

Due to the lack of appropriate techniques it is difficult to assess the degree of influence of these faults on the rate of crack development.

For more precise determination of the causes of the fracture of the sidewall during the conduct of judicial railway and transport expertise it is suggested to perform its strength calculations, build a mathematical model of the car in order to more accurately assess the influence of deviations in the design of the wagon and the railway track.

УДК 343.148: 625.032.52: 629.4.015

**А. В. Батіг**  
старший науковий співробітник

**А. Я. Кузишин**  
судовий експерт

*Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз  
Міністерства юстиції України*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ КРИТЕРІЇВ БЕЗПЕКИ РУХУ ПРИ НАСТАННІ ЗАЛІЗНИЧНО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД У СУДОВІЙ ЗАЛІЗНИЧНО-ТРАНСПОРТНІЙ ЕКСПЕРТИЗІ**

*Стаття присвячена аналізу праць вітчизняних та закордонних вчених, в яких досліджуються питання оцінки безпеки від сходу коліз з рейок. Розглянуто та проаналізовано аналітичні умови вкочування гребеня колеса на головку рейки при проведенні судових залізнично-транспортних експертиз.*

---

Взаємодія колії та рухомого складу в процесі експлуатації є однією з найважливіших проблем залізничного транспорту України.

Одним з показників взаємодії колії і рухомого складу, не виконання якого веде до порушення безпеки руху, а саме до сходу рухомого складу, є умова забезпечення стійкості проти вкочування гребеня колеса на головку рейки.

Однак слід зазначити, що на теперішньому етапі розвитку судової залізнично-транспортної експертизи відсутні методичні рекомендації щодо визначення критеріїв безпеки руху на залізничному транспорті. Існуюча шкала граничних значень динамічних показників, за якою оцінюється стійкість від сходу рухомого складу з рейок, не достатня для оцінки безпеки руху і не враховує технічний стан і індивідуальні параметри ходових частин екіпажів та рейкової колії [1]. У зв'язку з цим існує необхідність аналізу критерію стійкості кінематичної пари «колесо-рейка».

Понад сто років тому, в 1908 році, М. Надалем [2] 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 головою 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).

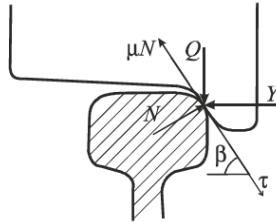


Рис. 1. Сили, що діють в точці контакту при ковзанні гребеня вниз відносно головки рейки

Зазначена вище умова виражається наступною нерівністю:

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

де  $\mu$  — коефіцієнт тертя;  $N$  — нормальна реакція рейки в точці контакту;  $\beta$  — кут нахилу твірної гребеня до горизонталі.

Однак, 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.

В роботі [3] автор пропонує звернути увагу на те, що сили  $Y$  і  $Q$  діють не в точках дотику коліс з рейками, а прикладені на буртик шийки осі (сила  $Y$ ) і на шийки осі розглянутої колісної пари (сила  $Q$ ).

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

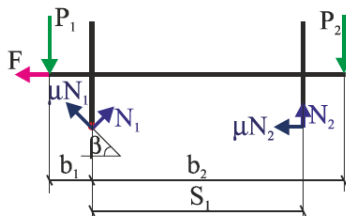


Рис. 2. Схема сил прикладених до колісної пари

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.

$$\frac{F}{P_1} \leq \frac{P_2}{P_1} \cdot k_1 - k_2 \quad (2)$$

де  $k_1, k_2$  — коефіцієнти.

Подальший розвиток теорії безпеки від сходу колеса з рейки був наведений у таких роботах, як [4, 5, 6, 7, 8]. Слід зазначити, що в цих роботах, в основному, розглядався стан граничної рівноваги колісної пари.

В роботі [5] 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 катання гребеня і рейки в процесі вкочування.

В роботі [9] 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 позовжньому і перпендикулярному до осі колії напрямках, визначені в найзагальнішому вигляді і не можуть бути використані для практичного застосування.

Проблемі сходу колеса з рейки присвячена робота В. Ф. Кондратьова [10], 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 роботі [11] формулюється енергетичне трактування вкочування колеса на головку рейки. На думку авторів роботи [11], це можливо тоді, коли кінетична енергія руху, яка припадає на колісну пару, перевершує ту роботу сил, що виникають в контактні поверхонь гребеня і колеса, яку вони здійснюють при підйомі на висоту гребеня. На думку авторів роботи [11], запропонована схема оцінки запасу стійкості враховує вплив основних факторів, що спричиняють виникнення аварійного стану.

В роботі [12] авторами обговорюються деякі логічні суперечності, які стосуються критеріїв вкочування колеса на головку рейки.

Вони вважають, що при логічному підході значення  $\frac{Y}{Q}$  має 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  $\frac{Y}{Q}$ .

В роботі [13] 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 чинній нормативній літературі [14] 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.

Слід відмітити, що в роботі [15] для визначення умови безпеки від сходу 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.

Також слід відмітити підходи д. т. н. Сокола Е. М., які використовуються при проведенні судових залізнично-транспортних експертиз [16].

Необхідно 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 (рис. 3).

Дослідження руху колісної пари проводиться з використанням чотирьох систем координатних осей.

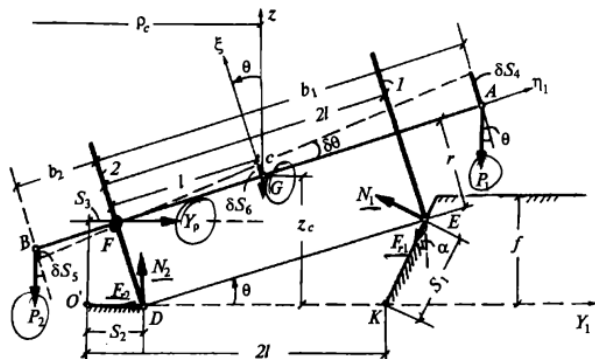


Рис. 3. Рух колісної пари при вкочування колеса на головку рейки

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

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:

$$P_1 < P_1^* \quad (3)$$

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

$$P_1^* = \frac{Cb_2 + Y_D - Gl}{b_1 + b_2} \quad (4)$$

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

Виконання необхідної умови ще не означає факт сходу рухомого складу, так як колісна пара, здійснюючи рух в показаному на рис.3 напрямку відліку кута  $\theta$ , 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.

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. 4).

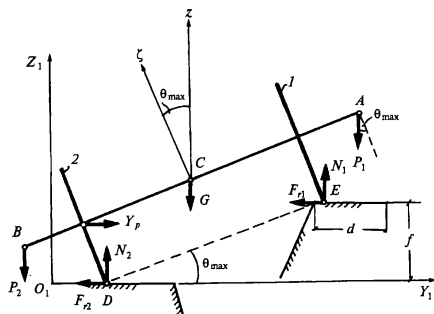


Рис. 4. Достатня умова вкочування колеса на головку рейки

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

(5)

де  $\theta_{\max}$  — 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.

#### Перелік посилань

1. *Ткаченко В. П., Сапронова С. Ю.* Оцінка стійкості залізничних екіпажів від сходу з рейок // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. 2015. № 1. С. 266–271.
2. *Nadal M. J.* Locomotives a Vapeur Collection EncyclopedieScientifiqueBibliotheque de Mecanique Applique et Genie. Paris, 1908. Vol. 186
3. *Галеев А. У.* К вопросу теории схода колес с рельсов. *Труды МИИТ.* 1948. № 55. С. 179–191.
4. *Бромберг Е. М., Вериго М. Ф., Данилов В. Н., Фришман М. А.* Взаимодействие пути и подвижного состава / под.общ. ред. М. А. Фришмана. Москва, 1956. 280 с.
5. *Вериго М. Ф.* Взаимодействие пути и подвижного состава. Москва, 1986. 559 с.
6. *Вериго М. Ф.* Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава и вопросы расчета пути // Труды ЦНИИ МПС. 1963. Вып. 268. 125 с.

7. *Вершинский С. В., Данилов В. Н., Челноков И. И.* Динамика вагона: учебник для студентов ж.-д. транспорта. Москва, 1978. 352 с.
8. *Маслиев В. Г.* Динамика локомотива с устройством для радиальной установки колесных пар в кривых // Вісник Східноукр. нац. ун-ту. Технічні науки. Сер. Транспорт. 2002. № 6(52). С. 69–74.
9. *Шахуняни Г. М.* Железнодорожный путь. Москва, 1987. 479 с.
10. *Кондратьев В. Ф.* О сходе колеса с рельса // Вестник ВНИИЖТ. 1980. № 6. С. 23–25.
11. *Азовский А. П., Котуранов В. Н., Овечников М. Н., Плотников И. В.* Об оценке запаса устойчивости колеса от выкатывания на головку рельса // Безопасность движения поездов: сб. ст. междунар. конф. Москва, 2007. С. VI-1–VI-2.
12. *Винник Л. В., Бурчак Г. П.* Замечания по поводу использования критерия Надаля при оценке безопасности схода с рельс // Вісник Східноукр. націон. універ. ім. В. Даля. 2005. № 8. Ч. 1. С. 108–113.
13. *Elkins J., Huitun Wu.* New Criteria for Flange Climb Derailment // 2000 ASME/IEEE Joint Railroad Conference. 2000, April, 4-6. P. 1–7.
14. *Нормы расчета* и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) с изменениями. Москва, 1996. 346 с.
15. *Климченко И. В.* Развитие теоретических основ и методов оценки и повышения безопасности движения подвижного состава железных дорог: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. тр-та им. акад. В. Лазаряна. Днепропетровск, 2015. 284 с.
16. *Сокол Э. Н.* Сходы с рельсов и столкновения подвижного состава (Судебная экспертиза. Элементы теории и практики). Київ, 2004. 386 с.

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПРИ НАСТУПЛЕНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРОИСШЕСТВИЯ В СУДЕБНОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ**

**А. В. Батиг  
А. Я. Кузышин**

Взаимодействие пути и подвижного состава является одной из важнейших проблем железнодорожного транспорта Украины.

Задачи, решаемые при исследовании взаимодействия пути и подвижного состава, способствуют, прежде всего, решению такого важного вопроса, как определение условий безопасного движения поездов.

В связи с внедрением в Украине современного подвижного состава скорость движения пассажирских поездов на железных дорогах Украины неизменно увеличилась. При этом большое значение приобретают научные исследования вопроса устойчивости движения подвижного состава в прямых и кривых участках пути.

На основе этого впервые была проведена систематизация работ отечественных и зарубежных ученых, посвященной вопросу оценки безопасности от схода колеса с рельса с учетом задач, которые возникают при проведении судебных железнодорожно-транспортных экспертиз.

Систематизация работ отечественных и зарубежных ученых в оценке устойчивости подвижного состава позволит более точно оценить важность всех методов и подходов, выявить их недостатки и преимущества, позволит сделать рекомендации по совершенствованию метода оценки устойчивости рельсовых экипажей на железных дорогах Украины. Правильное определение оценки безопасности от схода колеса с рельса позволит ре-

шить одну из важнейших проблем на железнодорожном транспорте, а именно — обеспечение безопасности движения рельсовых экипажей, как на этапе проектирования, так и в процессе их эксплуатации.

Следовательно, подытоживая вышесказанное, решения задачи схода колесной пары путем вкатывания колеса на головку рельса следует проводить с использованием уравнений динамики. Это связано с тем, что основными причинами аварий и сходов является, прежде всего, отклонения в состоянии рельсового пути и ходовых частей подвижного состава от норм их содержания. Также, имеют место обстоятельства, связанные с недостатками конструкции ходовых частей экипажей, которые непосредственно не вызывают сход, но являются причинами развития динамических процессов, которые приводят к повышенному силе воздействию подвижного состава на путь и в конечном итоге вызывают его сход.

### **INVESTIGATIONS OF MOVEMENT SAFETY CRITERIONS IN THE EVENT OF TRANSPORT ACCIDENT IN THE FORENSIC RAILWAY TRANSPORT EXPERTISE**

**A. Batih  
A. Kuzyshyn**

The interaction of the track and the rolling stock is one of the most important problems of Ukraine's railway transport.

The tasks to be performed when investigating the interaction of the track and the rolling stock contribute, first of all, to the solution of such an important issue as determining the conditions for the safe movement of trains.

In connection with the introduction of modern rolling stock in Ukraine, the speed of passenger trains on the Ukrainian railways has steadily increased. At the same time, scientific research on the stability of rolling stock in direct and curved sections of the road acquires great importance.

Based on this, for the first time, the work of domestic and foreign scientists was systematized on the issue of safety assessment from the derailment of the wheel from the rail, taking into account the tasks that arise during the conduct of the forensic railway transport expertise.

The systematization of the work of domestic and foreign scientists in assessing the stability of rolling stock will allow us to more accurately assess the importance of all methods and approaches, identify their shortcomings and advantages, and make recommendations for improving the method for assessing the stability of rail vehicles on Ukrainian railways. The correct definition of the safety assessment from the derailment of the wheel from the rail will solve one of the most important problems in railway transport, namely, ensuring the safety of the movement of rail vehicles, both at the design stage and during their operation.

Therefore, summing up the foregoing, the solution of the problem of the wheel pair retreat by rolling the wheel onto the rail head should be carried out using the equations of dynamics. This is due to the fact that the main causes of accidents and gatherings are, first of all, deviations in the condition of the track and running parts of the rolling stock from the norms of their maintenance. Also, on the other hand, there are circumstances related to the deficiencies in the design of the running parts of the crews, which do not directly cause a derailment, but are the causes of the development of dynamic processes that lead to increased force of the rolling stock on the way and, finally, cause its derailment.