

УДК 625.143.5

- В. М. Твердомед, к.т.н., доцент
(доцент кафедри «Залізнична колія та колійне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)*
- А. Д. Возненко, к.т.н., професор
(професор кафедри «Залізнична колія та колійне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)*
- В. Д. Бойко, к.т.н., доцент
(доцент кафедри «Залізнична колія та колійне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)*

РОЗРАХУНОК ПОПЕРЕЧНИХ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ СИЛ У КРИВИХ ДІЛЯНКАХ РЕЙКОВОЇ КОЛІЇ

Виконані теоретичні розрахунки та розроблена методика визначення горизонтальних поперечних сил взаємодії між колесами рухомого екіпажу та конструкції колії на залізобетонних шпалах з урахуванням схем вписування та коефіцієнта тертя між колесом та рейкою.

Ключові слова: напрямна сила, бокова сила, рамна сила, графік-паспорта, коефіцієнт тертя.

Выполнены теоретические расчеты и разработана методика определения горизонтальных поперечных сил взаимодействия между колесами подвижного экипажа и конструкции железнодорожного пути на железобетонных шпалах с учетом схем вписывания и коэффициента трения между колесом и рельсом.

Ключевые слова: направляющая сила, боковая сила, рамная сила, график-паспорта, коэффициент трения.

Постановка проблеми. Дослідження руху залізничного екіпажу в кривих ділянках колії є однією із складних проблем взаємодії колії та рухомого екіпажу. Ці труднощі пов'язані з такими особливостями:

- великою кількістю факторів, які впливають на характер руху екіпажу по кривій, що призводить до рішення системи з великою кількістю невідомих;
- складною залежністю сил та моментів тертя від положення центру повороту візка;
- великою кількістю розривів та ступеневим характером зміни деяких функцій, що призводить до необхідності проводити розрахунки по етапах вписування;
- в тому випадку, якщо по кривій рухається екіпаж із зчленованими візками, то можуть виникати випадки, коли доводиться розглядати систему колія – екіпаж, як статично не визначену.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перші теоретичні дослідження щодо вписування екіпажа в криву були проведені вченими під час проведення розрахунків колії на міцність при русі рухомого складу. Так, проф. С.Н. Смирнов, проф. А.А. Холодецький та проф. К.Ю. Цеглинський сформулювали основні положення методу вписування екіпажу в криві, який дозволив знаходити сили поперечного тиску коліс на рейки.

© *Твердомед В. М., Возненко А. Д., Бойко В. Д., 2016*

Підтвердження правила знаходження центру повороту екіпажу вперше сформував проф. С.Н. Смирнов згідно з яким, центр повороту екіпажу знаходиться на його поздовжній осі в точці перетину з перпендикуляром, опущеного із центру кривої.

Глибокий аналіз випадків, що виникають при вписуванні локомотивів в криві, провів німецький вчений Г. Юбелакер.

Подальший розвиток теорії вписування рухомого складу в криві отримано в роботах професорів Н.Т. Миніна, К.П. Королева, А.А. Соломянського, В.В. Медея, С.М. Куценко та О.П. Ершкова [1-4]. Дослідженням руху екіпажу та силової взаємодії в кривих ділянках колії проводили професори Г.М. Шахунянц, В.І. Ангелейко, М.Ф. Веріго, В.Н. Данілов, Е.І. Даніленко.

Широке поширення в інженерній практиці отримав метод розрахунку вписування екіпажу в криві, оснований на підборі необхідних установок поступовим наближенням. Найповнішу та точну оцінку горизонтальних поперечних сил в кривих ділянках колії дозволяє проводити узагальнений аналітичний метод, розроблений д.т.н., проф. О.П. Ершковим [3], який був прийнятий за основу в дисертації. Цей метод розроблений на підставі аналізу результатів теоретичних та експериментальних досліджень взаємодії на колію різних типів рухомого екіпажу. Зазначений метод дозволяє проводити оцінку величини та характеру зміни горизонтальних поперечних сил в кривих ділянках колії під час руху найрізноманітніших та складних в конструктивному сенсі типів рухомого екіпажу. При його застосуванні встановлюється швидкість руху поїздів, перевіряється поперечна стійкість колії, визначаються напруження, що виникають в підшві рейки, відтискання головки рейки, сили тиску рейки на проміжні рейкові скріплення.

Але в цьому методі при побудові графіків-паспортів коефіцієнт тертя ковзання між колесом і рейкою приймався постійний $\mu = const$.

Мета статті. На основі аналітичного методу, розробленого д.т.н., проф. О.П. Ершковим розробити методику та провести розрахунки горизонтальних поперечних сил для нових та старих екіпажів при значенні коефіцієнта тертя $\mu \neq const$, яке визначається залежно від відносного проковзування коліс по рейці u/v , що в свою чергу залежить від різних умов вписування ($R \neq const, \alpha \neq const$). Де R – радіус кривої; α – кут набігання колеса на рейку, який визначається відношенням x/R ; x – відстань від напрямної першої осі до центра повороту візка.

Виклад основного матеріалу дослідження. Рівняння рівноваги сил в поперечній горизонтальній площині під час руху екіпажа по кривій згідно з методом д.т.н. проф. О.П. Ершкова та розрахункової схеми вписування (рис. 1) має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} F_{нк} &= f(x_1, x_2, K, f_1, Y_3) \\ F_{нк} &= f(x_1, x_2, K, f_4, Y_6) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

При відсутності зчленування візків система рівнянь (1) має два невідомих x_1, x_2 чи Y_3, Y_6 . Для екіпажів зі зчленованими візками порядок розрахунку повинен забезпечувати при даній установці екіпажа швидке знаходження величини внутрішньої сили K в зчленуванні або переміщення кінців рами в зчленуванні z_c . Для цього складається система функцій:

$$\left. \begin{aligned} F_{нк} &= f(x_1, x_2, K, f_4, Y_3), \\ F_{нк} &= f(x_1, x_2, K, f_4, Y_6), \\ F_{нк} &= f(x_1, x_2, K, Y_4, Y_6), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$K = f(x_1, x_2, f_4) \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} f_4 &= f(x_1, x_2, f_1), \\ f_3 &= f(x_1, f_1), \\ f_6 &= f(x_2, f_4), \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

У рівняннях (1-2) поперечні сили Y_i визначалися від сукупності факторів $Y = f(P_{cm}, R, \alpha_{nn}, m, \mu)$.

Побудова графік-паспортів була виконана для нових моделей екіпажів та для тих, що тривалий час експлуатуються, а саме: вантажний вагон на візках моделі ЦНП-Х3; пасажирський вагон на візках моделі КВ3-ЦНП та моделі 68-7012; локомотивів ВЛ80, ЧС2, ЧС4, ЧС8, ДС3. На (рис. 2) приводиться графік основних питомих значень характеристик вписування електровоза ДС-3.

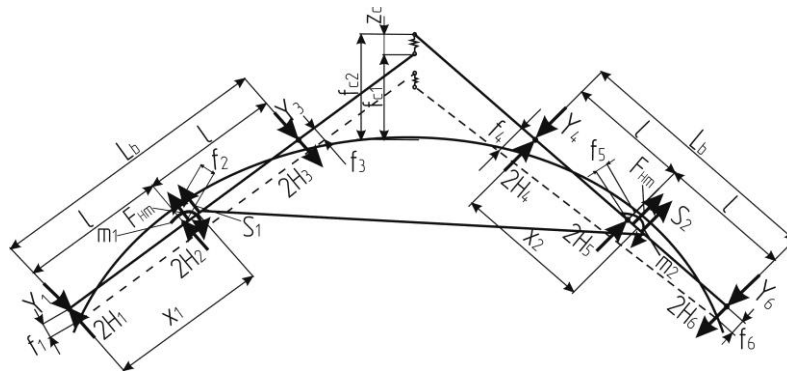


Рис. 1. Розрахункова схема вписування екіпажу в криву із зчленованими візками:

Y_i – напрямні сили, H_i – поперечні складові сил тертя, l – відстані між осями колісних пар у візку, f_i – відстані точок гребенів коліс від зовнішньої рейкової нитки, L_b – довжина жорсткої бази візка, m_i – діючі моменти між кузовом та візком, S_i – діючі сили між кузовом та візком, f_{ci} величини стріл між рейковою ниткою та рамою візка у місці зчленування

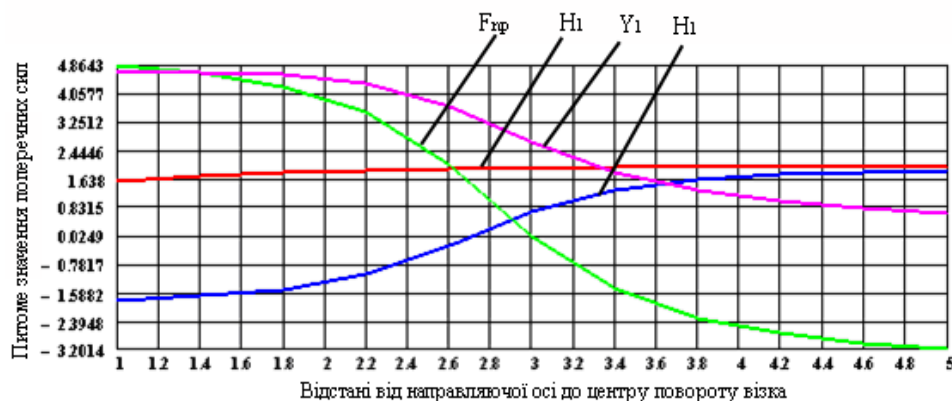


Рис. 2. Основні питоми значення характеристик вписування електровоза ДС-3:

$H1$ – питома поперечна сила від першої колісної пари, $H2$ – питома поперечна сила від другої колісної пари; F_{xp} – питома значення відцентрової сили; $Y1$ – питома значення напрямної сили

Для розрахунку вписування екіпажу за відсутності зчленування візків достатньо розв'язати систему рівнянь (5), при $K=0$. Алгоритм розрахунку для екіпажі із складною системою підвішування візка до кузова наведений на рис. 3.

$$\begin{aligned}
 F_{HK} &= \frac{1}{P_0} (F_{nn1}^0 - P_4 \cdot x_1 - P_5 \cdot x_2 - P_6) + m_{01} \frac{P_2 - P_3}{P_0} - m_{02} \frac{P_1 - P_3}{P_0} - \\
 &- \text{sign} F_{HK} \Pi_s S_{01} \frac{P_7 + P_8}{P_0} - \text{sign} F_{HK} \Pi_s S_{02} \frac{P_7 - P_8}{P_0} - \frac{P_9}{P_0} (\text{sign}(f_{c1} - f_{c2}) K_0 + \\
 &+ \Pi_c \beta_c \left(\frac{L_b}{2R} (L_b - 2L_c) + \frac{L_c - L_b}{R} x_2 + \frac{L_c}{R} x_1 + (f_1 - f_4) \right)) - \frac{P_{10}}{P_0} (f_4 - f_1) + \frac{P_{11}}{P_0} Y_3, \\
 \\
 F_{HK} &= \frac{1}{N_0} (F_{nn2}^0 - N_4 \cdot x_1 - N_5 \cdot x_2 - N_6) + m_{01} \frac{N_2 - N_3}{N_0} - m_{02} \frac{N_1 - N_3}{N_0} - \\
 &- \text{sign} F_{HK} \Pi_s S_{01} \frac{N_7 + N_8}{N_0} - \text{sign} F_{HK} \Pi_s S_{02} \frac{N_7 - N_8}{N_0} - \frac{N_9}{N_0} (\text{sign}(f_{c1} - f_{c2}) K_0 + \\
 &+ \Pi_c \beta_c \left(\frac{L_b}{2R} (L_b - 2L_c) + \frac{L_c - L_b}{R} x_2 + \frac{L_c}{R} x_1 + (f_1 - f_4) \right)) - \frac{N_{10}}{N_0} (f_4 - f_1) + \frac{N_{11}}{N_0} Y_6.
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

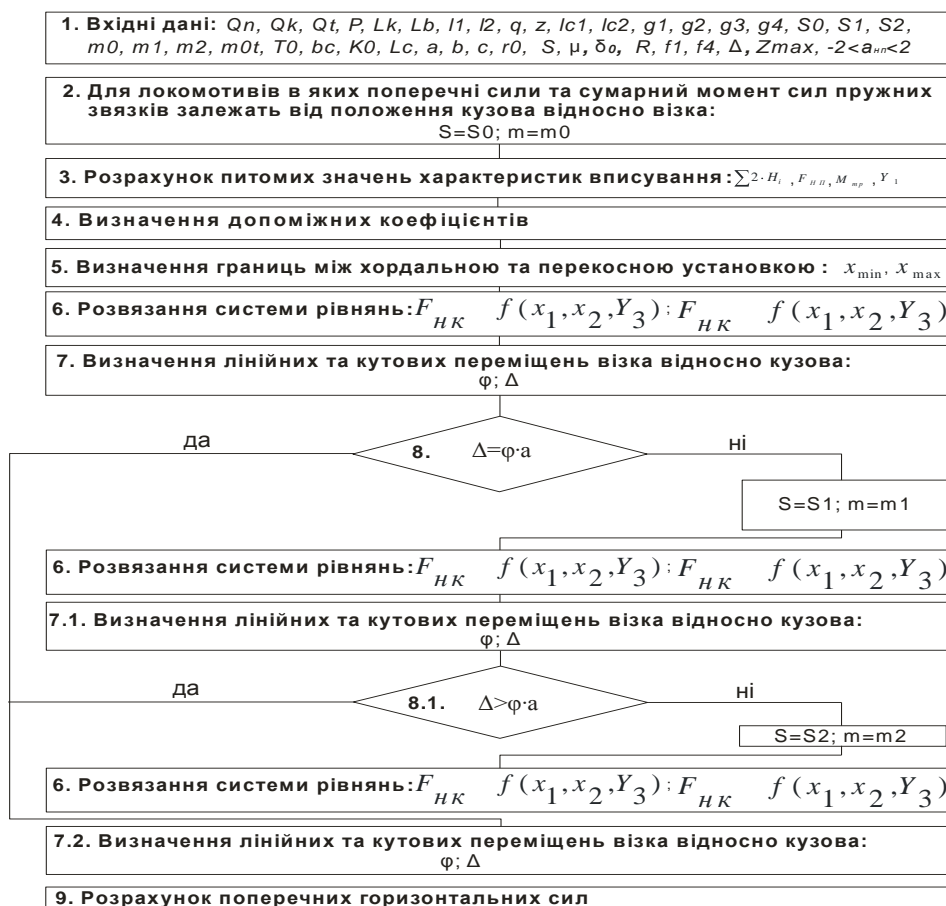


Рис. 3. Алгоритм розрахунку бокових сил для екіпажів із складною системою підвішування візка до кузова без зчленування візків

Для екіпажів, у яких зчленовані візки, порядок розрахунку повинен забезпечувати при даній установці екіпажа швидке знаходження величини внутрішньої сили K в зчленуванні або переміщення кінців рами в зчленуванні z_c . Розрахунок проводиться на основі системи рівнянь (6 – 7) для подальшого розрахунку. Алгоритм розрахунку горизонтальних поперечних сил для екіпажів із зчленованими візками наведений на рис. 4.

$$\left. \begin{aligned} F_{нк} &= f_1(x_1, x_2, f_4, f_3); \\ F_{нк} &= f_2(x_1, x_2, f_4, f_6); \\ F_{нк} &= f_3(x_1, x_2, f_4, f_6) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} F_{нк} &= f_8(x_1, x_2, f_1, Y_3, Y_4, Y_6); \\ F_{нк} &= f_9(x_1, x_2, f_1, Y_4, Y_6) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Із аналізу побудованих графіків-паспортів [6] видно, що для екіпажів, які не мають зчленованих візків, графіки залежності поперечних сил від непогашених поперечних прискорень являють собою пряму лінію чи слабо вигнуту криву опуклість вгору, в бік збільшення поперечних сил [6]. Проведені розрахунки підтверджують справедливості залежностей опублікованих в [7]:

$$Y = Y_0 + b \cdot a_{nn}, \quad (8)$$

де Y_0 – величина поперечної сили при $a_{nn} = 0$, визначається по графіках-паспортах, для локомотива ВЛ80 без членування візків при радіусі по кривій $R=300$ м величина $Y_0 = 80$ кН, для напрямної сили Y_1 ;

b – кут нахилу графіка $Y = f(a_{nn})$, чи похідна від Y по a_{nn} при $a_{nn} = 0$. Для локомотива ВЛ80 без членування візків при радіусі по кривій $R=300$ м величина

$$b = 25,43 \frac{\text{кН} \cdot \text{с}^2}{\text{м}}$$
 для напрямної сили Y_1 .

Для екіпажів із зчленованими візками дана залежність залишається справедливою в межах одного етапу вписування. Тому для точного визначення діючої поперечної сили необхідно користуватися графік-паспортами наведених у [6].

Із формули (8) можна зробити такі висновки:

- для зменшення Y_0 треба зменшувати величину $\sum 2H_i$, не збільшувати величину демпфіруючого моменту та не проектувати екіпаж з короткими візками;
- кутовий коефіцієнт b залежить від: маси екіпажу, яка розподіляється між візками; відношення маси кузова та візка; довжини візка.

У цілому проведені розрахунки підтверджують запропоновану О.П. Ершковим [2] методику розрахунку вписування екіпажа в криву ділянку колії для екіпажів із складною системою зв'язку кузова та візків.

На основі прийнятої методики [2] проведені перевіірочні розрахунки для побудови графіків-паспортів для екіпажів, які тривалий час експлуатуються: вантажного вагона на 4-х вісних візках ЦНП-ХЗ-О, пасажирського вагона на візках КВЗ- ЦНП, локомотивів ЧС 2, ЧС 4, ВЛ 80.

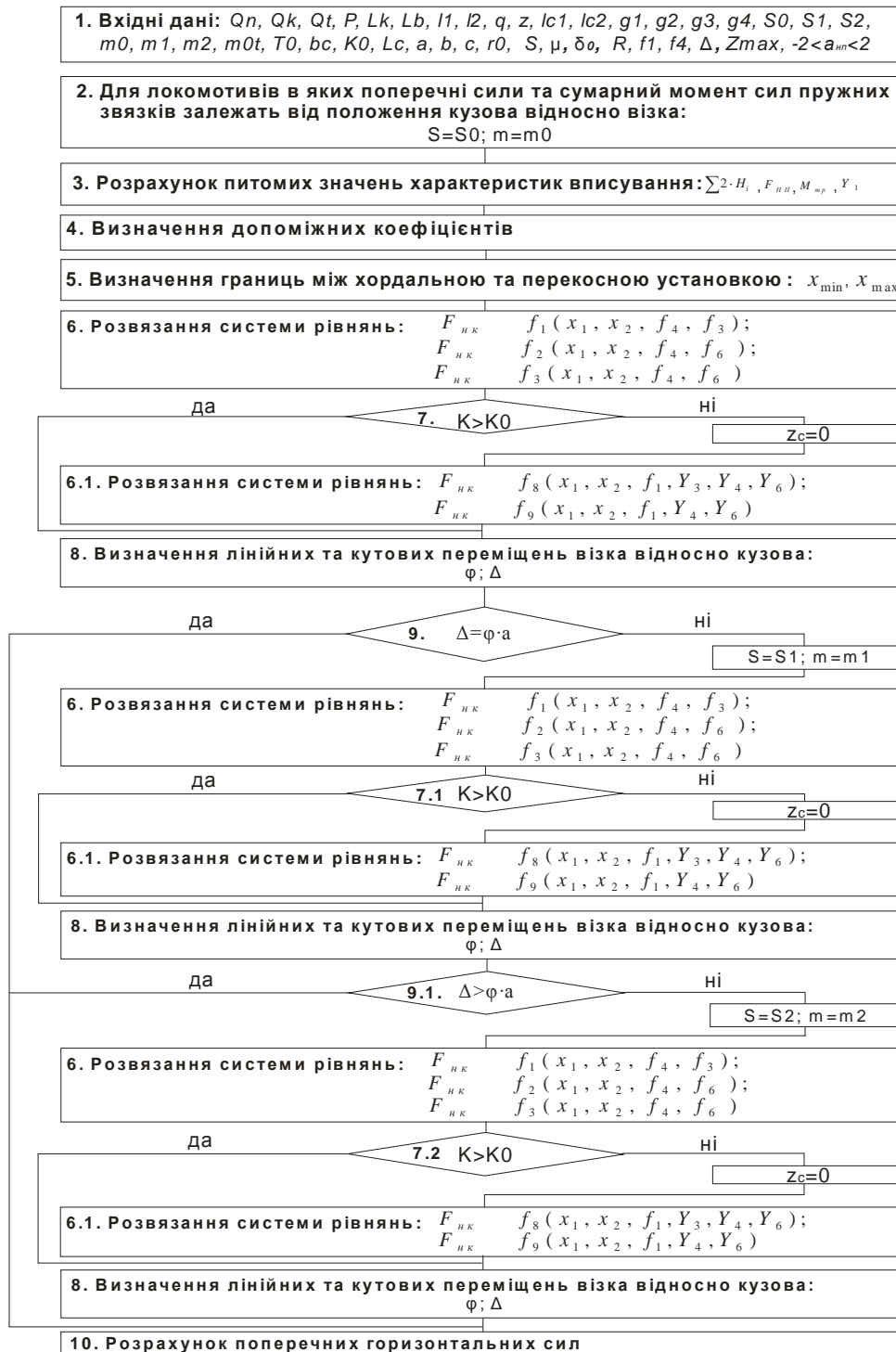


Рис. 4. Алгоритм розрахунку горизонтальних поперечних сил для екіпажів із зчленованими візками

Також на основі приведеної методики розрахунку вписування екіпажа в криву [2] побудовані графіки-паспорти для нових екіпажів: пасажирського вагона на візках моделі 68-7012, локомотивів ДС-3 та ЧС 8 при вписуванні в криві радіусів: 300 м, 600 м, 1000 м.

Аналізуючи побудовані графік-паспорти [5-6] можна вивести на підставі формули (8) наближені формули для визначення поперечних сил при вписуванні в криві радіусів: 300 м, 600 м, 1000 м. Виведені наближені формули наводяться в табл. 1.

Таблиця 1. Залежність поперечних сил від непогашеного поперечного прискорення

Екіпаж	Радіус, м	Направ. сила Y_1 , кН	Бокова сила Y_6 , кН	Рамна сила Y_p , кН
Чотиривісний вагон на візках ЦНИИ-ХЗ-О	R=300 м	$83,44+13,73 \cdot a_{\text{нп}}$	$59,34+13,97 \cdot a_{\text{нп}}$	$35,23+14,2 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=600 м	$74,45+13,28 \cdot a_{\text{нп}}$	$53,32+13,51 \cdot a_{\text{нп}}$	$32,2+13,74 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=1000 м	$64,74+13,14 \cdot a_{\text{нп}}$	$46,69+13,37 \cdot a_{\text{нп}}$	$28,64+13,31 \cdot a_{\text{нп}}$
Пасаж. вагон на візках КВЗ-ЦНИИ	R=300 м	$53,85+20,45 \cdot a_{\text{нп}}$	$37,16+18,69 \cdot a_{\text{нп}}$	$20,54+20,91 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=600 м	$47,86+20,77 \cdot a_{\text{нп}}$	$32,05+17,01 \cdot a_{\text{нп}}$	$18,65+20,23 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=1000 м	$41,89+20,53 \cdot a_{\text{нп}}$	$29,41+21,05 \cdot a_{\text{нп}}$	$16,92+21,39 \cdot a_{\text{нп}}$
Пасаж. вагон на візках 68-7013	R=300 м	$44,33+27,72 \cdot a_{\text{нп}}$	$25,25+23,98 \cdot a_{\text{нп}}$	$11,17+28,24 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=600 м	$39,31+19,35 \cdot a_{\text{нп}}$	$27,1+19,49 \cdot a_{\text{нп}}$	$10,88+19,64 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=1000 м	$35,03+16,52 \cdot a_{\text{нп}}$	$24,74+16,65 \cdot a_{\text{нп}}$	$9,46+16,77 \cdot a_{\text{нп}}$
Електровоз ВЛ 80 без зчленування візків	R=300 м	$79,87+25,43 \cdot a_{\text{нп}}$	$52,77+25,6 \cdot a_{\text{нп}}$	$25,67+25,78 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=600 м	$71,17+25,27 \cdot a_{\text{нп}}$	$47,42+25,45 \cdot a_{\text{нп}}$	$23,68+25,62 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=1000 м	$64,05+25,05 \cdot a_{\text{нп}}$	$42,64+25,32 \cdot a_{\text{нп}}$	$21,24+25,42 \cdot a_{\text{нп}}$
Електровоз ВЛ 80 із зчленув. візків (при $a_{\text{нп}}$ від -0,5 до 1 м/с ²)	R=300 м	$56,3+33,31 \cdot a_{\text{нп}}$	$30,15+34,57 \cdot a_{\text{нп}}$	$-1+2,3 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=600 м	$55,54+11,5 \cdot a_{\text{нп}}$	$32,41+11,85 \cdot a_{\text{нп}}$	$5,4+2,2 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=1000 м	$76,63+12,54 \cdot a_{\text{нп}}$	$36,67+13,05 \cdot a_{\text{нп}}$	$8,5+2,1 \cdot a_{\text{нп}}$
Електровоз ЧС2 без зчленув. візків	R=300 м	$85,37+29,4 \cdot a_{\text{нп}}$	$60,31+29,46 \cdot a_{\text{нп}}$	$35,25+29,51 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=600 м	$78,18+25,76 \cdot a_{\text{нп}}$	$56,22+25,81 \cdot a_{\text{нп}}$	$34,27+25,85 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=1000 м	$54,93+41,08 \cdot a_{\text{нп}}$	$36,61+41,16 \cdot a_{\text{нп}}$	$18,29+41,24 \cdot a_{\text{нп}}$
Електровоз ЧС4 без зчленув. візків	R=300 м	$65,93+36,63 \cdot a_{\text{нп}}$	$40,87+35,69 \cdot a_{\text{нп}}$	$15,81+36,74 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=600 м	$63,43+31,1 \cdot a_{\text{нп}}$	$41,45+31,18 \cdot a_{\text{нп}}$	$19,47+31,26 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=1000 м	$55,87+34,5 \cdot a_{\text{нп}}$	$37,1+34,59 \cdot a_{\text{нп}}$	$18,34+34,2 \cdot a_{\text{нп}}$
Електровоз ЧС8 (при $a_{\text{нп}}$ від -0,5 до 1 м/с ²)	R=300 м	$71,99+23,64 \cdot a_{\text{нп}}$	$59,54+22,47 \cdot a_{\text{нп}}$	$20,4+23,97 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=600 м	$64,01+23,53 \cdot a_{\text{нп}}$	$51,45+22,2 \cdot a_{\text{нп}}$	$18,8+23,87 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=1000 м	$55,3+23,28 \cdot a_{\text{нп}}$	$42,7+22,1 \cdot a_{\text{нп}}$	$16,68+23,61 \cdot a_{\text{нп}}$
Електровоз ДС 3	R=300 м	$74,12+25,26 \cdot a_{\text{нп}}$	$43,25+25,49 \cdot a_{\text{нп}}$	$22,38+25,72 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=600 м	$65,28+25,06 \cdot a_{\text{нп}}$	$42,61+25,3 \cdot a_{\text{нп}}$	$19,94+25,53 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=1000 м	$55,85+24,9 \cdot a_{\text{нп}}$	$36,49+25,12 \cdot a_{\text{нп}}$	$17,13+25,43 \cdot a_{\text{нп}}$

Висновки. Проведені розрахунки дозволили розширити основні положення методу вписування залізничних екіпажів в криві та визначати при цьому поперечні сили. Приведений метод дозволяє проводити облік впливу на поперечні сили параметрів та характеристик конструкції, стану екіпажа та колії без врахування сил інерції, які виникають за рахунок коливання підресорених та непідресорених частин екіпажа.

1. До основних особливостей приведенного узагальненого методу вписування належать:

- широке застосування функцій питомих характеристик вписування, що дозволяє уникнути підбору аргументів;
- максимальне використання можливостей отримання для великого ряду екіпажів аналітичних рішень в кінцевому вигляді;
- введення в розрахунок як основної залежності поперечної сили від непогашеного прискорення, дозволило широко використовувати їх лінійність для побудови графік паспортів.

2. Розроблений метод вписування дозволяє в широкому діапазоні швидкостей, радіусів кривих, підвищення визначати вплив на рівень поперечних сил демпфівального моменту, зчленування візків (вплив попереднього натискання та жорсткості пружин в зчленуванні), повертальних пристроїв в опорах кузова з різними характеристиками жорсткості, розбігів в осях.

3. Побудова графіків паспортів дозволяє отримати поперечні сили від швидкості руху, радіуса кривої та підвищення зовнішньої рейки.

4. Введення демпфівувальних моментів збільшує полюсні відстані першого візка та зменшує їх в другій. При демпфівувальних моментах перші візки йдуть в колії з більшим перекосом. Наявність демпфівувального моменту призводить до збільшення поперечних сил.

5. Аналізуючи отримані графік-паспорти для локомотива ВЛ-80 із зчленованими візками та без зчленування видно, що зчленування при будь-яких швидкостях руху зменшує величину поперечних сил, діючу на зовнішню рейкову нитку. В кривій радіусом 1000 м процент зменшення напрямної сили першого візка знаходиться в межах 20 %. При наявності зчленування візків полюсні відстані x_1 та x_2 , кут повороту заднього візка зменшується, тобто візки при зчленуванні йдуть в колії з меншим перекосом відносно колії. Враховуючи, що при зчленуванні зменшуються напрямні сили та кути набігання, можна чекати і зменшення бокового зносу зовнішніх рейок в кривих.

7. При проведенні розрахунків вписування в криві ділянки колії рухомого екіпажу з урахуванням в практиці непогашених відцентрових прискорень в більшості випадків достатньо визначити силову взаємодію при абсолютно жорсткій колії.

8. Проведені розрахунки поперечної взаємодії колії та рухомого екіпажу вказують на наявність залежності:

між поперечними силами та статичним навантаженням на колесо екіпажа;

між поперечними силами та геометрією колії, яку видно із аналізу графік-паспортів;

між поперечними силами та непогашеним відцентровим прискоренням, яке в свою чергу залежить від швидкості руху та величини підвищення зовнішньої рейки.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Еришков О.П.* Определение боковых давлений вагонов на путь в кривых / *О.П. Еришков* // Вестник Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 1961. – №8. – С. 5-9.

2. Построение графиков удельных характеристик и графиков-паспортов вписывания железнодорожных экипажей в кривые (теоретические основы): [сбор. науч. труд. ЦНИИ МПС]. – 1963. – вып. 268. – 64-125 с.

3. *Еришков О.П.* Исследование жесткости железнодорожного пути и ее влияния на работу рельсов в кривых участках / *О.П. Еришков* // ЦНИИ. – 1963. – вып. 264. – 204 с.

4. *Еришков О.П.* Расчеты поперечных горизонтальных сил в кривых / *О.П. Еришков* // Труды ЦНИИ МПС. – 1966. – вып. 301. – 232 с.

5. *Даниленко Е.І.* Лінійні конструкції ВБК, улаштування рейкової колії / Улаштування, роботування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом: Підручник для вищих навчальних закладів (у 2-х т.). – Київ: Інпрес, 2010.

6. *Твердомед В.М.* «Вплив поперечних та повздожніх сил горизонтальних сил на роботу без підкладкової та підкладкової конструкції рейкової колії» дисертація. к.т.н., К.: ДЕТУТ, 2010, 241с.

7. *Еришков О.П.* Исследование накопления расстройств рельсовой колеи железнодорожного пути / *Еришков О.П.* // Труды ВНИИЖТа. – 1980. – вып. 628. – 103с.

*Vladymyr M. Tverdomed, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Associate Professor of Railroad Track and Track Sector Chair, State University for
Transport Economy and Technologies)*

*Anatolii D. Vozneko, PhD (Technical Sciences), Professor
(Professor of Railroad Track and Track Sector Chair, State University for Transport
Economy and Technologies)*

*Vladymyr D. Boyko, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Associate Professor of Railroad Track and Track Sector Chair, State University for
Transport Economy and Technologies)*

CALCULATION OF CROSS HORIZONTAL FORCES IN THE CURVED SECTIONS FOR RAILWAY TRACKS

Theoretical calculations and developed a method of determining the horizontal cross-interaction forces between the wheels of a moving crew and structures built on concrete sleepers based schemes and incorporating the coefficient of friction between the wheel and rail. Based on the graphic passports withdrawn approximate formula for determining the transverse forces in incorporating a curved radius: 300 m, 600 m, 1000 m.

Keywords: guiding force, lateral force, frame strength, graphic passport friction.

REFERENCES

1. Ershkov O.P. Opredelenie bokovykh davleniy vagonov na put v krivyykh (Determination of lateral pressure of cars on the road in a curve), Vestnik Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta, 1961, No. 8, pp. 5-9.
2. Postroyeniye grafikov udelnykh harakteristik i grafikov-pasportov vpisyvaniya zheleznodorozhnykh ekipazhey v krivyye (teoreticheskie osnovy) (Plotting the specific characteristics and graphs, passports inscribing railway vehicles in curves (theoretical foundations)), sbor. nauk. trud. TsNII MPS, 1963, No. 268, pp. 64-125
3. Ershkov O.P. Issledovaniye zhestkosti zheleznodorozhnogo puti i ee vliyaniya na rabotu rel'sov v krivyykh uchastkakh (The study of railway track stiffness and its effect on the operation of the rails in the curved sections), TsNII, 1963, No. 264, 204 pp.
4. Ershkov O.P. Raschety poperechnykh gorizontalnykh sil v krivyykh (Calculation of the horizontal forces in curves), Trudy TsNII MPS, 1966, No. 301, 232 pp.
5. Danilenko E.I. Liniinye konstruktsii VBK, ulashtuvannya reikovoï kolii, Ulashtuvannya, robotyvannya i rozrakhunky, vzaïmodiïa z rukhomym skladom (IBD linear design, installation of rail tracks. Arrangement, work and calculations, interaction with rolling stock). Pidruchnyk dlia vyshchykh navchalnykh zakladiv (u 2-kh tomakh). Kyiv, Inpres, 2010.
6. Tverdomed V.M. Vplyv poperechnykh ta povzdovzhnykh syl horyzontalnykh syl na robotu bez pidkladkovoï ta pidkladkovoï konstruktsii reikovoï kolii (The influence of transverse and longitudinal forces horizontal forces to work without lining and lining rail track construction) thesis. Ph.D, Kiev, DETUT, 2010, 241 pp.
7. Ershkov O.P. Issledovaniye nakopleniya rastroystv rel'sovoy kolei zheleznodorozhnogo puti (Research accumulation disorders rail gauge railway track) Trudy VNIIZhTa, 1980, No. 628, 103 pp.