

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВІДСТУПІВ ЗА ШИРИНОЮ КОЛІЇ ТА ЗА НАПРЯМКОМ У ПЛАНІ В МЕЖАХ БОКОВОГО НАПРЯМКУ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ЗА КРИТЕРІЯМИ БЕЗПЕКИ РУХУ ТА ВПЛИВУ НА КОЛІЮ

У роботі аналізується вплив відступів у плані бокового напрямку стрілочних переводів на безпеку руху та величину бокової сили. Наведено результати експлуатаційних досліджень цих відступів. Обґрунтовано передумови для нормування допустимих швидкостей руху по боковому напрямку стрілочних переводів.

В работе анализируется влияние отступлений в плане бокового направления стрелочных переводов на безопасность движения и величину боковой силы. Приведены результаты эксплуатационных исследований этих отступлений. Обоснованы предпосылки для нормирования допустимых скоростей движения по боковому направлению стрелочных переводов.

The paper analyzes the impact of deviations in terms of lateral turnouts for traffic safety and the magnitude of lateral force. The results of performance studies of these deviations are presented. The preconditions for rationing the permissible traffic speeds on the lateral turnout of switches are substantiated.

Ширина колії є однією з найголовніших характеристик колії, яка забезпечує безпеку руху поїздів. На сьогодні існують нормативи ширини колії в межах стрілочних переводів, але не існує нормованих ступенів відступів по впливу на безпеку руху, плавність ходу та інтенсивність накопичення залишкових деформацій.

Вплив ширини колії в межах стрілочного переводу на показники безпеки руху аналізувався в роботах [1 – 5]. Теоретичною основою більшості зазначених робіт було використання відомих [2] залежностей при ударі абсолютно жорстких тіл. Використання цього методу не дає можливості аналізувати взаємодію екіпажу та стрілочного переводу в часі. В експериментальній частині досліджень [3 – 4] використовувалась дуже мала кількість тензOMETричних датчиків, що не давало можливості повною мірою аналізувати вплив ширини колії на напружено-деформований стан колії. Також слід зазначити експериментальні дослідження впливу ширини колії на показники взаємодії колії та рухомого складу в межах стрілочних переводів, проведених під керівництвом проф. Б. Е. Глюзберга. Недоліком цих досліджень було неврахування положення у плані та профілі стрілочних переводів під час випробувань. Цього недоліку були позбавлені експериментальні комплексні випробування стрілочних переводів з відхиленнями від допусків утримання в плані та профілі [5], проведені під керівництвом к.т.н. А. П. Татуревича та д.т.н. Г. Г. Желніна, але в цій роботі були дуже загальні висновки відносно впливу

ширини колії на показники безпеки руху поїздів.

Основною метою даної роботи є встановлення впливу відступів за шириною колії та за напрямком у плані в межах бокового напрямку стрілочних переводів на допустиму швидкість руху по них. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. встановити критерії безпеки руху та допустимої дії від рухомого складу на колію в межах стрілочних переводів;
2. розробити математичну модель взаємодії екіпажу та колії в межах бокового напрямку стрілочного переводу;
3. визначити основні особливості взаємодії в межах бокового напрямку;
4. провести експлуатаційні дослідження ширини колії та положення у плані стрілочних переводів;
5. провести обґрунтування використання розробленої моделі шляхом порівняння основних показників взаємодії, які отримані теоретично та експериментально;
6. проаналізувати вплив відступів, що присутні при експлуатації колії, на безпеку руху та не перевищення допустимої дії від рухомого складу на колію за допомогою апробованої математичної моделі.

Щоб обрати критерії безпеки руху та допустимої дії на колію в межах стрілочних переводів, було проаналізовано українські та російські нормативні документи з цього питання [6 – 11]. В нормативному документі [11] у якості допус-

тимой величини бокових сил використовуються для рейок типу Р50 – 120 кН, а для Р65 – 150 кН. Зазначені величини були отримані д.т.н. Г. Г. Желніним [12], виходячи з фіксування перенапружень у згаданих вище типах рейок при зазначених величинах бокових сил. Але слід зауважити, що напруження у кромці рейки формуються під сумісною дією вертикальних та горизонтальних бокових сил. Ця обставина в дослідженнях Г. Г. Желніна неврахована, тому для використання вищезазначених величин бокових сил необхідно провести додаткові дослідження по сумісному впливу вертикальних та бокових сил на величину кромочних напружень у рейках. Крім того, встановлення допустимих бокових та вертикальних сил з умов недопущення перенапружень у рейках є недоцільним, бо напруження у кромках підшви завжди фіксуються як окремий показник при дослідженні напружено-деформованого стану стрілочних переводів.

На наш погляд, критерії допустимої дії бокових сил необхідно встановлювати з умов стійкості та недопущення залишкових деформацій рейкових елементів та скріплень під дією окремих екіпажів. Також необхідно враховувати, крім типу рейок, ще й вид підрейкової основи. Тому, у якості першого наближення, ми обрали окремо критерії для стрілочних переводів на залізобетонних та дерев'яних брусах. Для дерев'яної підрейкової основи, згідно дослідження д.т.н М. Ф. Веріго [13] та досвіду російських вчених [8, 9], було прийнято величину бокової сили 100 кН. Для встановлення допустимої величини для залізобетонних брусів нами було виконано відповідні дослідження згідно [10]. За результатами цих досліджень, допустима величина бокової сили складає 120 кН. У якості показників безпеки руху було обрано експериментально отримані к.т.н. Лисюком коефіцієнти стійкості – відношення бокової сили до вертикальної [6], що визначається за формулою

$$\frac{Y_6}{P} \leq 0,86,$$

де P та Y_6 – вертикальна та бокова сила, що передається від колеса на рейку, кН.

Зауважимо, що вкочення колеса на рейку відбувається не миттєво, а на протязі деякої довжини; згідно досліджень випадків порушення безпеки руху [7], ця довжина складає 0,6...5 м. У якості допустимої нами прийнята нижня границя 0,6 м.

До моделювання взаємодії в межах перевідної кривої було обрано 4 проекти стрілочних

переводів. Для них встановлена допустима швидкість руху у діючих нормативних документах [14] та діапазон непогашених відцентрових прискорень, що діє в межах перевідної кривої, для цих проектів перебиває практично весь існуючий діапазон для всіх стрілочних переводів, що експлуатуються, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики бокового напрямку стрілочних переводів

№ проекту	R, м	M	Встановлена швидкість, км/год	Тип	Відцентрове прискорення, м/с ²
1740	300	1/11	40	Р65	0,41
2064	422	1/9	50	Р50	0,46
Дн060	962	1/18	80	Р65	0,51
2063	540	1/11	70	Р50	0,7

Моделювання виконувалось на розробленій та апробованій математичній моделі вантажно-го піввагона на візках 18-100 [15, 16].

Аналіз взаємодії проводився в два етапи: теоретичний та експериментальний. На першому етапі аналізувались особливості взаємодії піввагона та зазначених вище стрілочних переводів по боковому напрямку. Другий етап передбачав проведення експлуатаційних досліджень ширини колії та положення у плані бокового напрямку, найбільш масових стрілочних переводів: М 1/11-1/9, Р65 на залізобетонних брусах. Зазначені стрілочні переводи мають однакову конструкцію стрілки, що надало можливість проводити обміри по одній технології:

1. розбивка стрілочного переводу від переднього стику рамної рейки до прямої вставки перед хрестовиною з шагом один метр;
2. обмір ширини колії в отриманих перетинах;
3. обмір ординат в отриманих перетинах починаючи з кореня гостряка.

Проаналізувавши результати по обох етапах, нами вперше було помічено, що характер зміни ширини колії по боковому напрямку стрілочних переводів повторює зміну бокової сили від колеса, що набігає на упорну нитку перевідної кривої, що показано на рис. 1. Отримані результати дозволили виділити по боковому напрямку дві характерні зони: зона набігання на вістряк та перевідна крива.

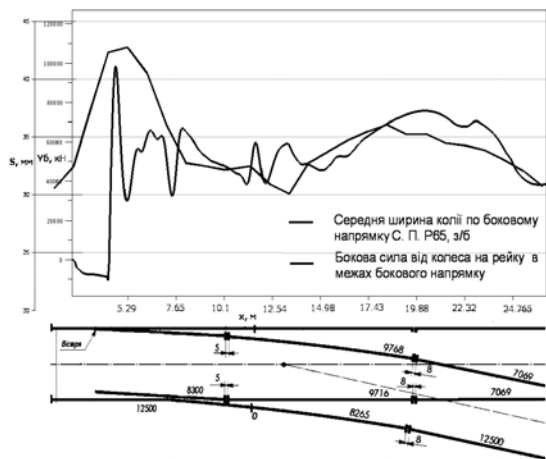


Рис. 1. Зміна ширини колії та бокової сили в межах бокового напрямку стрілочного переводу

Розглянемо вплив ширини в межах зони набігання. Результати для стрілочних переводів на дерев'яних брусах представлено на рис. 2.

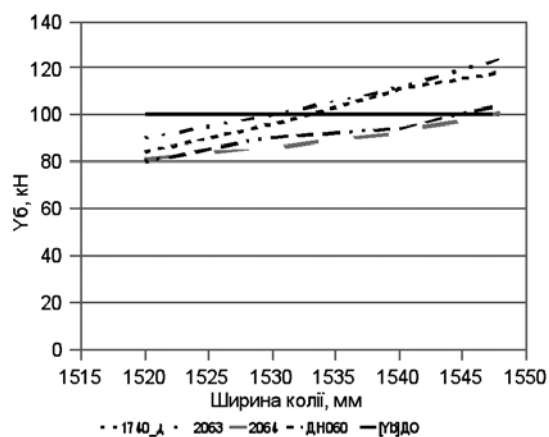


Рис. 2. Вплив ширини колії в межах зони набігання стрілочних переводів на дерев'яних брусах на величину бокової сили

З наведених на рис. 2 результатів бачимо, що ширина колії в цій зоні істотно впливає на бокову силу, причому інтенсивність зростання сили значно вище для стрілочних переводів з швидкістю руху 70 та 80 км/год. За прийнятим критерієм горизонтального впливу на стрілочні переводи на дерев'яних брусах маємо наступні межі ширини колії при яких швидкість можливо не обмежувати:

1. проект 1740 – 1543 мм;
2. проект 2064 – 1545 мм;
3. проект 2063 – 1530 мм;
4. проект Дн060 – 1532 мм.

Розглянемо окремо результати для стрілочного переводу проекту 1740 на залізобетонних брусах (рис. 3). Вони свідчать про істотний вплив жорсткості в межах зони набігання на величину бокової сили. Так, бокова сила при ширині колії в цій зоні 1546 мм для проекту

1740 на дерев'яних брусах складає 104 кН, а для 1740 на залізобетонних – 123 кН. За критерієм недопущення залишкових деформацій рейкових елементів для стрілочного переводу проекту 1740 на залізобетонних брусах допустима ширина колії, що не вимагає зменшення швидкості руху, складає 1545 мм.

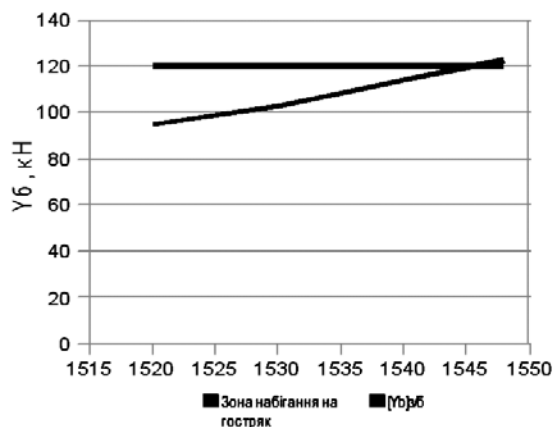


Рис. 3. Вплив ширини колії в межах зони набігання стрілочного переводу проекту 1740 на залізобетонних брусах на величину бокової сили

Перейдемо до аналізу впливу ширини колії в межах зони набігання на показники безпеки руху. Коефіцієнт стійкості показаний на рис. 4.

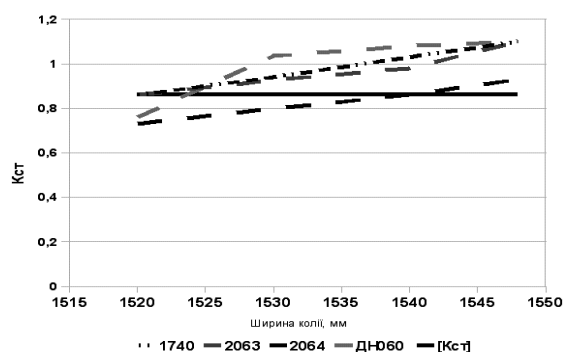


Рис. 4. Вплив ширини колії в межах зони набігання на коефіцієнт стійкості

Вплив ширини колії на зміну довжини втрати стійкості показаний на рис. 5.

Результати, наведені на рис. 4, показують, що для всіх стрілочних переводів, які досліджуються, в межах зони набігання на вістряк коефіцієнт стійкості перевищує допустиме значення 0,86, але показані на рис. 5 результати свідчать, що для жодного з переводів довжина зони втрати стійкості не перевищує допустиму – 0.6 м. Проаналізуємо більш детально процес втрати стійкості колесом при русі екіпажу по боковому напрямку стрілочного переводу, приклад зміни коефіцієнта показаний на рис. 6.

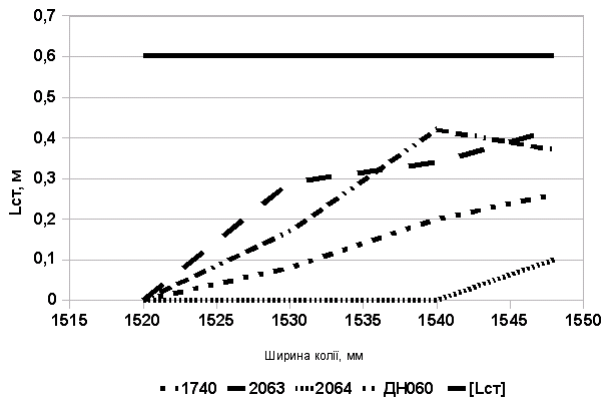


Рис. 5. Вплив ширини колії в межах зони набігання на довжину зони втрати стійкості

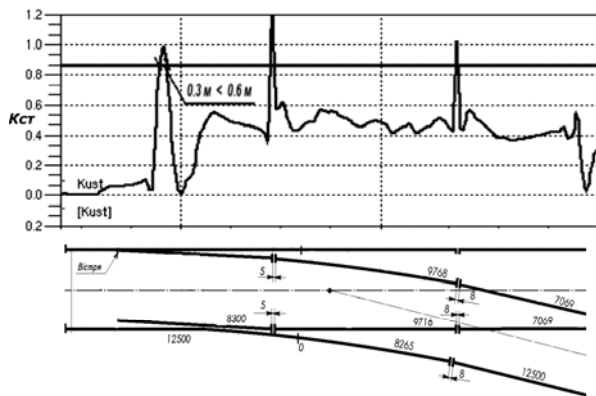


Рис. 6. Коефіцієнт стійкості при русі по боковому напрямку на колеса, що набігає на упорну нитку

Як бачимо з результатів, представлених на рис. 6, коефіцієнт перевищує допустиме значення при зустрічі колеса, що набігає, з вістряком та в межах стиків, але довжина втрати стійкості менше 0,6 м. Ці результати дають право зробити наступний висновок: для всіх стрілочних переводів, що досліджувались, безпека руху забезпечується в межах діапазону ширини колії 1520...1546 мм.

Виконаємо аналіз впливу ширини колії в межах другої зони – перевідної кривої стрілочних переводів на величину бокової сили та показники безпеки руху, результати наведено на рис. 7, 8, 9.

Представлені на рис. 7 результати свідчать про неістотний вплив ширини колії на бокову силу, але зауважимо, що для стрілочного переводу ДН060 із встановленою швидкістю руху 80 км/год інтенсивність зростання бокової сили від ширини колії більша ніж для стрілочних переводів зі встановленими швидкостями 40...70 км/год. Тому при проектуванні стрілочних переводів для швидкості руху по боковому напрямку більше 80 км/год питання впливу ширини колії необхідно дослідити окремо.

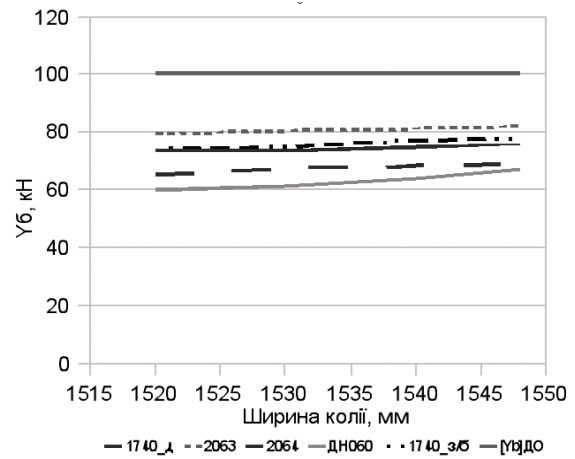


Рис. 7. Вплив ширини колії в межах перевідної кривої на величину бокової сили

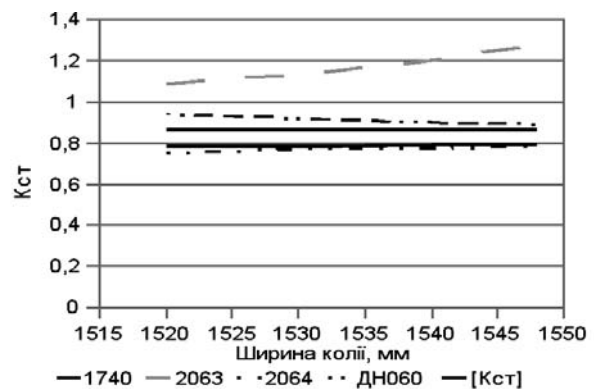


Рис. 8. Вплив ширини колії в межах перевідної кривої на коефіцієнт стійкості

Результати, представлені на рис 8, показують, що в межах бокового напрямку стрілочних переводів зі встановленими швидкостями 70...80 км/год коефіцієнти стійкості перевищують допустимий; зауважимо, що втрата стійкості в цих випадках обумовлена імпульсною зміною вертикального навантаження від колеса на рейку в межах стику, що підтверджується результатами, наведеними на рис. 9.

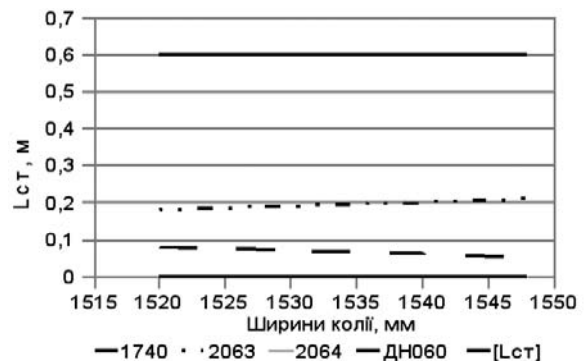


Рис. 9. Вплив ширини колії в межах перевідної кривої на довжину зони втрати стійкості

Отримані в межах перевідної кривої результати дають право зробити наступний висновок: для всіх стрілочних переводів, що досліджувались, безпека руху забезпечується в межах діапазону ширини колії 1520...1546 мм. Тому можливо зробити висновок, що для всіх стрілочних переводів, які досліджувались, підстави для обмеження швидкості руху в межах перевідної кривої немає в діапазоні ширини колії 1520...1546 мм.

Перейдемо до аналізу впливу нерівностей у плані в межах перевідної кривої. Згідно діючих нормативних документів [14], положення у плані бокового напрямку стрілочних переводів контролюється ординатами упорної нитки перевідної кривої. Тому під час експлуатаційних досліджень, крім ширини колії, виконувались проміри ординат перевідної кривої від кореня вістряка з кроком 1 м в тих же перетинах, де вимірювалась ширина колії. Така методика дала змогу проаналізувати взаємозв'язок між відступами в ординатах та за шаблоном від норм, середні значення яких показані на рис. 10.

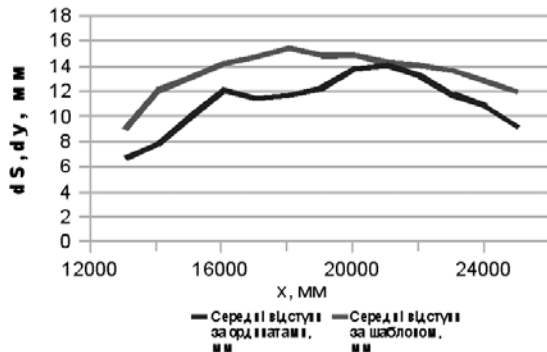


Рис. 10. Середні відступи за шириною колії та за ординатами в межах перевідної кривої

Представлені на рис. 10 результати показують практично однаковий характер зміни відступів по ординатах і по шаблону в межах перевідної кривої. Цей висновок підтверджується коефіцієнтом кореляції 0,93 між обома відступами. Хоча результати отримані для стрілочних переводів типу Р65 на залізобетонних брусах, але характер взаємодії в межах бокового напрямку стрілочних переводів однаковий, тому результати експлуатаційних та теоретичних досліджень дають право зробити наступні висновки:

1. Відступ за шириною колії в межах перевідної кривої обумовлений залишковими деформаціями упорної нитки перевідної кривої.
2. Відступ за шириною колії в межах перевідної кривої є одночасно відступом за ординатами.

3. Нерівність у плані в межах перевідної кривої є одночасно ухилом відводу ширини колії по упорній нитці.

Отримані висновки надали змогу при моделюванні одночасно аналізувати вплив амплітуд відступів по різниці відхилень у суміжних ординатах та ухилу відводу ширини колії по упорній нитці (далі dy та dS відповідно); схема моделювання наведена на рис. 11.

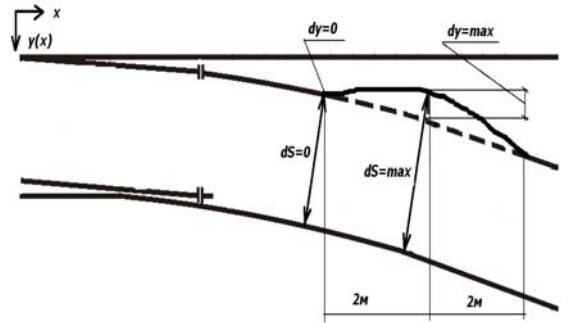


Рис. 11. Схема моделювання нерівності у плані по упорній нитці перевідної кривої:
 dS – відступ за шириною колії;
 dy – відступ за напрямком у плані

Діапазон амплітуд нерівностей, прийнятий до моделювання наступний:

- dy : 2...10 мм;
- dS : 1...5 мм/м.

Зазначимо, що прийнята у [14] норма різниці відступу у суміжних ординатах (2 мм), була запропонована д.т.н. Б. Е. Глюзбергом без обґрунтування її з умов впливу на взаємодію, а в наступних своїх дослідженнях [18] він разом з к.т.н. Ю. М. Радигіним запропонував значно ширший діапазон цієї норми. Перейдемо до результатів моделювання, вплив амплітуди нерівностей dy та dS на величину бокової сили показаний на рис. 12.

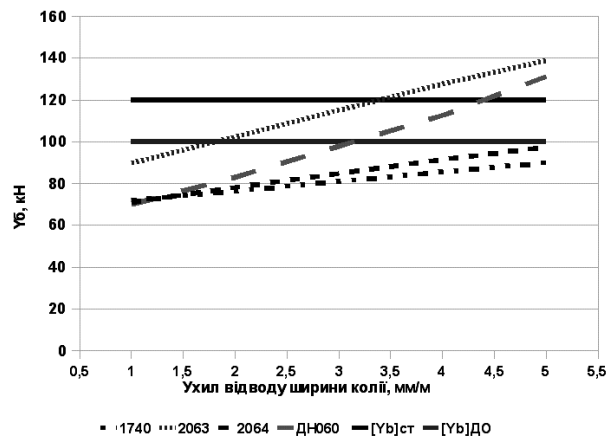


Рис. 12. Залежність бокової сили від амплітуди нерівності у плані по упорній нитці перевідної кривої

Представлені на рис. 12 дані дають право зробити висновок про істотний вплив амплітуди

нерівності на величину бокової сили; зауважимо, що інтенсивність зростання істотно залежить від швидкості руху. Тому для стрілочних переводів проекту 2064 та 1740 навіть при різності у відступах суміжних ординат 10 мм та ухилі відводу ширини колії 5 % немає підстав обмежувати швидкість за критерієм допустимого бокового впливу на стрілочні переводи на дерев'яних брусах, а для проектів Дн060 та 2063 необхідно обмежувати встановлену швидкість руху вже при dS 2...3 мм/м, а dy 4...6 мм відповідно. Вплив амплітуд зазначених вище нерівностей на показники безпеки руху показаний на рис. 13 та 14.

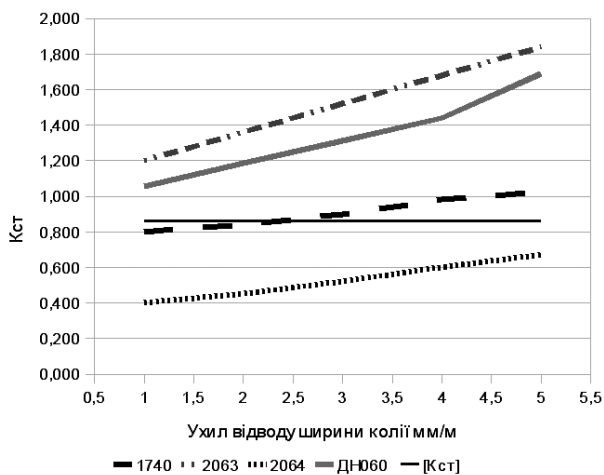


Рис. 13. Вплив амплітуди нерівності у плані на коефіцієнт стійкості

Як бачимо, практично для всіх стрілочних переводів, які досліджуються, коефіцієнти стійкості в межах нерівності перевищують допустимий. Але, як видно з рис. 14, довжина зони втрати стійкості в жодному з випадків не перевищує 0,6 м.

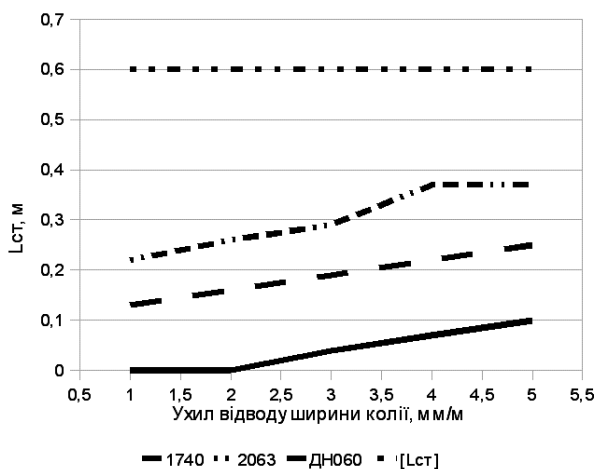


Рис. 14. Вплив амплітуди нерівності у плані на довжину втрати стійкості

Тому можливо зробити наступний висновок: для всіх стрілочних переводів, що досліджувались, безпека руху забезпечується при діапазоні відступів у плані:

- різниця відступу у суміжних ординатах 2...10 мм;
- ухил відводу ширини колії по упорній нитці 1...5 мм/м.

В досліджах д.т.н. Єршкова [19] була вперше експериментально отримано пряму залежність між відцентровим прискоренням, що діє в кривій ділянці колії, та боковою силою в межах нерівності. На відміну від кривих ділянок на магістральних лініях, які проектуються з наперед заданим відцентровим прискоренням, відцентрові прискорення, що діють в межах перевідних кривих, мають певний діапазон, що обумовлено конструктивними чи геометричними вимогами до довжини стрілочного переводу. Тому представляє інтерес визначити вплив відцентрового прискорення, що діє в межах перевідної кривої, на величину бокових сил; результати представлено на рис. 15.

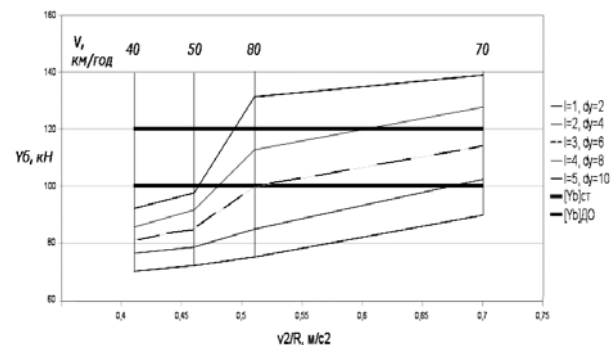


Рис. 15. Вплив відцентрового прискорення, що діє в межах перевідної кривої на бокову силу в межах нерівності у плані

На основі результатів, представлених на рис. 15, можливо зробити наступні висновки:

1. Зростання бокової сили в межах нерівності пропорційно відцентровому прискоренню, що діє в межах перевідної кривої та швидкості руху.
2. Вплив амплітуди нерівності у плані на величину бокової сили суттєво залежить від відцентрового прискорення та швидкості руху.

На підставі виконаних досліджень по впливу відступів за шириною колії та за напрямком у плані бокового напрямку стрілочних переводів можемо зробити наступні висновки:

1. На величину бокових сил в межах бокового напрямку ширина колії впливає неістотно, крім зони набігання на вістряк при протишерстному русі. Істотно

впливають нерівності у плані по упорній нитці. Такий же висновок був отриманий експериментальним шляхом [5].

2. Відступи за положенням у плані та за шириною колії в межах бокового напрямку стрілочних переводів необхідно назначати в залежності від експлуатаційних характеристик – радіусу та швидкості руху, як це прийнято в загальносвітовій практиці експлуатації залізниць [20].

Слід зауважити, що в даній роботі не аналізувався вплив наступних факторів:

1. нерівностей у профілі;
2. співпадіння нерівностей у профілі та у плані;
3. профілю головки рейки та колеса;
4. довжини нерівності.

Ці задачі планується виконати на наступному етапі досліджень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Крысанов, Л. Г. Влияние ширины колеи и желобов в крестовинном узле на условия прохождения по нему колесных пар [Текст] / Л. Г. Крысанов, Н. Н. Елсаков // Вестник ВНИИЖТ. – М., 1975. – № 3. – С. 34-39.
2. Шахунянц, Г. М. О допускаемых скоростях движения на боковой путь и об основных геометрических параметрах для проектирования стрелочных переводов [Текст] / Г. М. Шахунянц // Труды МИИТа. – М., 1958. – № 80/1. – С. 56-67.
3. Яковлев, В. Ф. Влияние сужения рельсовой колеи на состояние железнодорожного пути и плавность движения поездов [Текст] / В. Ф. Яковлев, С. В. Амелин // Труды ЛИИЖТа. – Л., 1963. – № 191. – С. 7-28.
4. Яковлев, В. Ф. Напряженное состояние и деформированное состояние стрелочного перевода марки 1/11 при ширине колеи 1530 мм [Текст] / В. Ф. Яковлев, С. В. Амелин // Труды ЛИИЖТа. – Л., 1963. – № 191. – С. 30-63.
5. Разработать нормативы скоростей движения по стрелочным переводам с учетом их фактического состояния [Текст] : звіт про НДР / ДИИТ. КГНДЛ. – Д., 1988. – 147 с.
6. Лысюк, В. С. Причины и механизм схода колес с рельса. Проблема износа колес и рельсов.[Текст] / В. С. Лысюк. – М.: Транспорт, 1997. – 188 с.
7. О запасе устойчивости колеса против схода с рельса [Текст] / Е. П. Блохин [и др.] // Залізн. трансп. України. – К., 2002. – № 2. – С. 22-24.
8. Нормы для расчета и оценки прочности несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ [Текст]. – М., 1998. – 72 с.

9. Вагоны грузовые железнодорожные. Требования по сертификации [Текст]. – М., 1998. – 16 с.
10. Даниленко, Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість [Текст] / Е. І. Даниленко, В. В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2006. – С. 168.
11. Технічні вказівки з проведення натурних випробувань стрілочних переводів на міцність [Текст]. – К.: Транспорт України, 2006. – 16 с.
12. Желнин, Г. Г. Допустимые скорости движения на боковое направление стрелочного перевода с учетом его фактического состояния [Текст] : автореф. дис. ... докт. техн. наук / Г. Г. Желнин. – М.: ВНИИЖТ, 1992. – 45 с.
13. Вериги, М. Ф. Установление норм боковых динамических нагрузок подвижного состава по условию устойчивости пути поперечному сдвигу [Текст] / М. Ф. Вериги, С. С. Крепкогорский // Тр. ЦНИИ МПС. – М., 1962. – № 248. – С. 25-28.
14. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України. ЦП/0138 [Текст] / Е. І. Даниленко [та ін.] – К.: Транспорт України, 2006. – 336 с.
15. Рибкін, В. В. Особливості математичної моделі взаємодії колії та рухомого складу в межах стрілочного переводу [Текст] / В. В. Рибкін, К. Л. Каленик // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 30. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 204-207.
16. Рыбкин, В. В. Совершенствование методики контроля положения стрелочных переводов в плане [Текст] / В. В. Рыбкин, К. Л. Каленик // Сб. науч. тр. науч.-практ. конф. ОАО «РЖД». Инфраструктура 2009. – М.: Интекст, 2009. – С. 79.
17. Рибкін, В. В. Вплив ширини колії в межах перевідної кривої звичайних стрілочних переводів на взаємодію колії та рухомого складу [Текст] / В. В. Рибкін, К. Л. Каленик // Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 31. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 204-207.
18. Радыгин, Ю. Н. Совершенствование геометрических параметров и норм содержания стрелочных переводов [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ю. Н. Радыгин. – М., 2007. – 25 с.
19. Ершков, О. П. Теоретический анализ влияния расстройств рельсовой колеи на динамическое воздействие подвижного состава и пути и оценка неравножесткости рельсовых нитей. [Текст] / О. П. Ершков, М. Г. Зак, Е. Д. Ткачев // Труды ВНИИЖТа. – М., 1980. – № 628. – С. 67-101.
20. Reglement concernant la securite de la voie. L'association des chemins de fer du Canada. 3 november [Текст]. Канада. 2008. 30 с.

Надійшла до редколегії 17.05.2010.

Прийнята до друку 28.05.2020.