



Ходос О.Г.

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»

УДК 622. 625.28

## ДИНАМІКА ШАХТНОГО ЛОКОМОТИВУ ЗІ СКЛАДЕНИМИ ПРУЖНИМИ КОЛЕСАМИ

*Приведены исследования влияния упругодиссипативных свойств упругого элемента на динамические параметры, характеризующие устойчивость шахтного локомотива при применении составных упругих колес.*

*Research of influencing of resilient properties of resilient element of component wheel on dynamic parameters which characterize stability of mine locomotive with resilient wheels*

При русі шахтного локомотива по рейковому шляху в ходовій частині виникають нестабільні динамічні процеси, які впливають на надійність роботи. Одним з основних показників надійності роботи шахтного локомотива при русі по рейковому шляху є стійкість руху. Найбільш несприятливим режимом взаємодії рухомого складу та колії, що впливає на стійкість руху, є рух по криволінійним ділянкам рейкового шляху. Тому при проектуванні і модернізації рухомого складу та локомотивів значна роль приділяється методам дослідження криволінійного руху.

Дослідженню динамічних процесів у шахтних локомотивах для суцільнокатаних коліс присвячені роботи таких вчених, як С.М. Куценко, В.В. Говоруха [1,2].

У роботах Б.А. Кузнєцова [3] розглядаються задачі по визначенню запасу стійкості проти сходу з рейок при вході в криву для суцільнокатаних коліс.

Застосування пружних елементів у складових [4] колесах дозволить збільшити стійкість і зменшити ймовірність сходу з рейок.

У статті розглядається математична модель просторових коливань шахтного локомотива, що враховує жорсткісні та в'язкісні властивості пружних гумових елементів, установлених у складеному колесі.

Основне завдання дослідження динаміки системи «шахтний локомотив - рейковий шлях», полягає у дослідженні впливу конструктивних недосконалостей елементів транспортного засобу й рейкового шляху на кількісні і якісні тягово-гальмівні характеристики, кінематичні й динамічні показники вихідних ланок локомотиву. Динаміка руху шахтного локомотива може бути описана системою нелінійних дифе-

ренціальних рівнянь. Рішення системи диференціальних рівнянь, що описують пружні коливання локомотиву, дозволять установити вплив геометричних і жорсткісних параметрів ходової частини на динамічні характеристики та стійкість при русі по рейковому шляху з недосконаlostями на прямолінійних і криволінійних ділянках шляху.

Прогнозування кінематичних та динамічних характеристик, конструктивних рішень елементів ходової частини можна здійснити на основі даних теоретичних досліджень математичних моделей, як багатомасових систем із зосередженими параметрами й характеристиками фрикційної пари колесо-рейка. Ступінь деталізації розрахункової схеми динамічної моделі локомотива визначається цілями досліджень, необхідною точністю результатів і повинна відображати особливості розглянутої конструкції, з огляду на всі умови, що впливають на точність розв'язуваного завдання.

У зв'язку з особливостями структури транспортних засобів динамічну модель шахтного локомотива зручно представити у вигляді окремих підсистем, зв'язаних між собою пружно-дисипативними зв'язками. Підсистему можна розглядати як одне чи кілька зв'язаних тіл, або як пружне тіло чи систему пружних тіл, які відносяться або до кузова, або до ходової частини локомотива, або до колісної пари, або до рейкового шляху. Цей методологічний прийом дозволяє розглядати шахтний локомотив як механічну систему, що складається з довільного числа елементів, які характеризуються певними динамічними та кінематичними параметрами, що виконують задані технологічні і функціональні операції. Кожний елемент механічної системи може брати участь у поздовжньому, попе-



речному та вертикальному переміщенні уздовж осі руху локомотива, а також в обертovому русі.

Залежно від фізичних властивостей і призначення розглянутий елемент може бути охарактеризований масою (наведеною масою), моментом інерції (наведеним моментом інерції), коефіцієнтами твердості та в'язкості пружно-дисипативних зв'язків відповідних вузлів.

Динамічна модель локомотива складена на базі механічної системи серійно шахтного локомотива, що випускається, АМ8Д і складається з наступних основних елементів: кузова, колісних пар і ободів коліс.

Істотного спрощення динамічної моделі можна домогтися, використовуючи властивості симетрії. Рейковий транспортний засіб, як правило, має одну або дві площини симетрії. Крім того, симетрією звичайно володіють ходові частини локомотива. Це дозволяє в ряді випадків істотно спростити обсяг обчислень, тому що замість однієї системи рівнянь високого порядку можна вирішувати трохи не зв'язаних між собою систем рівнянь нижчого порядку.

Шахтний локомотив являє собою механічну систему, що складається з наступних основних елементів: кузова (мал. 1), двох колісно-моторних блоків і чотирьох ободів, ці елементи з'єднані між собою пружно-дисипативними зв'язками у вертикальному, позадвжньому й поперечному напрямках. На малюнку показані рухливі системи координат, сполучені із центрами мас тел. Переміщення уздовж осі шляху (посмикування) позначені через  $x$ , поперек осі шляху (бічне віднесення) -  $y$ , а перпендикулярно рейковому полотну (підсакування) -  $z$ . Кутові переміщення позначені в такий спосіб: щодо осі  $z$  (вильяння) -  $\psi$ , щодо осі  $x$  (бічна хитавиця) -  $\theta$ , щодо осі  $y$  (галоупування) -  $\phi$ .

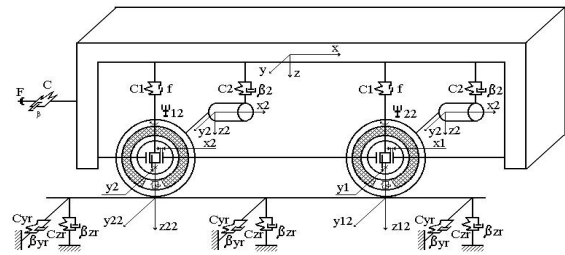
Позитивні значення лінійних переміщень прийняті уздовж вісі, якщо дивитися з боку позитивного напрямку.

Рейковий шлях передбачається пружно-в'язким інерційним у вертикальному і горизонтальному поперечних напрямках. Тому враховуються віджаття рейкових ниток, а також швидкості цих переміщень у точках контакту коліс із рейками.

Переміщення кузова надалі позначені індексом  $k$ , колісно-моторних блоків - індексом  $i$  ( $i=1,2$ ), обода  $i$ -ої колісної пари індексом  $n$  ( $n=1,2$ ). Віджаття рейок у точках контакту з колесами позначені відповідно через  $u_{rik}$  і  $z_{rik}$  ( $k = 1 - \text{ліва}, k = 2 \text{ права по ходу руху}$ ).

Поступальні переміщення  $x, y, z$  описують відповідно посмикування, бічне віднесення і підсакування, а кути повороту  $\psi, \phi, \theta$  - вильяння, галоупування і бічну хитавицю.

Переміщення елементів ходової частини локомотива мають аналогічні позначення індек-



**Рис. 1. Розрахункова схема шахтного локомотива АМ8Д зі складеними пружними колесами**

сами  $i=1,2$  для колісних пар,  $in$  - для  $n$ -го обода  $i$ -ї тої колісної пари. Ці індекси прийняті також для позначення інерційних характеристик твердих тіл, що входять у систему (мас, моментів інерції).

Рівняння, що описують просторові коливання шахтного локомотива з суцільнокатаними колесами наведені в роботах [1,2].

Рівняння просторових коливань обода складеного пружного колеса шахтного локомотива будуть мати вигляд:

$$(m_{in} + 2 \cdot m_r) z_{in}'' - k_z \sum_{n=1}^2 \partial z_{in} + k_{zr} \sum_{n=1}^2 \partial z_{rin} + \beta_{zr} \sum_{n=1}^2 \partial z_{rin}' = 0;$$

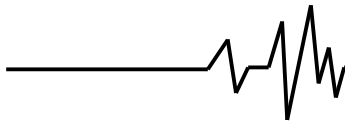
$$m_{in} (y_{in}'' + W - g \cdot \theta_h) - k_y \sum_{n=1}^2 \partial y_{in} = \sum_{n=1}^2 (Y_{inr} + W_{inr});$$

$$I_{zin} (\psi_{in}'' + W) + b \cdot k_y \sum_{n=1}^2 (-1)^n \partial y_{in} = d (X_{i1} - X_{i2});$$

$$(I_{xin} + m_r \cdot d_1) \theta_{in}'' - b \cdot k_z \sum_{n=1}^2 (-1)^n \partial z_{in} + d \cdot k_{zr} \sum_{n=1}^2 (-1)^n \partial z_{rin} -$$

$$- d \cdot \beta_{zr} \sum_{n=1}^2 (-1)^n \partial z_{rin} = 0;$$

де  $m_{in}$  - маса обода колеса, кг;  $m_r$  - наведена маса рейки, кг;  $I_{xin}, I_{zin}$  - головні центральні моменти інерції обода колеса локомотива, кг·м<sup>2</sup>;  $b$  - відстань у поперечному напрямку між осями ресорних комплектів, м;  $d_1$  - відстань між середніми кругами катання коліс, м;  $g$  - прискорення вільного падіння, м·с<sup>-2</sup>; твердість пружних елементів колісних комплектів ходової частини, Н·м<sup>-1</sup>;  $k_y$  - у поперечному напрямку;  $k_z$  - у вертикальному напрямку;  $k_{zr}$  - вертикальна твердість рейкового шляху, Н·м<sup>-1</sup>;  $\beta_{zr}$  - коефіцієнти в'язкого опору рейкового шляху, Н·з·м<sup>-1</sup>;  $\theta_h$  - кут підйому поверхні шляху; переміщення колісної пари локомотива (лінійні) ( $i = 1,2$ ):  $z_i$  - підсакування; переміщення обода колеса шахтного локомотива (лінійні) ( $i = 1,2; n = 1,2$ ):  $y_{in}$  - бічне віднесення,  $z_{in}$  - підсакування; переміщення обода колеса шахтного локомотива (кутові) ( $i = 1,2; n = 1,2$ ):  $\psi_{in}$  - вильяння,  $\theta_{in}$  - бічна хитавиця;



складові сил псевдоковзання ( $i = 1,2; n=1,2$ ):  $X_{in}$  - у поздовжньому напрямку,  $Y_{in}$  - у поперечному напрямку; складові реакцій рейкових шляхів прикладених до коліс у місці їх контакту з рейками ( $i = 1,2; n=1,2$ ):  $W_{in}$  - у поперечному напрямку.

Інтегрування системи диференціальних рівнянь (1) виконували методом Рунге - Куты за допомогою пакета прикладних програм «МАТЕМАТИКА 3.0». У процесі інтегрування системи рівнянь просторових коливань обоє складеного пружного колеса шахтного локомотива також визначалися динамічні параметри, що характеризують стійкість і взаємодію коліс шахтного локомотива з рейками, а саме коефіцієнт запасу стійкості колеса проти сходу з рейок  $K_C$ .

$$K_C = \frac{m_k (tg(\Delta y) - k_f) / 1 + k_f \cdot tg(\Delta y)}{(y_{in} \cdot k_y)}$$

де  $m_k$  - маса кузова локомотива, кг;  $k_y$  - твердість пружних елементів колісних комплектів ходової частини в поперечному напрямку, Н·м<sup>-1</sup>;  $k_f$  - коефіцієнт сухого тертя;  $y_{in}$  - переміщення обоє колеса шахтного локомотива (лінійні) - бічне віднесення.

Розроблена математична модель просторових коливань шахтного локомотива враховує особливості конструкції системи підвищення і ходової частини, дозволяє встановити вплив геометричних і жорсткісних параметрів цих систем на динамічні характеристики та стійкість при русі по рейковому шляху з недоскональностями на прямолінійних і криволінійних ділянках.

Аналіз результатів рішення системи диференціальних рівнянь (мал. 2-3) описує рух шахтного локомотива, виконаний для локомотива зі складеними пружними колесами та із суцільнокатаними колесами.

Чисельний експеримент показав, що коефіцієнт запасу стійкості проти сходу з рейок шахтного локомотива досягає максимального значення при значеннях радіальної твердості пружного елемента -  $7 \cdot 10^6$  Н/м та здвигової твердості -  $2,25 \cdot 10^6$  Н/м.

Коефіцієнт запасу стійкості проти сходу з рейок шахтного локомотива зі складеними колесами збільшується на 10% на малих радіусах при зниженні швидкості руху й збільшується в середньому на 15% у порівнянні із суцільнокатаними колесами.

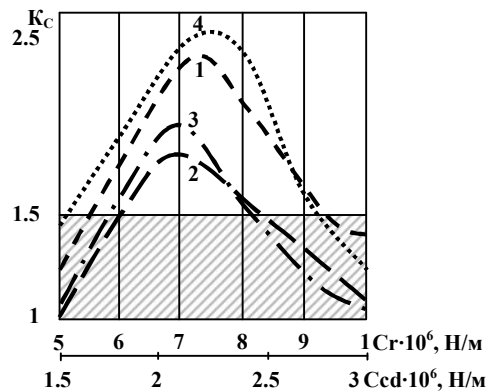


Рис.2. Залежність коефіцієнта запасу стійкості проти сходу з рейок шахтного локомотива від радіальної (1,2) і здвигової (3,4) твердості пружного елемента при максимальній (2,3) та мінімальній (1,4) швидкості руху

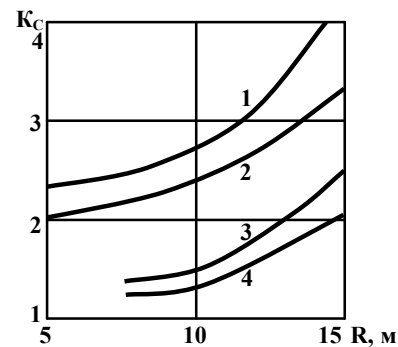


Рис.3. Залежність коефіцієнта стійкості проти сходу з рейок (4 - суцільнокатаного колеса, 1,2,3 - складеного пружного колеса) від радіуса кривизни рейкового шляху при швидкості руху: 1 -1 м/с; 2 -2 м/с; 3 -4 м/с

#### Література

1. Говоруха В.В. Физико-технические основы создания элементов рельсового транспорта шахт и карьеров. - К.: Наук. думка. - 1992.-200с.
2. Динамика установившегося движения локомотивов в кривых / Под ред. С.М. Куценко. - Харків: Вища школа.-1975.-132с.
3. Кузнецов Б.А. Устойчивость вагонетки при входе в кривую // Вопросы рудничного транспорта. - М.: Горгостехиздат.-1962.-Вып.6.-С.178-185.
4. Патент України №36613А Составное упругое колесо // Сердюк А.А., Ходос О.Г., Нагорная В.Г.