

В. В. Рибкін, д.т.н., проф., Каленик К. Л. (ДНУЗТ)

НОРМАТИВИ УТРИМАННЯ БОКОВОГО НАПРЯМКУ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ПО ШИРИНІ КОЛІЇ ТА ЗА НАПРЯМКОМ У ПЛАНІ.

Діюча система нормативів утримання стрілочних переводів [1] враховує лише норми та допуски утримання по ширині колії та за напрямком у плані. В цій системі не існують, як це прийнято для звичайної колії, нормовані ступені відступів. Крім того ці нормативи були розроблені за результатами статистичних та експериментальних досліджень стрілочних переводів лише на дерев'яних брусах [2-3]. Експериментальні дослідження [3] не враховували вплив плану та профілю стрілочного переводу на взаємодії колії та рухомого складу. Дослідженнях [4] були присвячені впливу стану в профілі та в плані на взаємодію. Але і ці дослідження мали недоліки:

- нерівності в плані та профілі аналізувались окремо;
- стрілочні переводи до початку експерименту вже мали початкові нерівності, але їх вплив не аналізувався. В результаті після улаштування штучних нерівностей максимальні значення показників взаємодії були отримані за межами експериментального участку.
- в теоретичній частині досліджень використовувались плоскі математичні моделі взаємодії, хоча результати експериментів свідчили про сумарний вплив нерівностей в плані і профілі на взаємодію.
- Не наведені схеми розташування датчиків.

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

Метою даної роботи є розробка нормативів утримання, на базі раніше виконаних досліджень [5-8], по ширині колії та за напрямком у плані бокового напрямку стрілочних переводів за критеріями безпеки руху та впливу на колію. Для цього необхідно обрати відповідні критерії. Силами вчених кафедри “Колія та колійне господарство” та коліє-випробувальної науково дослідної лабораторії ДІІТу вперше за роки незалежності України були розроблені такі нормативи [9-10]. Враховуючі особливості взаємодії боковий напрямок стрілочних переводів був розділений на 2 характерні ділянки:

1. стрілка;
2. перевідна крива.

Відповідно для цих ділянок були обрані відповідні критерії безпеки руху та впливу на колію, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Допустимі значення критеріїв безпеки руху та впливу на колію

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

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

Зауважимо, що вкочення колеса на рейку відбувається не миттєво, а на протязі деякої довжини, згідно досліджень випадків порушення безпеки руху [11], ця довжина складає 0.6-5.0 м. У якості допустимої нами прийнята нижня границя 0.6 м.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

1. визначити який з напрямків руху: пошерсний чи протишерсний (далі ПШ та ПРШ відповідно) є більш несприятливий з точки зору взаємодії;
2. визначити вплив нерівностей у профілі на взаємодію;
3. встановити найбільш несприятливий вид нерівностей у профілі в межах перевідної кривої за критеріями безпеки руху;
4. визначити допустимі відступи за шириною колії та за напрямком у плані з врахуванням нерівностей у профілі, що не вимагають зменшення встановленої швидкості руху;
5. визначити ступені відступів по ширині колії та за напрямком у плані за критеріями безпеки руху та впливу на колію.

Всі наведені задачі даного дослідження виконувались за допомогою просторової математичної моделі взаємодії вантажного піввагона на візках 18-100 (в порожньому та навантаженому стані: 23.5, 25, 30 т/вісь) з колією в межах стрілочного переводу. Вихідні дані для моделі були взяті з [14-15]. Причому моделювання виконувалось окремо для дерев'яної та залізобетонної основи. Верифікація моделі виконувалась за результатами натурних експериментів по визначенню напружено-деформованого стану стрілочних переводів, проведених кафедрою “Колія та колійне господарство” та коліє-випробувальною науково дослідною лабораторією ДІТГу. Результати отримані при моделюванні та експериментальним шляхом мають добрий збіг. Випробовування піввагонів з навантаженням 30

т/вісь в Україні, ще не проводились, тому результати моделювання для цього осьового навантаження мають орієнтовний характер.

Визначимо який з напрямків руху ПШ чи ПРШ є більш несприятливий з точки зору взаємодії. Для цього порівняємо результати моделювання руху піввагона в обох напрямках. При русі в ПШ напрямку моделювалась нерівність в плані в межах переднього вильоту рамної рейки та перевідної кривої, а при ПРШ напрямку лише в межах перевідної кривої. Параметри нерівностей у плані у обох зонах бокового напрямку однакові: довжина нерівності 6 м, амплітуда 15 мм (параметри нерівностей за результатами експлуатаційних досліджень [8]). Зміна бокової сили по довжині бокового напрямку наведено на рисунках 1-2 для ПРШ та ПШ напрямку відповідно.

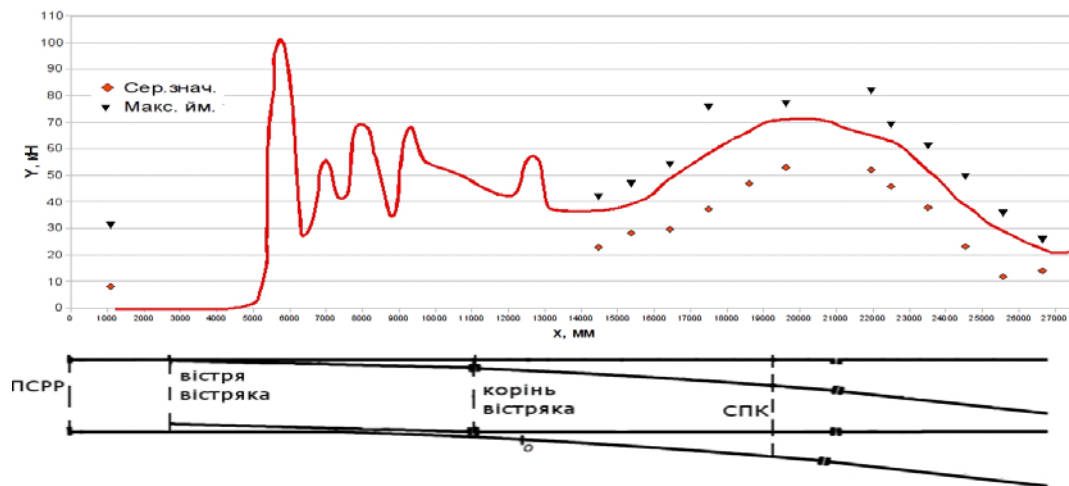


Рис. 1. Бокова сила при ПРШ напрямку руху.

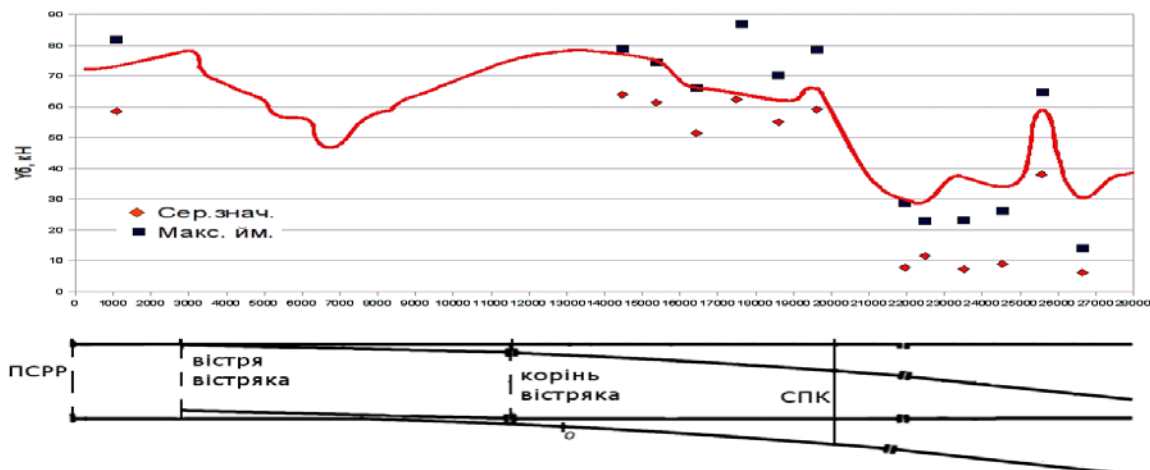


Рис. 2. Бокова сила при ПШ напрямку руху.

Аналіз результатів наведених на рис. 1-2 свідчить наступне:

- в межах перевідної кривої величина бокової сили більша при ПРШ напрямку руху;

- в межах переднього вильоту при ПШ напрямку руху бокова сила менша ніж в межах зони набігання та перевідної кривої при ПРШ напрямку руху.

Результати експлуатаційних досліджень [8] підтверджують ці висновки: залишкові деформації в межах зони набігання та перевідній кривій завжди більші ніж в межах переднього вильоту. Отже результати теоретичних та експлуатаційних досліджень дають право стверджувати, що найбільш несприятливим є ПРШ напрямком руху. Тому в подальших дослідженнях аналіз буде проводитись для ПРШ напрямку руху.

В наших дослідженнях, що проводились раніше [7], із нерівностей у профілі враховувались лише стики. Проведенні нами експлуатаційні дослідження показали, що на кожному стрілочному переводі присутні нерівності за рівнем: односторонні просадки, та перекося. Приклади цих нерівностей наведені на рисунку 3.

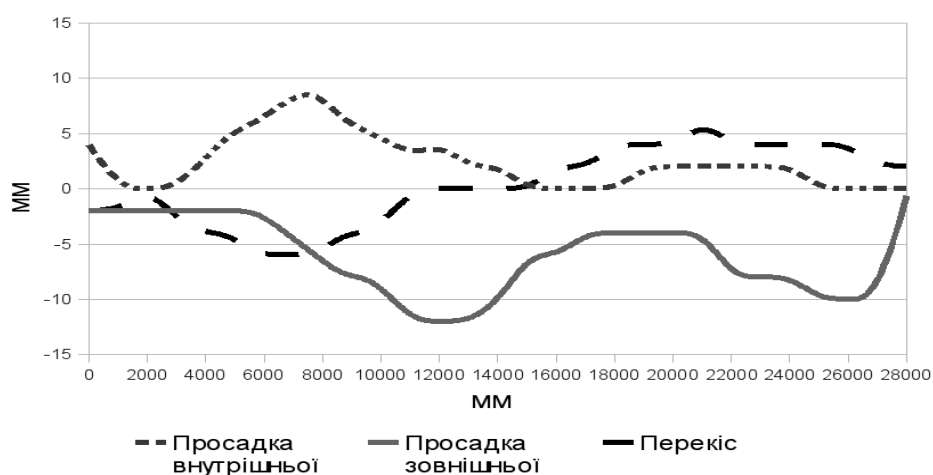


Рис. 3. Характерні вертикальні нерівності по боковому напрямку стрілочних переводів Р65 на залізобетонних брусах.

Основні параметри нерівностей за рівнем по результатам експлуатаційних досліджень наведені в таблиці 2

Таблиця 2

Параметри вертикальних нерівностей

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

На наступному етапі дослідження необхідно визначити вплив як нерівності у профілі взагалі так і її форми на безпеку руху. Для цього моделювався збіг нерівностей у плані та профілі в межах перевідної кривої. До моделювання було прийнято наступні форми вертикальних нерівностей: двостороння, одностороння просадка зовнішньої та внутрішньої нитки, а також переки́с. Критерієм порівняння був коефіцієнт запасу стійкості колеса на рейці. Характеристики нерівностей: довжина 6 м (переки́с 12м), амплітуда 10 мм. Форма нерівностей показана на рисунку 4.

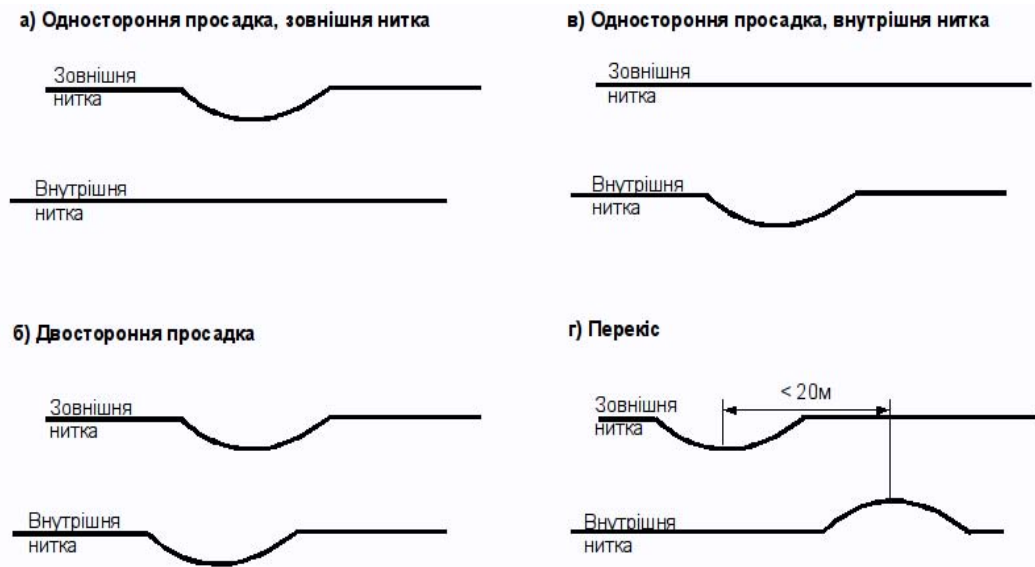


Рис. 4. Форми вертикальних нерівностей.

На рисунку 5 наведені результати моделювання.

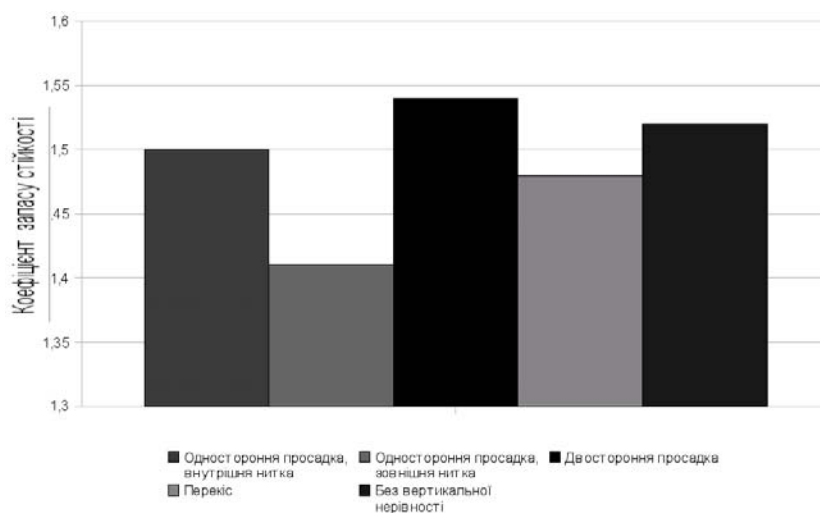


Рис. 5. Коефіцієнт запасу стійкості в залежності від виду вертикальної нерівності.

Результати наведені на рис. 5 свідчать, що: нерівності у профілі мають вплив на безпеку руху; найбільш несприятливою по критеріям безпеки руху є одностороння просадка по зовнішній, упорній нитці. Це обумовлене безпосереднім зменшенням вертикального навантаження на колесо, що набігає на упорну нитку. Тому в наступних етапах дослідження у якості вертикальної нерівності буде прийматись одностороння просадка по зовнішній, упорній нитці перевідної кривої.

Перейдемо до визначення ширини колії та нерівностей за напрямком у плані в межах бокового напрямку стрілочних переводів, що не вимагають зменшення швидкості руху. До моделювання взаємодії в межах перевідної кривої було обрано 6 проектів стрілочних переводів, серед яких один експериментальний, основною його особливістю є криволінійна хрестовина. Для них встановлена допустима швидкість руху у діючих нормативних документах [1]. Діапазон непогашених відцентрових прискорень, що діє в межах перевідної кривої, для цих проектів перекриває практично весь існуючий діапазон для всіх стрілочних переводів. Характеристики проектів стрілочних переводів, що досліджуються наведені в таблиці 3

Таблиця 3

Характеристики бокового напрямку стрілочних переводів

№ проекту	R, м	M	Встановлена швидкість, км/год	Тип	Відцентрове прискорення, м/с ²
1740	300	1/11	40	P65	0.41
2215	200	1/9	40	P65	0.62
2064	422	1/9	50	P50	0.46
Експер.	450	1/11	60	P65	0.62
Дн060	962	1/18	80	P65	0.51
2063	540	1/11	70	P50	0.7

Методика цього етапу дослідження базується на визначенні таких параметрів ширини колії та нерівностей за напрямком у плані при яких не перевищуються допустимі критерії безпеки руху та впливу на колію.

Схематично методика дослідження представлена на рисунку 6.

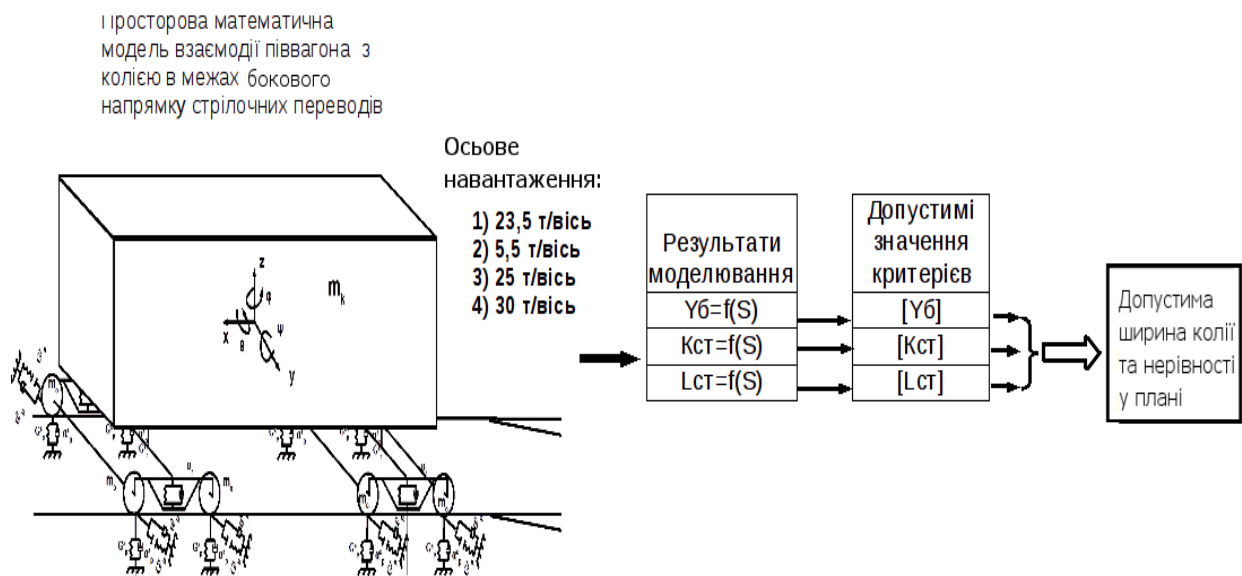


Рис. 6. Схема проведення досліджень.

Методик досліджень враховує раніше отримані результати досліджень [7]. Дослідження [7] виявили особливості взаємодії, які раніше не враховувались при розробці нормативів утримання стрілочних переводів, а саме:

- для призначення нормативів по ширині колії боковий напрямок доцільно розбити на дві ділянки (стрілка та перевідна крива);
- нормативи призначати диференційовано, в залежності від встановленої швидкості руху.

Розбиття бокового напрямку обумовлене різним рівнем впливу ширини колії на сили взаємодії в межах згаданих ділянок. В межах стрілки ширина колії істотно впливає на сили взаємодії, а в межах перевідної кривої цей вплив практично відсутній. На рисунках 7-8 представлена зростання у відсотках величини бокової сили при зміні ширини колії від 1520 до 1546 мм відповідно для ділянки стрілки при набіганні та в межах перевідної кривої.

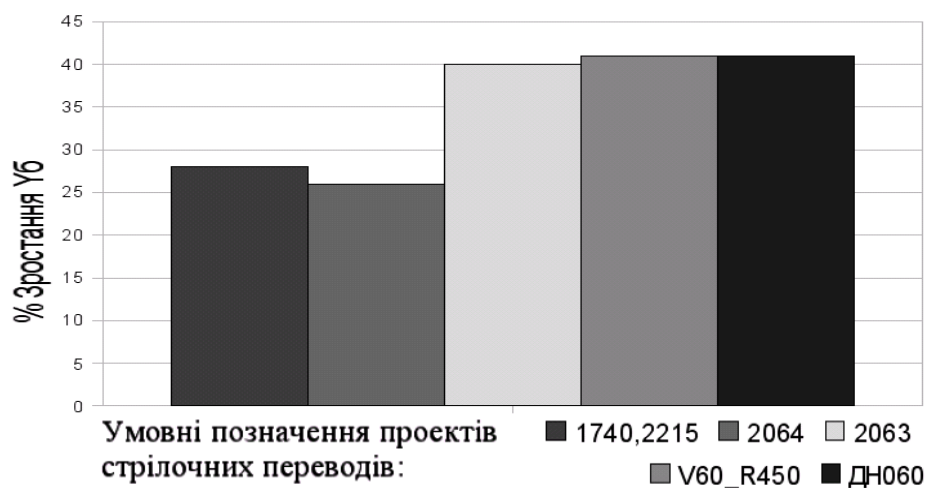


Рис. 7. Відсоток зростання бокової сили в зоні стрілки при набіганні.

Як бачимо з рис. 7 в межах стрілки бокові сили зростають при зміні ширини колії від 1520 до 1546 мм на 26-42%, в залежності від встановленої швидкості. Такий вплив швидкості свідчить про доцільність диференційованого підходу до призначення нормативів в залежності від швидкості руху: при швидкості 50 і менше бокова сила зростає на 26%, а при 60-80 км/год на 42%.

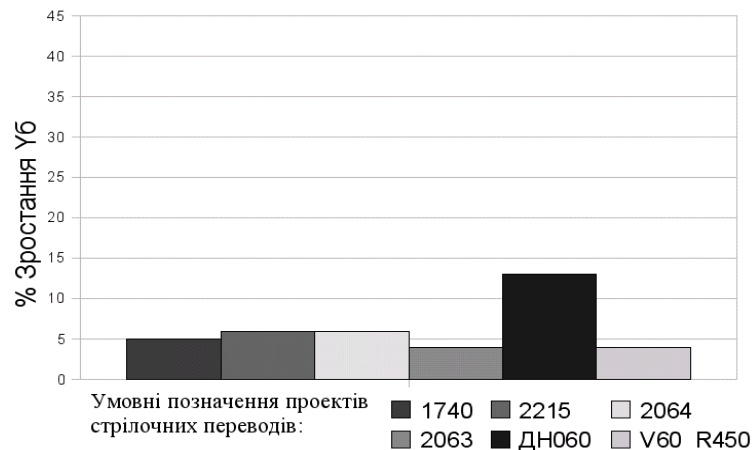


Рис. 8. Відсоток зростання бокової сили в зоні перевідної кривої.

В межах перевідної кривої бокові сили зростають при зміні ширини колії від 1520 до 1546 мм на 4-6% і тільки для проекту ДН060 з встановленою швидкістю 80 км/год на 13%. Зауважимо, що згідно результатів досліджень представлених на рис. 7 для стрілочних переводів, що будуть проектуватись з швидкістю 80 та більше км/год по боковому напрямку, необхідно провести додаткові дослідження по впливу ширини колії на взаємодію.

Перейдемо до результатів, що стосуються нерівностей у плані в межах бокового напрямку. У якості нерівності приймалась встановлена діючими нормативними документами [1] характеристика - різниця відступів у суміжних ординатах перевідної кривої (далі амплітуда нерівності). Довжина нерівності була прийнята по результатам експлуатаційних досліджень. Загальновідомо, що чим коротша нерівність тим гірший вплив вона має на взаємодію, тому до досліджень приймалась найменша виміряна довжина нерівності - 6 м, а її амплітуда змінювалась при моделюванні. Результати досліджень аналізувались окремо по критеріям безпеки руху та впливу на колію. На рисунках 9-10 представлені допустимі, без зниження швидкості руху, амплітуди нерівностей по критерію впливу на колію та безпеки руху відповідно.

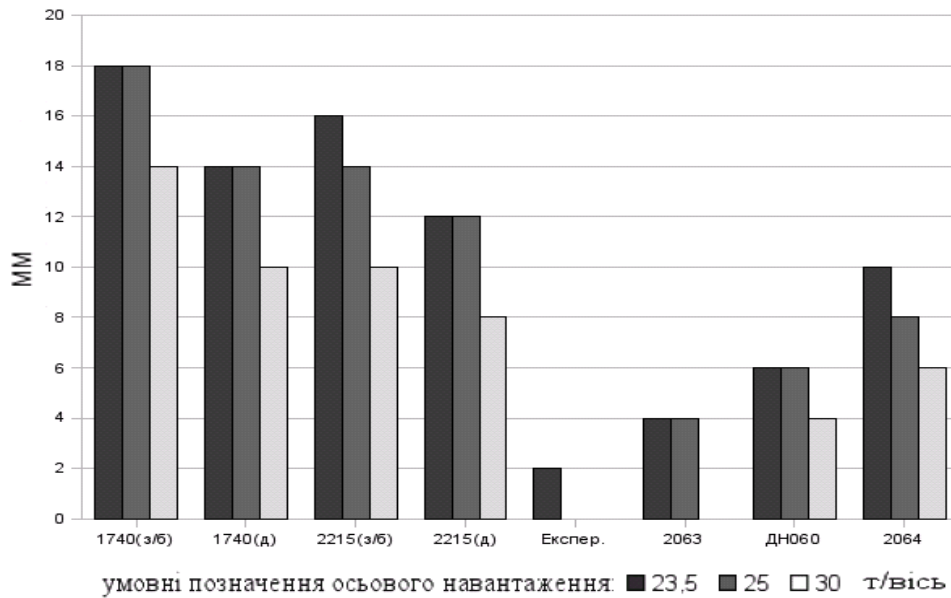


Рис. 9. Допустима амплітуда нерівності у плані по критерію впливу на колію.

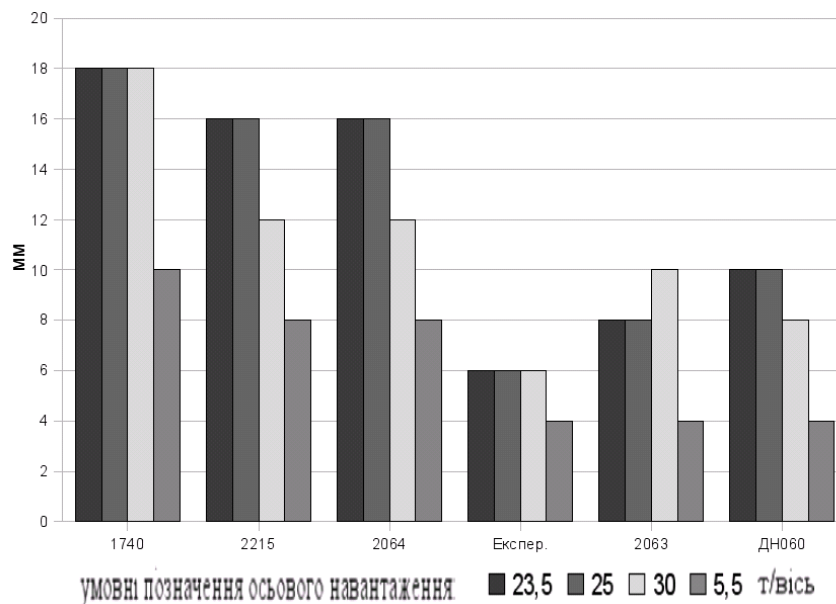


Рис. 10. Допустима амплітуда нерівності у плані по критерію безпеки руху.

З рис. 10 бачимо, що найменші допустимі нерівності отримано для порожнього піввагона, тобто він є найбільш нестійким типом рухомого складу з тих, що досліджувався. Цей висновок підтверджується результатами багаторічних досліджень присвячених стійкості саме порожніх піввагонів [13]. Як бачимо з результатів наведених на рис. 9-10, допустимі амплітуди нерівностей отримані по критеріям впливу на колію та безпеки руху між собою відрізняються. При чому для завантажених піввагонів допустимі величини нерівності більші саме за критеріями безпеки руху. Ця обставина обумовлена наступним. Коефіцієнт запасу стійкості колеса на рейці є відношення вертикального до горизонтального

навантаження. В межах перевідної кривої вертикальне навантаження на колеса, що рухаються по упорній нитці зростає через бокову качку кузова, ця особливість підтверджена в експериментах проф. Амеліна [12]. В свою чергу збільшення вертикального навантаження призводить до зростання коефіцієнта запасу стійкості. Також зауважимо, що для піввагону з осьовим навантаженням 30 т/вісь допустимі амплітуди нерівностей менші в середньому на 4 мм в порівнянні з навантаженням 23.5 та 25 т/вісь за критерієм впливу на колію. Ця обставина свідчить про підвищену дію піввагонів з перспективним осьовим навантаженням 30 т/вісь, а тому виникає необхідність проведення окремих теоретичних та експериментальних досліджень цього рухомого складу як на стрілочні переводи так і на колію взагалі. Крім допустимих нерівностей у плані також були визначені нерівності за рівнем, результати представлено на рисунку 11.

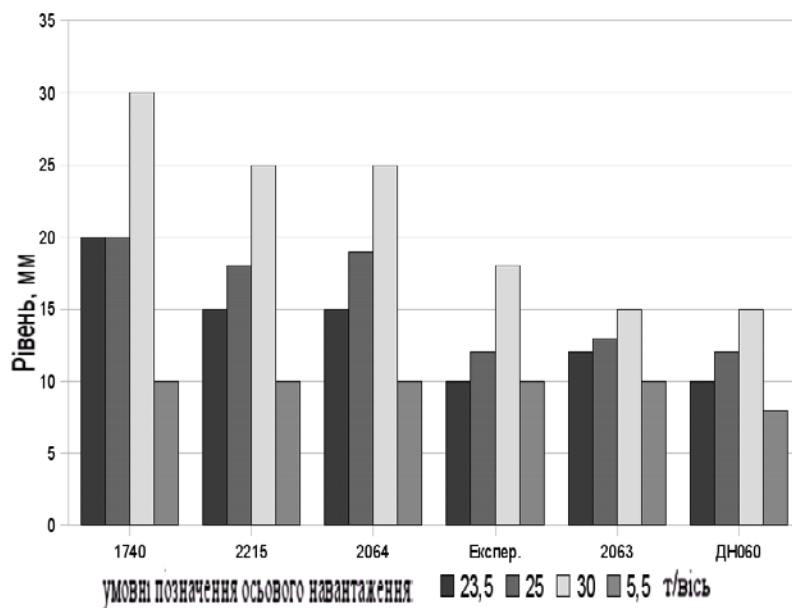


Рис. 11. Допустима відхилення за рівнем по критерію безпеки руху.

Представлені на рис. 11 результати свідчать, що допустимі відхилення за рівнем, по критерію безпеки руху, зростають з підвищенням осьового навантаження, найбільш несприятливим за цим критерієм є також, як і у попередньому випадку порожній вагон. Як у випадку з шириною колії в межах стрілки так і по стану за напрямком у плані, згідно отриманих результатів, визначається необхідність диференціювання нормативів по встановленим швидкостям руху. Наприклад по критерію безпеки руху для порожнього вагону в діапазоні швидкості до 60 км/год допустимим є діапазон амплітуд нерівностей 10-8мм, а при швидкості 60-80 км/год 4 мм. Тому в подальших дослідження нормативи будуть розділені для двох діапазонів встановленої швидкості в межах бокового напрямку: менше 60 та 60-80 км/год. Найменші допустимі відхилення як у плані так і за рівнем

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

- при встановленій швидкості руху менше 60 км/год - 8 мм;
- при встановленій швидкості руху 60-80 км/год - 4 мм;

Дослідження по встановленню допустимої ширини колії були виконані раніше [7]. Тому визначивши допустиму ширину колії та нерівності за напрямком у плані по критеріям безпеки руху та впливу на колію, необхідно за цими ж критеріями визначити допустимі швидкості руху в залежності від величини відступів від норм утримання. Для досліджень використовувалась наступна методика:

- обрати обмеження швидкості, які б використовувались у діючих нормативних документах для звичайної колії;
- для кожного кроку обмежень швидкості визначити допустимі величини відступів за критеріями безпеки руху та впливу на колію.

Кроки обмеження швидкості були обрані наступні:

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

Для прикладу на рисунку 12 наведені результати визначення допустимої різниці відступів у суміжних ординатах для проекту 2215 при обмеженні швидкості руху до 25 км/год.

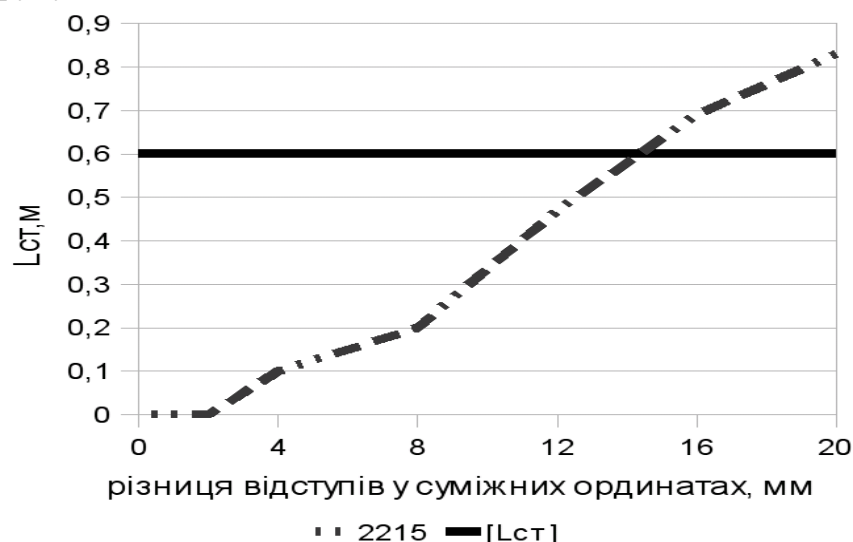


Рис. 12. Довжина зони втрати стійкості при швидкості руху 25 км/год.

Аналогічним шляхом отримані інші результати, що стосуються ступенів відступів. Перейдемо до результатів, як по відхиленням, що не вимагають обмеження швидкості так і по ступеням відступів, що вимагають обмеження швидкості для ширини колії та за станом по напрямку у плані, які зведені до таблиць 4 та 5 відповідно.

Таблиця 4

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

Ділянка стрілочного переводу	Ступені несправностей		
	1	2	3*
	Допустима ширина колії		
Стрілка	$\frac{1542}{1532}$	$\frac{1546}{1540}$	>1546
Перевідна крива	1528	1530	>1530
Допустимі швидкості руху, км/год	Встановлена	$\frac{25}{50^1}$	$\frac{15}{25^1}$

1 - У чисельнику показники для стрілочних переводів з встановленої швидкістю по боковому напрямку < 60, а в знаменнику для діапазону 60-80.

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

Таблиця 5

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

Встановлена швидкість руху, км/год	Ступені несправностей		
	1	2	3
	Різниця відступів у суміжних ординатах		
<60	8	14	20
60-80	4	8	14
Допустимі швидкості руху, км/год	Встановлена	$\frac{25}{50^1}$	$\frac{10}{25^1}$

1 - У чисельнику показники для стрілочних переводів з встановленої швидкістю по боковому напрямку < 60, а в знаменнику для діапазону 60-80.

Отже в результаті проведених досліджень вперше були розроблені нормативи утримання бокового напрямку стрілочних переводів по ширині колії та за напрямком у плані. Ще раз зауважимо, що нормативи розроблені за критеріями безпеки руху та впливу на колію. Для розробки та обґрунтування нормативів з точки зору мінімуму експлуатаційних витрат необхідно проводити окремі дослідження. Теоретичною основою яких є

залежності реологічних властивостей колії від її стану, але на сьогодні такої теорії не існує.

Результати цих досліджень засвідчили необхідність диференційованого підходу, залежно від встановлених швидкостей руху, до призначення нормативів утримання. В Україні діапазон встановленої швидкості руху по боковому напрямку стрілочних переводів лежить в межах від 25 до 80 км/год. Результати досліджень [7] показали, що така різниця в швидкостях призводить до значної різниці в величинах бокових сил при одних і тих же параметрах нерівностей. Ці дослідження поа

БІБЛІОГРАФИЧНИЙ СПИСОК

1. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України. ЦП/0138 [Текст] / Е. І. Да-ніленко, В. О. Яковлєв, А. М. Орловський, М. І. Карпов та інші. - К.: Транспорт України., 2006. - 336 с.
2. Рибкін, В. В. Исследование расстройств колеи по шаблону на стрелочных переводах [Текст] / В. В. Рибкин, П. П. Ковтун // Межвуз. сб. науч. тр. БелИЖЖТ. - Г, 1992. - С. 16-24.
3. Отчет о научно-исследовательской работе. Обоснование нормативов содержания стрелочных переводов [Текст] / ВНИИЖТ. -М., 1987. - 130 с.
4. Отчет о научно-исследовательской работе. Обоснование нормативов содержания стрелочных переводов [Текст] / ВНИИЖТ. -М., 1987. - 130 с.
5. Каленик, К. Л. Особливості математичної моделі взаємодії колії та рухомого складу в межах стрілочного переводу [Текст] / К. Л. Каленик В. В. Рибкін // Вісник ДІПТу. - Д., 2009. № 30. - С. 204-207.
6. Рибкін, В. В. Вплив ширини колії в межах перевідної кривої звичайних стрілочних переводів на взаємодію колії та рухомого складу [Текст] / В. В. Рибкін, К. Л. Каленик // Вісник ДІПТу. - Д., 2010. № 31. - С. 204-207.
7. Рибкін, В. В. Аналіз впливу відступів за шириною колії та за напрямком у плані в межах бокового напрямку стрілочних переводів за критеріями безпеки руху та впливу на колію [Текст] / В. В. Рибкін, К. Л. Каленик // Стаття знаходиться в черзі на публікацію.
8. Рибкін, В. В. Експлуатаційні дослідження ширини колії та положення за напрямком у плані бокового напрямку стрілочних переводів [Текст] / В. В. Рибкін, К. Л. Каленик // Стаття знаходиться в черзі на публікацію.
9. Гнатенко, В. П. Технічні вказівки з проведення натурних випробувань стрілочних переводів на міцність.[Текст] / В. П. Гнатенко, К. В. Мойсеєнко, В. В. Рибкін, В. Є Савлук, А. Н. Орловський // ДІПТ. 2010. - 20 с.

- 10.Савлук, В. Є. Технічні вказівки з проведення натурних випробувань рухомого складу щодо впливу на колію та стріочні переводи.[Текст] / В. Є Савлук, В. В. Рибкін, А. М. Патласов // ДПТ. 2010. – 20 с.
- 11.Блохин, Е. П. О запасе устойчивости колеса против схода с рельса [Текст] / Е.П. Блохин, А.Н. Пшинько, М.Л. Коротенко, А.Г. Рейдемейстер // Залізничний транспорт України. - К., 2002. №2. - С. 22-24.
- 12.Амелин, С. В. Исследование устойчивости движения экипажей по коэффициентам вертикальной динамики [Текст] / С. В. Амелин, В. И. Абросимов, Л. Н. Фролов, С. А. Марушко // Сб. науч. тр. ЛИИЖТа. - Л., 1971. №323. - С. 18 -28.
- 13.Данович, В. Д. Определение допускаемых скоростей движения грузовых вагонов по железнодорожным путям колеи 1520 мм [Текст] / В. Д. Данович, В. В. Рыбкин, С. В. Мямлин, А. Г. Рейдемейстер, А. П. Трякин, Н. В. Халипова // Вісник ДПТ. - Д., 2003. № 2. - С. 77-86.
- 14.Желнин, Г. Г. Допустимые скорости движения на боковое направление стрелочного перевода с учетом его фактического состояния. Автореферат дисертації д.т.н. [Текст] / Г. Г. Желнін. М.: ВНИИЖТ, 1992, 45 с.
15. Мямлин, С. В. Моделирование динамики рельсовых экипажей.[Текст] / -Д.: Новая идеология, 2002. - 240 с.