

РИБКІН В. В., д.т.н., професор (ДНУЗТ);
ПАТЛАСОВ О. М., к.т.н., доцент (ДНУЗТ);
ПАНЧЕНКО П. В., асистент (ДНУЗТ).

Оцінка допусків від норм в утриманні колії у плані при швидкостях руху 140-160 км/год за критеріями комфорту їзди пасажирів

Для реалізації руху поїздів в Україні зі швидкостями 140-160 км/год авторами були розроблені норми та допуски для утриманні колії в плані [1]. Норми та допуски отримані за критеріями впливу на колію, безпеки руху поїздів та комфорту їзди пасажирів.

У світовій практиці існує багато критеріїв за якими оцінюють комфорт їзди пасажирів [2-5]. Одними з них являються наступні показники:

1. Вертикальне прискорення ($\alpha_{\text{верт}}$), що виникає при русі поїзда по криволінійній ділянці поздовжнього профілю колії, значення якого не повинне перевищувати 0.2 м/с^2 [3]. Значення вертикального прискорення визначається за формулою

$$\alpha_{\text{верт}} = \frac{V_{\text{max пс}}^2 \cdot 10^{-3}}{3,6^2 R_g} \quad (1)$$

де R_g - радіус вертикальної кривої, що описує сполучення елементів поздовжнього профілю, м; $V_{\text{max пс}}$ - максимальна швидкість пасажирських поїздів, км/год.

2. Поздовжнє прискорення ($\alpha_{\text{позд}}$), пов'язане з процесами гальмування і розгону), значення якого не повинно перевищувати 1.0 м/с^2 [3], при службовому гальмуванні. Значення поздовжнього прискорення

визначається за формулою

$$\alpha_{\text{позд}} = \frac{dV}{dt} \quad (2)$$

де V - швидкість руху поїзда, км/год;
 t - час, с.

3. Непогашене горизонтальне прискорення, що виникає при русі по кривим ділянкам колії у плані ($\alpha_{\text{нп}}$), значення якого не повинно перевищувати 0.7 м/с^2 [3], визначається за формулою

$$\alpha_{\text{нп}} = \frac{V_{\text{max пас}}^2}{3,6^2 R_n} - 0,00613 h_n \quad (3)$$

де R_n - радіус горизонтальної кривої, м; h_n - підвищення зовнішньої рейки в кривій ділянці колії, мм.

4. Зміна непогашеного горизонтального прискорення, що виникає при русі по кривим ділянкам колії у плані (ψ), значення якого не повинно перевищувати 0.6 м/с^3 [3]. Зміни непогашеного горизонтального прискорення визначається за формулою

$$\psi = \frac{(\alpha_{\text{нп}(n+1)} - \alpha_{\text{нп}(n)}) V_{\text{max}}}{3,6 \Delta l} \quad (4)$$

де $\alpha_{\text{нп}(n+1)}$, $\alpha_{\text{нп}(n)}$, - величини непогашених прискорень у суміжних точках, м/с^2 ; Δl - відстань між цими характерними точками, м.

5. Повне прискорення ($\alpha_{\text{нов}}$), що діє на пасажирів, значення якого не повинно перевищувати 2.0 м/с^2 , ви-

значається за формулою

$$\alpha_{\text{нов}} = \sqrt{\alpha_{\text{ин}}^2 + \alpha_{\text{верт}}^2 + \alpha_{\text{позд}}^2} \quad (5)$$

6. Горизонтальне прискорення (α_z), що виникає у кузові пасажирського вагону від коливань та діє на пасажирів, значення якого не повинно перевищувати 2.5 м/с^2 [5].

7. Вертикальне прискорення (α_v), що виникає у кузові пасажирського вагону від коливань та діє на пасажирів, значення якого не повинно перевищувати 3.5 м/с^2 [5].

8. Показник комфорту пасажирського вагону у горизонтальній площині (W_z) [2] визначається за формулою

$$W_z = \left(\int_{0.5}^{30} a_z(f)^2 \cdot B(f)_w^2 df \right)^{(1/6.67)} \quad (6)$$

де $a_z(f)$ – залежність горизонтального прискорення від частоти (амплітудно-частотна характеристика горизонтального прискорення), м/с^2 ; f – частота коливань, що виникає під час руху екіпажа, Гц; $B(f)_w$ – параметр спектрального складу для горизонтальних коливань, який визначається за формулою

$$B(f)_w = 0.737 \cdot \left(\frac{1.911 \cdot f^2 + (0.25 \cdot f^2)^2}{(1 - 0.277 \cdot f^2)^2 + (1.563 - 0.0368 \cdot f^2)^2} \right)^{0.5} \quad (7)$$

9. Показник комфорту пасажирського вагону у вертикальній площині (W_v) [2] визначається за наступною формулою

$$W_v = \left(\int_{0.5}^{30} a_v(f)^2 \cdot B(f)_s^2 df \right)^{(1/6.67)} \quad (8)$$

де $B(f)_s$ – параметр спектрального складу для вертикальних коливань, який визначається формулою

$$B(f)_s = 0.588 \cdot \left(\frac{1.911 \cdot f^2 + (0.25 \cdot f^2)^2}{(1 - 0.277 \cdot f^2)^2 + (1.563 - 0.0368 \cdot f^2)^2} \right)^{0.5} \quad (9)$$

Згідно з [2] W_z , W_v оцінка ком-

форту вагона проводиться за наступною шкалою:

Таблиця 1

Шкала показників оцінки комфорту

Показник плавності ходу	Оцінка комфорту (оцінка вібрацій що відчуються)
1	2
1	ледь помітні
2	чітко розрізнені
2.5	явно відчутні, але не є неприємними
3	сильні, нерегулярні, але ще переносимі
3.25	дуже нерегулярні
3.5	дуже нерегулярні, неприємні, дратуючі при довготривалому впливі
4	дуже неприємні, довготривала дія шкідлива для здоров'я

10. Показник плавності ходу (W) вагона у горизонтальній та вертикальній площинах розраховується за формулою 10 і не повинен перевищувати гранично допустимого значення 3.25 [4].

$$W_x = (q \cdot \sigma)^{0.3} \quad (10)$$

де q – коефіцієнт, що приймається для оцінки горизонтальних коливань 4.676, а для вертикальних коливань 4.346; σ – середнє квадратичне значення корегованого віброприскорення, м/с^2 , визначається за формулою

$$\sigma = \sqrt{20 \cdot \int_{0.5} q(f)^2 \cdot S(f) df} \quad (11)$$

де $S(f)$ – функція спектральної щільності віброприскорення (для оцінки горизонтальних коливань у горизонтальній площині, а для оцінки вер-

тикальних коливань у вертикальній площині), $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-4} \cdot \text{Гц}^{-1}$, $q(f)$ – значення нормованої амплітудно-частотної характеристики корегуючого фільтра, що визначається за формулою

$$q(f) = 1.15 \cdot f \cdot \sqrt{\frac{(1 + 0.1 \cdot f^2)}{(1 + 4.04 \cdot f^2)((1 - 0.0364 \cdot f^2)^2 + 0.045 \cdot f^2)}} \quad (12)$$

Значення α_z , α_ϕ , W_z , W_ϕ , W_x можуть бути отримані за результатами експериментальних динамічних вимірювань або теоретичних розрахунків при математичному моделюванні (імітації) взаємодії колії та рухомого складу.

Слід зауважити, що $\alpha_{\text{верт}}$, $\alpha_{\text{позд}}$, $\alpha_{\text{нп}}$, ψ , $\alpha_{\text{нов}}$ – це показники, що визначені інструкцією [3] і є оціночними для колії, а показники α_z , α_ϕ , W_z , W_ϕ , W_x – оціночними для рухомого складу [2, 4, 5], але всі вони оцінюють прискорення і не повинні суперечити один одному.

Вплив нормативів та допусків утримання колії в плані на комфорт їзди пасажирів можливо оцінити лише за показниками $\alpha_{\text{нп}}$, ψ , $\alpha_{\text{нов}}$, α_z , W_z , W_x , оскільки геометрія колії в плані впливає суттєво лише на горизонтальні прискорення і не суттєво на вертикальні прискорення [6]. Тому, комфорт їзди пасажирів визначався лише за цими показниками.

Результати оцінки комфортабельності їзди пасажирів за величиною непогашеного горизонтального прискорення ($\alpha_{\text{нп}}$)

Розрахунок горизонтальних

непогашених прискорень виконувалася на підставі формули 3 за наступними залежностями:

$$\alpha_{\text{нп}(n)} = \frac{V_{\text{max пас}}^2}{3,6^2 R_n} - 0,0061 \mathfrak{H}_n, \quad (13)$$

$$\alpha_{\text{нп}(n+1)} = \frac{V_{\text{max пас}}^2}{3,6^2 R_{(n+1)}} - 0,0061 \mathfrak{H}_n \quad (14)$$

де R_n , R_{n+1} – величини усереднених радіусів в n -й та $n+1$ -й характерній точці, м.

$$R_{n+1} = \frac{a^2 \cdot 1000}{8 \cdot (f_n + df)} \quad (15)$$

$$R_n = \frac{a^2 \cdot 1000}{8 \cdot f_n} \quad (16)$$

де a – довжина хорди, м; f_n , f_{n+1} – стріла вигину, в n -й та $n+1$ -й характерній точці, мм; df – різниця суміжних стріл вигину, мм.

Підвищення h_n в n -й точці приймалося таким, щоб непогашене горизонтальне прискорення в радіусі R_n дорівнювало 0.7 м/с^2 .

На підставі допустимих різниць суміжних стріл вигину третього ступеня [1], були визначені непогашені горизонтальні прискорення для швидкостей руху 140 та 160 км/год. Те що розрахунки проводилися для різниці суміжних стріл вигину третього ступеню пояснюється тим, що при їх перевищенні потрібно знижувати встановлену швидкість. Тобто, третій ступінь є несприятливим з точки зору плавності руху. Результати розрахунків наведені на рис. 1

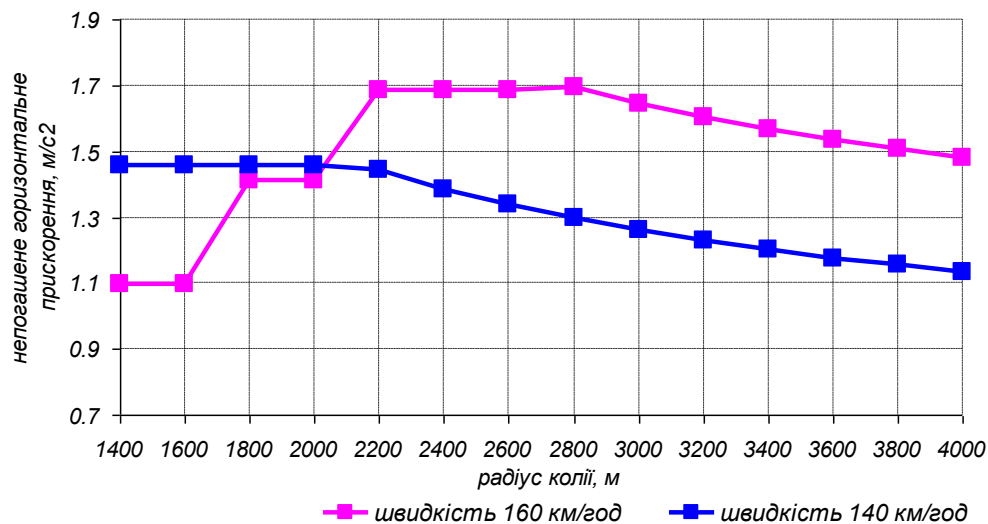


Рис. 1. Непогашене горизонтальне прискорення при різниці суміжних стріл вигину третього ступеня (25 мм) в плані в точці $n+1$ (з максимальною амплітудою нерівності) для швидкостей руху поїздів 140 та 160 км/год

За розрахунками встановлено, що горизонтальні непогашені прискорення в точці з максимальною амплітудою нерівності (рис. 1) при швидкості руху 160 км/год будуть меншими в радіусах колії до 2000 м, чим при швидкості руху 140 км/год, але більшими за 0.7 м/с^2 . Це свідчить про те, що за горизонтальним непогашеним прискоренням не можливо оцінити вплив стану колії в плані (при її утриманні) на комфорт їзди пасажирів. Оскільки, навіть відступ в плані першого ступеня в кривій запроектованій з підвищен-

ням, що забезпечує непогашене горизонтальне прискорення 0.7 м/с^2 , може по розрахункам перевищувати допустиме значення (рис. 2). Тобто, в кривій, що запроектована під підвищення 0.7 м/с^2 , не можуть виникати відступи в утриманні у плані навіть першого ступеню.

Горизонтальне непогашене прискорення є суттєвим критерієм оцінки комфорту їзди пасажирів при проектуванні та реконструкції колії, але не може бути використано при поточному утриманні.

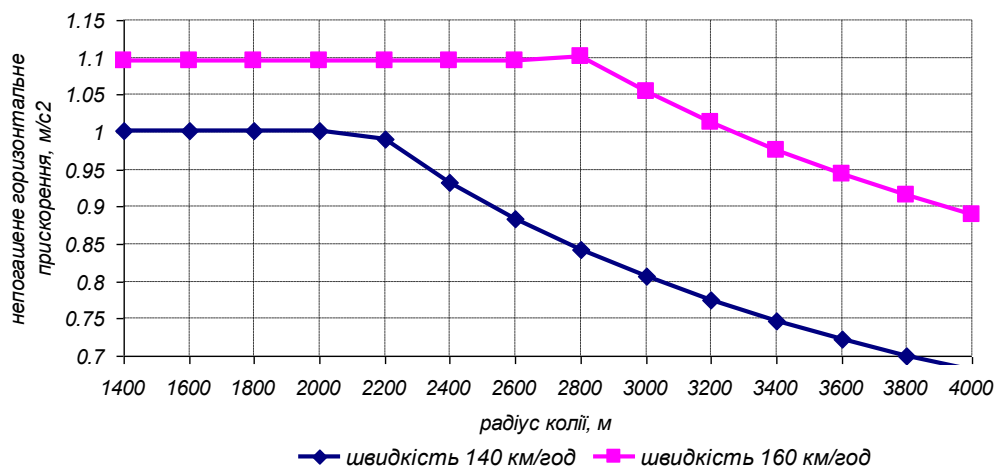


Рис. 2. Непогашене горизонтальне прискорення при різниці суміжних стріл вигину першого ступеня (10 мм) в плані для швидкостей руху поїздів

140 та 160 км/год

Результати оцінки комфортабельності їди пасажирів за величиною зміни непогашеного горизонтального прискорення (ψ)

На підставі вище проведених розрахунків визначення непогашених горизонтальних прискорень було також отримано і величину зміни прискорення (рис. 3). Величина зміни прискорення визначалася за формулою 4. Відстань між характерними точками приймалася рівною 10 метрам. Встановлено, що зміна прискорення буде меншою при

швидкості руху 160 км/год чим при швидкості руху 140 км/год в радіусах колії до 1800 м, але більшою за 0.6 м/с^3 . Це свідчить про те, що також за зміною горизонтального непогашеного прискорення не можливо оцінити вплив стану колії в плані, при її утриманні, на комфорт їди пасажирів. Зміна прискорення також є суттєвим критерієм оцінки комфорту їди пасажирів при проектуванні та реконструкції колії, але не як не при її поточному утриманні.

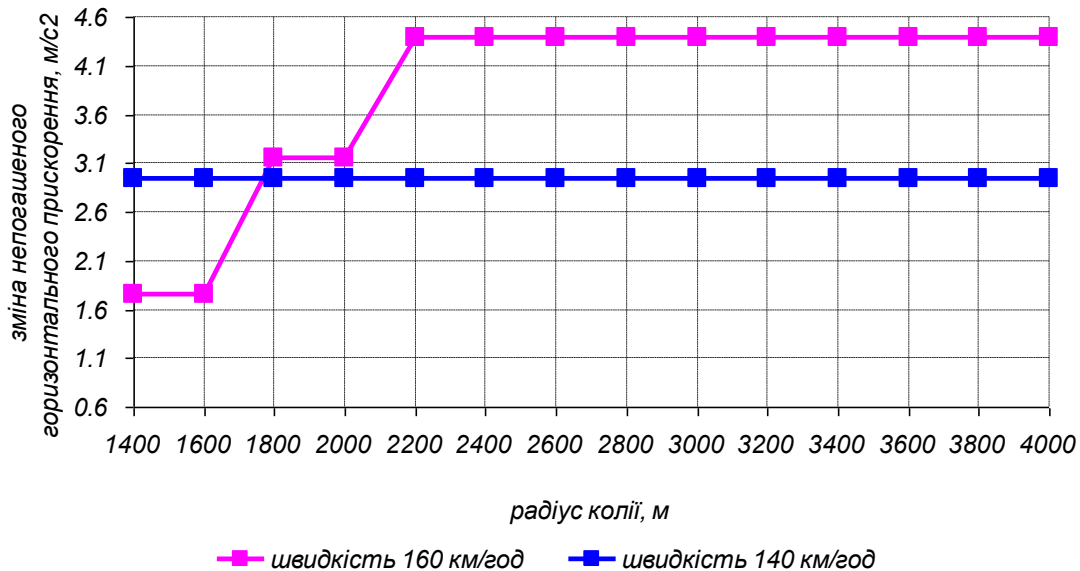


Рис. 3. Зміна непогашеного горизонтального прискорення при різниці суміжних стріл вигину третього ступеня (25 мм) в плані на довжині 10 м для швидкостей руху поїздів 140 та 160 км/год

Результати оцінки комфортабельності їди пасажирів за величиною повного прискорення ($\alpha_{\text{пов}}$)

Комфортабельність їди пасажирів оцінювалася за непогашеними поперечними (горизонтальними), вертикальними і поздовжніми прискореннями, що виникають при русі по переломах поздовжнього профілю і при різких змінах режи-

мів ведення поїзду, тобто комфорт пасажирів визначався за повними прискореннями $\alpha_{\text{пов}}$, за формулою 5. Значення непогашених поперечних прискорень приймалися за вище приведеними значеннями (рис. 1), вертикальне прискорення при русі по криволінійній ділянці поздовжнього профілю приймалося 0.2 м/с^2 , поздовжнє прискорення приймалося 1.0 м/с^2 (службове гальмування).

Тобто, згідно з [3] були обрані самі несприятливі прискорення ($\alpha_{верт}$, $\alpha_{позд}$, $\alpha_{ни}$), що можуть виникати при відступах колії в плані третього ступеню зі швидкостями руху поїз-

дів 140-160 км/год.

На підставі розрахунків визначено, що повні прискорення не будуть перевищувати гранично допустимого значення 2 м/с^2 (рис. 4).

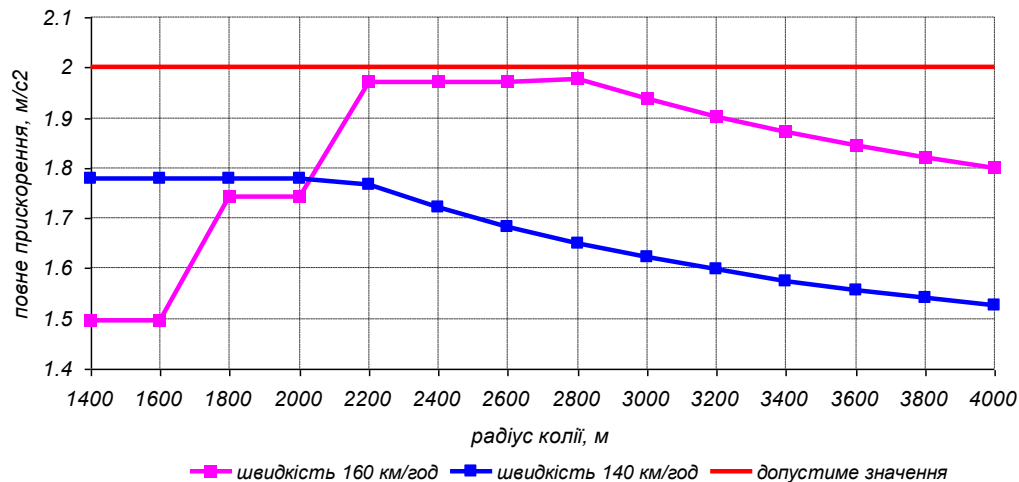


Рис. 4. Повне прискорення при відступах колії в плані третього ступеня для швидкостей руху поїздів 140 та 160 км/год

Результати оцінки комфортабельності їзди пасажирів за горизонтальним прискоренням (α_x), що діє на пасажира

Оцінка комфортабельності їзди пасажирів за горизонтальним прискоренням, що діє на пасажира під час руху по колії з відступами у

плані від першого до третього ступенів зі швидкостями руху 140-160 км/год. приведені (рис. 5-8). Результати отримані на підставі математичного моделювання взаємодії колії та пасажирського вагону на візках КВЗ-ЦНИИ [6,7].

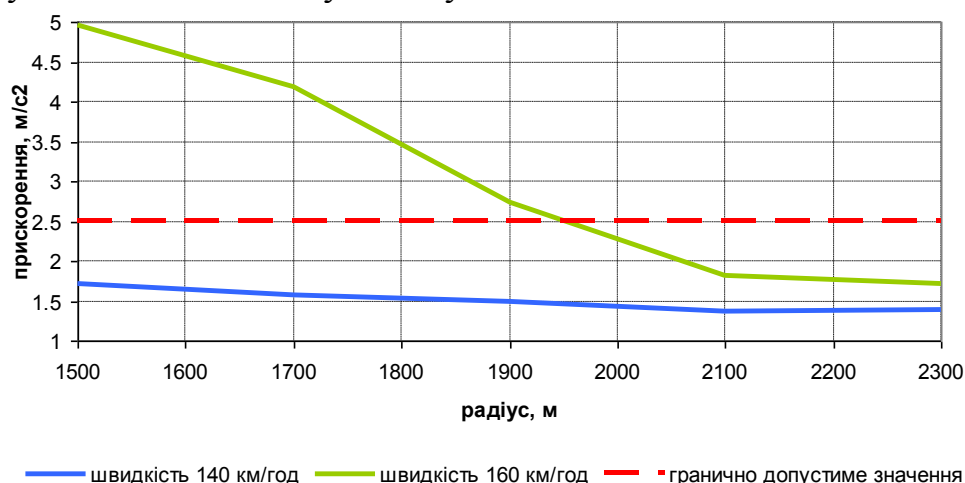


Рис. 5. Горизонтальне прискорення, що виникає в пасажирському вагоні на візках КВЗ-ЦНИИ при русі по нерівності колії в плані з різницею суміжних стріл вигину 25 мм на довжині 10 м

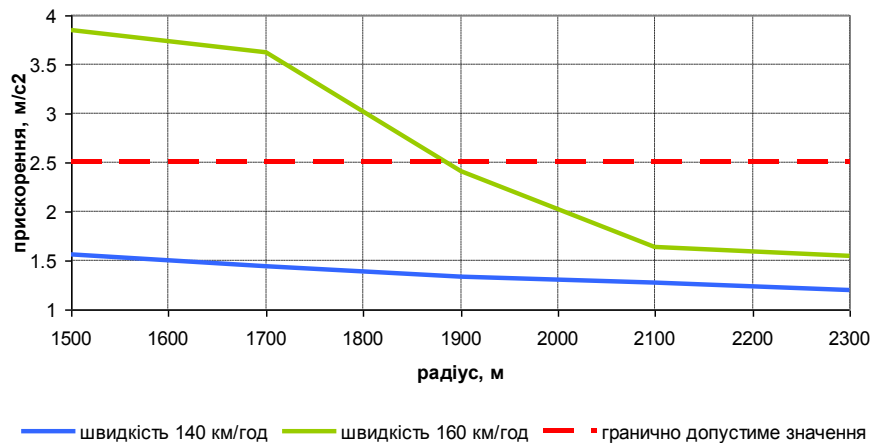


Рис. 6. Горизонтальне прискорення, що виникає в пасажирському вагоні на візках КВЗ-ЦНИИ при русі по нерівності колії в плані з різницею суміжних стріл вигину 20 мм на довжині 10 м

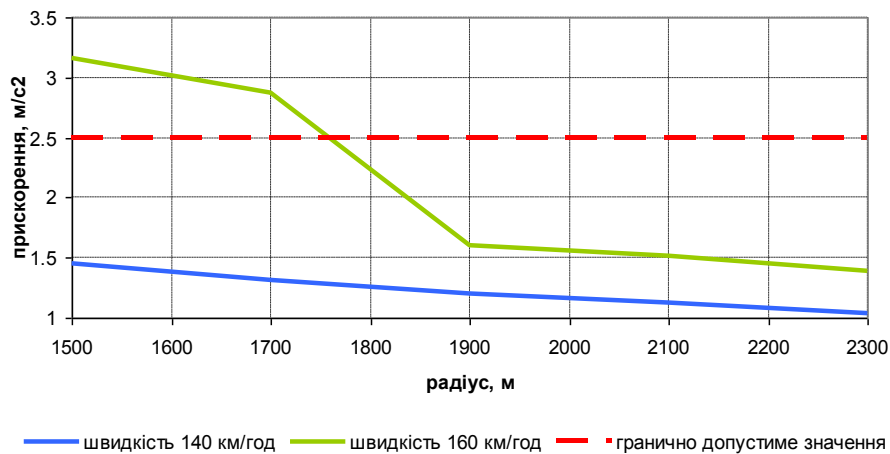


Рис. 7. Горизонтальне прискорення, що виникає в пасажирському вагоні на візках КВЗ-ЦНИИ при русі по нерівності колії в плані з різницею суміжних стріл вигину 15 мм на довжині 10 м

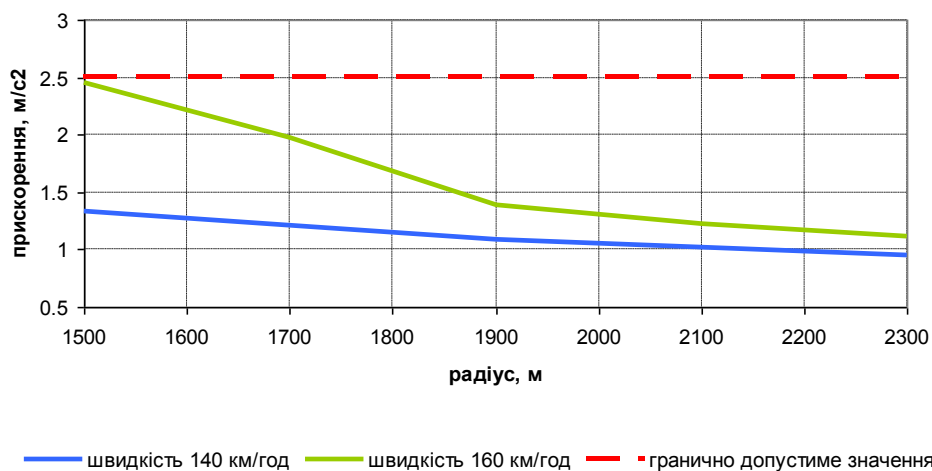


Рис. 8. Горизонтальне прискорення, що виникає в пасажирському вагоні на візках КВЗ-ЦНИИ при русі по нерівності колії в плані з різницею суміжних стріл вигину 10 мм на довжині 10 м.

За результатами розрахунків встановлено, що горизонтальні прискорення пасажирського вагону при русі зі швидкістю 140 км/год по нерівностям колії в плані з різницею суміжних стріл вигину величиною 25 мм не перевищують гранично допустимого значення при всіх радіусах у яких можливий рух з зазначеною швидкістю. При швидкості 160 км/год горизонтальне прискорення перевищує допустиме значення для радіусів менше 1950 м. При різниці сусідніх стріл вигину величиною 20 мм та при швидкості 160 км/год горизонтальне прискорення перевищує допустиме значення для радіусів менше 1875 м. При різниці сусідніх стріл вигину величиною 15 мм та при швидкості 160 км/год горизонтальне прискорення перевищує допустиме значення для радіусів менше 1750 м. При різниці сусідніх стріл вигину величиною 10 мм та при

швидкості 160 км/год горизонтальне прискорення перевищує допустиме значення для радіусів менше 1500 м.

На підставі розрахунків доведено, що існуючі сьогодні норми та допуски утримання колії в плані при швидкостях руху 140-160 км/год задовольняють комфорт їзди пасажирів за показником горизонтального прискорення, що діє на пасажира.

Оцінка комфортабельності їзди пасажирів за показником плавності ходу пасажирського вагону (W_x)

Оцінка комфортабельності їзди пасажирів за показником плавності ходу пасажирського вагону проводилась за формулами 10-12. Результати розрахунків приведені на рисунках 9-10.

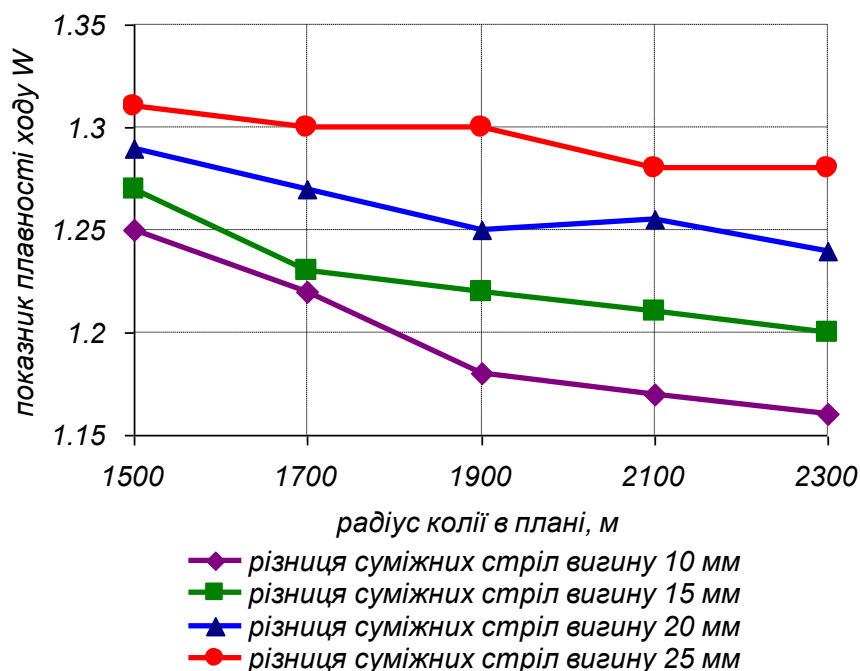


Рис. 9. Показник плавності ходу пасажирського вагону при швидкості руху 140 км/год

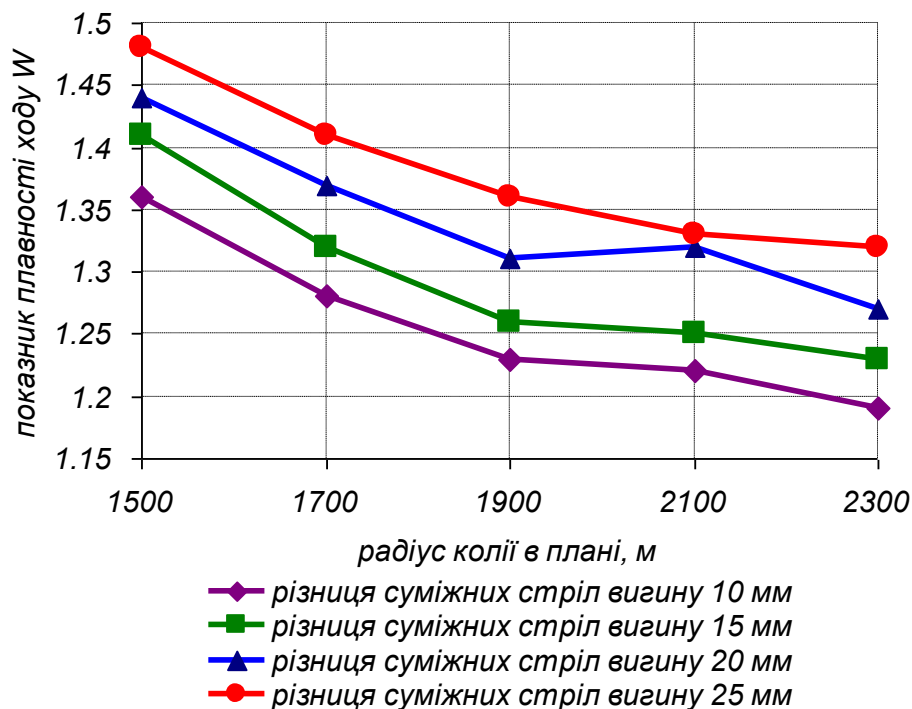


Рис. 10. Показник плавності ходу пасажирського вагону при швидкості руху 160 км/год

Розрахунки проводилися для пасажирського вагону на візках КВЗ-ЦНИИ за допомогою математичного імітування взаємодії з колією, що мала відступи в утримання в плані. Результатом імітування були осцилограми прискорень, що дало можливість отримати показник W_x .

За результатами розрахунків встановлено, що показник плавності ходу пасажирського вагону при нерівностях колії від першого до третього ступенів не перевищив допустимого значення 3.25 як для швидкості 140 км/год так і для швидкості 160 км/год.

Оцінка комфортабельності їзди пасажирів за показником комфорту пасажирського вагону (W_2)

Оцінка комфортабельності їзди пасажирів за показником комфорту пасажирського вагону проводилась за формулами 6-7. Результати розрахунків приведені на рисунках 11-12. Оцінка комфорту пасажирського вагону при швидкостях руху 140 км/год та 160 км/год з нерівностями колії в плані від першого до третього ступенів показала, що його значення не перевищили 1 (за таблицею 1 – це ледь помітні для пасажирів коливання). Це підтверджує те, що при існуючих нормах та відступах утримання колії у плані комфортабельність їзди пасажирів забезпечується і за показником комфорту пасажирського вагону.

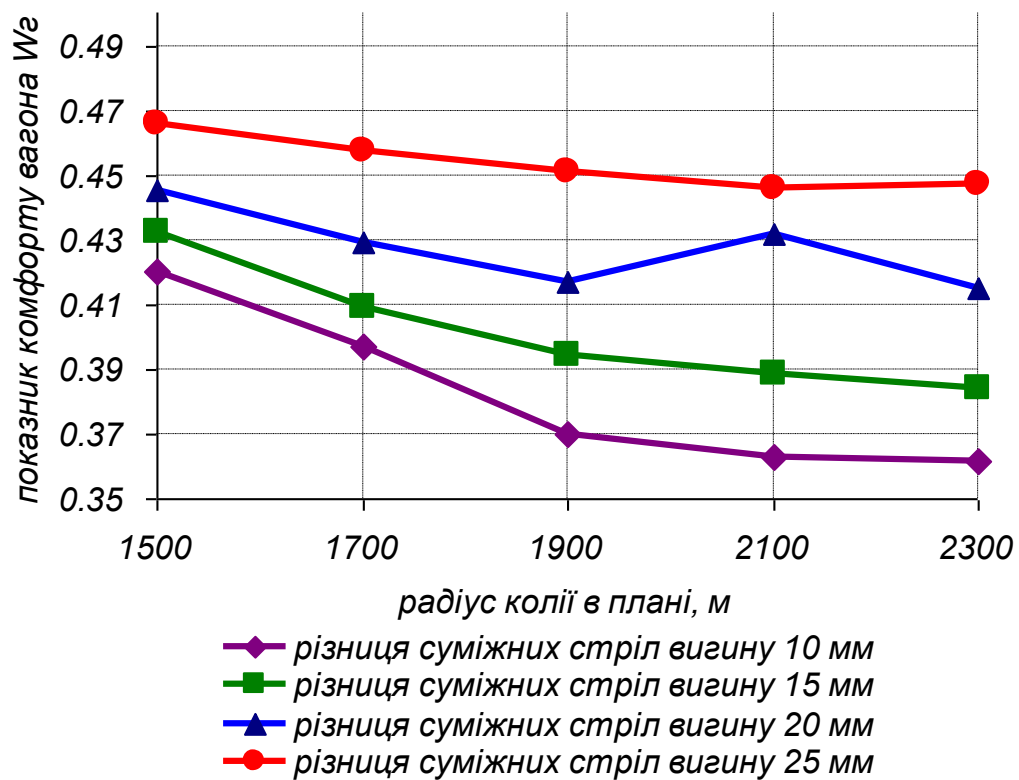


Рис. 11. Показник комфорту пасажирського вагону при швидкості руху 140 км/год

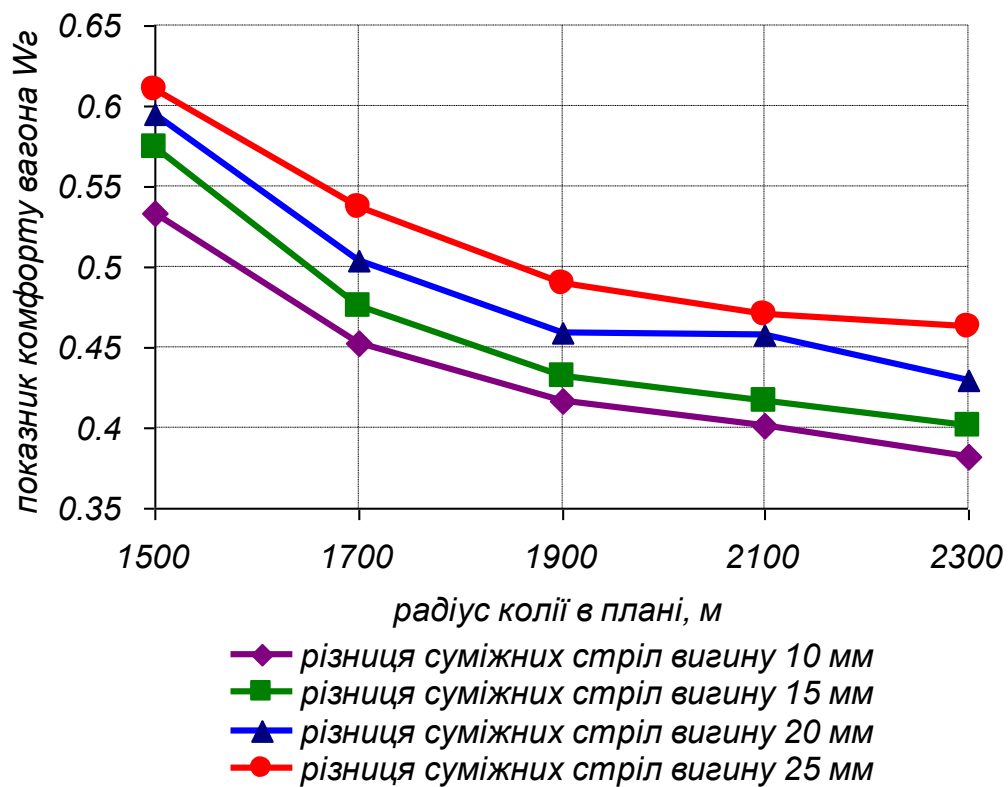


Рис. 12. Показник комфорту пасажирського вагону при швидкості руху 160 км/год

Висновки

1. При встановлених відступах та нормативах утримання колії в плані при швидкостях руху від 140 до 160 км/год комфортабельність їзди пасажирів забезпечується за показниками $\alpha_{нов}$, α_2 , W_2 , W_x .

2. Оцінка відступів в утриманні колії в плані за показниками α_{nn} та ψ некоректна. Так як, при утриманні колії в плані з відступами першого ступеня (що є допустимим з точки зору комфортабельності їзди пасажирів та безпеки руху поїздів) вже виникають значення, що перевищують допустимі. Показники α_{nn} та ψ повинні оцінювати комфорт їзди пасажирів при проектуванні, реконструкції колії і на їх підставі визначаються проектні параметри кривих.

3. Встановлені відступи від норм утримання колії в плані при швидкостях руху 140-160 км/год відповідають вимогам по забезпеченню комфорту їзди пасажирів.

Список літератури

1. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії. ЦП/0267 [Текст] / В. В. Рибкін, О. М. Патласов, П. В. Панченко та інші.// - К.: Транспорт України., 2012. - 42 с.

2. Гарг В. К., Динамика подвижного состава [Текст] / В. К. Гарг, Р. В. Дуккипати – М.: Транспорт, 1988. – 392 с.

3. Інструкція з улаштування та

утримання колії залізниць України. ЦП/0269 [Текст] / Е. І. Даніленко, А. М. Орловський, М. І. Уманов, М. Б. Курган та інші.// - К.: ТОВ «НВП Поліграф-сервіс», 2012. – 456 с.

4. ОСТ 24.050.16-85. Вагоны пассажирские. Методика определения плавности хода. [Текст] – Введ. 1985-12-27. – М. : Изд-во стандартов 1985. - 14 с.

5. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст] / ГосНИИВ - ВНИИЖТ - Москва - 1996. - 203 с.

6. Звіт про науково-дослідну роботу «Проведення досліджень з улаштування, укладання, ремонту і утримання безстикової колії в умовах швидкісного руху поїздів з наданням норм утримання та ремонту» [Текст]/ Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту. – № ГР 0110U006300 Инв. № 465. – Дніпропетровськ, 2010. – 64 с.

7. Рибкін В. В., Удосконалення методики моделювання просторових коливань колії та рухомого складу [Текст] / В. В. Рибкін, П. В. Панченко // Збірник наукових праць Донецького ін-ту залізн. тр-ту, - 2012. № 29. - С. 279-289.

Анотації

Викладена оцінка відступів від норм утримання колії в плані при швидкостях руху від 140 до 160 км/год за критеріями комфорту їзди пасажирів.

Приведена оценка отступлений

от норм содержания пути в плане при скоростях движения от 140 км/час до 160 км/час по критериям комфорта езды пассажиров.

The estimation aberration from regulations in maintenance of railway track on passenger's comfort.