

ДОСЛІДЖЕННЯ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМИХ ШВИДКОСТЕЙ РУХУ ВАГОНА ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДА ДПКР-2 У ПРЯМІЙ ДІЛЯНЦІ КОЛІЇ

^{1,2}аспірант Кузишин Андрій Ярославович,

¹к. т. н. Костриця Сергій Анатолійович,

²магістр Батіг Андрій Васильович

¹Україна, Дніпро, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, кафедра «Теоретична та будівельна механіка»;

²Україна, Львів, Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз

ARTICLE INFO

Received 06 April 2018

Accepted 20 April 2018

Published 12 May 2018

KEYWORDS

diesel train,
mathematical model,
track irregularity,
horizontal dynamics
coefficient,
safety factor against derailment
of railway vehicles

ABSTRACT

In this article, using the Maple18 computer environment, a previously developed spatial mathematical model of the motion of a diesel train DPKr-2 was analyzed. This model was used to study its motion in the straight section of the path. The results obtained by calculations of the mathematical model have allowed to establish the maximum permissible speeds of the train of the diesel train, depending on the deviations on the level and in the plan.

In this paper, the research was conducted according to various criteria, the main of which are: the coefficient of horizontal, vertical dynamics, the coefficient of stability of the resistance of the wheel from the rail, the condition of the east according to European norms BS EN 14363: 2005.

The practical significance of the research carried out is the possibility of using the obtained results to analyze the parameters of safety of motion at the stage of designing or admission to operation of new types of rolling stock on the railways of Ukraine, as well as when conducting the forensic railway transport expertises.

© 2018 The Authors.

Проектування, виготовлення, експлуатація та ремонт рухомого складу виконується таким чином, щоб забезпечувався допустимий рівень показників динамічних якостей механічної частини рухомого складу на протязі всього терміну експлуатації (Kalivoda & Neduzha, 2017).

Як відомо, нерівності рейкових ниток є джерелами вимушених коливань надресорної будови транспортного екіпажу, що зрештою призводять до виникнення динамічних навантажень на елементи конструкції рухомого складу і залізничної колії (Калівода & Недужа, 2017).

Рейкові нитки в прямих ділянках колії повинні перебувати на одному рівні. Якщо спочатку, наприклад, ліва рейка вище правої на 5 мм, а потім права вище лівої на 5 мм, то мінімальна відстань між такими підвищеннями рейок повинна бути більше 20 м. При меншій відстані утворюється перекус колії (рис. 1).

Відповідно до (Рибкін & Патласов, 2012) колієвимірювальний вагон забезпечує вимірювання і реєстрацію на стрічці геометричних параметрів рейкової колії, які впливають на плавність і безпеку руху поїздів. В основу оцінки геометричного положення рейкової колії покладено вплив відступів на динамічні показники взаємодії колії і рухомого складу.

Кожний відступ має свою ступінь впливу на динамічну взаємодію колії і рухомого складу та інтенсивність накопичень залишкових деформацій колії.

Установлено п'ять ступенів для всіх відступів від норм утримання рейкової колії залежно від їхньої величини і довжини (табл. 1). Залежно від ступеня кожний відступ від норм утримання рейкової колії оцінюється у балах.

До відступів I ступеня належать відступи в межах допусків, при яких забезпечуються безпека і плавність руху поїздів. При таких відступах встановлені швидкості руху поїздів не зменшуються та не вимагається виконання робіт щодо їх усунення.

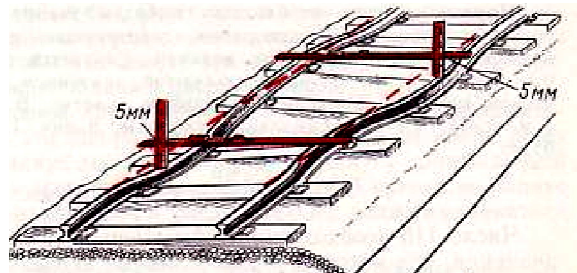


Рис. 1. Схема виникнення перекусу колії

До відступів II ступеня належать відступи які не вимагають зменшення встановленої швидкості і не загрожують безпеці руху поїздів, але впливають на плавність руху поїздів. Вони є підставою для призначення та проведення планово-запобіжних робіт.

До поодиноких відступів III ступеня належать відступи які не вимагають зменшення встановленої швидкості і не загрожують безпеці руху поїздів, але впливають на плавність руху поїздів та інтенсивність накопичення залишкових деформацій колії. Вони є підставою для призначення та проведення планово-запобіжних робіт.

До IV ступеня належать відступи, за наявності яких при встановлених швидкостях погіршується плавність руху поїздів, що призводить до інтенсивного накопичення залишкових деформацій колії. Ці відступи усуваються в першочерговому порядку.

До V ступеня відносяться відступи, що викликають зростання сил взаємодії колії з рухомим складом до таких критичних значень, що при наявності несприятливих поєднаннях з відступами в утриманні і завантаженні рухомого складу, порушеннями режиму водіння поїзда та іншими умовами, можуть призвести до дуже швидкого зростання деформацій і до виникнення загрози безпеці руху поїздів.

Таблиця 1. Швидкість руху поїздів залежно від відступів за рівнем

Ступінь відступу	Плавні відхилення, мм	Допустима швидкість, км/год.	Перекид на довжині до 20 м, мм	Допустима швидкість, км/год.
I	до 6 включно	встановлена	до 8 включно	встановлена
II	понад 6 до 12 включно		понад 8 до 12 включно	
III	понад 12 до 20 включно		понад 12 до 16 включно	
IV	понад 20 до 25 включно	120/80	понад 16 до 20 включно	120/80
V	понад 25 до 30 включно	60	понад 20 до 30 включно	60
	понад 30 до 35 включно	40	понад 30 до 40 включно	40
	понад 35 до 50 включно	15	понад 40 до 50 включно	15
	понад 50	рух закривається	понад 50	рух закривається

На основі аналізу конструкції екіпажної частини вагона дизель-поїзда ДПКр-2 (Дизель-поезд пассажирский ДПКр-2. Руководство по эксплуатации ДПКр-2.000.000 РЭ. Часть 1., 2014) та обраних механічних моделей його основних частин у статті (Кузишин & Батіг, 2017) було побудовано його просторову механічну модель (рис. 2-4).

Наведемо механічну модель вагона дизель-поїзда, на основі якої була побудована математична модель.

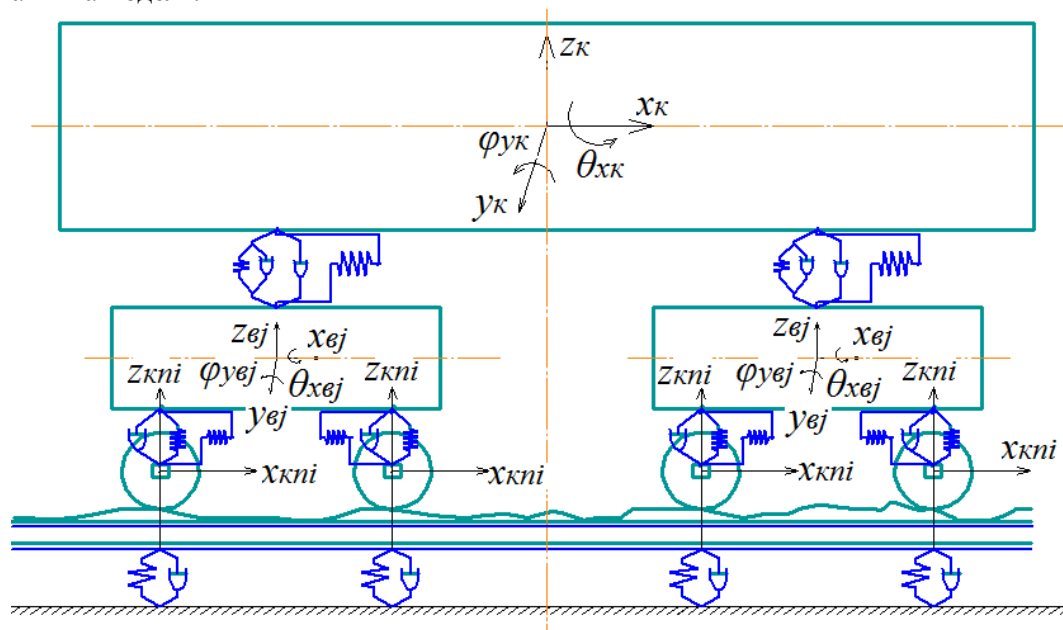


Рис. 2. Механічна модель вагона дизель-поїзда ДПКр-2 в площині ZX

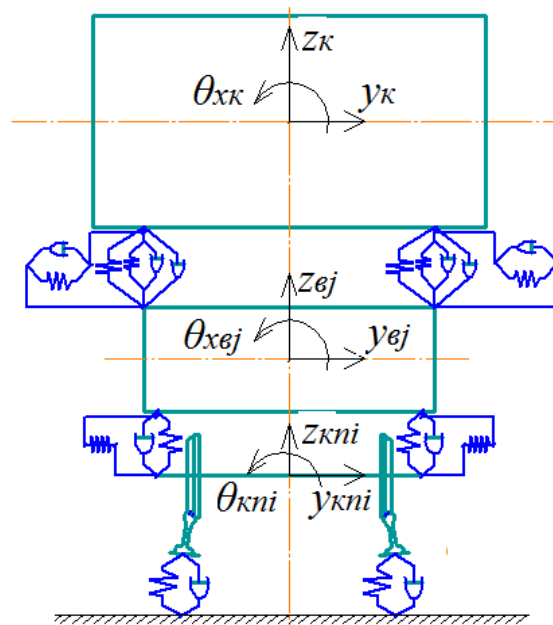


Рис. 3. Механічна модель вагона дизель-поїзда ДПКр-2 в площині ZY

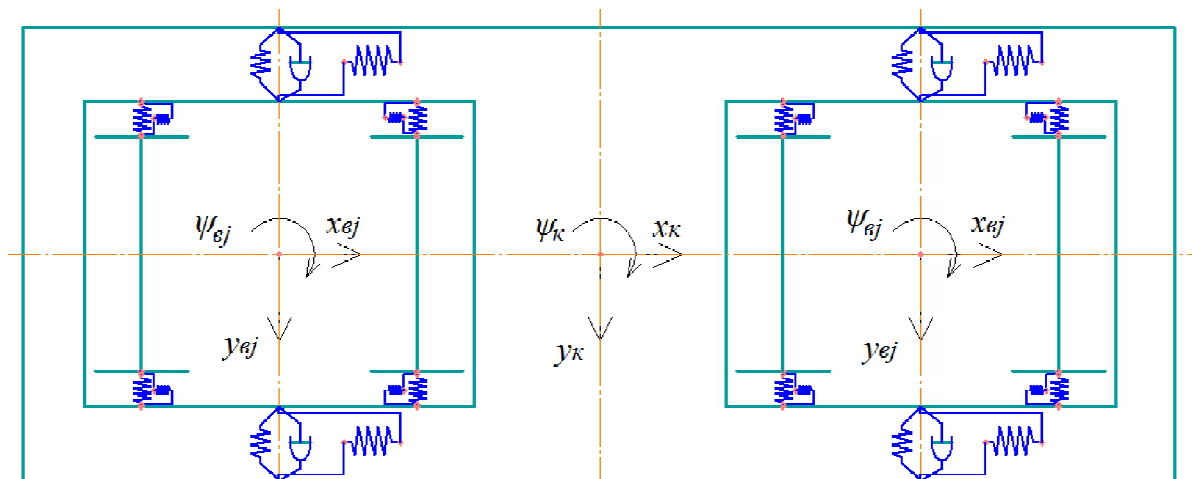


Рис. 4. Механічна модель вагона дизель-поїзда ДПКр-2 в площині YX

Із наведених трьох проекцій механічної схеми видно, що коливання прийнятої для дослідження моделі вагона дизель-поїзда можуть бути описані наступними узагальненими координатами: підстрибуванням z_k , посмикуванням x_k , боковим виносом y_k , галопуванням φ_k , вилянням ψ_k , боковим хитанням θ_k кузова; підстрибуванням $z_{\epsilon j}$, посмикуванням $x_{\epsilon j}$, боковим виносом $y_{\epsilon j}$, галопуванням $\varphi_{\epsilon j}$, вилянням $\psi_{\epsilon j}$, боковим хитанням $\theta_{\epsilon j}$ рам візків ($j = 1 - 2$ номер рами візка); підстрибуванням $z_{\kappa ni}$, посмикуванням $x_{\kappa ni}$, боковим виносом $y_{\kappa ni}$, вилянням $\psi_{\kappa ni}$, боковим хитанням $\theta_{\kappa ni}$ колісних пар ($i = 1 - 4$ номер колісної пари).

Для опису просторових коливань вагона дизель-поїзда, в центральній ступені ресорного підвішування якого використовуються пневматичні ресори, у статті (Костриця, Соболевська, Кузишин, & Батіг, 2018) авторами було представлено математичну модель, яка складається з 38 диференціальних рівнянь другого порядку. Наведемо основні із них:

Кузов.

Підстрибування

$$m_k \cdot \ddot{z}_k + 4\beta_{21} \cdot \dot{z}_k + 4\beta_2 \cdot \dot{z}_k + 4\gamma_{21} \cdot z_k - 2\gamma_{21} \cdot z_{b1} - 2\gamma_{21} \cdot z_{b2} - 2\beta_{21} \cdot \dot{z}_{b1} - 2\beta_{21} \cdot \dot{z}_{b2} - 2\beta_2 \cdot \dot{z}_{b1} - 2\beta_2 \cdot \dot{z}_{b2} = 0$$

Галопування

$$J_{\text{ук}} \cdot \ddot{\varphi}_{\text{ук}} + 4\beta_{21} \cdot a_2^2 \cdot \dot{\varphi}_{\text{ук}} + 4\beta_2 \cdot a_2^2 \cdot \dot{\varphi}_{\text{ук}} + 4\mathcal{K}_{21} \cdot a_2^2 \cdot \varphi_{\text{ук}} - 2\mathcal{K}_{21} \cdot a_2 \cdot z_{\text{в1}} + 2\mathcal{K}_{21} \cdot a_2 \cdot z_{\text{в2}} - \\ - 2\beta_{21} \cdot a_2 \cdot \dot{z}_{\text{в1}} + 2\beta_{21} \cdot a_2 \cdot \dot{z}_{\text{в2}} - 2\beta_2 \cdot a_2 \cdot \dot{z}_{\text{в1}} + 2\beta_2 \cdot a_2 \cdot \dot{z}_{\text{в2}} + 4\mathcal{K}_{2\text{поз}} \cdot a_5 \cdot (x_{\text{к}} + a_5 \cdot \varphi_{\text{ук}}) - \\ - 2\mathcal{K}_{2\text{поз}} \cdot a_5 \cdot x_{\text{в1}} - 2\mathcal{K}_{2\text{поз}} \cdot a_5 \cdot x_{\text{в2}} = 0$$

Бокове хитання

$$J_{\text{хк}} \cdot \ddot{\theta}_{\text{к}} + 4\mathcal{K}_{21} \cdot a_3^2 \cdot \theta_{\text{к}} + 4\beta_{21} \cdot a_3^2 \cdot \dot{\theta}_{\text{к}} + 4\beta_2 \cdot a_3^2 \cdot \dot{\theta}_{\text{к}} + 4\mathcal{K}_{\text{тор}} \cdot a_3^2 \cdot \theta_{\text{к}} + 4\mathcal{K}_{2\text{поп}} \cdot a_5 \cdot (y_{\text{к}} + a_5 \cdot \theta_{\text{к}}) + \\ + 4\beta_{2\text{поп}} \cdot a_5 \cdot (\dot{y}_{\text{к}} + a_5 \cdot \dot{\theta}_{\text{к}}) - 2\mathcal{K}_{21} \cdot a_3^2 \cdot \theta_{\text{в1}} - 2\mathcal{K}_{21} \cdot a_3^2 \cdot \theta_{\text{в2}} - 2\beta_{21} \cdot a_3^2 \cdot \dot{\theta}_{\text{в1}} - 2\beta_{21} \cdot a_3^2 \cdot \dot{\theta}_{\text{в2}} - 2\beta_2 \cdot a_3^2 \cdot \dot{\theta}_{\text{в1}} - \\ - 2\beta_2 \cdot a_3^2 \cdot \dot{\theta}_{\text{в2}} - 2\mathcal{K}_{\text{тор}} \cdot a_3^2 \cdot \theta_{\text{в1}} - 2\mathcal{K}_{\text{тор}} \cdot a_3^2 \cdot \theta_{\text{в2}} - 2\mathcal{K}_{2\text{поп}} \cdot a_5 \cdot (y_{\text{в1}} - a_6 \cdot \theta_{\text{в1}}) - 2\mathcal{K}_{2\text{поп}} \cdot a_5 \cdot (y_{\text{в2}} - a_6 \cdot \theta_{\text{в2}}) - \\ - 2\beta_{2\text{поп}} \cdot a_5 \cdot (\dot{y}_{\text{в1}} - a_6 \cdot \dot{\theta}_{\text{в1}}) - 2\beta_{2\text{поп}} \cdot a_5 \cdot (\dot{y}_{\text{в2}} - a_6 \cdot \dot{\theta}_{\text{в2}}) = 0$$

Посмикування

$$m_{\text{к}} \cdot \ddot{x}_{\text{к}} + 4\mathcal{K}_{2\text{поз}} \cdot (x_{\text{к}} + a_5 \cdot \varphi_{\text{ук}}) - 2\mathcal{K}_{2\text{поз}} \cdot x_{\text{в1}} - 2\mathcal{K}_{2\text{поз}} \cdot x_{\text{в2}} = 0$$

Боковий винос

$$m_{\text{к}} \cdot \ddot{y}_{\text{к}} + 4\mathcal{K}_{2\text{поп}} \cdot (y_{\text{к}} + a_5 \cdot \theta_{\text{к}}) + 4\beta_{2\text{поп}} \cdot (\dot{y}_{\text{к}} + a_5 \cdot \dot{\theta}_{\text{к}}) - 2\mathcal{K}_{2\text{поп}} \cdot (y_{\text{в1}} - a_6 \cdot \theta_{\text{в1}}) - 2\mathcal{K}_{2\text{поп}} \cdot (y_{\text{в2}} - a_6 \cdot \theta_{\text{в2}}) - \\ - 2\beta_{2\text{поп}} \cdot (\dot{y}_{\text{в1}} - a_6 \cdot \dot{\theta}_{\text{в1}}) - 2\beta_{2\text{поп}} \cdot (\dot{y}_{\text{в2}} - a_6 \cdot \dot{\theta}_{\text{в2}}) = 0$$

Вилання

$$J_{\text{зк}} \cdot \ddot{\psi}_{\text{к}} + 4\mathcal{K}_{2\text{поп}} \cdot a_2^2 \cdot \psi_{\text{к}} + 4\beta_{2\text{поп}} \cdot a_2^2 \cdot \dot{\psi}_{\text{к}} + 4\mathcal{K}_{2\text{поз}} \cdot a_3^2 \cdot \psi_{\text{к}} - 2\mathcal{K}_{2\text{поп}} \cdot a_2 \cdot (y_{\text{в1}} - a_6 \cdot \theta_{\text{в1}}) - \\ - 2\beta_{2\text{поп}} \cdot a_2 \cdot (\dot{y}_{\text{в1}} - a_6 \cdot \dot{\theta}_{\text{в1}}) + 2\mathcal{K}_{2\text{поп}} \cdot a_2 \cdot (y_{\text{в2}} - a_6 \cdot \theta_{\text{в2}}) + 2\beta_{2\text{поп}} \cdot a_2 \cdot (\dot{y}_{\text{в2}} - a_6 \cdot \dot{\theta}_{\text{в2}}) = 0$$

Наведемо для прикладу рівняння узагальнених координат для першого візка
Підстрибування

$$m_{\text{в1}} \cdot \ddot{z}_{\text{в1}} + 4\mathcal{K}_1 \cdot z_{\text{в1}} + 4\beta_1 \cdot \dot{z}_{\text{в1}} + 2\mathcal{K}_{21} \cdot z_{\text{в1}} + 2\beta_{21} \cdot \dot{z}_{\text{в1}} + 2\beta_2 \cdot \dot{z}_{\text{в1}} - 2\mathcal{K}_{21} \cdot (z_{\text{к}} + a_2 \cdot \varphi_{\text{ук}}) - \\ - 2\beta_{21} \cdot (\dot{z}_{\text{к}} + a_2 \cdot \dot{\varphi}_{\text{ук}}) - 2\beta_2 \cdot (\dot{z}_{\text{к}} + a_2 \cdot \dot{\varphi}_{\text{ук}}) - 2\mathcal{K}_1 \cdot z_{\text{кп1}} - 2\beta_1 \cdot \dot{z}_{\text{кп1}} - 2\mathcal{K}_1 \cdot z_{\text{кп2}} - 2\beta_1 \cdot \dot{z}_{\text{кп2}} = 0$$

Посмикування

$$m_{\text{в1}} \cdot \ddot{x}_{\text{в1}} + 2\mathcal{K}_{2\text{поз}} \cdot x_{\text{в1}} + 4\mathcal{K}_{\text{сал.блок}} \cdot (x_{\text{в1}} + a_7 \cdot \varphi_{\text{ув1}}) - 2\mathcal{K}_{2\text{поз}} \cdot (x_{\text{к}} + a_5 \cdot \varphi_{\text{ук}}) - 2\mathcal{K}_{\text{сал.блок}} \cdot x_{\text{кп1}} - 2\mathcal{K}_{\text{сал.блок}} \cdot x_{\text{кп2}} = 0$$

Боковий винос

$$m_{\text{в1}} \cdot \ddot{y}_{\text{в1}} + 2\mathcal{K}_{2\text{поп}} \cdot (y_{\text{в1}} - a_6 \cdot \theta_{\text{в1}}) + 2\beta_{2\text{поп}} \cdot (\dot{y}_{\text{в1}} - a_6 \cdot \dot{\theta}_{\text{в1}}) + 4\mathcal{K}_{\text{поп}} \cdot (y_{\text{в1}} + a_7 \cdot \theta_{\text{в1}}) - \\ - 2\mathcal{K}_{2\text{поп}} \cdot (y_{\text{к}} + a_2 \cdot \psi_{\text{к}} + a_5 \cdot \theta_{\text{к}}) - 2\beta_{2\text{поп}} \cdot (\dot{y}_{\text{к}} + a_2 \cdot \dot{\psi}_{\text{к}} + a_5 \cdot \dot{\theta}_{\text{к}}) - 2\mathcal{K}_{\text{поп}} \cdot y_{\text{кп1}} - 2\mathcal{K}_{\text{поп}} \cdot y_{\text{кп2}} = 0$$

Галопування

$$J_{\text{ув1}} \cdot \ddot{\varphi}_{\text{ув1}} + 4\mathcal{K}_1 \cdot a_1^2 \cdot \varphi_{\text{ув1}} + 4\beta_1 \cdot a_1^2 \cdot \dot{\varphi}_{\text{ув1}} + 4\mathcal{K}_{\text{сал.блок}} \cdot a_7 \cdot (x_{\text{в1}} + a_7 \cdot \varphi_{\text{ув1}}) - 2\mathcal{K}_1 \cdot a_1 \cdot z_{\text{кп1}} - \\ - 2\beta_1 \cdot a_1 \cdot \dot{z}_{\text{кп1}} + 2\mathcal{K}_1 \cdot a_1 \cdot z_{\text{кп2}} + 2\beta_1 \cdot a_1 \cdot \dot{z}_{\text{кп2}} - 2\mathcal{K}_{\text{сал.блок}} \cdot a_7 \cdot x_{\text{кп1}} - 2\mathcal{K}_{\text{сал.блок}} \cdot a_7 \cdot x_{\text{кп2}} = 0$$

Бокове хитання

$$J_{\text{хв1}} \cdot \ddot{\theta}_{\text{в1}} + 4\mathcal{J}_1 \cdot a_4^2 \cdot \theta_{\text{в1}} + 4\beta_1 \cdot a_4^2 \cdot \dot{\theta}_{\text{в1}} + 4\mathcal{J}_{\text{поп}} \cdot a_7 \cdot (y_{\text{в1}} + a_7 \cdot \theta_{\text{в1}}) - 2\mathcal{J}_{2\text{поп}} \cdot a_6 \cdot (y_{\text{в1}} - a_6 \cdot \theta_{\text{в1}}) - \\ - 2\beta_{2\text{поп}} \cdot a_6 \cdot (\dot{y}_{\text{в1}} - a_6 \cdot \dot{\theta}_{\text{в1}}) + 2\mathcal{J}_{\text{тор}} \cdot a_3^2 \cdot \theta_{\text{в1}} + 2\mathcal{J}_{21} \cdot a_3^2 \cdot \theta_{\text{в1}} + 2\beta_{21} \cdot a_3^2 \cdot \dot{\theta}_{\text{в1}} + 2\beta_2 \cdot a_3^2 \cdot \dot{\theta}_{\text{в1}} - \\ - 2\mathcal{J}_{\text{тор}} \cdot a_3^2 \cdot \theta_{\text{к}} - 2\mathcal{J}_{21} \cdot a_3^2 \cdot \theta_{\text{к}} - 2\beta_{21} \cdot a_3^2 \cdot \dot{\theta}_{\text{к}} - 2\beta_2 \cdot a_3^2 \cdot \dot{\theta}_{\text{к}} - 2\mathcal{J}_1 \cdot a_4^2 \cdot \theta_{\text{кп1}} - 2\beta_1 \cdot a_4^2 \cdot \dot{\theta}_{\text{кп1}} - \\ - 2\mathcal{J}_1 \cdot a_4^2 \cdot \theta_{\text{кп2}} - 2\beta_1 \cdot a_4^2 \cdot \dot{\theta}_{\text{кп2}} - 2\mathcal{J}_{\text{поп}} \cdot a_7 \cdot y_{\text{кп1}} - 2\mathcal{J}_{\text{поп}} \cdot a_7 \cdot y_{\text{кп2}} + 2\mathcal{J}_{2\text{поп}} \cdot a_6 \cdot (y_{\text{к}} + a_2 \cdot \psi_{\text{к}} + a_5 \cdot \theta_{\text{к}}) + \\ + 2\beta_{2\text{поп}} \cdot a_6 \cdot (\dot{y}_{\text{к}} + a_2 \cdot \dot{\psi}_{\text{к}} + a_5 \cdot \dot{\theta}_{\text{к}}) = 0$$

Вилання

$$J_{\text{зв1}} \cdot \ddot{\psi}_{\text{в1}} + 2\mathcal{J}_{2\text{поз}} \cdot a_3^2 \cdot \psi_{\text{в1}} + 4\mathcal{J}_{\text{поп}} \cdot a_1^2 \cdot \psi_{\text{в1}} + 4\mathcal{J}_{\text{сал.блок}} \cdot a_4^2 \cdot \psi_{\text{в1}} - 2\mathcal{J}_{\text{поп}} \cdot a_1 \cdot y_{\text{кп1}} + \\ + 2\mathcal{J}_{\text{поп}} \cdot a_1 \cdot y_{\text{кп2}} - 2\mathcal{J}_{\text{сал.блок}} \cdot a_4^2 \cdot \psi_{\text{кп1}} - 2\mathcal{J}_{\text{сал.блок}} \cdot a_4^2 \cdot \psi_{\text{кп2}} - 2\mathcal{J}_{2\text{поз}} \cdot a_3^2 \cdot \psi_{\text{к}} = 0$$

Наведемо для прикладу рівняння узагальнених координат для першої колісної пари Підстрибування

$$(m_{\text{кп1}} + 2m_{\text{кол}}) \cdot \ddot{z}_{\text{кп1}} + 2\beta_1 \cdot \dot{z}_{\text{кп1}} + 2\beta_{\text{кол}} \cdot \dot{z}_{\text{кп1}} + 2\mathcal{J}_1 \cdot z_{\text{кп1}} + 2\mathcal{J}_{\text{кол}} \cdot z_{\text{кп1}} - 2\mathcal{J}_1 \cdot (z_{\text{в1}} + a_1 \cdot \varphi_{\text{ув1}}) - \\ - 2\beta_1 \cdot (\dot{z}_{\text{в1}} + a_1 \cdot \dot{\varphi}_{\text{ув1}}) = m_{\text{кол}} \cdot (\ddot{\eta}_{\text{л1}} + \ddot{\eta}_{\text{пр1}}) + \beta_{\text{кол}} \cdot (\dot{\eta}_{\text{л1}} + \dot{\eta}_{\text{пр1}}) + \mathcal{J}_{\text{кол}} \cdot (\eta_{\text{л1}} + \eta_{\text{пр1}})$$

Посмикування

$$m_{\text{кп1}} \cdot \ddot{x}_{\text{кп1}} + 2\mathcal{J}_{\text{сал.блок}} \cdot x_{\text{кп1}} - 2\mathcal{J}_{\text{сал.блок}} \cdot (x_{\text{в1}} + a_7 \cdot \varphi_{\text{ув1}}) = F_{\text{x1}} + F_{\text{x2}}$$

Боковий винос

$$(m_{\text{кп1}} + 2m_{\text{кол}}) \cdot \ddot{y}_{\text{кп1}} + 2\mathcal{J}_{\text{поп}} \cdot y_{\text{кп1}} - 2\mathcal{J}_{\text{поп}} \cdot (y_{\text{в1}} + a_1 \cdot \psi_{\text{в1}} + a_7 \cdot \theta_{\text{в1}}) = -F_{\text{y1}} - F_{\text{y2}}$$

Бокове хитання

$$J_{\text{хкп1}} \cdot \ddot{\theta}_{\text{кп1}} + 2\beta_1 \cdot a_4^2 \cdot \dot{\theta}_{\text{кп1}} + 2\beta_{\text{кол}} \cdot s^2 \cdot \dot{\theta}_{\text{кп1}} + 2\mathcal{J}_1 \cdot a_4^2 \cdot \theta_{\text{кп1}} + 2\mathcal{J}_{\text{кол}} \cdot s^2 \cdot \theta_{\text{кп1}} - 2\beta_1 \cdot a_4^2 \cdot \dot{\theta}_{\text{в1}} - 2\mathcal{J}_1 \cdot a_4^2 \cdot \theta_{\text{в1}} = \\ = \beta_{\text{кол}} \cdot s \cdot (\dot{\eta}_{\text{пр1}} - \dot{\eta}_{\text{л1}}) + \mathcal{J}_{\text{кол}} \cdot s \cdot (\eta_{\text{пр1}} - \eta_{\text{л1}}) - F_{\text{y1}} \cdot r_1 - F_{\text{y2}} \cdot r_2$$

Вилання

$$J_{\text{зкп1}} \cdot \ddot{\psi}_{\text{кп1}} + 2\mathcal{J}_{\text{сал.блок}} \cdot a_4^2 \cdot \psi_{\text{кп1}} - 2\mathcal{J}_{\text{сал.блок}} \cdot a_4^2 \cdot \psi_{\text{в1}} = (F_{\text{x2}} - F_{\text{x1}}) \cdot s$$

Розрахунки просторової математичної моделі вагона дизель-поїзда проводилися в комп'ютерному середовищі Maple18.

На основі аналізу отриманих результатів було встановлено максимально допустимі швидкості руху вагона дизель-поїзда в залежності від відступів за рівнем, включаючи плавні відхилення, а також перекося на довжині до 20 м (табл. 2).

Наступним етапом дослідження є встановлення максимально допустимої швидкості руху вагона дизель-поїзда залежно від відступів за напрямком колії у плані. При цьому дослідження проводилися за різними критеріями, основними з яких є: коефіцієнт горизонтальної динаміки, коефіцієнт запасу стійкості від сходу колеса з рейки, умова сходу згідно до європейських норм BS EN 14363:2005.

Проаналізувавши результати, занесені у (табл. 3) встановлено, що вимоги Європейських норм є більш жорсткими по відношенню до норм, які використовуються в Україні. У свою чергу коефіцієнт горизонтальної динаміки ставить більш жорсткіші умови по відношенню до коефіцієнта запасу стійкості від сходу колеса з рейки згідно норм МВРС.

Таблиця 2. Швидкість руху поїздів залежно від відступів за рівнем

Ступінь відступу	Плавні відхилення, мм	Допустима швидкість, км/год.	Перекид на довжині до 20 м, мм	Допустима швидкість, км/год.
I	до 6 включно	встановлена	до 8 включно	встановлена
II	понад 6 до 12 включно		понад 8 до 12 включно	
III	понад 12 до 20 включно	[140-50] [40-0]	понад 12 до 16 включно	
IV	понад 20 до 25 включно	[120-55] [35-0]	понад 16 до 20 включно	
V	понад 25 до 30 включно	[110-60] [35-0]	понад 20 до 30 включно	[140-30] [15-0]
	понад 30 до 35 включно	[100-75] [30-0]	понад 30 до 40 включно	[55-45]
	понад 35 до 50 включно	15	понад 40 до 50 включно	рух закривається
	понад 50	рух закривається	понад 50	рух закривається

Таблиця 3. Допустима швидкість руху вагона дизель-поїзда залежно від відступів за напрямком колії у плані

Допустима швидкість, км/год.	Різниця у стрілах вигину, виміряних через 10 м від середини хорди довжиною 20 м		
	до 10 мм включно		
	Європейські норми по умові сходу	Норми МВРС по умові сходу	Коефіцієнт горизонтальної динаміки
140	–	–	–
135	–	–	–
130	–	–	–
125	–	–	–
120	–	+	–
115	–	+	+
110	+	+	+
105	+	+	+

Отримані результати можуть бути використані для встановлення безпечного інтервалу швидкостей руху дизель-поїзда на ділянках колії при наявності вертикальних та горизонтальних нерівностей.

Практичне значення проведених досліджень полягає у можливості використання отриманих результатів для аналізу параметрів безпеки руху на стадії проектування або допуску до експлуатації нових видів рухомого складу на залізницях України, а також при проведенні судових залізнично-транспортних експертиз.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kalivoda, J., & Neduzha, L. (2017). Enhancing the scientific level of engineering training of railway transport professionals. *Science and Transport Progress* (6 (72)), сс. 128-137.
2. Калівода, Я., & Недужа, Л. (2017). Досвід експериментальних досліджень рухомого складу з використанням стендового обладнання. *Вагонний парк* (№ 3-4), сс. 28-30.
3. Дизель-поезд пассажирский ДПКр-2. Руководство по эксплуатации ДПКр-2.000.000 РЭ. Часть 1. (2014).
4. Костриця, С. А., Соболевська, Ю. Г., Кузишин, А. Я., & Батіг, А. В. (2018). Математична модель вагона дизель-поїзда ДПКр-2. *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна* (1 (73)), сс. 15–25.
5. Кузишин, А. Я., & Батіг, А. В. (2017). Побудова механічної моделі вагона дизель-поїзда ДПКр-2 та її особливості. *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна* (6 (72)), сс. 20-30.
6. Рибкін, В. В., & Патласов, О. М. (2012). 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 : Затв. наказом Укрзалізниці № 033-Ц від 01.02.2012 р. 46. Київ: Поліграфсервіс.