

СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ СИЛ ВЗАЄМОДІЇ КОЛІЇ ТА РУХОМОГО СКЛАДУ В ЗОНІ СТІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ

Наводиться розрахункова методика визначення сил взаємодії колії та рухомого складу, описуються особливості її застосування, розрахункові схеми. Розглядаються проблеми, які виникають при розрахунках сил взаємодії колії та рухомого складу в зоні стрілочного перевалу і шляхи їх вирішення.

Приводиться расчетная методика определения сил взаимодействия пути и подвижного состава, описываются особенности ее использования, расчетные схемы. Рассматриваются проблемы, возникающие при расчетах сил взаимодействия пути и подвижного состава в зоне стрелочного перевода и пути их решения.

The calculation technique of definition of forces of a track and rolling stock interaction is shown, the features of its use, calculation schemes are described. The problems arising at calculations of forces of a way and a rolling stock interaction in a turnout zone and a ways of their resolving are considered.

Не дивлячись на розвиток існуючих наукових технологій до нинішнього часу не розроблено практичного інженерного методу розрахунку стрілочних перевалів на міцність. Це пояснюється складністю конструкції стрілочного перевалу та складністю і недосконалістю розрахункових методик, які використовуються для розрахунків стрілочних перевалів. Як відомо, основою для міцнісних розрахунків стрілочних перевалів є розрахунок вертикальних динамічних сил взаємодії, від величини яких і залежатиме подальший підбір міцності. Нижче описуються відповідні розрахункові схеми і наводиться методика розрахунку вертикальних сил взаємодії системи екіпаж-стрілочний перевід.

В даний час існує велика кількість розрахункових схем для теоретичного дослідження динамічних сил взаємодії колії та рухомого складу, але використання тієї чи іншої схеми потребує відповідного обґрунтування. Найбільш точними розрахунковими схемами є такі, що детально моделюють взаємодію колії та рухомого складу в просторі та враховують велику кількість ступенів свободи системи. Але надмірна деталізація розрахункової схеми потребує великої кількості вихідних даних, при підборі яких часто виникають проблеми зі знаходженням тієї чи іншої розрахункової величини. Крім того при великій кількості вихідних даних підвищується ймовірність внесення в розрахунок помилкових даних, що може призвести до значних помилок в кінцевому результаті та звести на нівець усі старання підвищити точність обчислень за рахунок уточнення розрахункової схеми. Тому розрахункова схема повинна бути підібрана таким чином, щоб при найбільш простому вигляді вона давала результат з достатньою для практичних цілей точністю.

Порівняльними дослідженнями [1; 2] доведено, що в багатьох випадках складні багаторівневі системи з великою кількістю ступенів свободи можуть бути значно спрощені при вирішенні конкретних задач без значних втрат точності розрахунків. Таку схему було запропоновано д. т. н., проф. Е. І. Даніленком [3]:

– спочатку розглядається плоска задача дії екіпажу на рейкову нитку, де схема представлена у вигляді n -вісного візка, зв'язаного через раму та кузов з другим візком (рис. 1, *a*). В якості збуджуючого чинника в розрахунковій схемі є нерівності на колії (стрілочному перевалі) та колесах;

– далі розглядається та вирішується друга плоска задача дії екіпажу на обидві рейкові нитки з урахуванням взаємного впливу нерівностей на обох рейкових нитках чи колесах (рис. 1, *b*).

Запропонована розрахункова схема достатньо повно описує коливальний процес механічної системи екіпаж-колія в площині, направлений вздовж осі колії та в площині, перпендикулярній осі колії. При цьому фактично виключається ймовірність помилок, пов'язаних з неврахуванням впливу сусідніх осей або неврахуванням впливу силових чинників, які виникають на сусідній рейковій нитці та передаються на розрахункову нитку. Точність розв'язку даної задачі за даною методикою залежить лише від правильності вибору вихідних даних. На основі описаної розрахункової схеми і базується методика розрахунку сил взаємодії системи екіпаж-стрілочний перевід.

Ціль розрахунку сил взаємодії полягає в тому, щоб по відомій (заданій) нерівності та по відомим механічним характеристикам конструкції колії (стрілочного перевалу) і рухомого

складу розрахувати сили взаємодії, які виникають при проході нерівності.

Диференційні рівняння коливального процесу описаної механічної системи в площині рейки (хрестовини) (рис.1, а) згідно з принципом д'Аламбера мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned} m_1 Z_1'' + P_1 + P_2 &= 0 \\ I_1 Z_2'' + P_2 l_1 + P_1 l_1 &= 0 \\ m_2 Z_3'' - P_1 + P_3 + P_4 &= 0 \\ m_3 Z_4'' - P_2 + P_5 &= 0 \\ I_2 Z_5'' - P_3 l_2 + P_4 l_2 &= 0 \\ m_4 Z_6'' - P_3 + P_6 + \delta_{6-7} P_7 &= 0 \\ m_5 Z_7'' - P_4 + P_7 + \delta_{7-6} P_6 &= 0 \\ m_6 Z_8'' - P_5 + P_8 &= 0 \\ m_7 Z_9'' - P_6 - \delta_{6-7} P_7 + P_9 &= 0 \\ m_8 Z_{10}'' - P_7 - \delta_{7-6} P_6 + P_{10} &= 0 \\ m_9 Z_{11}'' - P_8 + P_{11} &= 0 \end{aligned} \right\} (1)$$

Сили взаємодії та інерції P_i , які входять в систему диференціальних рівнянь (1), визначаються з наступних залежностей:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= c_1(Z_1 - Z_3 - l_1 Z_2) + k_1(Z'_1 - Z'_3 - l_1 Z'_2) \\ P_2 &= c_1(Z_1 - Z_4 + l_1 Z_2) + k_1(Z'_1 - Z'_4 - l_1 Z'_2) \\ P_3 &= c_2(Z_3 - Z_6 - l_2 Z_5 - \varphi_1(Vt)) + k_2(Z'_3 - \\ &\quad - Z'_4 - l_2 Z'_5 - \varphi'_1(Vt)) \\ P_4 &= c_2(Z_3 - Z_7 + l_2 Z_5 - \varphi_2(Vt)) + k_2(Z'_3 - \\ &\quad - Z'_7 - l_2 Z'_5 - \varphi'_2(Vt)) \\ P_5 &= c_3(Z_4 - Z_8 - \varphi_3(Vt)) + k_3(Z'_3 - Z'_8 - \\ &\quad - \varphi'_3(Vt)) \\ P_6 &= c_4(Z_6 - Z_9) + k_4(Z'_6 - Z'_9) \\ P_7 &= c_4(Z_7 - Z_{10}) + k_4(Z'_7 - Z'_{10}) \\ P_8 &= c_5(Z_8 - Z_{11}) + k_5(Z'_8 - Z'_{11}) \\ P_9 &= c_6 Z_9 + k_6 Z'_9 \\ P_{10} &= c_6 Z_{10} + k_6 Z'_{10} \\ P_{11} &= c_7 Z_{11} + k_7 Z'_{11} \end{aligned} \right\} (3)$$

Аналогічно записуються рівняння коливального процесу системи в площині, перпендикулярній осі колії (рис. 1, б):

$$\left. \begin{aligned} m_1 Z''_{12} + P_{12} + P_{13} &= 0 \\ I_3 Z''_{13} + P_{12} b - P_{13} b &= 0 \\ m_{10} Z''_{14} - P_{12} - P_{13} + P_{14} + P_{15} &= 0 \\ I_4 Z''_{15} - P_{12} b + P_{13} b + P_{14} S_1 - P_{15} S_1 &= 0 \\ m_{11} Z''_{16} - P_{14} + P_{16} &= 0 \\ m_{12} Z''_{17} - P_{15} + P_{17} &= 0 \\ m_{13} Z''_{18} - P_{16} + (P_{18} + \delta_{18-19} P_{19}) &= 0 \\ m_{14} Z''_{19} - P_{17} + (P_{19} + \delta_{19-18} P_{18}) &= 0 \end{aligned} \right\} (3)$$

Значення P_i , які входять до системи (3) визначаються за наступними формулами:

$$\left. \begin{aligned} P_{12} &= c_8(Z_{12} - Z_{14} + bZ_{13} - bZ_{15}) + \\ &\quad + k_8(Z'_{12} - Z'_{14} + bZ'_{13} - bZ'_{15}) \\ P_{13} &= c_8(Z_{12} - Z_{14} - bZ_{13} + bZ_{15}) + \\ &\quad + k_8(Z'_{12} - Z'_{14} - bZ'_{13} + bZ'_{15}) \\ P_{14} &= c_9(Z_{14} - Z_{16} - \varphi_{XP} + S_1 Z_{15}) + \\ &\quad + k_9(Z'_{14} - Z'_{16} - \varphi'_P + S_1 Z'_{15}) \\ P_{15} &= c_1(Z_{14} - Z_{17} - \varphi_{XP} - S_1 Z_{15}) + \\ &\quad + k_{10}(Z'_{14} - Z'_{17} - \varphi'_P - S_1 Z'_{15}) \\ P_{16} &= c_{11}(Z_{16} - Z_{18}) + k_{11}(Z'_{16} - Z'_{18}) \\ P_{17} &= c_{12}(Z_{17} - Z_{19}) + k_{12}(Z'_{17} - Z'_{19}) \\ P_{18} &= c_{13} Z_{18} - k_{13} Z'_{18} \\ P_{19} &= c_{14} Z_{19} + k_{14} Z'_{19} \end{aligned} \right\} (4)$$

В наведених рівняннях (1–4) прийняті наступні буквені позначки: m_1 – маса половини кузова; $m_2 = m_3$ – маса половини візка; $m_4 = m_5$ – приведена маса хрестовини, віднесена до одного колеса; m_6 – подвоєна приведена маса хрестовини, віднесена до двох коліс 2-го візка; $m_7 = m_8$ – приведена маса основи стрілочного переводу, віднесена до одного колеса; m_9 – подвоєна приведена маса основи, віднесена до двох коліс 2-го візка; Z_i, Z'_i, Z''_i – вертикальні переміщення мас, їх перші та другі похідні; c_i та k_i – відповідно жорсткості пружних зв'язків та коефіцієнти в'язкого тертя дисипативних зв'язків між елементами механічної системи; $\delta_{6-7} = \delta_{7-6}$ – ординати лінії впливу переміщення під силою P_6 від сили P_7 і навпаки; $\eta_1(Vt)$, $\eta_2(Vt)$, $\eta_3(Vt)$ – функції нерівностей під першим та другим колесами і під серединою 2-го візка в залежності від пройденого шляху;

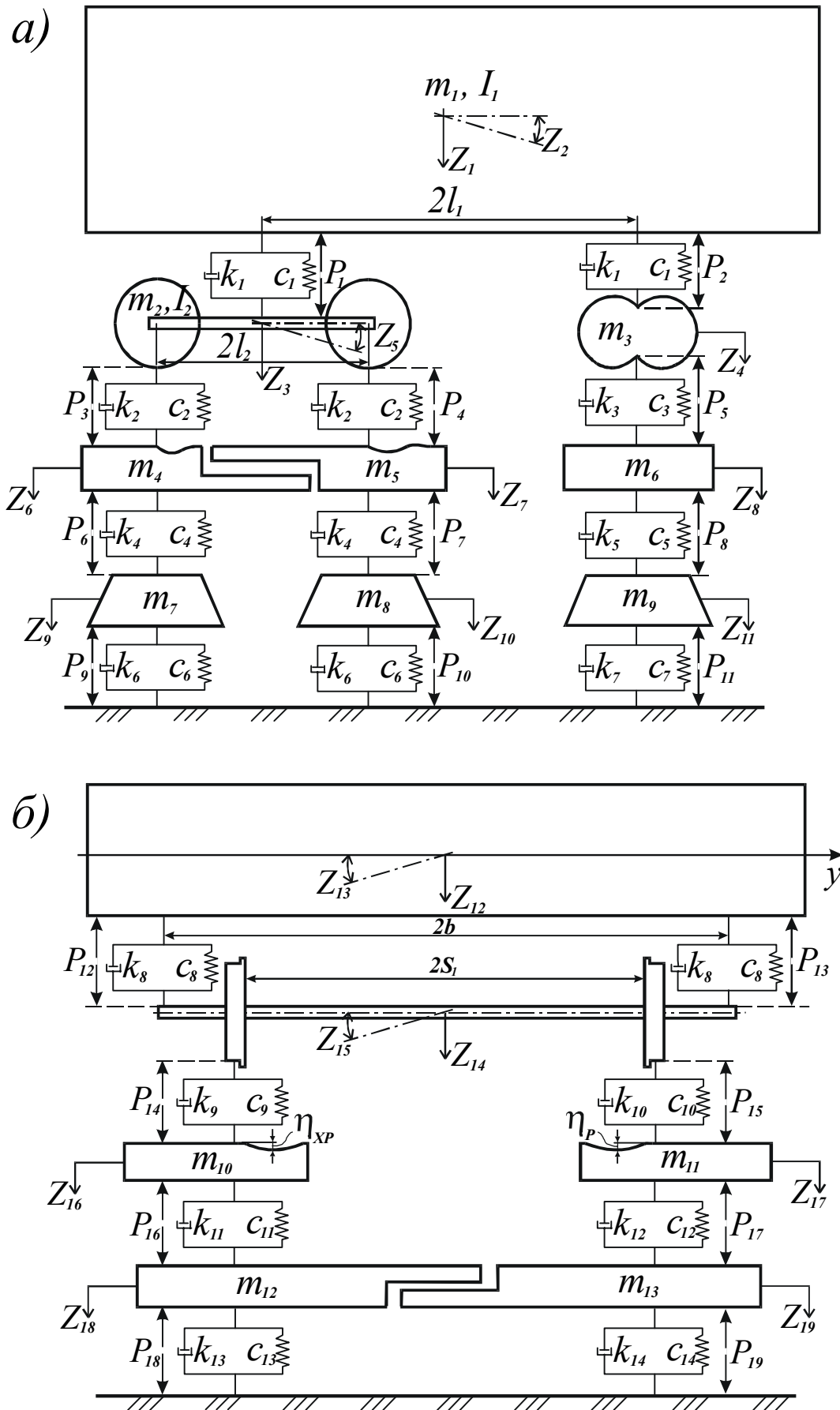


Рис. 1. Розрахункова схема взаємодії колії та рухомого складу:
 а – в повздовжній площині; б – в поперечній площині

I_1 – момент інерції кузова відносно осі, перпендикулярної повздовжній площині симетрії вагона; I_2 – момент інерції візка відносно осі, перпендикулярної повздовжній площині симетрії вагона; I_3 – момент інерції кузова відносно осі, перпендикулярної поперечній площині симетрії вагона; I_4 – момент інерції візка відносно осі, перпендикулярної поперечній площині симетрії вагона; $2l_1$ – відстань між точками опираючого кузова на візки; $2l_2$ – відстань між осями коліс у візку; $2b$ – відстань між точками прикладання навантажень до шийок осі колісної пари; $2S_1$ – відстань між кругами кочення колісної пари.

Для розв'язку наведених систем диференціальних рівнянь використовуються персональні комп'ютери, для чого на алгоритмічних мовах програмування складаються відповідні програми. Зокрема в ДПТі [4] задача розв'язання системи (1) була доведена до розрахункового алгоритму та комп'ютерної програми для розрахунку, а описана вище методика реалізується авторами в КУЕТТ. Для розв'язання систем диференціальних рівнянь з використанням персонального комп'ютера, як правило, застосовуються чисельні методи і одним з найбільш популярних та зручних в програмуванні є метод Рунге-Кутта 4-го порядку, який дає змогу досягати необхідної точності інтегрування диференціальних рівнянь.

Але задача визначення сил взаємодії в зоні стрілочного переводу потребує не лише правильного вибору розрахункової схеми, а й урахування цілого ряду розрахункових даних, залежних від конструкції стрілочного переводу, цілі розрахунку та інших чинників. Так при розрахунках сил взаємодії колії та рухомого складу в зоні стрілочного переводу неодмінно виникає потреба у знаходженні пружнодинамічних параметрів, величина яких суттєво впливає на кінцевий результат. Тому безпосередньому розрахунку сил взаємодії має передувати вибір або визначення пружнодинамічних параметрів

стрілочного переводу [5]. Для визначення пружнодинамічних параметрів використовується розрахунково-теоретичний метод, розроблений д. т. н., проф. Е. І. Даніленком [3], який достатньо зручно реалізовувати в комп'ютерному вигляді. В цілому блок для визначення пружнодинамічних параметрів включає розрахунок модуля пружності підстрілочної основи, жорсткості рейкових ниток, приведених мас колії в зоні стрілочного переводу.

Таким чином визначення сил взаємодії колії та рухомого складу в зоні стрілочного переводу являється складною комплексною задачею, процес розв'язання якої включає послідовність виконання розрахункових етапів визначення пружнодинамічних параметрів, приведених мас стрілочного переводу, параметрів нерівності та ін., а на заключній стадії виконується безпосередній розрахунок сил взаємодії. При використанні наведеної розрахункової методики отримується результат з достатнім рівнем точності, який можна використовувати як при аналізі роботи чи проектуванні елементів стрілочних переводів, так і при аналізі роботи або проектуванні елементів рухомого складу.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Амелин С. В., Яковлев В. Ф., Семенов И. И. О расчете на прочность элементов стрелочных переводов. – Тр. ЛИИЖТ, вып. 222. – Л., 1964.
2. Орловский А. Н., Клименко В. Н. Обоснование выбора расчетной схемы для исследования взаимодействия колеса и пути в зоне неровностей. – Тр. ДИИТ, вып. 57. – Д., 1965.
3. Даниленко Э. И. Теоретические основы и практические методы расчета прочности и износостойкости пересечений и соединений рельсовых путей промышленного транспорта: Дис. д. т. н. / ПИИЖТ. СПб., 1992.
4. Исследование взаимодействия пути и подвижного состава / Межвуз. сб. научн. тр. – Д., 1997.
5. Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту. – К.: КУЕТТ, 2003.