

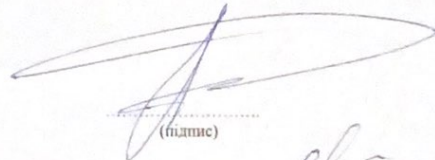
**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
Факультет транспорту і будівництва
Кафедра логістичного управління та безпеки руху на транспорті**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломної кваліфікаційної роботи
освітньо-кваліфікаційного рівня магістр**

галузі знань 27 – «Транспорт»
спеціальності 275 – «Транспортні технології (залізничний транспорт)»

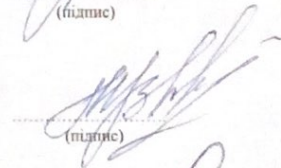
на тему: «Підвищення безпеки руху поїздів удосконаленням нормативів утримання та конструкції стрілочних з'їздів»

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ОПЗТ-21дм
Самарський О.С.



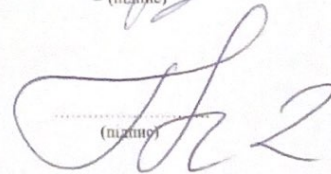
(підпис)

Керівник: доц. Мірошникова М.В.



(підпис)

Завідувач кафедри: проф. Чернецька-Білецька Н.Б.



(підпис)

ВСТУП

Актуальність теми. Залізничний транспорт як в Україні, так і в більшості інших країнах світу, забезпечує сталий розвиток і функціонування економіки. Значна частина пасажиро- і вантажообігу країни припадає саме на залізничний транспорт. Завдяки розгалуженій мережі задовольняються потреби в пасажирських перевезеннях і суспільного виробництва у внутрішньо- та у зовнішньодержавних сполученнях. Безперебійну роботу транспортної системи забезпечує її інфраструктура, основною частиною якої є залізнична колія, як комплекс інженерних споруд. Залізнична колія постійно знаходиться під впливом рухомого складу та кліматичних умов, і повинна виконувати всі покладені на неї функції постійно та безперебійно. Саме від стану колійної інфраструктури залежить допустима швидкість та безпека руху поїздів, пропускна і провізна спроможність, ефективне використання рухомого складу.

Ключовою складовою залізничної колії є спеціальні конструкції – стрілочні з'їзди, які забезпечують перевід залізничного рухомого складу з однієї сусідньої колії на іншу. Аналіз матеріалів розслідувань причин сходів як пасажирського, так і вантажного рухомого складу з рейок на стрілочних з'їздах спонукав фахівців колійного господарства до введення методики контролю положення стрілочних з'їздів у плані по відстані між центрами стрілочних переводів, з огляду на те, що застосування загальноприйнятого методу стріл є неможливим. Так були внесені відповідні зміни до нормативів утримання колії, що відображені в п. 3.9.4 Інструкції з улаштування та утримання колії залізниць України (ЦП/0269). Проте така методика не дозволяє в повному обсязі контролювати положення стрілочних з'їздів у плані: локальні геометричні нерівності, а також поперечні та кутові переміщення стрілочних переводів відносно їх центрів також даною методикою не контролюються.

Мета і завдання дослідження. Мета - удосконалення нормативів утримання та конструкції стрілочних з'їздів, що дозволить встановити допустиму швидкість та підвищити безпеку руху поїздів на стрілочних з'їздах.

Завдання: Встановити основні тенденції розвитку конструкції стрілочних з'їздів та існуючих нормативів їх утримання, а також проаналізувати проведені раніше дослідження з питань взаємодії колії та рухомого складу в межах з'їздів. Розробити методику контролю та дослідити сучасний геометричний стан стрілочних з'їздів на залізницях України. Удосконалити математичну модель взаємодії рухомого складу та колії у межах стрілочного з'їзду з врахуванням геометричних та механічних особливостей даної конструкції та екіпажу.

Об'єкт дослідження - процес взаємодії у межах з'їзду залізничної колії та рухомого складу.

Предмет дослідження – нерівності залізничної колії на стрілочному з'їзді.

Дослідницькі прийоми та методи. Методи аналітичної механіки та теорії пружності, методи обчислювальної математики, методи теорії ймовірностей і математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів:

- встановлено залежність між експлуатаційною швидкістю руху поїздів по з'їзду та нерівностями у плані, що визначаються шляхом вимірювання ординат від базисної лінії;

- удосконалено багатомасову нелінійну математичну модель динамічної взаємодії на стрілочних з'їздах залізничної колії та рухомого складу, що одночасно враховує конструктивні та механічні особливості останніх. Запропонований підхід дозволив більш точно дослідити характер силового впливу рухомого складу на колію, що було підтверджено якісним та кількісним збігом результатів експериментальних та теоретичних досліджень.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що отримані в роботі наукові положення та результати дозволяють вирішити важливу науково-практичну задачу колійного господарства – підвищення безпеки руху поїздів у межах стрілочних з'їздів шляхом удосконалення нормативів їх утримання та конструкції. Нові підходи та пропозиції використані під час розробки нормативного документа АТ «Укрзалізниця», а саме «Методика контролю положення стрілочного з'їзду у плані».

Апробація результатів дипломної кваліфікаційної роботи магістра та публікації. Відповідно до теми кваліфікаційної роботи опубліковані наукові публікації у фахових виданнях України, результати роботи докладалися на студентських науково-практичних конференціях кафедри ЛУБРТ СНУ ім. В.Даля (2021-2022р.р.).

Структура і об'єм роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається зі вступу, 3 розділів, заключення, списку використаних джерел з 60 найменувань на 6 сторінках. Загальний об'єм кваліфікаційної роботи магістра складає 82 стор. Робота включає 19 рисунків та 4 таблиці по тексту.

1.АНАЛІЗ РОЗВИТКУ НОРМАТИВІВ УТРИМАННЯ ТА КОНСТРУКЦІЇ СТІЛОЧНИХ З'ЇДІВ

Стілочний з'їзд, як спеціальна конструкція залізничної колії, повинен забезпечувати безпечний та безперебійний рух поїздів зі встановленими швидкостями незалежно від кліматичних, експлуатаційних та інших умов, що впливають на роботу даної конструкції в цілому.

Стілочний з'їзд (рис. 1.1) – це з'єднання двох прилеглих колій за допомогою бокових напрямків стілочних переводів, обернених один до одного хвостами хрестовин, та з'єднувальної колії між ними. Завдяки такій специфічній конструкції у межах з'їзду умови проходження та взаємодії рухомого складу значним чином відрізняються від аналогічного руху вздовж звичайної колії. Невипадково, що під час проведення випробувань нового або модернізованого рухомого складу, як одну з найнесприятливіших для досліджень, обирають ділянку зі стілочними переводами, що укладені у з'їзд [10].



Рис.1.1. Конструкція схеми з'їзду

Більш важкі умови, які зумовлені геометричними і конструктивними особливостями стілочних переводів, що утворюють з'їзд, призводять до більш інтенсивного накопичення залишкових деформацій як у плані, так і в поздовжньому профілі.

Стілочний з'їзд, в кожному конкретному випадку – це індивідуальна конструкція. В той же час загальноприйнятою практикою як на мережі залізниць України, так і на залізницях пострадянського простору, є застосування принципу універсальності, тобто застосування якомога менше нових конструктивних рішень та схем укладання.

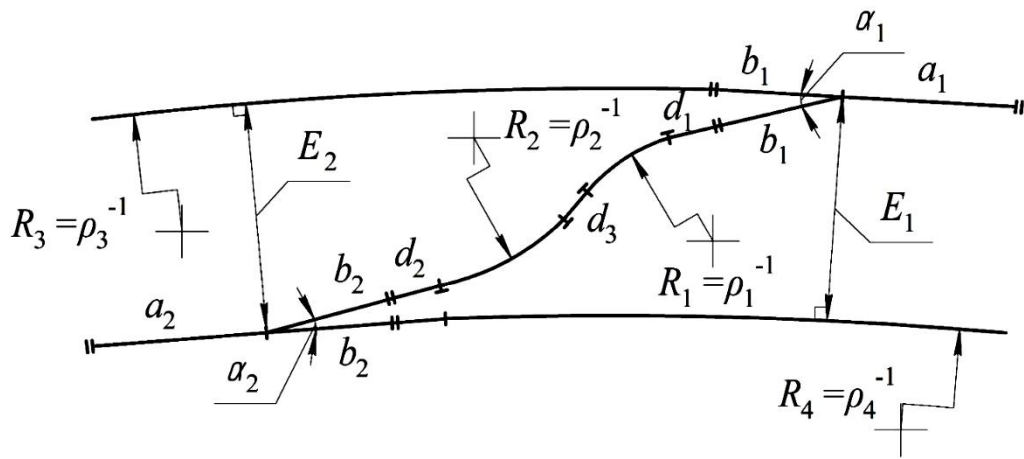


Рис.1.2. Загальна схема з'їзду

Для всебічної оцінки доцільності застосування методу універсальності, в першу чергу, слід проаналізувати схеми та конструкції стрілочних з'їздів.

1.1 Аналіз схем укладання та конструкцій стрілочних з'їздів

За схемою укладання з'їзди поділяються наступним чином [6]:

а) між паралельними коліями:

- звичайні з хрестовинами однакових марок;
- скорочені з хрестовинами однакових марок без прямої вставки;
- скорочені з хрестовинами однакових марок з прямої вставки;
- звичайні з хрестовинами різних марок;
- скорочені з хрестовинами різних марок з прямою вставкою;

б) між непаралельними коліями:

- звичайні з хрестовинами різних марок;
- скорочені з хрестовинами різних марок з прямою вставкою;

в) в кривих ділянках колії:

- між концентричними кривими;
- між кривими і прямими коліями.

Більш детальний аналіз схем укладання дозволяє сформулювати узагальнену схему з'їзду (рис. 1.2), яка поєднує всі теоретично можливі геометричні параметри у плані.

На рис. 1.2 позначено наступне:

Ei – відстань між осями колій (міжколійя);

ai – відстань від переднього стика рамної рейки до центру стрілочного переводу;

bi – відстань від центру стрілочного переводу до заднього вильоту хрестовини;

di – пряма вставка;

$R1$ ($\rho1$), $R2$ ($\rho2$) – радіуси (кривизна) кривих в з'єднувальній частині з'їзду;

$R3$ ($\rho3$), $R4$ ($\rho4$) – радіуси (кривизна) прилеглих колій;

αi – кут хрестовини,

де Ni – показник марки хрестовини стрілочного переводу.

Беручи до уваги загальну схему (див. рис. 1.2), пропонується класифікувати схеми укладання з'їздів наступним чином:

- за планом прилеглих колій.

На сьогоднішній день в більшості випадків для стрілочних переводів в якості підрейкової основи широко застосовують залізобетонні шпали та бруси, які вже майже 60 років успішно виконують покладені на них функції [3]. Економічні та технічні переваги залізобетонних брусів є результатом більш тривалого строку служби, меншому об'ємі технічного обслуговування та більшій механізації укладання. Завдяки своїй досить великій вазі залізобетонні бруси гарантують оптимальне просторове положення та стабільність металевої частини стрілочних переводів – навіть при швидкісному та високошвидкісному русі.

Велика вага водночас є і значним недоліком. У випадку відмови, дану конструкцію достатньо складно замінити на нову. Наприклад, для стрілочного переводу марки 1/11 при мінімальній довжині бруса 3,0 м його вага становить 395 кг, при максимальній довжині 5,00 м – 639 кг [19].

Під час транспортування блоків стрілочних переводів до місця укладки завжди виникає питання щодо дотримання вимог габариту. На вітчизняних залізницях така задача вирішується за допомогою спеціалізованих похилих платформ для перевезення.

Вихід із вищезгаданих ситуацій знайшла німецька компанія RAIL.ONE, яка запропонувала використовувати розкладні бруси в зоні хрестовини і захрестовинної частини. Це надає змогу достатньо легко транспортувати таку 31

негабаритну і складну конструкцію на звичайних платформах (рис. 1.3). Крім того ж, покращується ситуація з заміною брусів, які відмовили під час експлуатації.



Рис.1.3.Транспортування розкладних блоків стрілочних переводів

Загальний вигляд зони хрестовини і захрестовинної частини стрілочного переводу з розкладними брусами компанії RAIL.ONE після укладання в колію показано на рис. 1.4.

Проте стає очевидним той факт, що вищевказана конструкція підрейкової основи не є універсальною.



Рис. 1.4. Конструкція залізобетонних брусів для стрілочних переводів німецької компанії RAIL.ONE

Інша німецька компанія Voestalpine BWG GmbH для високошвидкісних

магістралей пропонує укласти стрілочні переводи на монолітну основу, що утворена шляхом бетонування залізобетонних брусів і спеціального каркасу (рис. 1.5). Слід зауважити, що бруси в зоні хрестовини і з'єднувальної частини також мають збірну конструкцію, яка дозволяє з легкістю транспортувати і укласти переводи у з'їзд. Компанія Amurrio Ferrocarril y Equipos, S. A., яка є членом Іспанської асоціації залізниць, на напрямку, що знаходиться між містами Медіна та Мекка в Саудівській Аравії, поклала на баластну основу 55 стрілочних переводів типу AV4 для високошвидкісного руху (швидкість по прямому напрямку – до 350 км/год, по боковому напрямку – 170 км/год) [14]. Як і звичайні стрілочні переводи, переводи типу AV4 складаються з блоків. Конструкція підрейкової основи блоків передбачає можливість роз'єднувати бруси при транспортуванні (рис. 1.5). Довжина такого перевodu досягає 54 м.



Рис.1.5. Загальний вигляд стрілочного перевodu AV4 для високошвидкісного руху

Вище згадана компанія також розробляє індивідуальні проекти стрілочних з'їздів для звичайних магістралей при стандартному міжколійї. Vossloh Cogifer – один з світових лідерів у галузі стрілочних переводів та перетинань колії. Ця всесвітньовідома компанія тісно співпрацює з Network Rail (британська компанія, власник і оператор залізничної інфраструктури в Великобританії) у сфері розробки технологій та методів, пов'язаних з новітнім поколінням

модульних стрілочних переводів, пересічень та з'єднань колії. Метою розробки були прагнення Network Rail у найкоротші терміни під час «вікон» тривалістю 8 год доставити на робочий майданчик і замінити стрілочні переводи в рамках проекту East London Line.

Наведені вище факти застосування на закордонних залізницях збірних залізобетонних брусів свідчить про нову тенденцію у напрямку транспортування та укладання як окремих стрілочних переводів, так і з'їздів. Це дає можливість розширення меж використання залізобетонних брусів в якості підрейкової основи. Але такі конструктивні рішення позбавлені уніфікації: для кожного міжколійя необхідно створювати окремий комплект брусів. В протилежному випадку доведеться розробляти індивідуальні проекти з'їздів для перебудови горловини станцій.

1.2 Аналіз розвитку теоретичних та експериментальних досліджень взаємодії колії та рухомого складу

Спираючись на умови і характер взаємодії таких важливих взаємопов'язаних елементів залізничного транспорту, як колія та рухомий склад, не тільки переглядаються, а й формуються нові вимоги до конструкції вказаних складових елементів транспорту. Так, наприклад, при інтенсивному зростанні вантажонапруженості, збільшенню швидкостей руху поїздів і осьового навантаження, конструкція колії в цілому зазнала значних змін та підсилень: перехід від рейок типу P50 до P65, укладання залізобетонних шпал, де раніше використовувались лише дерев'яні, застосування рейкових плітей замість звичайних коротких рейок, застосування хрестовин більш пологих марок та з безперервною поверхнею кочення і т. і.

Поряд з розробкою нових конструктивних рішень завжди виконується величезний обсяг експериментальних і теоретичних досліджень, присвячених удосконаленню існуючих конструкцій колії і нормативів їх утримання. Не є виключенням і нормативні вимоги щодо утримання стрілочних переводів, які в свою чергу можуть входити до складу з'їздів.

В основу сучасних існуючих нормативів утримання стрілочних переводів покладені максимально допустимі, з точки зору безпеки руху поїздів та впливу на колію, значення залишкових деформацій. Наприклад, ширина колії біля вістря вістряка для проекту М1740 на головних коліях становить (у бік збільшення – 6 мм, у бік зменшення – 3 мм) [54].

Для стрілочного з'їзду єдиний норматив укладання зводяться лише до визначення відстані між центрами стрілочних переводів – допустима різниця теоретичної та практичної довжини [54]. В повному обсязі згадана вимога не в змозі охарактеризувати геометричний стан колії на з'їзді та дати відповідь стосовно подальшої експлуатації.

До того ж, умови експлуатації у межах стрілочних з'їздів в порівнянні зі звичайною колією значно відрізняються, а це в свою чергу призводить до появ геометричних та, навіть, силових нерівностей в плані та поздовжньому профілі. Розробка нормативів утримання з'їздів, надасть можливість досягнути більш ефективного використання такої конструкції при безумовному забезпеченні безпеки руху.

Попередній аналіз наукових праць, присвячених розробці та удосконаленню норм утримання [30, 43], показав, що даний процес відбувається за рахунок теоретико-експериментальних досліджень з використанням апробованих математичних моделей. Тому, для розробки нормативів утримання з'їздів в першу чергу необхідно проаналізувати вітчизняний і закордонний досвід стосовно питань взаємодії колії і рухомого складу на стрілочних переводах та в коротких кривих (прямих) ділянках колії (як аналог з'єднувальної частини з'їзду).

Одним з найперших, хто об'єднав та систематизував численні дослідження щодо питань роботи колії під навантаженням та врахував динаміку впливу рухомого складу, був радянський вчений О. М. Годицький-Цвірко. Його основні положення, опубліковані в [28], зіграли ключову роль в формуванні нових ідей та концепцій, а також в удосконаленні існуючих методологій теоретичних і експериментальних досліджень взаємодії колії і рухомого складу.

Г. Мар'є у першій частині своєї праці [8] достатньо широко розглядає питання теоретичних досліджень коливань рухомого складу. В той же час розрахунки щодо оцінки впливу екіпажу на колію практично не розглянуті.

Подальший розвиток теоретичних досліджень динамічних характеристик рухомого складу при взаємодії з колією знайшов своє відображення у праці радянського вченого В. Б. Меделя [8], яка була опублікована 1937 р. Значна частина матеріалу монографії присвячена лише динамічним характеристикам електровоза при взаємодії з пружною колією.

Суттєвий вклад в удосконалення методології оцінки взаємодії колії і рухомого складу внесли у 1955 р. М. Ф. Веріго, О. П. Єршков та ін. [15]. М. Ф. Веріго запропонував теоретико-ймовірнісний метод дослідження впливу різноманіття вертикальних динамічних сил, що діють на залізничну колію. Автор наголошує на необхідності врахування сил тертя, статистичних характеристик безперервних нерівностей колії. О. П. Єршовим було розглянуто визначення напружень від згину рейки у вертикальній і горизонтальній площині та її кручені. Також експериментально-розрахунковим шляхом отримані для різних конструкцій колії і типів рухомого складу коефіцієнти переходу від осьових напружень в підшві рейки до напружень в кромках підшви. Але при визначенні напружень в рейках автором нерівножорсткість підрейкової основи не розглядається.

Заслужують на увагу дослідження Ю. М. Бромберга, М. Ф. Веріго, В. М. Данілова, М. А. Фрішмана [12], в яких розглядаються не лише питання розрахунків колій під впливом вертикальних, горизонтальних поперечних і горизонтальних поздовжніх сил, а й обґрунтування норм улаштування та утримання рейкової колії. Досить в стислій формі охарактеризовані особливості взаємодії колії і рухомого складу на стрілочних переводах.

У монографії Х. Хеймана [17] висвітлені основні методи визначення горизонтальних зусиль, що виникають між колесом та рейкою при русі екіпажів в кривих ділянках колії. Автором запропоновано графо-аналітичний метод отримання направляючих зусиль при русі в кривих. Але в такій постановці не

враховується горизонтальна жорсткість рейкових ниток, вплив коливання надресорної будови екіпажу і багато інших факторів.

Оцінка впливу вертикальних нерівностей на додатковий динамічний тиск колеса достатньо широко розглянуті у 1959 р. в роботі [6]. Проведено аналіз впливу довжини і амплітуди нерівності, збільшення непідресореної маси рухомого складу. Значна частина теоретичних досліджень присвячена динамічним розрахункам колії. Але рухомий склад розглядається як зосереджена одиночна колісна пара.

Подальший розвиток норм утримання колії, зокрема у плані, знайшов відображення в праці О. П. Єршкова [3]. Вперше за декілька десятиліть проведена спроба перегляду існуючих нормативів утримання колії у плані. Автор пропонує розглядати модель рухомого складу як систему з непідресореної та підресореної частини. Вплив дисипативних параметрів колії, форм нерівностей на умови плавності руху екіпажу не розглядалися. У своїх наступних працях [42, 44-46], ідеї яких застосовуються і сьогодні, розглядає питання визначення сил в кривих, що мають найбільший інтерес в практичних розрахунках – рамних, бокових і направляючих.

Значним кроком в дослідженнях динаміки рухомого складу стала праця В. А. Лазаряна [2]. Завдяки методу аналогії, автор знайшов зв'язок між механічними і електричними коливаннями, що дало можливість застосувати аналогове моделювання для імітації складних механічних систем. В вище згаданій праці автор достатньо докладно описує математичну модель вантажного і пасажирського вагона в вертикальній площині.

Розрахункова модель для визначення сил взаємодії між колесом та рейкою, що була запропонована В. Ф. Яковлєвим [12-13], враховувала змінні маси та жорсткість ободу і шийки колеса, нелінійні характеристики сил тертя зв'язків системи, а також нерівності на колесі та рейці. Проте деталізація реальної механічної системи була спрощена і математична модель передбачала оцінку динамічного впливу колеса тільки у вертикальній площині.

Робота М. М. Кудрявцева [7] присвячена методам теоретичного і експериментального дослідження динаміки непідресорених мас вагонів і впливу

різних факторів на значення сил та прискорень в кузові. Автор наголошує на більш глибокому вивченні параметрів розрахункової схеми «екіпаж-колія», а також на необхідності вивчення динаміки непідресореної маси в горизонтальній площині.

На відміну від запропонованих розрахункових схем М. М. Кудрявцева [7] і В. Ф. Яковлєва [13], А. М. Орловський і В. М. Клименко в своїй роботі [8] обґрунтували з достатньо прийнятною точністю математичну модель взаємодії колеса та рейки в зоні нерівності з трьома ступенями вільності без деталізації непідресореної маси екіпажу (букса, центр колеса і обод колеса) та маси колії (головки рейки, підшви рейки і шпали, а також баласту) як це зроблено у попередніх авторів.

Одна з перших спроб оцінити вплив нерівностей у плані на сили взаємодії між рухомим складом і колією була викладена у роботі [5]. Автор запропонував нелінійну модель вагона на візках ЦНИИ-ХЗ-О в горизонтальній площині.

Ромен Ю.С. у своїй праці [108] запропонував використовувати в системі «екіпаж-колія» піддатливу рейкову колію, а також один з перших розглянув рух екіпажу по колії довільного обрису в плані під час несталого руху.

Розроблена математична модель [18] була покладена в основу аналізу визначення сил взаємодії вантажного вагона і колії в кривих, при наявності відступів у плані [19], а також дозволила оцінити зміну додаткових динамічних сил по довжині горизонтальної нерівності, встановити вплив амплітуди і довжини нерівності на величину додаткових бокових сил [13].

Достатньо змістовно розглянута просторова задача руху чотирьохвісного вантажного вагону по інерційній колії, при наявності випадкових та детермінованих нерівностей на обох рейкових нитках в роботі [7]. Одним з недоліків, що можна відмітити, це – те, що колія в запропонованій математичній моделі представлена зосередженою масою, яка може переміщуватись лише у вертикальній площині.

Вплив інерційних та пружних характеристик рейок та підрейкових опор в горизонтальному поперечному напрямку на величини горизонтальних поперечних сил взаємодії рейки і колеса розглянуто Волошко Ю. Д. в [9]. Автор

наголошує, що використаний підхід дозволяє оцінити вплив типу рейок, а також параметрів шпал на динамічні процеси в колії при горизонтальному поперечному впливі екіпажу. Запропонована модель не дозволяє одночасно врахувати вплив динамічних вертикальних складових процесу взаємодії колії та рухомого складу. Знайшов подальший розвиток процесу моделювання силової взаємодії системи «екіпаж-колія» в роботі [13]. До розрахункової схеми як екіпажу, так і колії введено додаткові зв'язки типу сухого (кулонового) тертя. Обґрунтування такого підходу обумовлене раніше проведеними експериментальними дослідженнями. Оригінальна спроба щодо більш реалістичного представлення характеристик колії наведена в роботі [7]. Рух вагона розглядається по нерівножорсткій підрейковій основі, жорсткість якої змінюється за періодичним законом. Крім того, автори наголошують на тому, жорсткість може змінюватись за випадковим законом з постійною спектральною щільністю (білий шум), і вводять дану пропозицію до математичної моделі.

В роботі [7] розглянута задача просторових коливань чотирьохвісного вантажного вагона при русі по інерційній колії з пружними зв'язками у вертикальній і горизонтальній площинах. Основний недолік запропонованої моделі полягає в тому, що приведена маса колії переміщується тільки у вертикальному напрямку та не розглядаються процеси, які виникають в самій колії. У 1972 р. А. А. Львов і Л. О. Грачева в своїх дослідженнях [7] розширили використання методів теорії ймовірностей для оцінки складних механічних систем, зокрема, розглянуті вимушені коливання вагонів, які рухаються по випадковим (безперервним) нерівностям колії. Авторами за допомогою методів операційного числення дана оцінка впливу параметрів вагона і колії на амплітудно-частотну характеристику коливань кузова. При цьому колія розглядається як зосереджена маса з інерційними та пружними властивостями. Ряд суттєвих особливостей взаємодії колії у межах стрілочного перевалу та екіпажу розглянуті в [14], зокрема, запропоновано враховувати реакцію ненавантажених рейкових ниток. Проте запропонована модель розглядає лише динамічний зв'язок колії та рухомого складу в вертикально-поперечному напрямку.

Підвищення інтенсивності використання експлуатаційного парку вантажних вагонів призводить до необхідності перевірки гарантійної безпеки руху поїздів. Це призводить до низки комплексних експериментальних досліджень по взаємодії вантажних вагонів та колії при різних зносах ходових частин вагонів і наявності в колії окремих видів та поєднань нерівностей в прямих та кривих ділянках [30-31]. Автори акцентують увагу на корегуванні нормативів утримання ходових частин вантажних вагонів та колії для покращення динамічних (ходових) якостей і умов перевезення вантажів.

Необхідність дослідження взаємодії колії і рухомого складу в межах глухих перетинів призводить до появи просторової математичної моделі, яка описана в [17]. Вирішення саме просторової, а не плоскої задачі пов'язано з тим, що при русі екіпажу детерміновані нерівності, які мають місце на одній рейковій нитці.

Динамічні процеси, які виникають при русі рухомого складу по боковому напрямку стрілочних переводів з експлуатаційними відхиленнями рейкових ниток від проектного обрису, розглянуті в [8]. Автор розглядає рухому систему координат, яка розташована в площині колії вздовж хорди до її осі. Розрахункова схема екіпажу ілюструє лише горизонтальну поперечну складову сил взаємодії з колією, не враховуючи динамічні складові сил від коливання підресореної частини екіпажу у вертикальному напрямку.

Значний вклад у систематизацію відомих і нових оригінальних методів досліджень та розрахунків для прогнозування ходу процесу взаємодії колії і рухомого складу зроблений М. Ф. Веріго і А. Я. Коганом в роботі [14], яка була опублікована у 1986 р. Авторами дана загальна класифікація задач по взаємодії колії і рухомого складу і приведені основні положення загальних та універсальних методів їх вирішення, а також показано можливості застосування у практичному інженерному розрахунку.

В [11] викладені основні методи дослідження руху рейкових екіпажів по ділянках колії з постійною та змінною кривизною. Автор особливу увагу приділяє питанню розробки способів математичного моделювання і спрощення математичних моделей. Достатньо змістовно та широко розглянуті особливості моделювання взаємодії коліс з рейками при одно- та двоточковому контакті. В

запропонованих моделях вимушені коливання рухомого складу рейкового транспорту в перехідних та кривих ділянках колії виникають за рахунок руху по прямій з накладанням прискорень на тіла системи, які виникають від кривизни колії.

Питання математичного моделювання динаміки рухомого складу при взаємодії з колією розглянуті в [21]. Автори описують сучасні аналітичні і чисельні методи визначення динамічних характеристик лінійних та нелінійних систем стосовно до задач динаміки рейкових екіпажів з використанням детермінованого та вірогідного підходу. Також відображені аналітичні вирази детермінованих нерівностей на залізницях США, які застосовуються при моделюванні. Коливання екіпажу та його складових частин в криволінійній ділянці виникають за рахунок кривизни колії, а не реального просторового положення колії.

Розвиток нових методів і алгоритмів вирішення задач динаміки рейкових екіпажів знайшов своє відображення в роботі [12]. При цьому велику увагу авторами приділено поглибленню техніки математичного моделювання коливань рейкових екіпажів. Також авторами проаналізовано вплив ряду деталізацій розрахункових схем «екіпаж - колія» на результаті розрахунку і сформульовані рекомендації щодо доцільності врахування додаткових факторів.

Дослідження впливу горизонтальних нерівностей у плані при різній амплітуді та довжині розглянуті в роботі [10]. Розроблена просторова модель вантажного вагона була верифікована з результатами експериментальних випробувань. Для уточнення параметрів моделювання проводились контрольні додаткові розрахунки з корегованими значеннями параметрів. На думку авторів, такий підхід дозволяє значно зменшити вартість робіт на доопрацювання і скоротити строки створення нового рухомого складу.

Основні положення, які стосуються коливань і стійкості колії у вертикальній і горизонтальній поперечній площинах під впливом рухомого динамічного навантаження відображені в узагальненій праці [58]. В монографії також приведені основні принципи формування динамічної системи, яка поєднує

в єдине ціле екіпаж як систему з багатьма ступенями вільності і колію з розподіленими характеристиками.

Методи дослідження динаміки пасажирських вагонів у прямих та криволінійних ділянках колії за допомогою комп'ютерного моделювання розглянуті в [18]. В даній монографії диференційні рівняння коливань вагона та рівняння криволінійного обрису колії написані в одній системі координат. В такому випадку рівняння криволінійного обрису колії є в рівняннях динаміки функцією збурення, тобто є нерівністю колії. Але при всіх перевагах запропонованої моделі є один недолік – колія розглядається як абсолютно жорстке тіло, і не враховуючи при цьому пружно-дисипативні та інерційні властивості колії.

В роботі [4] приведені результати досліджень щодо створення алгоритмів і програм для моделювання руху залізничних екіпажів в прямих і кривих ділянках колії. Досить велику увагу приділено процесу моделювання просторових коливань при русі колісної пари по реальній колії: наведено ряд алгоритмів, що дозволяють моделювати практично будь-який профіль колеса та рейки, і визначати при русі дві чи більше областей контакту, а також розраховувати сили тертя, відновлювальні та нормальні сили в цих зонах. В запропонованих моделях колія представляє собою нескінченно довгу абсолютно жорстку балку. Розгляду основних причин і механізму сходу коліс з рейок присвячена праця [7]. Автор приводить аналітичні залежності, які дозволяють оцінити стійкість колеса на рейці. В той самий час не розглядається нестационарний перехідний процес під час вкочування колеса на рейку.

Принцип формування диференційних рівнянь на основі методології ООП (об'єктно-орієнтованого програмування) розглянуто в роботі [4]. За допомогою запропонованої методики можливо описати динамічну систему «екіпаж-колія» будь-якої складності та конфігурації, використовуючи лише інерційні параметри тіл системи та характеристики зв'язків між тілами. Колія розглядається як зосереджена у точці контакту пружно-в'язка система.

У 2003 р. на основі теоретичних досліджень були запропоновані допустимі швидкості руху різних типів чотиривісних вантажних вагонів на візках 18-100

при різному завантаженні [39]. В проведених дослідженнях було встановлено, що необхідно диференціювати допустимі швидкості руху вантажних вагонів, за винятком довгобазних піввагонів, від конструкції та стану колії, плану лінії та завантаженості вагонів. Автори також наголошують на тому, що у порожніх вагонів з підвищенням швидкості погіршується показник безпеки проти вкочування колеса на головку рейки і при швидкості руху більше 60 км/год його величина може перевищувати нормативні граничні значення. Визначення допустимих швидкостей руху базувалось на математичній моделі вантажного вагона в прямих і кривих ділянках з радіусами 300 м і 600 м. В якості збурювань використовувались горизонтальні і вертикальні нерівності, отримані не за результатами вимірювань геометричного стану колії, а шляхом подвійного інтегрування горизонтальних і вертикальних прискорень букс вантажного вагона, отриманих під час експериментальних досліджень останнього.

В [6] розглянуті основні види випробувань вагонів: статичні, динамічні (ходові), щодо впливу на колію, випробування на співудар вагонів, лабораторні і стендові, вібраційні. Наведені методики можна застосовувати для оцінки динамічного впливу нового або модернізованого рухомого складу на колію, а також під час досліджень нових конструкцій колії.

Основні теоретичні положення і повний алгоритм розрахунків верхньої будови колії на міцність і стійкість приведені в [34]. Наведені методики дозволяють оцінити вплив всього спектру одиниць рухомого складу на існуючі конструкції колії. Базуючись на положеннях теорії ймовірностей та математичної статистики можна врахувати дію різних факторів, таких як нерівність на колії чи на колесах. Але такий розрахунок позбавлений можливості оцінки динамічних процесів при взаємодії екіпажу з колією.

Подальший розвиток методів дослідження процесів взаємодії рейкової колії та рухомих транспортних засобів знайшов відображення в роботі [27]. Автором описані способи математичного моделювання руху рейкових транспортних засобів вздовж прямолінійних та криволінійних ділянок колії. Узагальнено результати досліджень навантаженості, стійкості, напружено-

деформованого стану і надійності складових конструкції колійної структури і рухомих транспортних засобів.

На базі теорії фізико-математичного моделювання в роботі [6] побудовані конструктивні та технологічні рішення щодо покращення динамічної взаємодії рухомого складу та колії. Також розглянуті питання впливу величини дисипативних сил колії на зниження рівня динамічного впливу рухомого складу на колію, збільшення довговічності рухомого складу і колії, зменшення зносу колії. Розглянуті тільки плоскі моделі у вертикальній площині.

Монографія [9] присвячена моделюванню пристроїв гасіння коливань – амортизаторів і гасителів коливань. Розглянуто різні типи поглинаючих апаратів, їх конструктивні особливості та математичні моделі, які описують їх роботу. Отримані залежності можна застосовувати для моделювання силової взаємодії між тілами в системі екіпажу.

Проблеми підвищення критичної швидкості руху вантажних вагонів існуючого парку в залежності від зносу ходових частин, стану вагонів та плану колії показані в [2]. Авторами проаналізовано явище втрати стійкості як основної причини обмеження швидкості. В роботі також наведені результати багаторічних експериментальних досліджень групи вантажних вагонів на візках 18-100.

Необхідно відмітити, що в період з 2005 по 2009 рр. в ДНУЗТі була проведена низка науково-дослідних робіт [49, 50, 52], головною метою яких було визначення допустимих швидкостей руху вантажних та пасажирських поїздів по прямому та боковому напрямку групи стрілочних переводів, пряма вставка між якими менша за допустиму відповідно до технічних вказівок або відсутня. Колективом авторів були проведені комплексні випробування щодо оцінки характеристик напружено-деформованого стану елементів двох стрілочних переводів без прямої вставки між ними, а також вперше в Україні розроблена математична модель вантажного та пасажирського вагонів і групи стрілочних переводів по прямому напрямку. Проте не було розглянуто вплив амплітуди та довжини нерівностей на безпеку руху поїздів.

Узагальнююча робота, яка акумулювала в собі останній передовий досвід щодо розрахунку колії в цілому, була опублікована у 2010 р. [32]. Автор

приводить результати багаторічних теоретичних та експериментальних досліджень вітчизняних та закордонних вчених у сфері взаємодії колії та рухомого складу, а також показано основні конструктивні та нормативні вимоги до колії. Значний внесок у розвиток теоретичних і експериментальних досліджень щодо взаємодії колії та рухомого складу внесли також і закордонні вчені, серед які слід згадати Г. Балуха, Ф. Бірмана, Г. Вебера, А. Вікенса, Є. Вінклера, А. де Патера, Г. Герца, Л. Гілхріста, К. Зааза, К. Есвельда, С. Кайзера, Д. Калкера, Ф. Картера, К. Кноте, Б. Ліхтберга, Т. Мацудару, С. Мюллера, Л. Стефена, А. Хобса, А. Шабана, Г. Юбелакера та ін. [13-15].

Приведений історичний аналіз розвитку теоретичних та експериментальних досліджень взаємодії колії та рухомого складу далеко не вичерпний, адже опублікованих наукових праць стосовно цього питання як в Україні, так і закордоном достатньо багато. Слід лише ще раз наголосити на основних напрямках досліджень в цьому питанні. Це, по-перше, створення фізичних аналогів існуючих реальних об'єктів (фізичне моделювання), по-друге, це математичне моделювання (аналітичні або чисельні методи) та безпосередньо проведення вимірювань характеристик взаємодії об'єктів (натурний експеримент).

Аналіз досліджень попередніх років показав, що переважна більшість математичних моделей взаємодії системи «колія-екіпаж» умовно поділяються на дві категорії (значно спрощує представлення однієї частини системи):

- дослідження динаміки вагона - складна багатомасова модель вагона та спрощена (а в деяких випадках, навіть безінерційна) модель колії;
- дослідження динаміки колії - моделювання складної структури верхньої будови колії вздовж якої рухається одиночна динамічна сила.

Одночасне врахування конструктивних, механічних та геометричних властивостей колії як колії, так і рухомого складу надасть можливість більш якісно та кількісно описати характер взаємодії, і таким чином, буде відповідати реальному стану динамічного впливу екіпажу на колію.

1.3 Вплив стану стрілочних з'їздів на появи транспортних подій

Аналіз причин появ транспортних подій у межах стрілочних з'їздів проводився в рамках науково-дослідної роботи [51]. Всього було проаналізовано матеріали понад 20 випадків в період з 2018 по 2021 р. на коліях АТ Укрзалізниця. Слід зауважити, що у більшості випадків сходи рухомого складу були зафіксовані під час проведення маневрової роботи на станціях. Також необхідно відмітити, що до уваги приймалися лише такі транспортні події, які мали місце лише в зоні захрестовинної частини з'їзду, тобто від хвостової частини однієї хрестовини до відповідної хвостової частини іншої хрестовини. Випадки сходу рухомого складу на стрілочному переводі не розглядались.

Проаналізуємо розподіл сходів рухомого складу в залежності від причин, що викликали дані транспортні події. Результати показані на рис. 1.6.

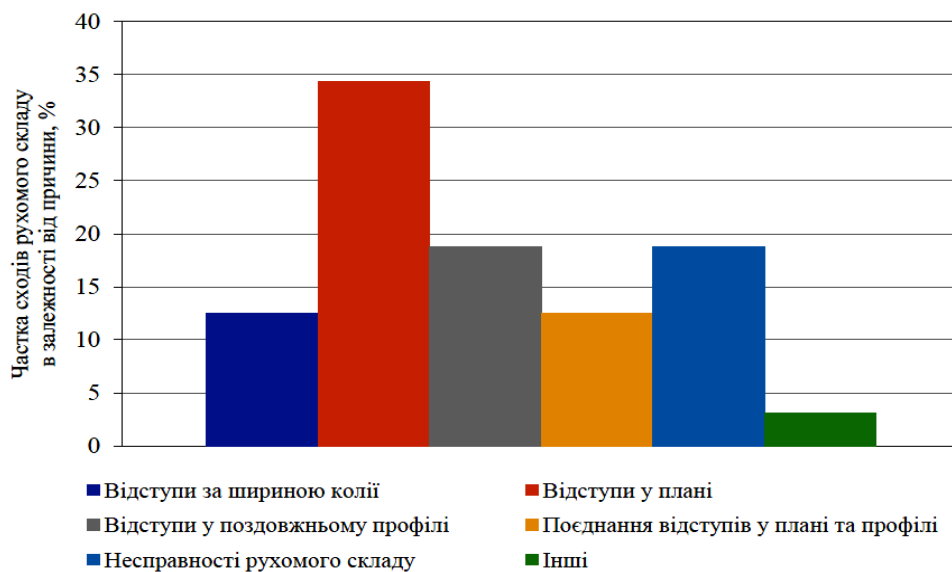


Рис.1.6. Розподіл інцидентів в залежності від причин

З гістограми можна зробити висновок, що переважна частина сходів рухомого складу обумовлена станом колії у плані ($\approx 34\%$) та у поздовжньому профілі ($\approx 19\%$). Також по 12 % припадає на одночасне поєднання відступів у плані та профілі, а також за шириною колії. Проведений аналіз причин сходів свідчить, що в першу чергу необхідно визначити вплив положення стрілочного з'їзду у плані та поздовжньому профілі на безпеку руху.