

ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛ, ЯКІ ДІЮТЬ НА ВІЗОК ЗІ СТОРОНИ КУЗОВА СЕКЦІЇ ЛОКОМОТИВА

Кузишин Андрій Ярославович, аспірант

Україна, Дніпро, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, кафедра «Теоретична та будівельна механіка»,
Львів, Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз, ORCID 0000-0002-3012-5395

Abstract. Interaction of the track and rolling stock in the course of its operation is one of the most important problems of railway transport in Ukraine. The tasks solved in the study of the interaction the track and rolling stock contribute primarily to the solution of such an important issue as determining the conditions for the safe movement of trains.

In this article, a study was conducted of the forces acting on the bogie from the side of the body section of the locomotive, which arise as a result of mutual movements and oscillations. The system of equations was obtained using the principles of the Hermann-Euler-D'Alembert and the principles of freeing a solid from bonds.

When calculating the forces acting on the bogie from the body side of the locomotive section, the main attention was paid to the definition of: active forces, centrifugal inertia forces, moment of inertia forces from angular acceleration, transverse and vertical forces, which are transmitted to the body from the respective bogies.

Therefore, the determination of dynamic forces is an important task, since it makes it possible to determine the lateral forces between the wheel and the rail. This feature will allow in the future to proceed to the definition of conditions for the safe movement of trains both at the design stage and during operation.

Keywords: locomotive, oscillations, locomotive body, bogie, transverse forces, vertical forces, traffic safety.

Вступ.

Двохвісні візки серійних вітчизняних електровозів мають жорстку раму. Кузов секції електровоза опирається на раму візка через коліскове підвішування, а поздовжній зв'язок кузова з рамою візка здійснюється за допомогою кульової опори. Саме завдяки цьому забезпечується можливість реалізації малих переміщень рами візка відносно кузова в площині, яка паралельна площині рейкової колії.

Колісні пари візка з'єднані з рамою пружними шарнірно-повідковими зв'язками, які дозволяють поздовжнім осям колісних пар здійснювати незалежні один від одного малі поступальні переміщення та повороти відносно рами візка в площині, яка паралельна площині рейкової колії.

Відомо, що при вписуванні локомотива в кругову криву малого радіусу з постійною швидкістю кожен візок на перших метра ділянки встановлюється у фіксоване положення відносно рейкової колії. При цьому гребінь передньої колісної пари візка притиснутий до зовнішньої рейки, поздовжня вісь візка відхилена від хордового положення на цілком визначений кут λ , кути відхилення поздовжніх осей колісних пар від їхнього номінального положення в рамі візка мають цілком конкретні значення δ_1 і δ_2 . При продовженні руху візка по круговій кривій зміни величин вищезазначених кутів не відбувається, при цьому зберігається і притиснення гребня колісної пари до зовнішньої рейки.

Отже, для визначення кутів λ , δ_1 , δ_2 та сили притиснення гребня колеса до головки рейки необхідно спочатку дослідити сили які діють на візок зі сторони кузова секції локомотива.

Названі сили є реакціями зв'язків між візком та кузовом та визначаються з рівнянь кінетостатики для кузова. Вважається, що в точці перетину вертикальної осі коліскової підвіски з верхньою площиною рами візка розташований віртуальний кульовий зв'язок. Саме через цей зв'язок від візка до кузова передаються вертикальні і горизонтальні поперечні сили, а також моменти пар сил коліскової підвіски (рис. 1, 2) (Бочаров, Кодинцев, А.И., & др., 1991).

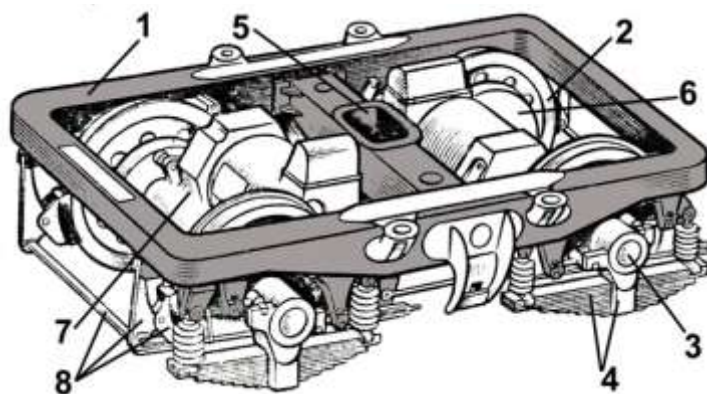


Рис. 1. Візок електровоза ВЛ10:

1 – рама; 2 – колісні пари; 3 – букси; 4 – ресорне підвішування; 5 – вузол кульової опори; 6 – тягова передача; 7 – тягові двигуни; 8 – гальмівне обладнання

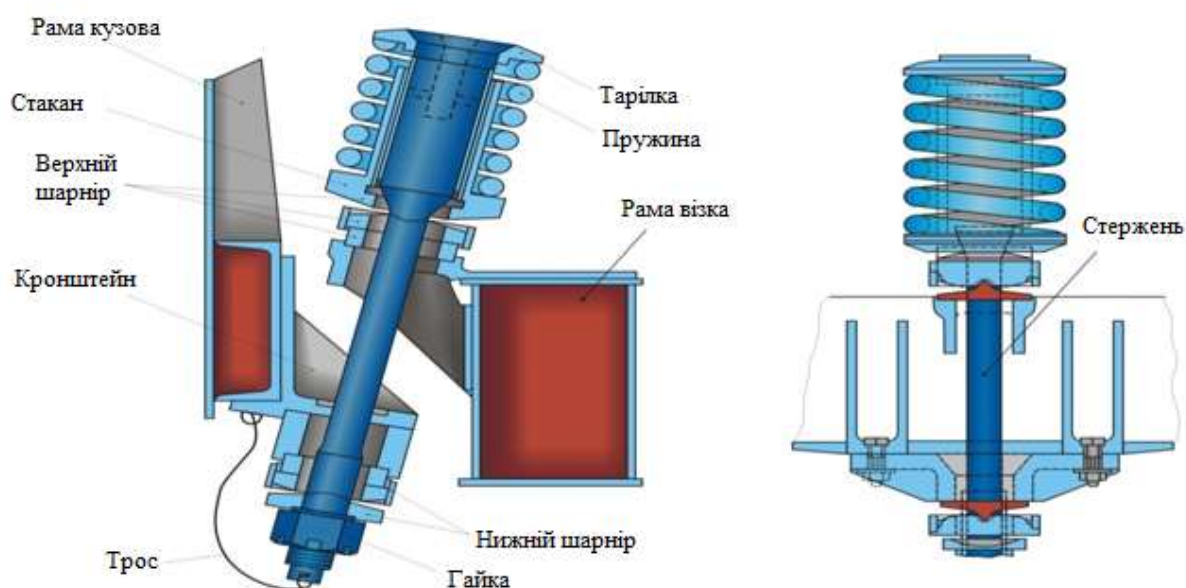


Рис. 2. Коліскове підвішування

При складанні рівнянь кінетостатики для кузова передбачалося, що локомотив розташований в голові складу і складається з j секцій. Дві рейкові нитки під кожною секцією розташовані в одній площині, яка утворює з горизонтальною площиною кути χ і α , що характеризують відповідно подовжні і поперечні ухили ділянки рейкової колії під секцією локомотива.

Виклад основного матеріалу.

Під час розрахунку сил, які діють на візок зі сторони кузова секції локомотива основна увага приділялась визначенню: активних сил, відцентрових сили інерції, моменту сил інерції від кутового прискорення, поперечних та вертикальних сил, які передаються на кузов від відповідних візків, моментів пар сил відносно осей x , z_1 , z_2 .

Активними силами, які діють на кузов секції, являються сила ваги кузова P_k і сила тяги секції Q . Сила Q – розрахункова сила тяги, яка реалізується однією секцією локомотива, однакова для усіх секцій і вводиться в розрахунок на підставі паспортних даних локомотива.

Активні сили і сили інерції, які діють на кузов секції, показані на розрахункових схемах (рис. 3–5), що запозичені з (Доронин, 2009).

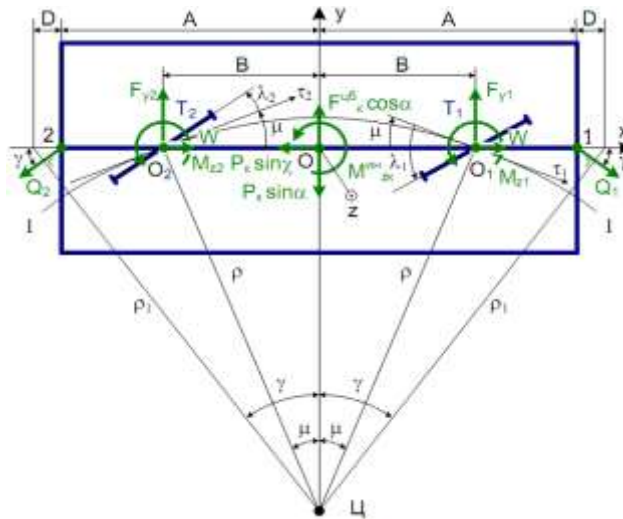

 Рис. 3. Проекції сил на площину xy

 Рис. 4. Проекції сил на площину xz

 Рис. 5. Проекції сил на площину yz

На розрахункових схемах (рис. 3–5) індекс 1 відповідає першому візку, а індекс 2 – другому візку.

Реакціями в'язей є наступні сили і моменти:

M_{x1}, M_{x2} – моменти пар сил відносно осі x , що передаються на кузов від відповідних візків, в розрахунках прийнято $M_{x1} = M_{x2} = M_x$;

W – сила тяги одного візку, яка прийнята однакова для всіх візків секції локомотива;

F_{y1}, F_{y2} – поперечні сили, що передаються на кузов від відповідних візків;

F_{z1}, F_{z2} – вертикальні сили, що передаються на кузов від відповідних візків;

M_{z1}, M_{z2} – моменти пар сил відносно осей Z_1 і Z_2 , діючих на кузов від відповідних візків.

Для знаходження аналітичних виразів, за допомогою яких визначаються вертикальні та горизонтальні навантаження на раму візка, потрібно скористатися принципом Германа-Ейлера-Даламбера і принципом звільнення твердого тіла від в'язей (Сокол, 2007). При цьому коліскове

підвищування необхідно замінити віртуальною кульовою опорою, зберігаючи всі його характеристики.

Згідно цих принципів рух кожного тіла механічної системи формально приводиться до стану рівноваги (до задачі статки). Для цього кожне тіло механічної системи звільняється від зв'язків, а їх дія замінюється реакціями. Потім до тіла прикладаються всі діючі на нього зовнішні сили і сили інерції. Після цього складаються рівняння рівноваги статки, вирішення яких і дозволить визначити невідомі реакції.

Шість рівнянь кінетостатки для кузова мають вигляд:

$$\sum F_x = 0; \quad Q_1 - Q_2 + 2W - P_k \chi = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_y = 0; \quad F_{y1} + F_{y2} + \Delta_k - (Q_1 + Q_2) \gamma = 0 \quad (2)$$

$$\sum F_z = 0; \quad F_{z1} + F_{z2} - P_k - F_k^{\text{пб}} \alpha = 0 \quad (3)$$

$$\sum M_x = 0; \quad -2M_x + (Q_1 + Q_2) \gamma h_a - \Delta_k h = 0 \quad (4)$$

$$\sum M_y = 0; \quad -(F_{z1} - F_{z2}) B + (Q_1 - Q_2) h_a - P_k \chi h - 2W h_5 = 0 \quad (5)$$

$$\sum M_z = 0; \quad M_{z1} + M_{z2} - (Q_1 - Q_2) \gamma A + (F_{y1} - F_{y2}) B + M_{zk}^{\text{пб}} = 0 \quad (6)$$

Отримані результати.

У результаті розв'язку системи рівнянь (1–6) були отримані наступні результати:

$$W = \frac{1}{2} (Q + P_k \chi) \quad (7)$$

$$M_x = \frac{1}{2} [Q \gamma (2j - 1) h_a - \Delta_k h] \quad (8)$$

$$F_{z1} = \frac{1}{2} \left[-Q \frac{h_a}{B} + P_k \left(1 - \frac{h}{B} \chi \right) + (F_k^{\text{пб}}) \alpha \right] \quad (9)$$

$$F_{z2} = \frac{1}{2} \left[Q \frac{h_a}{B} + P_k \left(1 + \frac{h}{B} \chi \right) + (F_k^{\text{пб}}) \alpha \right] \quad (10)$$

$$F_{y1} = \frac{Q}{2} \left[\gamma \left(2j - 1 - \frac{A}{B} \right) - e \frac{h_a}{B^2} \mu \right] - \frac{M_k^{\text{пб}}}{2B} - \frac{e P_k}{2B} \lambda_1 - \frac{\Delta_k}{2} \quad (11)$$

$$F_{y2} = \frac{Q}{2} \left[\gamma \left(2j - 1 + \frac{A}{B} \right) + e \frac{h_a}{B^2} \mu \right] + \frac{M_k^{\text{пб}}}{2B} + \frac{e P_k}{2B} \lambda_1 - \frac{\Delta_k}{2} \quad (12)$$

Висновки. Дослідження системи рівнянь за формулами (1–6) дасть можливість в подальшому дослідити рух локомотива в кривій ділянці колії та перейти до визначення сили притиснення гребня колеса колісної пари до головки рейки.

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. Бочаров, В. И., Козинцев, И., А.И., К., & др., и. (1991). *Магистральные электровозы: Общие характеристики. Механическая часть* (Машиностроение вид.). Москва.
2. Доронин, С. В. (2009). *Движение многосекционных локомотивов в кривых малого радиуса*. Хабаровск: Издательство ДВГУПС.
3. Сокол, Э. Н. (2007). *Крушения железнодорожных поездов (Судебная экспертиза. Элементы теории и практики)*. Киев: Феникс.