

УДК 343.148: 625.032.52: 629.4.015: 629.4.017

А. В. БАТІГ – старший науковий співробітник Львівського НДІ судових експертиз,
batigasha1992@gmail.com

А. Я. КУЗИШИН – судовий експерт Львівського НДІ судових експертиз,
kuzyshyn1993@gmail.com

ПРОБЛЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ РУХОМОГО СКЛАДУ В РЕЙКОВІЙ КОЛІЇ

Мета

Метою дослідження є систематизація праць вітчизняних та закордонних вчених, які присвячені питанню оцінки безпеки від сходу коліс з рейок. Розглянути та проаналізувати аналітичні умови вкочування гребеня колеса на головку рейки при проведенні судових залізнично-транспортних експертиз.

Наукова новизна

Вперше була проведена систематизація праць вітчизняних та закордонних вчених, які присвячені питанню оцінки безпеки від сходу колеса з рейки з урахуванням задач, які виникають при проведенні судових залізнично-транспортних експертиз.

Практична значимість

Систематизація праць вітчизняних та закордонних вчених щодо оцінки стійкості рухомого складу дозволить більш точно оцінити важливість всіх методів та підходів, виявити їх недоліки і переваги, дозволить зробити рекомендації щодо удосконалення методу оцінки стійкості рейкових екіпажів на залізницях України. Правильне визначення оцінки безпеки від сходу колеса з рейки дозволить вирішити одну з найважливіших проблем на залізничному транспорті, а саме – забезпечення безпеки руху рейкових екіпажів, як на етапі проектування, так і в процесі їх експлуатації.

Результати

Проаналізовані праці вітчизняних та закордонних вчених, які присвячені питанню оцінки безпеки від сходу коліс з рейок.

Було запропоновано при визначенні оцінки безпеки від сходу колеса з рейки враховувати аналітичні умови вкочування гребеня колеса на головку рейки, які були запропоновані д.т.н. Соколом Е. М. при проведенні судових залізнично-транспортних експертиз.

Вступ

Здатність залізничного транспорту забезпечувати захист життя пасажирів, збереження вантажів і довкілля в процесі його експлуатації в цілому визначає його розвиток і досягнення ним провідних позицій на ринку перевезень. Найважливішою проблемою на залізничному транспорті є забезпечення безпеки руху рейкових екіпажів, як на етапі проектування, так і в процесі їх експлуатації. При цьому запобігання аваріям і сходам являється першочерговим завданням. Слід зазначити, що рівень безпечної експлуатації рухомого складу на залізницях визначається, в головній мірі, наявністю запасу стійкості рейкового екіпажу. Тому вивченню питання про схід рейкових екіпажів із залізничної колії надається велике значення в багатьох експериментальних і теоретичних дослідженнях.

Виклад основного матеріалу

В 1882 році інженер Поше вивів формулу, яка визначала співвідношення між боковим тиском гребеня колеса і навантаженням його на рейку, при якому можливий його схід. Пізніше Мар'є [18] зазначив, що це співвідношення в подальшому послужило поштовхом для побудови теорії сходу колеса з рейок.

Понад сто років тому, в 1908 році, М. Надалем [32] був запропонований спосіб визначення співвідношення діючих на колесо сил, при якому схід колеса з рейки не відбувається.

Вихідним положенням колеса при цьому вважається таке, при якому його поверхня кочення піднялась над головкою рейки, і колесо контактує з рейкою тільки в точці, яка розташована на конічній частині гребеня. Прийнято, що схід колеса з рейки не відбудеться, якщо співвідношення прикладених до колеса сил – горизонтальної поперечної

Y і вертикальної Q (при дії максимальної сили сухого тертя $T = \mu N$) буде таким, що гребінь відносно рейки буде ковзати вниз (рис. 1).

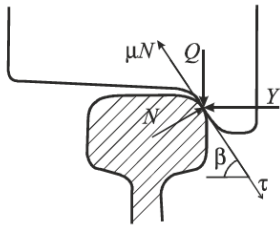


Рис. 1. Сили, що діють в точці контакту при ковзанні гребеня вниз відносно головки рейки

Зазначена вище умова виражається наступною нерівністю:

$$Q \sin \beta > Y \cos \beta + \mu (Q \cos \beta + Y \sin \beta), \quad (1)$$

або

$$q_{\tau} = Q \sin \beta - Y \cos \beta > \mu (Q \cos \beta + Y \sin \beta). \quad (2)$$

де μ – коефіцієнт тертя; N – нормальна реакція рейки в точці контакту; β – кут нахилу твірної гребеня до горизонталі.

Із формули (1) або (2) випливає, що:

$$\frac{Y}{Q} < \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu \cdot tg\beta}. \quad (3)$$

Нерівність (3) визначає область значень відношення Y/Q , при яких не відбувається вкочування гребеня колеса на головку рейки.

У задачі Надаля розглядається окремо взяте колесо і не береться до уваги, що в процесі сходу колісна пара котиться по рейках, а не просто видавлюється із колії. Також передбачається, що всі діючі на колесо сили проходять через одну точку, хоча в дійсності це не так. Тому врахування сил взаємодії другого (ненабігаючого) колеса з рейкою призводить до модифікації умови сходу колеса з рейки.

У своїй роботі [18] Мар'є зазначає, що при додатному куті набігання α необхідно ввести поправку, прийнявши до уваги коефіцієнт тертя ковзання для ненабігаючого колеса і рейки.

При цьому формула (3) прийме наступний вигляд:

$$\frac{Y}{Q} < \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu \cdot tg\beta} - \frac{Q'}{Q} \cdot \mu'. \quad (4)$$

де Q' – навантаження на рейку від ненабігаючого колеса; μ' – відповідний коефіцієнт тертя ковзання.

Випадки сходу при від'ємному куті набігання відбуваються частіше з колесами другої колісної пари візка, особливо під час руху у кривих ділянках колії. Умову сходу колеса з рейки в цьому випадку можна отримати, помінявши у виразі (4) знаки μ і μ' .

Слід зазначити, що коли кут набігання дорівнює нулю, то нерівність (4) приймає вигляд:

$$\frac{Y}{Q} < tg\beta. \quad (5)$$

Однак дана формула виведена без урахування обертання колеса і тертя реборди об головку рейки, а тому сила тертя повністю використана на переміщення колеса по лінії ковзання [20].

В роботі [9] автор пропонує звернути увагу на те, що сили Y , Q і Q' діють не в точках дотику коліс з рейками, як вважав Мар'є при виведенні своєї формули, а прикладені на буртик шийки осі (сила Y) і на шийки осі розглянутої колісної пари (сили

Q і Q'). У зв'язку з цим автор рекомендує використовувати схему, яка на його думку, враховує дію всіх сил, що впливають на умову сходу колеса з рейки (рис. 2).

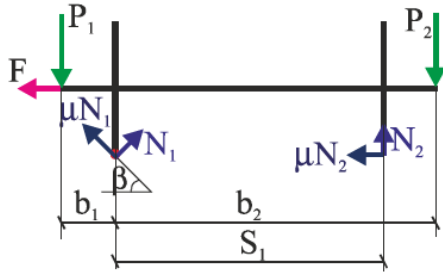


Рис. 2. Схема сил прикладених до колісної пари

У даній роботі автор своєю новою формулою показує, що «критичне», або «максимально допустиме» значення відношення поперечної сили до вертикального навантаження, що припадає на шийку осі колісної пари з боку колеса, яке вкочується є величиною змінною, яка залежить від відношення вертикальних навантажень, що припадають на шийки осі колісних пар.

$$\frac{F}{P_1} \leq \frac{P_2}{P_1} \cdot k_1 - k_2, \quad (6)$$

де

$$k_1 = \frac{b_2 \cdot [\mu + \operatorname{tg}(\beta - \varphi)] - S_1 \cdot \operatorname{tg}(\beta - \varphi)}{(R + r) \cdot [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu] - S_1},$$

$$k_2 = \frac{b_1 \cdot [\mu + \operatorname{tg}(\beta - \varphi)] - S_1 \cdot \operatorname{tg}(\beta - \varphi)}{(R + r) \cdot [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu] - S_1}.$$

Подальший розвиток теорії безпеки від сходу колеса з рейки був наведений у таких роботах, як [2, 3, 4, 7, 19]. Слід зазначити, що в цих роботах, в основному, розглядався стан граничної рівноваги колісної пари.

У роботах, виконаних під керівництвом професора М. Ф. Вериги [2, 3, 4, 5] був запропонований метод оцінки стійкості руху проти сходу колеса з рейок за уточненою формулою, яка визначає критичну величину відношення горизонтальної рамної сили і вертикальної сили при даному розподілі

вертикальних навантажень на осі однієї і тієї ж колісної пари. Наведена в цих роботах уточнена умова знайшла широке застосування в експериментальних роботах по визначенню гранично допустимих швидкостей руху нових і модернізованих одиниць рухомого складу.

$$\frac{Y_p}{P_1} \leq \frac{P_2}{P_1} \cdot k_1 - k_2 + k_3 \cdot \frac{K}{P_1}, \quad (7)$$

де

$$k_1 = \frac{\mu b_2 - (S_1 - b_2) \cdot \operatorname{tg}(\beta - \varphi)}{(R + r) \cdot [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu] - S_1},$$

$$k_2 = \frac{\mu b_1 + (S_1 + b_1) \cdot \operatorname{tg}(\beta - \varphi)}{(R + r) \cdot [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu] - S_1},$$

$$k_3 = S_1 \times$$

$$\times \frac{\left\{ \frac{I_2}{K} \cdot \mu - \frac{I_1}{K} \cdot \operatorname{tg}(\beta - \varphi) + [\mu - 2 \operatorname{tg}(\beta - \varphi)] \right\}}{(R + r) \cdot [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu] - S_1}.$$

де Y_p – рамна сила; P_1, P_2 – сили, що діють на колісні пари від надресорної будови екіпажу; K – половина ваги колісної пари; I_1, I_2 – вертикальні сили інерції колісної пари (рис. 3).

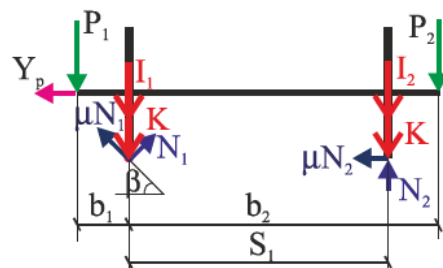


Рис. 3. Схема сил прикладених до колісної пари

Слід зауважити, що це відношення залежить не тільки від μ і β , як в роботі [9], але й ще від величини відношень P_2/P_1 , I_2/I_1 , I_1/P_1 і K/P_1 . Найбільш небезпечним, як відмічають автори являється випадок коли відношення P_2/P_1 є максимальним.

В роботі [30] вирішення задачі проведено з використанням рівнянь статички. При цьому передбачається, що в разі втрати рівноваги колісна пара буде переміщатися тільки в напрямку, перпендикулярному осі колії. Рух же вздовж осі не розглядається; отже, не враховуються і сили тертя ковзання, що виникають в цьому напрямку. Крім того, складові сил тертя ковзання, що виникають в поздовжньому і перпендикулярному до осі колії напрямках, визначені в найзагальнішому вигляді і не можуть бути використані для практичного застосування.

В роботі [3] при вирішенні задачі були отримані аналітичні вирази необхідної і достатньої умови вкочування гребеня колеса на головку рейки. Аналітичний вираз необхідної умови було знайдено із нерівності, що констатує втрату рівноваги колісної пари, яка перебуває під дією зовнішніх навантажень.

Аналітичний вираз достатньої умови було отримано шляхом вирішення неоднорідного диференціального рівняння, що описує траєкторію руху точки взаємодії поверхонь кочення гребеня і рейки в процесі вкочування.

Проблемі сходу колеса з рейки присвячена робота В. Ф. Кондратьова [14], в якій пропонується вихідну систему сил, що діють на колісну пару, привести до більш простої, еквівалентної системи. Для цього достатньо привести систему заданих сил до центру ваги колісної пари і розглянути головний вектор і головний момент цих сил. В даній роботі автор розрізняє колісні пари за режимом руху та досліджує вплив цього фактора на процес сходу.

В роботах [24, 25] для оцінки небезпеки сходу рухомого складу шляхом вкочування колеса на головку рейки пропонується використовувати комбінований критерій. В даній роботі замість коефіцієнта тертя пропонується використовувати відношення поперечної складової сили крипа до нормальної реакції в точці контакту.

Також в роботі [29] автори вводять поняття «оцінювальна функція» і «нормува-

льний коефіцієнт». В даній роботі пропонується способи оцінки нормувальних коефіцієнтів:

$$\mu_y = \frac{F_{cy}}{N}, \quad (8)$$

де F_{cy} – поперечна складова сили крипа; N – нормальна реакція в точці контакту колеса з рейкою.

У той же час, у задачі Надаля замість μ_y використовується коефіцієнт тертя μ в гребеновому контакті колеса з рейкою.

В роботі [1] формулюється енергетичне трактування вкочування колеса на головку рейки. На думку авторів, це можливо тоді, коли кінетична енергія руху, яка припадає на колісну пару, перевершує ту роботу сил, що виникають в контакті поверхонь гребеня і колеса, яку вони здійснюють при підйомі на висоту гребеня. На думку авторів, запропонована схема оцінки запасу стійкості враховує вплив основних факторів, що спричиняють виникнення аварійного стану.

В роботі [15] автори розробили уточнений метод, де на кожному кроці інтегрування в процесі комп'ютерного моделювання руху рухомого складу відбувається процедура порівняльної оцінки значень трьох коефіцієнтів запасу стійкості, що розраховуються за формулою Мар'є $k_{уст_Мар'є}$ по тиску в плямі контакту $k_{уст_т}$ і по енергетичному співвідношенню $k_{уст_ен}$. Після цього вибирається мінімальне значення коефіцієнта стійкості, фіксується його значення і виводиться на графік в якості підсумкового значення у вигляді комбінованого коефіцієнта.

В роботі [13] пропонується метод оцінки достатньої умови стійкості колеса на рейці з урахуванням ймовірного характеру сил, що діють в точці контакті, а також кута набігання колеса на рейку.

Представлена у даній роботі оцінка є достатньою, але не необхідною умовою стійкості колеса на рейці, при виконанні

якої ймовірність стійкості буде заздалегідь забезпечуватися.

Автор роботи [27] зазначає, що існує декілька критеріїв оцінки стійкості рухомого складу проти сходу колеса з рейок: по зрушенню рейко-шпальної решітки, по вкочуванню гребеня колеса на головку рейки, по опрокидуванню екіпажу, по руйнуванню рейко-шпальної решітки та по руйнуванню рейкової колії.

Практика показує, що зрушення рейко-шпальної решітки не відбувається, якщо відношення рамної сили, що діє на колісну пару екіпажу, до вертикального навантаження на колесо менше 0,4 [26]. При цьому автор пропонує для практичних цілей створити узагальнений критерій стійкості рухомого складу проти сходу колеса з рейок, що відображає допустимий рівень динамічної взаємодії між колесом і рейкою.

В роботі [8] авторами обговорюються деякі логічні суперечності, які стосуються критеріїв вкочування колеса на головку рейки.

Вони вважають, що при логічному підході значення Y/Q мають визначатися з фактичних геометричних умов сходу колеса з рейки, встановлених в результаті вирішення трьохвимірної нелінійної задачі кочення колеса по рейці. Наприклад, можна вважати, що граничним являється стан системи, коли контакт між гребенем і рейкою відбувається в крайній точці прямолінійної ділянки профілю гребеня колеса.

При цьому задаючи певний коефіцієнт запасу, перейти до визначення відповідного співвідношення Y/Q .

Численні дослідження щодо проблем безпеки руху були проведені науководослідним інститутом залізничного транспорту японських національних залізниць при створенні рухомого складу для нової лінії Токайдо. Серед численних випробувань особлива увага приділялася питанням сходу вагона з рейок.

У статті [10] викладено детальний звіт про результати, отримані в ході теоретич-

них і експериментальних досліджень. Під критерієм безпеки руху прийнято вважати відношення бокового тиску до статичного навантаження. Гранично допустима величина такого відношення залежить від процесу сходу. Так, при підстрибуванні колеса відношення зазначених сил пропорційно часу дії бокового тиску, а при вкочуванні колеса на головку рейки граничним прийнято відношення сил, яке дорівнює 0,8.

Такий же критерій знайшов місце в роботі [33].

В роботі [31] порівнюються північноамериканський, британський і європейський підходи щодо оцінки безпеки руху. Автори приходять до висновку, що британські та європейські критерії містять граничні значення сил, які передаються від екіпажу на колію. Північноамериканський підхід не обмежує максимальні сили, що діють на колію, а обмежує статичні навантаження.

У Британському підході є обмеження і на вертикальні, і на горизонтальні сили, а в європейському – тільки на горизонтальні поперечні.

В роботі [34] автор пропонує розглядати відношення горизонтальної поперечної сили до вертикальної для двох коліс колісної пари, одне з яких набігає на головку рейки. Критерій Вейнстока, на відміну від критерію Надаля являється менш чутливим до значення коефіцієнта тертя ковзання. Особливо це помітно при його високих значеннях (0,3 ... 0,7), що дуже важливо при проведенні аналізу ходових випробувань, де визначення величини μ являється складним завданням.

В чинній нормативній літературі [17-23] при оцінці сходу колеса з рейки пропонується використовувати «коефіцієнт запасу стійкості проти вкочування колеса на головку рейки». При цьому вважається, що у випадку, коли значення цього коефіцієнта менше одиниці, колісна пара може зійти з рейок. Однак при виведенні цього критерію не враховувалися багато факторів, в тому числі і такі як кут набігання колісної пари і тривалість дії сил.

У роботах [6, 12, 16] на основі детальної математичної моделі взаємодії колісної пари з рейковою колією були надані уточнені уявлення про процес сходження колісної пари, але з використанням її спрощеної моделі.

Слід відмітити, що в роботі [11] для визначення умови безпеки від сходження колісної пари з рейки автор пропонує розглядати не схід одного окремо взятого колеса, а колісної пари в цілому, причому приймати її як тверде тіло. При цьому необхідно розглянути можливий рух колісної пари при ковзанні в вертикальній поперечній площині гребеня колеса, яке набігає на головку рейки (рис. 4).

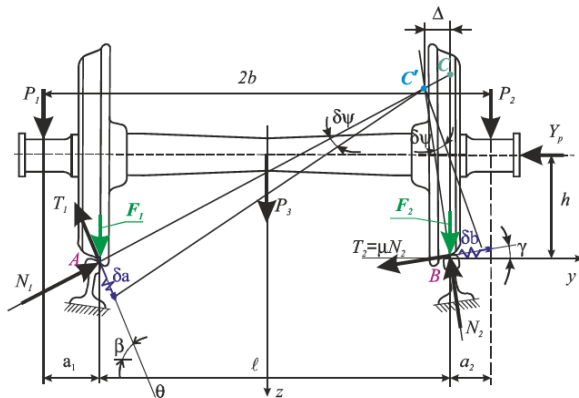


Рис. 4. Схема колісної пари і прикладені навантаження

де P_1, P_2 – динамічні вертикальні навантаження, що діють на шийки осі колісної пари; P_3 – вага не обресореної частини колісної пари; Y_p – горизонтальна поперечна – рамна сила, яка діє на колісну пару зі сторони рами візка; N_1, N_2 і T_1, T_2 – відповідно реакції рейок і сили тертя, які передаються від рейок на колеса колісної пари; μ – коефіцієнт тертя; h – висота від рівня головки рейки, на якій прикладена рамна сила; β – кут нахилу твірної конуса гребеня бандажа до горизонталі.

При виборі розрахункової схеми було введено уточнення, яке пов'язане з тим, що реакція ненабігаючого колеса не є вертикальною через нахил поверхні кочення колеса.

Таким чином умова безпеки від сходження колісної пари приймає наступний вигляд:

$$\frac{Y_p}{F_1} < k_1 - k_2 \cdot \frac{F_2}{F_1} - k_3 \cdot \frac{\sum P_i}{F_1}, \quad (9)$$

де

$$k_1 = \left(\lambda_1 + \frac{\Delta}{l} (tg\beta - \lambda_1) \right) / \left(1 - \frac{h}{l} \left(\lambda_1 + \frac{\mu}{k_\gamma} \right) - \frac{\Delta}{l} \left(tg\beta + \frac{\mu}{k_\beta} tg\beta \frac{h}{l} - \frac{\mu}{k_\gamma} \cdot \frac{h}{l} \right) \right),$$

$$k_2 = \frac{\mu}{k_\gamma} ctg\beta \left(1 - \frac{\Delta}{l} \right) / \left(1 - \frac{h}{l} \left(\lambda_1 + \frac{\mu}{k_\gamma} \right) - \frac{\Delta}{l} \left(tg\beta + \frac{\mu}{k_\beta} tg\beta \frac{h}{l} - \frac{\mu}{k_\gamma} \cdot \frac{h}{l} \right) \right)$$

$$k_3 = \frac{\Delta}{l} / \left(1 - \frac{h}{l} \left(\lambda_1 + \frac{\mu}{k_\gamma} \right) - \frac{\Delta}{l} \left(tg\beta + \frac{\mu}{k_\beta} tg\beta \frac{h}{l} - \frac{\mu}{k_\gamma} \cdot \frac{h}{l} \right) \right)$$

$$\lambda_1 = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu \cdot tg\beta},$$

$$\Delta = l \frac{\cos\beta \cdot \sin\gamma}{\sin(\beta + \gamma)},$$

$$k_\beta = \sin\beta \cdot (\cos\beta + \mu \cdot \sin\beta),$$

$$k_\gamma = \cos\gamma - \mu \cdot \sin\gamma.$$

В даній роботі була отримана оцінка впливу нахилу поверхні кочення колеса, яке не набігає на головку рейки. При цьому точність результату показала, що найбільша похибка склала 6,2%. Тому у розрахунках можна прийняти, що $\Delta = 0$.

На основі цього припущення умова безпеки від сходження колісної пари з рейки прийме наступний вигляд:

$$\frac{Y_p}{F_1} < k_1 - k_2 \cdot \frac{F_2}{F_1}, \quad (10)$$

де

$$k_1 = \frac{\lambda_1}{1 - \frac{h}{l}(\lambda_1 + \mu)},$$

$$k_2 = \frac{\mu \cdot ctg\beta}{1 - \frac{h}{l}(\lambda_1 + \mu)},$$

$$\lambda_1 = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu \cdot tg\beta}.$$

Також в даній роботі був уточнений коефіцієнт запасу стійкості проти вкочування колеса на головку рейки. Автором було прийнято, що інтенсивність ковзання колеса вниз, перш за все, залежить від співвідношення сил, які діють у напрямку ковзання, тобто по напрямку дотичної або просто вздовж по направляючій конічній частині профілю.

При цьому коефіцієнт запасу стійкості проти вкочування колеса на головку рейки має наступний вигляд:

$$K'_y = \frac{tg\beta}{1 + \mu \cdot tg\beta + \frac{Q}{Y} \cdot \mu} \cdot \frac{Q}{Y} =$$

$$= \lambda_2 \left(\frac{Q}{Y} \right) \cdot \frac{Q}{Y}. \quad (11)$$

Також слід відмітити підходи д.т.н. Сокола Е. М., які використовуються при проведенні судових залізнично-транспортних експертиз [28].

Слід зазначити, що колесо, яке рухається по зовнішній рейці, взаємодіє з рейкою двома точками. Перша – це точка взаємодії поверхонь кочення рейки і бандажа; друга – точка взаємодії поверхні гребеня і бокової робочої грані рейки.

Отже, момент часу, в який реакція рейки в першій точці взаємодії стає рівною нулю, можна розглядати як початок вкочування гребеня колеса на головку рейки.

Рух колісної пари розглядається як складний, також як сукупність поступального руху разом з центром мас і сферичного руху навколо центру мас. Дослідження руху колісної пари проводиться з використанням чотирьох систем координатних осей.

Рух колісної пари під дією прикладених до неї сил описується системою диференціальних рівнянь, вирішення яких дозволяє аналітично визначити умови сходу з рейок рухомого складу при вкочуванні гребеня колеса на головку рейки.

Автор даної роботи зазначає, що для вкочування гребеня колеса на головку рейки потрібне виконання як мінімум двох умов: необхідної та достатньої.

Аналітичний вираз необхідної умови вкочування гребеня колеса на головку рейки має вигляд:

$$P_1 < P_1^* \quad (12)$$

де P_1 – фактичне навантаження на колесо; P_1^* – навантаження на колесо при якому починається процес вкочування.

$$P_1^* = \frac{Cb_2 + Y_p r - Gl}{b_1 + b_2} \quad (13)$$

де $C = (P_1 + P_2)$ – статичне навантаження на вісь колісної пари; r – радіус колеса; G – вага колісної пари; Y_p – рамна сила.

Виконання необхідної умови ще не означає факт сходу рухомого складу, так як колісна пара, здійснюючи рух в показаному на рис. 5 напрямку відліку кута θ , не вкотившись на поверхню кочення головки рейки, може почати рух у зворотному напрямку. Тому потрібно ще перевіряти виконання достатньої умови вкочування колеса колісної пари на головку рейки.

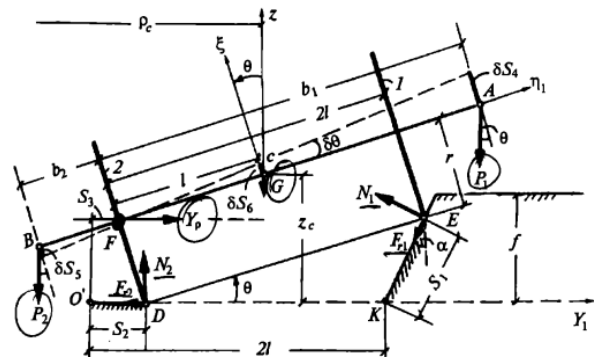


Рис. 5 – Рух колісної пари при вкочування колеса на головку рейки

де P_1, P_2 – динамічні навантаження на колеса колісної пари; Y_p – рамна сила; G – власна вага колісної пари; N_1, N_2, F_{r1}, F_{r2} – реакції рейкових поверхонь.

Вважається, що схід з рейок рухомого складу є здійсненим фактом, якщо колісна пара зорієнтується таким чином, що гребінь колеса вже знаходиться на поверхні кочення головки рейки (рис. 6).

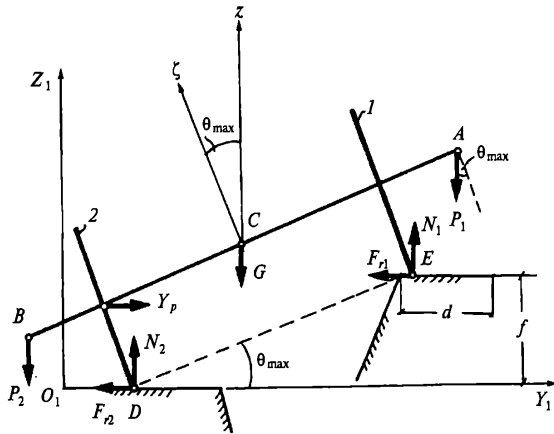


Рис. 6 – Достатня умова вкочування колеса на головку рейки

Таким чином достатня умова вкочування колеса на головку рейки прийме наступний вигляд:

$$2l \cdot \sin \theta_{\max} = f \quad (14)$$

де θ_{\max} – значення кута, при якому гребінь колеса вже знаходиться на поверхні кочення головки рейки; f – висота, на яку має піднятися колесо, щоб його гребінь опинився на поверхні кочення головки рейки.

На думку Сокола Е. М. вирішення задачі сходу колісної пари шляхом вкочування колеса на головку рейки слід проводити з використанням рівнянь динаміки. Це пов'язано з тим, що основними причинами аварій і сходів є, передусім, відхилення в стані рейкової колії і ходових частин рухомого складу від норм їх утримання. Також, з іншого боку, мають місце обставини, пов'язані з недоліками конструкції ходових частин екіпажів, які безпосередньо не викликають схід, але є причинами розвитку динамічних процесів, які призводять до підвищеного силового впливу рухомого

складу на колію і, зрештою, викликають його схід.

Отже, підсумовуючи вищесказане, питання стосовно визначення оцінки безпеки від сходу колеса з рейки є актуальним і має важливе значення для забезпечення безпеки руху рухомого складу.

Результати

Проаналізовані праці вітчизняних та закордонних вчених, які присвячені питанню оцінки безпеки від сходу коліс з рейок

Було запропоновано при визначенні оцінки безпеки від сходу колеса з рейки враховувати аналітичні умови вкочування гребня колеса на головку рейки, які були запропоновані д.т.н. Соколом Е. М. при проведенні судових залізнично-транспортних експертиз.

Наукова новизна та практична значимість

Вперше була проведена систематизація праць вітчизняних та закордонних вчених, які присвячені питанню оцінки безпеки від сходу колеса з рейки з урахуванням задач, які виникають при проведенні судових залізнично-транспортних експертиз

Систематизація праць вітчизняних і зарубіжних науковців щодо оцінки стійкості рухомого складу дозволить більш точно оцінити важливість всіх методів та підходів, виявити їх недоліки і переваги, дозволить зробити рекомендації щодо удосконалення методу оцінки стійкості рейкових екіпажів на залізницях України. Правильне визначення оцінки безпеки від сходу колеса з рейки дозволить вирішити одну з найважливіших проблем на залізничному транспорті, а саме – забезпечення безпеки руху рейкових екіпажів, як на етапі проектування, так і в процесі їх експлуатації.

Висновки

1. Питанню оцінки безпеки від сходу колеса з рейки присвячена значна кількість праць, кожна з яких має свої підходи до встановлення стійкості рейкового екіпажу.

2. Правильне визначення оцінки безпеки від сходу колеса з рейки дозволить вирішити одну з найважливіших проблем на залізничному транспорті, а саме забезпечення безпеки руху рейкових екіпажів.

3. При дослідженні стійкості рухомого складу слід враховувати відхилення в стані рейкової колії і ходових частин рухомого складу від норм їх утримання.

Бібліографічний список

1. Азовский, А. П. Об оценке запаса устойчивости колеса от выкатывания на головку рельса [Текст] / А. П. Азовский, В. Н. Котуранов, М. Н. Овечников, И. В. Плотников / Сборник статей международной конференции «Безопасность движения поездов». – М.: МИИТ – 2007. – С. VI-1-VI-2.
2. Бромберг, Е. М. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] / Е. М. Бромберг, М. Ф. Вериги, В. Н. Данилов, М. А. Фришман; Под.общ. ред. М. А. Фришмана. – М.: Гострансжелдориздат, 1956. – 280 с.
3. Вериги, М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] / М. Ф. Вериги, А. Я. Коган. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
4. Вериги, М. Ф. Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава и вопросы расчета пути [Текст] / М. Ф. Вериги // Труды ЦНИИ МПС. – 1963. – Вып. 268. – 125 с.
5. Вериги, М. Ф. Модернизация рессорного подвешивания тележек типа МТ-50 [Текст] / М. Ф. Вериги, Л. О. Грачева, П. С. Анисимов / труды ВНИИЖТ. – 1968. – вып. 372. – 112 с.
6. Вериги, М. Ф. Об устойчивости движения колеса по рельсу [Текст] / М. Ф. Вериги, А. Я. Коган. / Вестник ВНИИЖТ. – 1965. – № 4. – С. 3-7.
7. Вершинский, С. В. Динамика вагона: учебник для вузов ж.-д. транспорта [Текст] / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, И. И. Челноков. – М.: Транспорт, 1978. – 352 с.
8. Винник, Л. В. Замечания по поводу использования критерия Надаля при оценке безопасности схода с рельс [Текст] / Л. В. Винник, Г. П. Бурчак // Вісник Східноукр. націон.універ. ім. В. Даля. – 2005. – № 8. – Ч. 1. – С. 108-113.
9. Галеев, А. У. К вопросу теории схода колес с рельсов [Текст] / А. У. Галеев / Труды МИИТ. – 1948. – № 55. – С. 179-191.
10. Ишизава, М. Тележки вагонов Новой линии Токайдо и результаты их применения [Текст] / М. Ишизава, Н. Мицуи, С. Отсука // Ежемесячный бюллетень МАЖК. – 1969. – № 2. – С. 3-27.
11. Клименко, И. В. Развитие теоретических основ и методов оценки и повышения безопасности движения подвижного состава железных дорог [Рукопись]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / И. В. Клименко; науч. консультанты: Е. П. Блохин, В. Л. Горобец; Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. тр-та им. акад. В. Лазаряна. – Днепропетровск, 2015. – 284 с.
12. Коган, А. Я. Влияние конструкции и состояния пути на устойчивость колеса [Текст] / А. Ф. Коган, Г. И. Матусовский // Вестник ВНИИЖТ. – 1982. – № 8. – С. 42-44.
13. Коган, А. Я. Оценка достаточного условия устойчивости колеса на рельсе с учетом вероятностного характера влияющего на нее некоторых факторов [Текст] / А. Я. Коган, Е. А. Черняков / Вестник ВНИИЖТ. – 2008. – № 2. – С. 36-41.
14. Кондратьев, В. Ф. О сходе колеса с рельса [Текст] / В. Ф. Кондратьев // Вестник ВНИИЖТ. – 1980. – № 6. – С. 23-25.
15. Котуранов, В. Н. Метод расчета запаса устойчивости колеса против схода с рельса [Текст] / В. Н. Котуранов, Д. В. Иванов, А. Г. Петров и др. / Труды конференции «Безопасность движения». – М.: МИИТ. – 2010. – С. VII-24.
16. Лукин, В. В. Конструирование и расчет вагонов [Текст] / В. В. Лукин, Л. А. Шадур, В. Н. Котуранов, А. А. Хохлов, П. С. Анисимов. – М.: 2000. – 725 с.
17. Мартынов, И. Э. Износ гребней колес грузовых вагонов и рельсов: проблема и пути ее решения / И. Э. Мартынов, В. Г. Маслиев, С. Д. Мокроусов и др. // Вагонный парк. – № 5 (74). – 2013. – С. 4-7.
18. Марье, Г. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] / Марье Г. – М.: Госжелдориздат, 1933. – 338 с.
19. Маслиев, В. Г. Динамика локомотива с устройством для радиальной установки колесных пар в кривых [Текст] / В. Г. Маслиев // Вісник Східноукр. нац. ун-ту. Технічні

- науки. Серія Транспорт. – 2002. – № 6(52). – С. 69-74.
20. Мищенко, К. Н. Современное состояние вопроса о всползании колеса на рельс [Текст] / К. Н. Мищенко / Труды ДИИТ. – 1950. – Вып. XX. – С. 53-67.
21. Нормы для расчета и оценки прочности несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов ж. д. МПС РФ колеи 1520 мм. [Текст] – М.: МПС РФ, ВНИИЖТ, 1998. – 145 с.
22. Нормы расчета и оценки прочности несущих элементов и динамических качеств моторвагонного подвижного состава ж. д. МПС РФ колеи 1520 мм. [Текст] – М.: МПС РФ, ВНИИЖТ, 1997. – 147 с.
23. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) с изменениями [Текст]. – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 346 с.
24. Погорелов, Д. Ю. Критерий для оценки опасности схода подвижного состава путем вкатывания колеса на головку рельса [Текст] / Д. Ю. Погорелов, В. А. Симонов / Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты». – 2009. – С. 136-138.
25. Погорелов, Д. Ю. Показатель для оценки опасности схода подвижного состава путем вкатывания колеса на головку рельса [Текст] / Д. Ю. Погорелов, В. А. Симонов / Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2010. – № 5 (147). – Частина I. – С. 64-70.
26. Прокудин, И. Пора выйти из тени [Текст] / И. Прокудин, В. Виноградов, Э. Воробьев и др. – Гудок. – 06.08.2003.
27. Трофимов А. Н. Об устойчивости подвижного состава против схода с рельсов [Текст] / А. Н. Трофимов / Труды ДИИТ. – 1983. – Вып. 228/25. – С. 23-26.
28. Сокол Э. Н. Сходы с рельсов и столкновения подвижного состава (Судебная экспертиза. Элементы теории и практики). – Київ : Транспорт України, 2004. – 386 с.
29. Черкашин, Ю. М. Сравнение некоторых критериев, оценивающих опасность схода путем всползания колеса на рельс [Текст] / Ю. М. Черкашин, Д. Ю. Погорелов, В. А. Симонов / Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2005. – № 8 (90). – Частина I. – С. 98-103.
30. Шахунянец Г. М. Железнодорожный путь. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с. 4 – 61
31. Elkins, J. New Criteria for Flange Climb Derailment / J. Elkins, Wu. Huimun. – 2000 ASME/IEEE Joint Railroad Conference, April 4-6, 2000, P. 1-7.
32. Nadal, M. J. Locomotives a Vapeur Collection EncyclopedieScintifiqueBiblioteque de Mecanique Applique et Genie, Vol. 186, (Paris), 1908.
33. UIC Code 518. Testing and approval of railway vehicles from the point at view of their dynamic behavior – Safety – Track fatigue – Ride quality. 3-d ed. October 2005.
34. Weistock, H. Whell Climb Derailment Criteria for Evaluation of Rail Vehicle Safety // Paper no. 84 – WA/RT – 1, ASME Winter Annual Meeting. – 1984. – P. 34-42.

Ключові слова: схід колеса з рейки; колісна пара; систематизація праць; критерій Надаля; коефіцієнт запасу стійкості проти вкочування колеса на головку рейки, аналітичні умови Сокола Е. М.

Ключевые слова: сход колеса с рельса; колесная пара; систематизация работ; критерий Надаля; коэффициент запаса устойчивости против вкатывания колеса на головку рельса, аналитические условия Сокола Е. М.

Keywords: derailment of the wheel; pair of wheels; systematization of works; the Nadal criterion; coefficient of stability against rolling the wheel on the rail head, Ye. M. Sokol's analytical conditions.

Рецензенти:

д.т.н., проф. М. О. Кузін,
д.ф.-м.н., проф. В.І. Гаврилюк.

Надійшла до редколегії 15.11.2018.
Прийнята до друку 27.11.2018.