} \frac{d^4 z(x)}{dx^4} + U_{\text{му}} z(x) = \sum_1^n Q_i \eta_i (x - a_i) \quad (6)$$

де: E_{σ} – модуль пружності при вигині балки;

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

z – прогин балки (шпали або бруса);

$U_{\text{му}}$ – модуль пружності підшпальної основи;

Q_i – зовнішні вертикальні зосереджені сили, що діють на брус;

η_i – ордината лінії впливу епюри Q_i ;

x – відстань від початку координат до місця розміщення розгляданого перерізу; n – кількість вертикальних сил.

Розв'язання диференціального рівняння (6) здійснюється в такий спосіб.

Розділивши ліву та праву частини рівняння на $(E_{\sigma} \cdot I_{\sigma})$ та позначивши $\frac{U_{\text{му}}}{E_{\sigma} I_{\sigma}} = 4\alpha^4$,

перепишемо рівняння (6) у вигляді:

$$z^{IV} + 4\alpha^4 z = \frac{\sum_1^n Q_i \eta_i (x - a_i)}{E_{\sigma} I_{\sigma}}. \quad (7)$$

У рівнянні (7) $\alpha = \sqrt[4]{\frac{U_{\text{му}}}{4E_{\sigma} I_{\sigma}}}$ – коефіцієнт відносної жорсткості основи і бруса

при його вигині.

Згідно методики академіка А.М. Крилова вирішення диференціального рівняння (6) виконується методом початкових параметрів з використанням спеціальних функцій. При цьому шукані значення моментів і прогинів визначаються в наступному виді:

$$\left. \begin{aligned} M(x) &= AY_0(x) + BY_1(x) + CY_2(x) + DY_3(x) \\ z(\rho) &= Y_0(\rho)z_0 + Y_1(\rho)z'_0 + Y_2(\rho)z''_0 + Y_3(\rho)z'''_0 + Y_3(\rho)e^{-\rho a_i} \frac{\sum_{i=1}^{i=n} Q_i}{E_{\sigma} I_{\sigma}} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

У рівнянні (8) $\rho = \alpha \cdot x$.

У рівняннях (8) функції О. М. Крилова мають наступний вид:

$$\left. \begin{aligned} A=0; \quad B=\sum Q_i; \quad C=4\alpha^4 E_\sigma I_\sigma z_0; \quad D=4\alpha^4 E_\sigma I_\sigma z'_0; \\ Y_0(\rho) = Y_0(x) = \cos(\alpha x) \operatorname{ch}(\alpha x); \\ Y_1(\rho) = Y_1(x) = \frac{1}{2\alpha} (\operatorname{ch}(\alpha x) \sin(\alpha x) + \operatorname{sh}(\alpha x) \cos(\alpha x)); \\ Y_2(\rho) = Y_2(x) = \frac{1}{2\alpha^2} \sin(\alpha x) \operatorname{sh}(\alpha x); \\ Y_3(\rho) = Y_3(x) = \frac{1}{2\alpha^3} (\operatorname{ch}(\alpha x) \sin(\alpha x) - \operatorname{sh}(\alpha x) \cos(\alpha x)); \\ Y_3(\rho) e^{-\rho a_i} = Y_3(x - a_i) \end{aligned} \right\} \cdot \quad (9)$$

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

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

$$z(x) = z_0 Y_0(x) + z'_0 Y_1(x) + \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{E_\sigma I_\sigma} Y_3(x - a_i); \quad (10)$$

$$M(x) = -E_\sigma I_\sigma z''_0(x) = 4\alpha^4 E_\sigma I_\sigma z_0 Y_2(x) + 4\alpha^4 E_\sigma I_\sigma z'_0 Y_3(x) - \sum_{i=1}^n Q_i Y_1(x - a_i). \quad (11)$$

На основі описаної методики на кафедрі «Залізнична колія та колійне господарство» ДУІТ к.т.н. В.М. Молчановим при участі автора дисертації і під керівництвом д.т.н., проф. Е.І. Даніленка розроблено алгоритм і програму для розрахунків на ЕОМ пружно-жорсткісних параметрів колії в межах стрілочного перевodu.

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

Визначення жорсткісних параметрів в окремих елементах підрейкової основи і вертикального модуля пружності підрейкової основи було виконано за методикою д.т.н., проф. Е.І. Даніленка, яка викладена в «Правилах розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість» і в якій механічна модель пружної роботи колії в цілому розглядається, як робота багатошарової конструкції, а окремої точкової опори, як пружної конструкції, що складається з декількох елементів різної жорсткості (рис. 5).

Розв'язок даного рівняння дає можливість отримати епюри прогинів та внутрішніх зусиль по довжині стрілочних брусів (рис. 6). За рахунок цього можна оцінити вплив незавантажених рейкових ниток та визначити складові сумарної жорсткості, що залежать від роботи бруса на згин.

Використовуючи описану вище методику було виконано відповідні розрахунки та отримано залежності жорсткісних характеристик стрілочного перевodu по довжині, результати яких наведені в табл. 1.

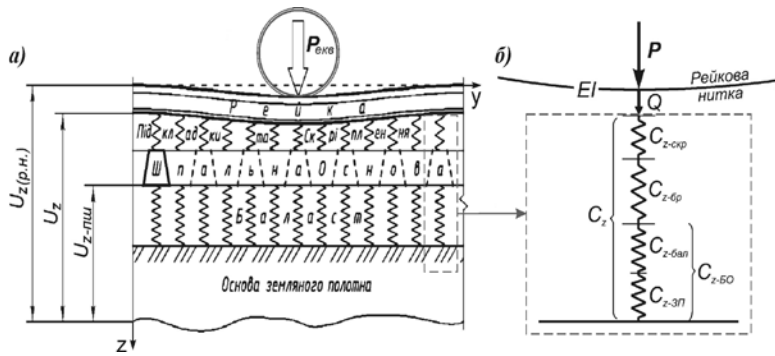


Рис. 5 – Механічна модель пружної роботи колії (згідно теорії проф. Е.І. Даніленко): а – як багатопарової конструкції; б – окремої точкової опори під рейкою

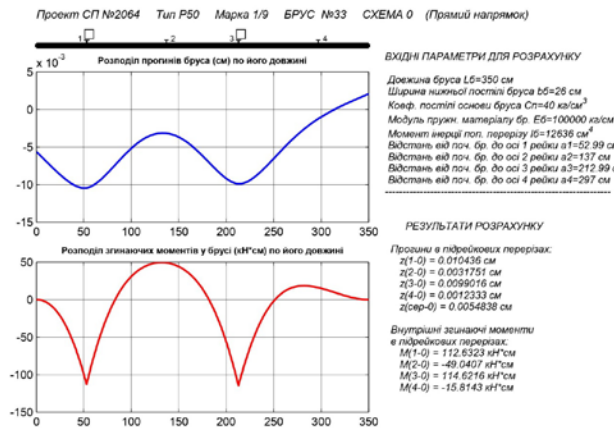


Рис. 6 – Зміна прогинів та згинальних моментів по довжині бруса №33 в симетричному стрілочному переводі типу Р50 марки 1/9 (проект 2064 Дн)

Таблиця 1 – 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	$K_{бо}$, МПа зовн	$K_{бо}$, МПа внутр	$K_{рн}$, МПа зовн	$K_{рн}$, 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

В даному дослідженні було отримано відповідні результати величин вертикальних динамічних сил і динамічних прогинів рейкових ниток при русі по стрілочному переводу вагонів метрополітену з використанням класичної методики розрахунків колії на міцність (табл. 2).

Таблиця 2 – 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	σ_{z-k} , МПа зовн	σ_{z-k} , МПа внутр	σ_{n-k} , МПа зовн	σ_{n-k} , 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

У четвертому розділі виконано дослідження вертикальних сил взаємодії на поверхні кочення хрестовин стрілочних переводів. Хрестовини в якості об'єкта дослідження обрали тому, що вони є вразливою частиною стрілочних переводів при взаємодії з колесами рухомого складу, так як саме в межах хрестовин здійснюється пересічення рейкових колій прямого та бокового напрямків (при звичайних стрілочних переводах) або обох бокових напрямків руху (при симетричних стрілочних переводах). Тому, хрестовини скоріше зношуються порівняно з іншими конструктивними елементами стрілочних переводів і тому призначення допустимих швидкостей руху по переводах здійснюється насамперед при досягненні допустимого вертикального поверхні кочення хрестовин. А величину вертикального зносу поверхні кочення хрестовини та його розповсюдження по довжині найкраще можна визначити шляхом вимірювання вертикальних нерівностей на поверхні кочення. Вимірювання вертикальних нерівностей є важливим не лише для визначення вертикального зносу, але головне, що така методика дозволяє розраховувати вертикальні сили взаємодії між колесами і колією на поверхні кочення хрестовин і саме на основі діючих динамічних сил взаємодії визначати допустимі швидкості руху поїздів по стрілочних переводах в цілому.

В якості об'єкта досліджень були обрані хрестовини стрілочних переводів Р50 і Р65 марки 1/9, які експлуатуються в діючих коліях Київського метрополітену. Вертикальні нерівності на хрестовинах були отримані шляхом експериментальних вимірювань.

При експериментальних вимірюваннях траєкторій перекочування в межах хрестовин використовувався траєкторіограф – спеціальний прилад конструкції ЛІЗТа (ПГУПС, Росія), що імітує рух моделі колеса по хрестовині. Загальний

вигляд траєкторіографа з розміщенням на хрестовині представлено на рис. 7.



Рис.7 – Поздовжнє розміщення траєкторіографа на хрестовині

Експериментальні вимірювання нерівностей на хрестовинах були виконані в період 2014-2015 рр. в процесі виконання науково-дослідної роботи кафедри «Залізнична колія та колійне господарство» ДУІТ для Київського метрополітену за темою «Встановлення умов експлуатації рейок і стрілочних переводів на коліях Київського метрополітену», в якій автор брав безпосередню участь під керівництвом наукового керівника д.т.н., проф. Е.І. Даніленка.

Вертикальна нерівність на хрестовині являє собою траєкторію руху центра вимірювального колеса, який має поверхню кочення, виконану за формою бандажу колеса.

При проведенні вимірювань вертикальних траєкторій руху використовувався профіль ролика, що обточений під профіль нового колеса вагона метро.

Методика експериментальних досліджень передбачала вимірювання вертикальних нерівностей на хрестовинах Р50 1/9 і Р65 1/9, що були укладені в головних коліях на різних гілках метрополітену. 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.).

Таким чином були визначені нерівності на хрестовинах в різні періоди експлуатації, тобто була виявлена динаміка розвитку нерівностей залежно від пропущеного тоннажу. Слід зауважити, що необхідно окремо аналізувати нерівності, які з'являються на хрестовинах пошерстного (ПШ) і хрестовинах протишерстного (ПРШ) руху, так як вказані хрестовини мають різні умови динамічних колісних впливів.

В результаті статистичної обробки результатів вимірювання нерівностей вперше були встановлені (для умов метрополітенів в Україні) середньостатистичні траєкторії перекошування по хрестовинах типу Р50 і Р65 марки 1/9 при переважному ПШ і ПРШ напрямках руху поїздів та встановлено їх форми і геометричні параметри після різної кількості пропущеного тоннажу, тобто в функції від напрацювання (рис. 8).

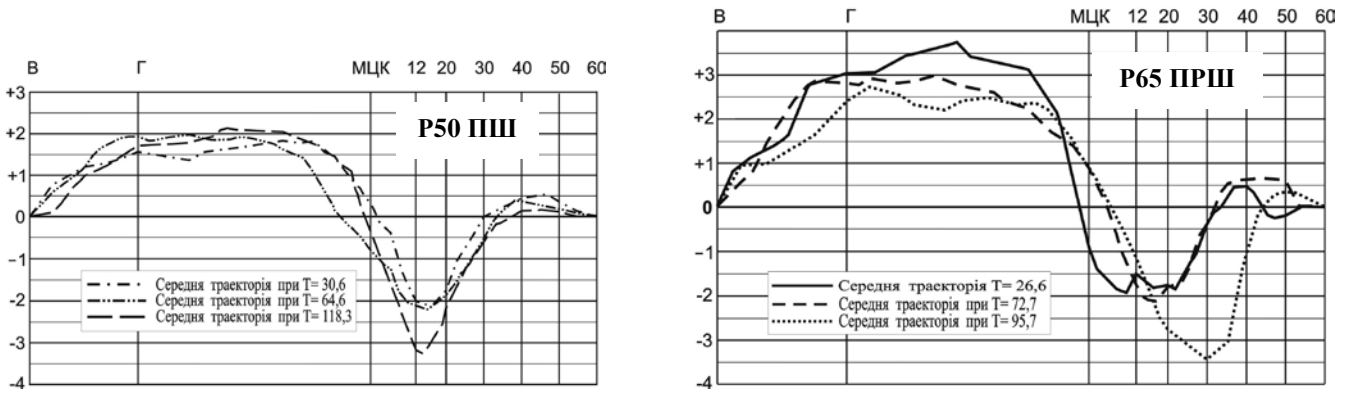


Рис. 8 – Середньостатистичні вертикальні нерівності для хрестовин типу P50 та P65 марки 1/9 на різних стадіях експлуатації

На наступному етапі в даному розділі були визначені вертикальні сили взаємодії між колесами рухомого складу і хрестовиною. Визначення вертикальних сил здійснено методом математичного моделювання на ЕОМ взаємодії колії і рухомого складу з використанням апробованих розрахункових схем і відповідного математичного апарату для рішення вказаної задачі, який описує взаємний зв'язок: сил взаємодії, інерційних коливань зосереджених мас, з'єднаних пружними та дисипативними зв'язками відповідних вертикальних переміщень вказаних мас елементів колії і рухомого складу. При тому в задачі були застосовані в якості збуджуючих факторів коливань раніше визначені нерівності на поверхні кочення хрестовин.

Розрахункова схема (рис. 9) прийнята на основі наукових розробок професорів В.Ф. Яковлева і Е.І. Даніленка і достатньо апробована при розрахунках сил взаємодії на стрілочних переводах магістральних залізниць.

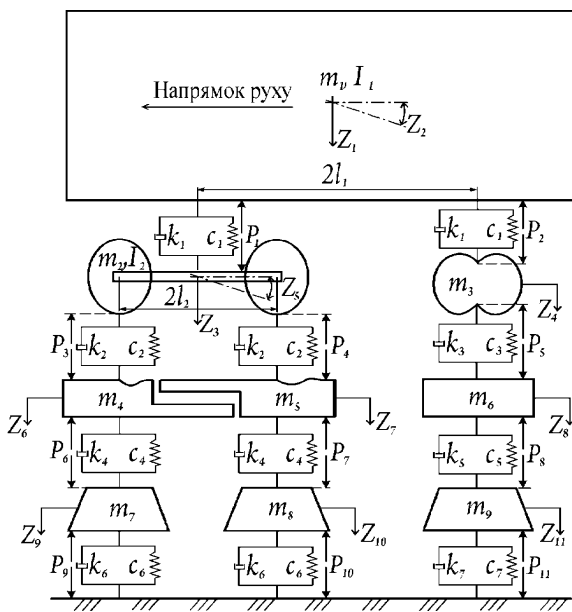


Рис. 9 – Розрахункова схема взаємодії хрестовини та екіпажу в поздовжній площині

На рис. 10 Наведений фрагмент результатів розрахунків динамічних сил взаємодії $P = f(V, T)$ для хрестовин типу P50 марки 1/9.

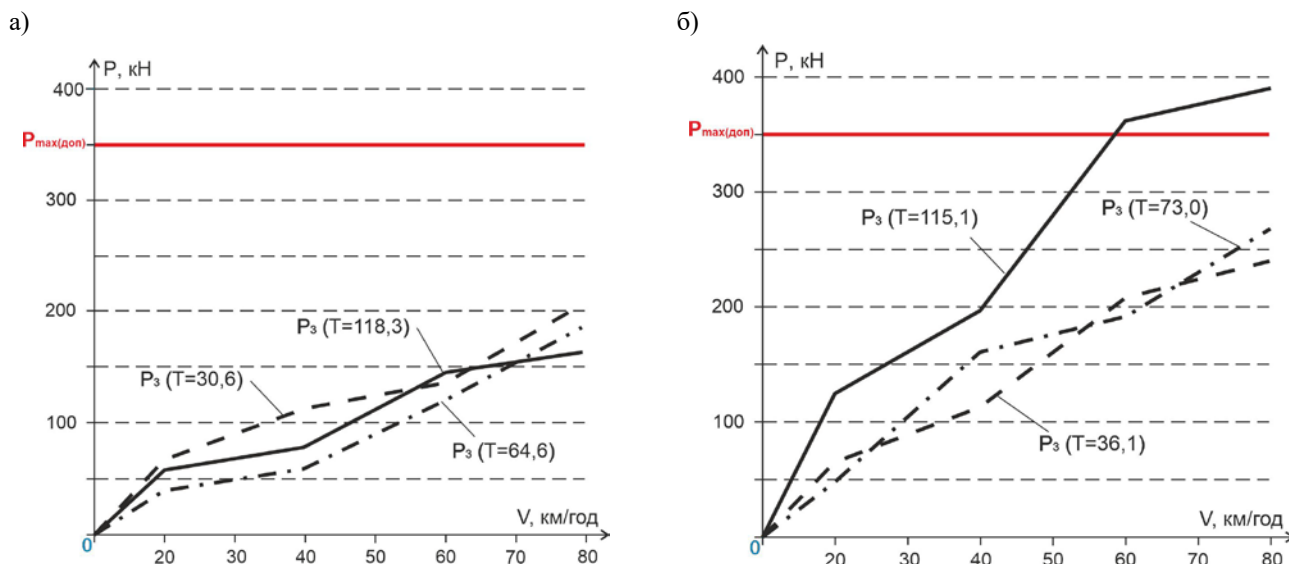


Рис. 10 – Залежності динамічних сил взаємодії $P_i = f(V_i)$ в контакті під 1-м колесом P_3 для хрестовин стрілочних переводів типу P50: а) ПШ напрямку руху; б) ПРШ напрямку руху

У додатках представлені розроблені комп'ютерні програми з розрахунків пружно-жорсткісних параметрів, визначення динамічних сил взаємодії, розрахунків внутрішніх зусиль в брусах із урахуванням впливу незавантажених рейкових ниток; роздруківки відповідних результатів розрахунків; акти про впровадження результатів дисертаційної роботи.

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 розглядалися 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 P50 марок 1/9 та 1/11 і на основі розробленої в дисертації нової методики розрахунків покращені практичні параметри існуючих проектів стрілочних переводів: перевід P50 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-щобенево-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 щобеневого баласту).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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 елементах 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 шибери стрілочного приводу ($U_n^0 > Ш_p$). 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 шибери стрілочного приводу ($U_n^0 > Ш_p$). 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.

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.

АННОТАЦИЯ

Олейник Е.А. Научные основы проектирования симметричных стрелочных переводов по условиям безопасности движения колес в пределах отведенных острияков. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.06 - Железнодорожный путь. - Государственный университет инфраструктуры и технологий - Киев, 2021.

Диссертация посвящена решению научной задачи проектирования симметричных стрелочных переводов по условиям безопасности движения колес в пределах отведенных острияков путем разработки новой методики расчетов рациональных геометрических параметров, которая позволила сократить практическую длину переводов и уменьшить их металлоемкость при обеспечении безопасности движения поездов.

Расчетно-теоретическим методом решена задача по определению упруго-жесткостных параметров рельсовой колеи в вертикальной плоскости в пределах симметричного стрелочного перевода и на их основе теоретическими расчетами определена силовая загруженность и напряженно-деформативное состояние рельсовых нитей по всей длине. Результаты расчетов позволили оценить распределение динамических сил, напряжений и деформаций по длине стрелочного перевода, является основанием для установления допустимых скоростей движения при соответствующих условиях эксплуатации.

Проведены экспериментальные исследования вертикальных неровностей на крестовинах стрелочных переводов для условий Киевского метрополитена конструкций типа Р50 и Р65 марки 1/9, исследован характер их формирования в зависимости от пропущенного тоннажа, получены среднестатистические вертикальные неровности. Теоретическими расчетами определены вертикальные динамические силы взаимодействия системы «колесо-рельс» на поверхности катания крестовин типов Р50 и Р65 марки 1/9, что позволяет на основе полученных значений динамических сил взаимодействия определять допустимые скорости движения поездов по конструкции.

Ключевые слова: железнодорожный путь, стрелочные переводы, геометрические параметры, крестовины, подрельсовое основание, жесткость, упругость пути, вертикальные неровности, динамические силы.

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.

Підписано до друку 07 серпня 2021 р.
Формат паперу 60×84 1/16. Папір для розмножувальних апаратів.
Друк офсетний. Ум. -друк. арк. 0,9. Обл.-видав. арк. 0,9
Замовлення № _____. Наклад 100 прим.

Надруковано у

