

ОЦІНКА ВПЛИВУ КУТА НАХИЛУ ПОХИЛОЇ ТЯГИ НА ВЕРТИКАЛЬНУ НАВАНТАЖЕНІСТЬ КОЛІСНИХ ПАР ДВОВІСНИХ ВІЗКІВ ЛОКОМОТИВА ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЯГИ

У статті наведено результати теоретичних розрахунків вертикальної навантаженості колісних пар двовісних візків локомотива при стаціонарних режимах його руху зі складом вагонів вантажного поїзда. Оцінюється вплив кута нахилу похилої тяги на різницю навантажень колісних пар візків.

В статье приведены результаты теоретических расчетов вертикальной нагруженности колесных пар двухосных тележек локомотивов при стационарных режимах его движения с составом вагонов грузового поезда. Оценивается влияние угла наклона наклонной тяги на разность нагрузок колесных пар тележек.

The paper provides the outcomes of theoretical calculations of vertical loading of wheelsets of two-axle locomotive bogies with the locomotive running on a stationary mode with a freight train. Evaluation is given to the influence of the slope angle of the inclined roller on the difference of loadings onto the bogie wheelsets.

При розробці і створенні одиниць тягового рухомого складу необхідно вирішувати велику кількість питань, серед яких є пошук науково обґрунтованого призначення параметрів екіпажної частини, що здатні забезпечити найкраще використання показника зчпної ваги.

Вказаній проблемі присвячено певна кількість робіт [1; 2], спрямованих на найбільш ефективне використання вказаного показника. Одним з напрямків, що забезпечує ефективне використання показника зчпної ваги, є використання в одиницях тягового рухомого складу похилої тяги. Ця тяга забезпечує передачу тягового зусилля від колісних пар та рам візків до кузова і далі до складу поїзда.

Дана робота присвячується аналізу впливу кута нахилу похилої тяги та вертикальних складових жорсткісних характеристик вузлів спирання у першому та у другому ступенях підвішування електровоза на величини вертикальних зусиль у буксових вузлах. Метою роботи є знаходження таких значень кутів нахилу та жорсткісних характеристик, при яких вертикальні складові зусиль у буксових вузлах обох колісних пар візків при стаціонарному режимі тяги будуть однаковими.

Для розв'язання вказаної задачі розглянуто взаємодія кузова і двох візків у поздовжній площині. На рис. 1–3 наведено розрахункові схеми основних елементів екіпажної частини електровоза, в якому передача тягового зусилля від візків на кузов здійснюється за допомогою похилих тяг.

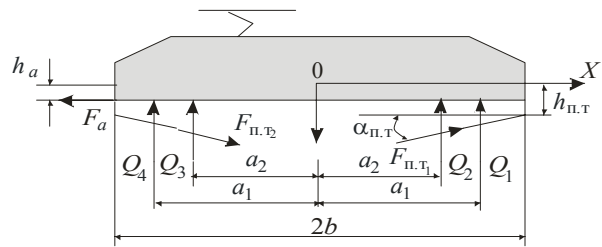


Рис. 1. Кузов електровоза

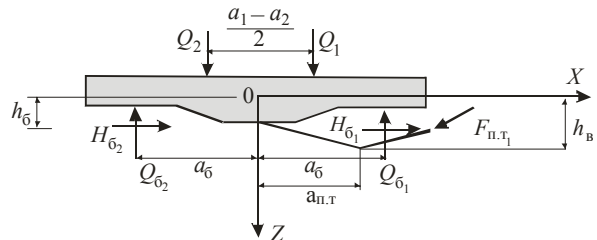


Рис. 2. Рама першого візка електровоза

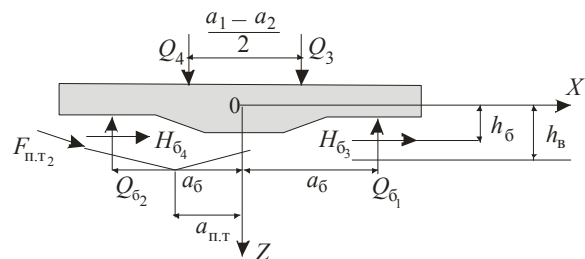


Рис. 3. Рама другого візка електровоза

Якщо припустити, що рух вказаної системи (електровоз зі складом вагонів поїзда) є стаціонарним, то для знаходження залежностей вертикальних зусиль, що виникають у буксових вузлах кріплення при різних кутах нахилу похилої тяги, значеннях сили тяги та значеннях жорстко-

стей буксових вузлів з'єднання, можна обмежитися розглядом умов статичної рівноваги.

Для аналізу поведінки вказаної системи було складено рівняння статичної рівноваги відповідно до розрахункових схем, вказаних на рис. 1–3.

Кузов електровоза

$$F_a = 2F_{п.т} \cos \alpha_{п.т},$$

$$Q_k = \sum_{i=1}^{i=4} Q_i, \quad (1)$$

$$2F_{п.т} (h_{п.т} \cos \alpha_{п.т} + b \sin \alpha_{п.т}) = (Q_4 - Q_1) a_1 + (Q_3 - Q_2) a_2.$$

Перший візок:

$$F_{п.т} = \frac{F_a}{2 \cos \alpha_{п.т}},$$

$$Q_1 + Q_2 - (Q_{\delta_1} + Q_{\delta_2}) + Q_B = F_{п.т} \sin \alpha_{п.т}, \quad (2)$$

$$(Q_{\delta_1} - Q_{\delta_2}) a_6 + (Q_2 - Q_1) \frac{(a_1 - a_2)}{2} = \frac{F_a}{2} (h_B + a_{п.т} \tan \alpha_{п.т} - h_6).$$

Другий візок:

$$F_{п.т} = \frac{F_a}{2 \cos \alpha_{п.т}},$$

$$Q_3 + Q_4 - (Q_{\delta_3} + Q_{\delta_4}) + Q_B = F_{п.т} \sin \alpha_{п.т}, \quad (3)$$

$$(Q_{\delta_3} - Q_{\delta_4}) a_6 + (Q_4 - Q_3) \frac{(a_1 - a_2)}{2} = \frac{F_a}{2} (h_B + a_{п.т} \tan \alpha_{п.т} - h_6).$$

Рівняння зв'язку між переміщеннями та зусиллями:

$$q_1 = Z_K - Z_{B_1} - \varphi_K a_1 + \varphi_{B_1} \frac{(a_1 - a_2)}{2},$$

$$q_2 = Z_K - Z_{B_1} - \varphi_K a_2 - \varphi_{B_1} \frac{(a_1 - a_2)}{2},$$

$$q_3 = Z_K - Z_{B_2} + \varphi_K a_2 + \varphi_{B_2} \frac{(a_1 - a_2)}{2},$$

$$q_4 = Z_K - Z_{B_2} + \varphi_K \cdot a_1 - \varphi_{B_2} \frac{(a_1 - a_2)}{2}.$$

$$q_{\delta_1} = Z_{B_1} - \varphi_{B_1} \cdot a_6,$$

$$q_{\delta_2} = Z_{B_1} + \varphi_{B_1} \cdot a_6, \quad (4)$$

$$q_{\delta_3} = Z_{B_2} - \varphi_{B_2} \cdot a_6,$$

$$q_{\delta_4} = Z_{B_2} + \varphi_{B_2} \cdot a_6.$$

$$Q_1 = k_0 \left[Z_K - Z_{B_1} - \varphi_K a_1 + \varphi_{B_1} \frac{(a_1 - a_2)}{2} \right],$$

$$Q_2 = k_0 \left[Z_K - Z_{B_1} - \varphi_K a_2 - \varphi_{B_1} \frac{(a_1 - a_2)}{2} \right],$$

$$Q_3 = k_0 \left[Z_K - Z_{B_2} + \varphi_K a_1 + \varphi_{B_1} \frac{(a_1 - a_2)}{2} \right],$$

$$Q_4 = k_0 \left[Z_K - Z_{B_2} + \varphi_K a_1 - \varphi_{B_2} \frac{(a_1 - a_2)}{2} \right].$$

$$Q_{\delta_1} = k_{\delta} (Z_{B_1} - \varphi_{B_1} a_6);$$

$$Q_{\delta_2} = k_{\delta} (Z_{B_1} + \varphi_{B_1} a_6),$$

$$Q_{\delta_3} = k_{\delta} (Z_{B_2} - \varphi_{B_2} a_6);$$

$$Q_{\delta_4} = k_{\delta} (Z_{B_2} + \varphi_{B_2} a_6).$$

Якщо розв'язати рівняння (1–3) з врахуванням співвідношень (4) відносно переміщень при сталому режимі руху, то в матричній формі для визначення переміщень, на підставі яких далі будуть визначатися зусилля, отримаємо таку систему рівнянь:

$$A \bar{Z} + \Delta_z = 0, \quad (5)$$

де

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} \end{bmatrix},$$

$$Z = \begin{bmatrix} Z_K \\ \varphi_K \\ Z_{B_1} \\ \varphi_{B_1} \\ Z_{B_2} \\ \varphi_{B_2} \end{bmatrix}, \quad \Delta_z = \begin{bmatrix} \Delta_{1z} \\ \Delta_{2z} \\ \Delta_{3z} \\ \Delta_{4z} \\ \Delta_{5z} \\ \Delta_{6z} \end{bmatrix}.$$

Значення елементів матриці A :

$$a_{11} = 4k_0, \quad a_{12} = 0, \quad a_{13} = -2k_0, \quad a_{14} = 0,$$

$$a_{15} = -2k_0, \quad a_{16} = 0, \quad a_{21} = 0, \quad a_{22} = 2k_0 (a_1^2 + a_2^2),$$

$$a_{23} = k_0 (a_1 + a_2), \quad a_{24} = -\frac{k_0 (a_1 - a_2)^2}{2},$$

$$a_{25} = -k_0 (a_1 + a_2), \quad a_{26} = -\frac{k_0 (a_1 - a_2)^2}{2},$$

Таблиця

$$\begin{aligned}
 a_{31} &= -4k_0, & a_{32} &= -2k_0(a_1 + a_2), & a_{34} &= 0, \\
 a_{35} &= 0, & a_{36} &= 0, & a_{41} &= 0, & a_{42} &= k_0(a_1 - a_2)^2, \\
 a_{43} &= 0, & a_{44} &= -\left[k_0(a_1 - a_2)^2 + 4k_6 a_6^2\right], & a_{45} &= 0, \\
 a_{46} &= 0, & a_{51} &= -4k_0, & a_{52} &= -2k_0(a_1 + a_2), & a_{53} &= 0, \\
 a_{54} &= 0, & a_{55} &= 4(k_0 + k_6), & a_{56} &= 0, & a_{61} &= 0, \\
 a_{62} &= k_0(a_1 - a_2)^2, & a_{63} &= 0, & a_{64} &= 0, \\
 a_{65} &= 0, & a_{66} &= -\left[k_0(a_1 - a_2)^2 + 4k_6 a_6^2\right].
 \end{aligned}$$

Значення правих частин:

$$\Delta_{1z} = Q_k, \quad \Delta_{2z} = F_a \cdot (h_0 + b \cdot \tan \alpha_{п.т}),$$

$$\Delta_{3z} = F_a \cdot \tan \alpha_{п.т} - Q_B,$$

$$\Delta_{4z} = F_a (h_B - h_6 + a_{п.т} \cdot \tan \alpha_{п.т}),$$

$$\Delta_{5z} = F_a \cdot \tan \alpha_{п.т} - Q_B,$$

$$\Delta_{6z} = F_a \cdot (h_B - h_6 + a_{п.т} \cdot \tan \alpha_{п.т}).$$

При проведенні чисельних розрахунків приймалося, що кут нахилу похилої тяги може змінюватися в межах $3.5^\circ \leq \alpha_{п.т} \leq 10^\circ$, жорсткісні характеристики буксових вузлів з'єднання у вертикальному напрямку та у вузлах спирання кузова на рами візків можуть відрізнятися від проектних значень на 20 %, а значення коефіцієнтів і параметрів системи рівнянь приймалися такими, як у роботі [3] (табл.).

Чисельні значення сил тяги також приймалися різними і відповідними тяговій характеристиці електровоза ДСЗ [3].

Параметр	Значення	Розмірність
a_1	5,480	м
a_2	2,750	м
a_6	1,350	м
$a_{п.т}$	1,450	м
b	7,380	м
h_a	0,950	м
h_B	0,500	м
h_6	0,130	м
h_0	1,365	м
k_0	1100,000	кН/м
k_6	1452,000	кН/м
Q_k	513,800	кН
Q_B	75,400	кН
$\alpha_{п.т}$	$\geq 3,5$ і ≤ 10	$^\circ$
F_a	≥ 0 і ≤ 300	кН

На рис. 4 наведено графічне зображення залежностей різниць вертикальних зусиль (ΔQ_6) у буксових вузлах першого візка при різних значеннях кутів нахилу похилої тяги ($\alpha_{п.т}$) та величин сили тяги F_a на різних швидкостях руху (у другому візку аналогічно).

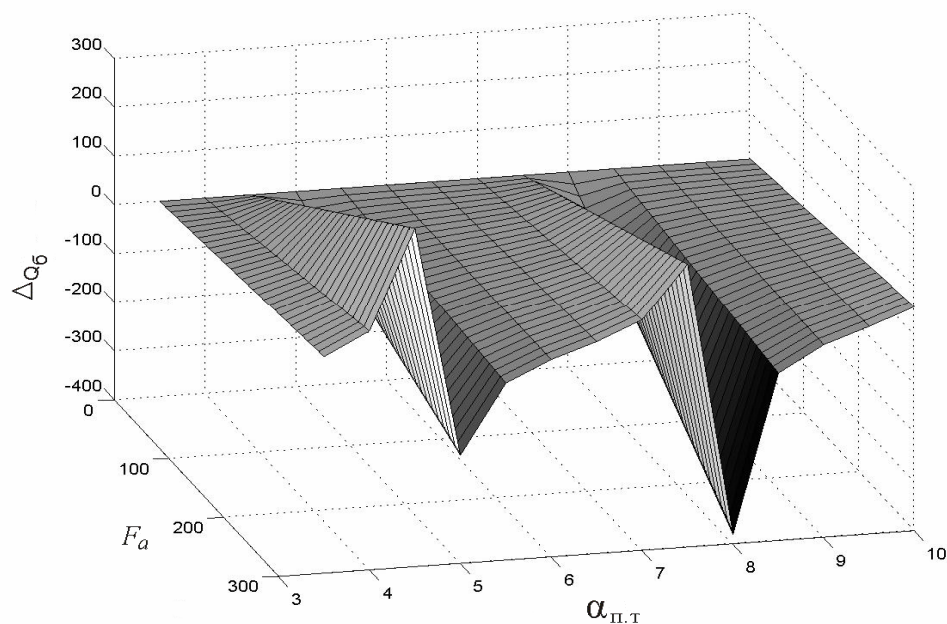


Рис. 4

З наведеного графіка виходить, що зміна величини сили тяги впливає тільки на абсолютні значення відповідних величин і не оказує впливу на ті значення кутів нахилу похилої тяги, при яких значення вертикальних зусиль у буксових вузлах будуть однаковими.

Проаналізуємо наведений графік детальніше з метою визначення кута нахилу похилої тяги,

при якому значення ΔQ_6 буде близьке до нуля. Для цього спроектуємо дану поверхню на площину $\Delta Q_6 = 0 F_a$ (рис. 5). Таким чином, кожна лінія на цій площині являє собою залежність ΔQ_6 від F_a при конкретному значенні кута нахилу $\alpha_{п.т.}$.

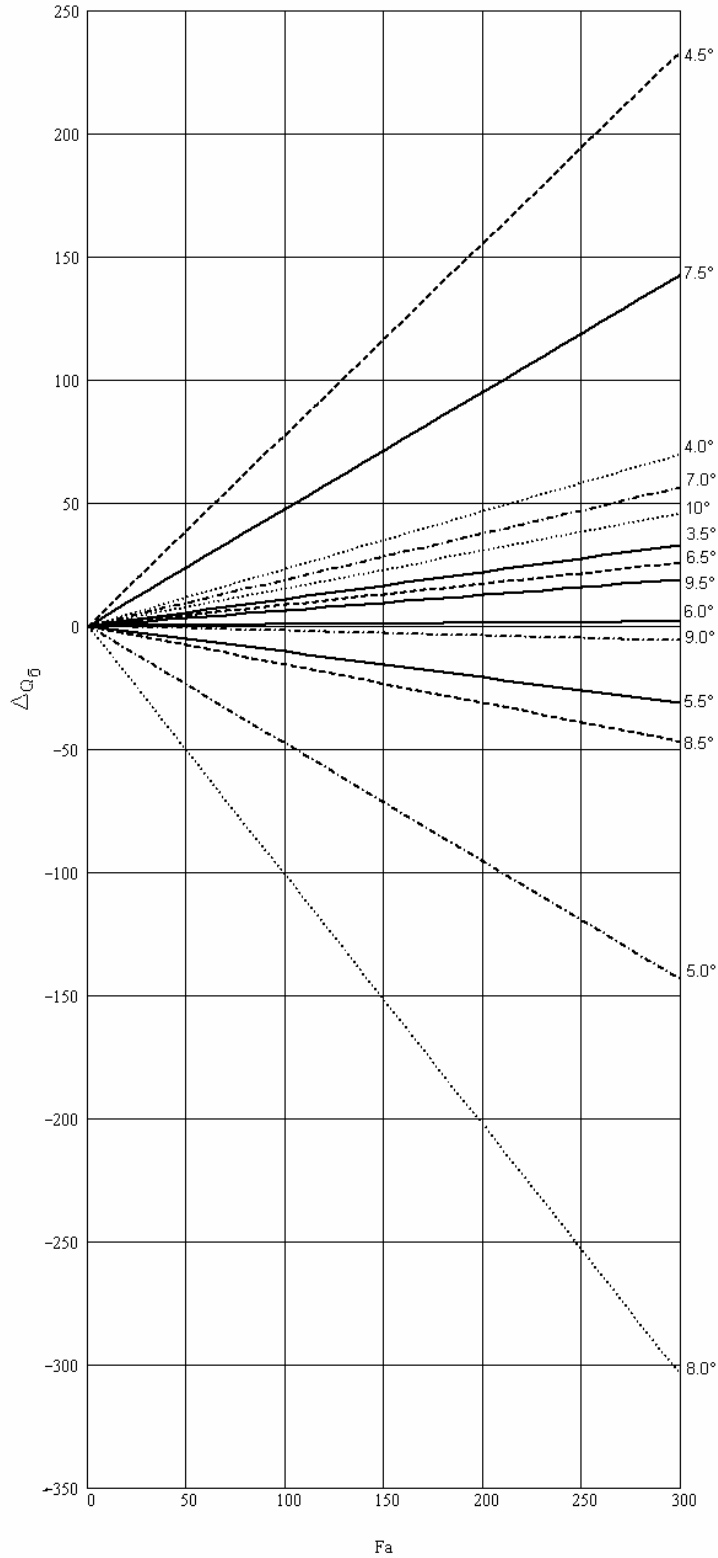


Рис. 5

Аналіз отриманих результатів показує, що для даного електровоза при тих величинах параметрів, які було наведено вище, кут нахилу похилої тяги $\alpha_{п.т}$, при якому різниця між значеннями вертикальних зусиль у буксових вузлах дорівнює нулю, є 6° .

Далі з'ясуємо, як вертикальні складові характеристик жорсткості вузлів спирання у першому (k_0) та у другому (k_6) ступенях підвішування електровоза ДСЗ впливають на величини вертикальних зусиль у буксових вузлах. Для цього побудуємо поверхню, яка буде зображувати залежність ΔQ_6 від k_0

і k_6 , що змінюються у межах від 1 до 20 % відносно номінальних величин (рис. 6). Зафіксуємо $\alpha_{п.т}$ і F_a та надамо їм значення 6° та 200 кН відповідно. Відмітимо, що при прийнятих $\alpha_{п.т}$ і F_a та номінальних значеннях k_0 і k_6 ΔQ_6 дорівнює 1,118 кН. З отриманого графіка видно, що мінімальне значення ΔQ_6 дорівнює 1,05 кН, що несуттєво відрізняється від значення, отриманого при номінальних величинах вертикальних характеристик жорсткостей вузлів спирання у першому та у другому ступенях підвішування.

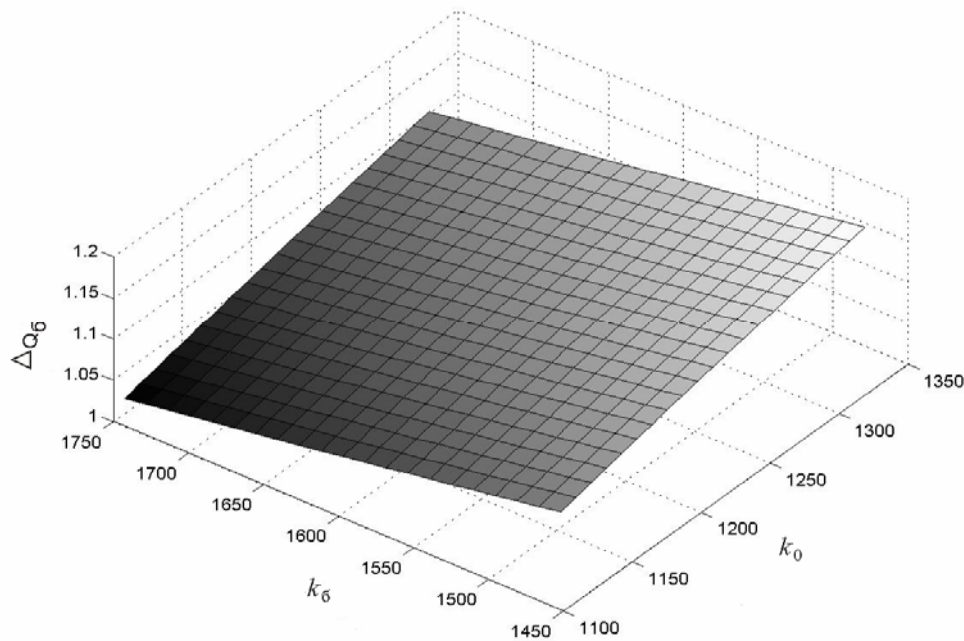


Рис. 6

У роботі [3] показано, що при зменшенні кута нахилу похилої тяги зменшуються і динамічні складові вертикальних зусиль у першому та другому ступенях підвішування при зрушеннях з місця електровоза з асинхронними тяговими двигунами у складі вантажного поїзда і, таким чином, виявляється меншим динамічне навантаження. В цьому випадку виявилось, що найкращі значення кута нахилу похилої тяги $\alpha_{п.т}$ – $3,5^\circ$ та 6° .

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Гордиенко П. И. Новое представление об образовании силы тяги и коэффициенте сцепления электроподвижного состава // Железные дороги мира. 1999. – № 4. – С. 37–40.
2. Некрасов О. А. О коэффициенте сцепления грузовых электровозов в области ослабления возбуждения тяговых двигателей // Вести. ВНИИЖТ. 1946. – № 2. – С. 21–24.
3. Бондарев О. М. Навантаженість вузлів електровоза з асинхронними тяговими двигунами // Залізничний транспорт України. 2003. – № 6. – С. 63–71.

Надійшла до редколегії 15.06.04.