

**Андрій Васильович Батіг**  
старший науковий співробітник  
лабораторії залізнично-транспортних досліджень

E-mail: <http://kndise.in.ua/>

**Андрій Ярославович Кузишин**  
кандидат технічних наук, науковий співробітник  
лабораторії залізнично-транспортних досліджень

E-mail: <http://kndise.in.ua/>

*Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз*

## **НЕОБХІДНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВАНТАЖНОГО ВАГОНА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИПАДКІВ ЙОГО СХОДУ З РЕЙКОВОЇ КОЛІЇ**

*На основі аналізу основних причин, що обумовили виникнення випадків сходу рухомого складу з рейкової колії за останні п'ять років на залізницях України, в статті обрано основні напрямки удосконалення математичної моделі вантажного вагона, які б дозволили охопити усю множину чинників (явних та прихованих) і виявити з них найбільш значущі щодо обставин сходу рухомого складу з рейкової колії, встановлених на підставі комп'ютерного експерименту.*

**Ключові слова:** *математична модель, залізнично-транспортна пригода, рухомий склад, рейкова колія, вантажний вагон, ходові частини*

---

Як показує статистика, кількість залізнично-транспортних пригод щорічно невпинно зростає. Із загального їхнього числа значну частину становлять випадки, пов'язані зі сходом рухомого складу з рейкової колії. Причинами такого роду залізнично-транспортних пригод слугують передусім відхилення в технічному стані рейкової колії та ходових частин рухомого складу від норм їхнього утримання [1, с. 284].

Багаторічна практика виконання експертиз показує, що все частіше трапляються випадки, коли неможливо однозначно встановити причини сходу рухомого складу з рейкової колії. Такого роду причини є неочевидними і потребують поглибленого аналізу складного поєднання багатьох чинників силової взаємодії рухомого складу та рейкової колії, які формують найбільш несприятливе (найгірше) поєднання обставин, що склалися при певному стані ходових частин рухомого складу та ділянки колії, на якій стався схід [2, с. 6-10; 3, с. 58].

З цього випливає необхідність у науковому обґрунтуванні пропозицій з удосконалення підходів щодо дослідження взаємодії рухомого складу та

рейкової колії, розрахунку показників, що оцінюють динамічні властивості його ходових частин та показників безпеки руху. Це, в свою чергу, дозволить не лише полегшити дослідження причини сходу рухомого складу з рейкової колії, а й у більшості випадків дозволить встановлювати граничні значення параметрів його технічного стану, при яких виникає загроза настання залізнично-транспортних пригод.

Проаналізуємо наявні математичні моделі вантажних вагонів та комплексні розробки в галузі динаміки рухомого складу, що послужили основою для подальшого розвитку методів та засобів досліджень даної проблематики.

Методика побудови математичних моделей просторових коливань вагонів суттєво збагатилась завдячуючи напрацюванням М. Л. Коротенка [4, с. 350] та В.Ф. Ушкалова [5]. Виконаний ними аналіз стійкості руху багатьох типів рухомого складу дозволив вирішити задачу оптимізації параметрів ходових частин вагонів за умовою стійкості їх незбуреного руху.

Проблема сходу порожніх вагонів з рейок досліджувалась у роботі А. А. Пермякова «Безопасность движения вагона в кривых участках пути при различных технических состояниях системы вагон-путь» [6, с. 175]. У даній роботі була розроблена математична модель руху вантажного вагона в програмному середовищі Універсальний механізм, яка дозволила враховувати вплив на його динамічну поведінку відхилень технічного стану ходових частин та нерівностей рейкової колії. Однак недоліком даної моделі є те, що у ній контакт надресорної балки і кузова, бокової рами і букси, клинів і надресорної балки представлений у вигляді пружно-в'язкої моделі, яка значно утруднює вибір параметрів такого контакту.

У роботі В. А. Кошелева «Грузовой вагон: характеристики связи, скорости и свойство устойчивости невозмущенного движения» [7, с. 112-121] за допомогою розробленої математичної моделі вантажного вагона досліджено вплив на стійкість його руху значно різниця в базі візків та діаметрів коліс. Однак в ході досліджень авторами даної роботи не враховувався вплив горизонтальних нерівностей рейкової колії та значної кількості параметрів візків вантажних вагонів на їхню стійкість від сходу з рейкової колії.

У роботі Чан Фу Тхан «Динамика грузового вагона при нелинейных связях кузова с тележками» [8, с. 287] була розроблена деталізована математична модель вантажного вагона, яка дозволяє проводити оцінку впливу величини кутів фрикційних клинів, зазорів в буксах та ковзунах вагона на безпеку від його сходу з рейкової колії. Недоліком даної роботи є не врахування в рівняннях динамічної поведінки колісної пари направляючої сили, яка є одним з визначальних показників стійкості руху рухомого складу.

Стратегічний метод аналізу експлуатаційної безпеки від сходу рухомого складу з рейкової колії був запропонований у роботах «Dynamic modeling of Freight wagons» та «Safety analysis of a railway car under the periodic excitation from the track» [9,10]. Запропонована у цих роботах математична модель вантажного вагона дозволила встановити вплив на стійкість його руху вертикальних нерівностей рейкової колії. Недоліком розробленої математичної моделі вагона у роботах [9,10] є не врахування впливу

відхилень параметрів технічного стану ходових частин вагонів від нормативних значень на умови їхнього сходу з рейкової колії.

У роботі [2] викладено багато прихованих причини сходу рухомого складу з рейок на залізницях Російської Федерації та запропонована для дослідження таких випадків спрощена модель вантажного вагона. Основним недоліком даної математичної моделі вагона є те, що вона дає можливість враховувати вплив на умови його сходу лише завдяки нерівностей рейкової колії.

Стосовно виконання досліджень реальних випадків залізнично-транспортних пригод слід виділити роботу Сокола Е. М. «Сходы с рельсов и столкновения подвижного состава» [11, с. 368], в якій були виведені аналітичні вирази для визначення необхідної та достатньої умови сходу з рейкової колії рухомого складу на основі розробленої математичної моделі руху колісної пари вантажного вагона. Однак дана модель дозволяє встановити вплив на стійкість руху вантажного вагона лише частини його необхідних параметрів та рейкової колії. Крім того, у рівняннях руху колісної пари вагона, складених Соколом Е. М., не враховується дія сил крипа, що можуть чинити суттєвий вплив на стійкість його руху.

Як бачимо, на даний час, проблемі сходу рухомого складу з рейкової колії присвячено багато наукових робіт, як вітчизняних так і закордонних вчених, однак кожна з вищенаведених робіт має свої переваги та недоліки при дослідженні динаміки рухомого складу та встановленні причин такого роду залізнично-транспортних пригод.

Метою роботи є висвітлення основних проблем, що виникають при дослідженні причин сходу рухомого складу з рейкової колії, та розробка шляхів їх подолання за допомогою удосконаленої математичної моделі вантажного вагона.

На залізницях України на протязі 2015-2020 років відбулось близько 165 випадків сходу вантажних вагонів у складі поїздів [12].

З них у 31 % випадках причинами стали несправності рейкової колії, в 20 % випадках – явно виражені несправності ходових частин вантажних вагонів та інші причини.

Серед інших причин сходу з рейкової колії слід виділити ті, які однозначно не вдалось встановити при службовому розслідуванні залізницею. Загальна кількість таких випадків становить близько 7 % від загальної кількості залізнично-транспортних пригод.

Такі випадки сходу рухомого складу з рейкової колії дуже часто надходять на дослідження у лабораторію залізнично-транспортних досліджень (далі – ЗТД) Львівського НДІСЕ.

На даний час виконання судових залізнично-транспортних експертиз у випадках сходу рухомого складу з рейкової колії виконується за методами Е. М. Сокола, в яких основна увага приділяється дослідженню причин та умов сходу рухомого складу з рейкової колії.

Відповідно до даних робіт загальний алгоритм виконання експертиз сходу рухомого складу з рейкової колії складається з таких етапів:

– досліджується трасологія (слідова картина) сходу з рейок рухомого складу;

– досліджується технічний стан рухомого складу, що зійшов з рейок, елементів верхньої та нижньої будови колії. У разі наявності невідповідностей технічного стану вимогам нормативних документів, встановлюється чи мала місце невідповідностей між вимогами нормативних документів і діями посадових осіб, які відповідальні за ремонт та технічне утримання рухомого складу та колії;

– досліджуються умови формування поїзда, в якому стався схід з рейок рухомого складу та відповідно до цього встановлюється чи мала місце невідповідність між вимогами нормативних документів і діями посадових осіб, які відповідальні за формування поїзда;

– досліджується режим ведення поїзда і встановлюється чи мала місце невідповідність між вимогами нормативних документів і фактичними діями членів локомотивної бригади до сходу, в момент сходу і після сходу з рейок рухомого складу;

– розглядається складний рух навантаженої колісної пари в нерухомій системі координат як сукупність поступального руху разом з центром мас і сферичного руху навколо центру мас. Вирішується спрощена система диференціальних рівнянь складного руху колісної пари і складаються аналітичні вирази необхідної і достатньої умов сходу з рейок рухомого складу з рейкової колії;

– з використанням необхідної і достатньої умов встановлюються силові фактори, що впливали на вкочування гребеня колеса на головку рейки;

– досліджується частка впливу несправностей елементів верхньої будови колії, елементів ходових частин рухомого складу на ступінь розвантаження, значення рамних та бокових сил, що залежать від кута набігання (діагностична задача);

– встановлюється послідовність проміжних причин, безпосередня причина залізнично-транспортної пригоди та можливість її запобігання [11].

У вищенаведеному алгоритмі провідне місце належить дослідженню руху колісної пари вантажного вагона за допомогою системи диференціальних рівнянь. Ці рівняння є спрощеними, оскільки мають на меті скорочення часу проведення розрахунків і відповідно часу на виконання самої експертизи. У зв'язку з цим вони дозволяють враховувати вплив на стійкість руху рухомого складу тільки визначену кількість його параметрів та рейкової колії.

У той же час, як було зазначено, експертам лабораторії залізнично-транспортних досліджень Львівського НДІСЕ надходять на виконання експертизи випадків сходу рухомого складу з рейок, які відбуваються за відсутності явних відхилень рухомого складу та рейкової колії від вимог нормативних документів.

Досвід виконання таких експерти показує, що для їхнього дослідження необхідно враховувати значну кількість параметрів ходових частин вантажних вагонів. До них відносяться: параметри системи гасіння коливань, ресорного підвішування, вузла п'ятник-підп'ятник, надресорних балок візків тощо.

Тому встановлення причин випадків сходу рухомого складу з рейкової колії, що стаються з неочевидних причин є неможливим при використанні диференціальних рівнянь, складених Е. М. Соколом

В зв'язку з цим перед експертами лабораторії залізнично-транспортних досліджень постало завдання з удосконалення математичної моделі вантажного вагона, яка могла б дати достовірну кількісну оцінку впливу перерахованих параметрів візків та колії на безпеку від сходу з неї колісних пар вагона. Для створення комп'ютерної моделі був обраний програмний комплекс Maple.

На даний час в зазначеному програмному середовищі працівниками лабораторії ЗТД була розроблена математична та створена комп'ютерна модель дизель поїзда ДПКр-2, теоретичні дослідження за якою не мали значних розходжень з експериментальними даними [13, с. 20-30; 14, с. 15-25].

Як основу для досліджень випадків сходу рухомого складу з рейкової колії в програмному комплексі Maple була обрана математична модель вантажного вагона, яка складається з 30 основних диференціальних рівнянь другого порядку, що детально наведені у роботі «Динамика грузового вагона при нелінійних зв'язках кузова с тележками» [8].

Дана модель експертами лабораторії ЗТД була обрана для дослідження випадків сходу рухомого складу з рейкової колії у зв'язку з тим, що в ній виконано:

- детальний опис роботи фрикційного гасника коливань з урахуванням кінематики надресорної балки, клина і бокової рами візка при просторових коливаннях.

- теоретичний опис процесів взаємодії бокових рам з буксами колісних пар при закритті поздовжніх і поперечних зазорів в буксових проємах;

- розробку нового підходу при визначенні реакцій між корпусами букс і боковими рамами, а також ковзунами кузова і візками при закритті зазорів в відповідних зв'язках. Цей підхід заснований на теорії співудару системи твердих тіл, підкріплених пружно-фрикційними елементами.

Крім зазначеного, в диференціальних рівняннях моделі всі симетричні розміри і параметри жорсткості і демпфірування передбачені неоднаковими. Це зроблено для того, щоб в розрахунках можна було врахувати допуски або відмови елементів ходових частин, наприклад, злам пружин ресорних комплектів, знос клинів, буксових проємах, ковзунів і т.д.

Для визначення шляхів удосконалення такої математичної моделі були детально проаналізовані припущення, які приймалися її авторами.

До них відносяться такі:

- кузов, надресорні балки, боковини та колісні пари розглядалися як абсолютно тверді тіла, тому що їх жорсткості значно перевищують жорсткості пружних елементів, що їх з'єднують;

- пружні сили вважаються діючими по осі відповідного пружного елемента;

- не враховується жорсткість в контактні колеса і рейки;

- не враховується горизонтальна жорсткість рейкової колії;

- колісна пара та взаємодіюча з нею маса колії рухаються безвідривно.

З вищенаведених припущень найбільший вплив на достовірність кількісної оцінки впливу параметрів рейкової колії та ходових частин вагона на загрозу його сходу у складі вантажного поїзда становить не врахування горизонтальної жорсткості рейкової колії.

Враховуючи це, математична модель вантажного вагона авторами даної статті була удосконалена шляхом врахування направляючої сили у рівняннях руху колісної пари.

Оскільки, дана математична модель є досить громісткою, то наведемо рівняння для першої колісної пари, у якому було виконано доповнення:

$$m_{\text{кп1}} \ddot{y}_{\text{кп1}} + F_{y1} + F_{y2} - T_{\text{пв1}} - T_{\text{пв2}} + R_1 n_1 - R_2 n_2 + N_{\text{бв11}} - N_{\text{бв12}} - N_{\text{бв21}} + N_{\text{бв22}} + N_{\text{нап1}} - N_{\text{нап2}} = 0, (1)$$

де  $m_{\text{кп1}}$  – маса першої колісної пари,  $m$ ;  $H$  – висота центра ваги кузова,  $m$ ;  $y_{\text{кп}}$  – поперечне переміщення колісної пари,  $m$ ;  $T_{\text{пв}i}$  – поперечні сили тертя між боковою рамою і буксою,  $kH$ ;  $N_{\text{бв}ij}$  – поперечні сили, що виникають при закритті поперечних та поздовжніх зазорів в буксах,  $kH$ ;  $N_{\text{нап}}$  – направляюча сила, яка виникає при взаємодії робочої грані гребеня з боковою робочою гранню головки рейки,  $kH$ ;  $n_{1,2}$  – конусність обода колеса в точках контакту;  $F_{y1-2}$ , – поперечні сили крипа,  $kH$ ;  $R_{1-2}$  – реакції в контактні колесо-рейка,  $kH$ ;  $X_{1-2}$  – допоміжні коефіцієнти.

Як бачимо рівняння (1) було доповнено направляючою силою  $N_{\text{нап}}$ , яка діє на праве та ліве колесо першої колісної пари вагона, а визначати її значення пропонується за наступною формулою:

$$N_{\text{нап}} = C_y (z_{\text{н}}^{\phi} + z_{\text{н}}), (2)$$

де  $C_y$  – горизонтальна жорсткість рейкової колії,  $kH/m$ ;  $z_{\text{н}}^{\phi}, z_{\text{н}}$  – кутове та поперечне переміщення рейки при дії на неї колісної пари вагона,  $m$  [11].

Для встановлення впливу направляючої сили на динаміку колісної пари вантажного вагона проведемо дослідження з врахуванням її значення і без нього в комп'ютерному середовищі Maple.

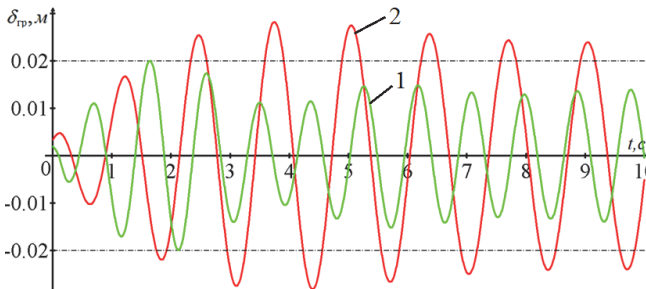


Рис 1. Поперечне переміщення колісної пари з та без врахування направляючої сили: 1 – з врахуванням направляючої сили; 2 – без врахування направляючої сили

Як видно з рис. 1 не врахування направляючої сили призводить до того, що значення поперечних переміщень колісної пари по осі може становити більше величини граничного зазору між гребенем колеса та рейкою, тобто призводить до хибних результатів. У випадку врахування значення направляючої сили переміщення колісної пари не виходить за межі граничного зазору.

Враховуючи те, що основним завданням у вирішенні проблеми безпеки руху рухомого складу є пошук ефективних методів і засобів, які дозволяють з великою часткою ймовірності описувати динамічні процеси, пов'язані з рухом рухомого складу по залізничній колії, то запропоновані шляхи удосконалення математичної моделі вантажного вагона дають не тільки якісну, але і кількісну інформацію про такі процеси та є адекватними реальним аналогам руху натурних вагонів на реальних ділянках колії.

Виконаний аналіз причин сходу рухомого складу на залізницях України за останні п'ять років дозволив встановити, що у близько 20 % випадків вони є очевидними, а у 7 % – неочевидними та неявно вираженими.

Дослідження таких випадків в ході службового розслідування залізницею та при виконанні судових експертиз потребує використання удосконаленої математичної моделі вантажного вагона, яка б дозволила дати кількісну оцінку впливу його параметрів та рейкової колії на умови настання залізнично-транспортної пригоди.

Виконанні розрахунки за допомогою удосконаленої математичної моделі вантажного вагона показали, що не врахування направляючих сил, що діють на колісні пари, може привести до хибного встановлення причин сходу рухомого складу з рейкової колії або ж взагалі до неможливості їх встановлення.

#### Перелік посилань

#### References

1. Клименко 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.

2. Блохин Е. П., Коротенко М. Л., Клименко И. В. К постановке задачи об оценке степени безопасности колесных пар от схода с рельсов. *Вісник ЧНУ ім. В. Даля*. 2010. № 9 (151). Ч. 2. с. 6-10.

3. Грачева Л. О., Хамоев А. Д., Косарев Л. Н., Мартынюк А. В. Причины схода с рельсов подвижного состава в поездах и меры по предупреждению аварий и крушений: метод. пособ. 1995. IV. с. 58.

4. Коротенко М. Л. Исследование устойчивости движения рельсовых экипажей

1. Klimenko, I. V. (2015). Development of theoretical foundations and methods for assessing and improving the safety of the rolling stock of railways. *Doctor's thesis*. Dnepropetrovsk. 284 p. (In Russian).

2. Blokhin, E. P., Korotenko, M. L., Klimenko, I. V. (2010). To the statement of the problem of assessing the degree of safety of wheel sets from derailment. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian national university*. No. 9 (151). Part 2. P. 6-10. (In Russian).

3. Gracheva, L. O., Khamoev, A. D., Kosarev, L. N., Martyniuk, A. V. (1995). Reasons for derailment of rolling stock in trains and measures to prevent accidents and wrecks. IV. P. 58. (In Russian).

4. Korotenko, M. L. (1974). Investigation of the stability of the movement of rail crews

- и определение их рациональных параметров: 05.22.07: дис. д-ра техн. наук. Днепропетровск, 1974. 350 с.
5. Ушкалов В. Ф. Математическое моделирование колебаний рельсовых транспортных средств. Киев: Наук. думка, 1989.
6. Пермяков А. А. Безопасность движения вагона в кривых участках пути при различных технических состояниях системы вагон-путь: дис. д-ра тех. наук: 05.22.07. Екатеринбург, 2004. 175 с.
7. Кошелев В. А. Грузовой вагон: характеристики связи, скорости и свойство устойчивости невозмущенного движения. *Современные технологии на транспорте*. 2006. С. 112-121.
8. Чан Фу Тхан. Динамика грузового вагона при нелинейных связях кузова с тележками: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07. Москва, МИИТ, 2010, 287 с.
9. *Dynamic modeling of Freight wagons*. 2011. 84 p.
10. Dos Santos G. F.M, Barbosa R. S. Safety analysis of a railway car under the periodic excitation from the track *Mechanical engineering*. 2016. P. 1-12
11. Сокол Э. Н. Сходы с рельсов и столкновения подвижного состава (Судебная экспертиза. Элементы теории и практики). Киев: Транспорт України, 2004. 368 с.
12. *Аналіз стану безпеки руху в структурі Укрзалізниці за 2015-2019 роки*.
13. Кузишин А. Я., Батіг А. В. Побудова механічної моделі вагона дизель-поїзда ДПКр-2 та її особливості. *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*, 2017, № 6 (72), С. 20-30.
14. Костриця С. А., Кузишин А. Я., Батіг А. В., Соболевська Ю. Г. Математична модель вагона дизель-поїзда ДПКр-2. *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*, 2018, No. 1 (73), с. 15-25.
- and the determination of their rational parameters. *Doctor's thesis*. Dnepropetrovsk. 350 p. (In Russian).
5. Ushkalov, V. F. (1989). Mathematical modeling of rail vehicle vibrations. Kiev: Nauk. dumka. (In Russian).
6. Permiakov, A. A. (2004). Carriage safety in curved sections of the track under various technical conditions of the car-track system. *Doctor's thesis*. Yekaterinburg. 175 p. (In Russian).
7. Koshelev, V. A. (2006). Freight car: connections, speed and stability property of undisturbed movement. *Modern technologies in transport*. P. 112-121 (In Russian).
8. Fu, Tkhan Chan. (2010). Dynamics of a freight car at nonlinear connections of a body with trolleys. *Doctor's thesis*. Moscow: MIIT. 287 p. (In Russian).
9. *Dynamic modeling of Freight wagons*. 2011. 84 p. (In English).
10. Dos Santos, G.F.M, Barbosa, R. S. (2016). Safety analysis of a railway car under the periodic excitation from the track. *Mechanical engineering*. P 1-12 (In English).
11. Sokol, E. N. (2004). Derailment and collisions of rolling stock (Forensic Examination. Elements of the theory and practice). Kyiv: Transport Ukrainy. 386 p. (In Russian).
12. *Analysis of the railway traffic safety in the structure of Ukrzaliznytsia for 2016-2019*. (In Ukrainian).
13. Kuzyshyn, A. Ya., Batih, A. V. (2017). Construction of the mechanical model of the diesel train of the type DPKr-2 and its features. *Visnyk of the Dnipro National University of Railway Transport named after V.Lazaryan*. No.6 (72), P. 20-30 (In Ukrainian).
14. Kostriytsia, S. A., Kuzyshyn, A. Ya., Batih, A. V., Sobolevska, Yu. H. (2018). Mathematical model of diesel train car of the type DPKr-2. *Visnyk of the Dnipro National University of Railway Transport named after V.Lazaryan*. No 1 (73), P. 15-25 (In Ukrainian).



## НЕОБХОДИМОСТЬ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛУЧАЕВ ЕГО СХОДА С РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ

А. В. Батиг  
А. Я. Кузисин

Одной из важнейших проблем, представляющих серьезную угрозу функционированию железных дорог, является проблема схода грузовых вагонов с рельсовой колеи.

Однако, как показывает статистика, количество случаев схода грузовых вагонов в составе поездов ежегодно растет.

Для предупреждения таких случаев разрабатываются необходимые профилактические меры, а для исследования причин их возникновения создано значительное количество математических моделей, программ и программных комплексов ведущими отечественными и зарубежными учеными.

Проведенные авторами данной работы исследования таких математических моделей позволили сделать вывод, что они не достаточно детализированы в той степени, в которой необходимо для анализа причин его схода с рельсового пути.

В то же время выполненный анализ причин схода подвижного состава на железных дорогах Украины за последние пять лет показал, что в около 20 % случаев они очевидны, а в 7 % случаев они неочевидны и неявно выражены.

Исследование таких случаев схода подвижного состава с рельсового пути в ходе служебного расследования железной дорогой и при выполнении судебных экспертиз требует использования усовершенствованной математической модели грузового вагона, которая позволила бы дать количественную оценку влияния его параметров и рельсового пути на условия возникновения железнодорожно-транспортных происшествий.

В статье избраны основные направления совершенствования математической модели грузового вагона, позволяющие охватить все множество факторов (явных и скрытых) и выявить из них наиболее значимые по обстоятельствам схода, установленных на основании компьютерного эксперимента.

Предложено в математической модели грузового вагона учитывать направляющую силу, значение которой является одним из основных показателей устойчивости движения подвижного состава.

Авторами статьи отмечено, что если не учитывать влияние на динамику движения грузового вагона направляющей силы, это может привести к ошибочному установлению причин схода подвижного состава с рельсового пути или вообще к невозможности их установления.

**Ключевые слова:** математическая модель, железнодорожно-транспортное происшествие, подвижной состав, рельсовый путь, грузовой вагон, ходовые части

**NECESSITY TO IMPROVE THE MATHEMATICAL MODEL OF FREIGHT CARS TO STUDY CASES OF ITS DERAILMENTS**

**A.V. Batig  
A. Ya. Kuzyshyn**

One of the most important problems that pose a serious threat to the functioning of railways is the problem of freight cars derailment.

However, according to statistics, the number of cases of the derailments of freight cars in trains annually grows.

To prevent such cases, the necessary preventive measures are developed, and to study the causes of their occurrence, a significant number of mathematical models, programs and software systems created by leading domestic and foreign scientists.

Studies of such mathematical models by the authors of this work have led to the conclusion that they are not sufficiently detailed to the extent that it is necessary for analyze the reasons of its derailment.

At the same time, an analysis of the causes of the rolling stock derailments on the railways of Ukraine over the past five years showed that in about 20 % of cases they are obvious, and in 7 % of cases they are not obvious and implicitly expressed.

The study of such cases of rolling stock derailment during an official investigation by the railway and during forensic railway transport expertises requires the use of an improved mathematical model of a freight car, which would allow a quantitative assessment of the impact of its parameters and rail track on the conditions of railway accidents.

Therefore, taking into account the main reasons that caused the occurrence of such railroad accidents over the last five years on the railways of Ukraine, the article selected the main directions for improving the mathematical model of a freight car, allowing to cover all the many factors (explicit and hidden) and identify the most significant ones regarding the circumstances of the derailment rolling stock off the track, established on the basis of a computer experiment

It is proposed in the mathematical model of a freight car to take into account the guiding force, the value of which is one of the main indicators of the stability of the rolling stock.

The authors of the article noted that not taking into account the influence of the guiding forces on the dynamics of the freight car can lead to an erroneous determination of the reasons for the rolling stock derailment or even to the impossibility of establishing them.

**Keywords:** mathematical model, railway accident, rolling stock, rail track, freight car, running gears.