

Дьомін Р.Ю., Дьомін Ю.В., Черняк Г.Ю., Ноженко В.С.

МЕТОД ВСТАНОВЛЕННЯ ПРИЧИН СХОДЖЕННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ З РЕЙОК

Метод визначення причин сходження рухомого складу з рейок (ВПС), який представляється в статті, призначено для використання при розслідуванні сходження вагонів у поїздах. Метод ВПС ґрунтується на статистичній обробці результатів моделювання динаміки поїзда певного складу з використанням сучасного програмного забезпечення. Загальна процедура методу ВПС полягає в наступному: формування набору факторів F події сходження у вигляді знаків, за якими буде здійснюватися пошук найбільш значущих з них, і формулювання альтернатив із «протилежним» значенням; побудова плану повнофакторного експерименту; розробка комп'ютерної моделі динаміки поїзда з прийнятним рівнем деталізації, що дозволяє відобразити множини факторів F ; проведення дослідів за планом комп'ютерного експерименту та з'ясування можливості сходження рухомого складу з рейок для кожного експерименту; обчислення вагових коефіцієнтів події сходження на основі статистичної обробки результатів з використанням підходу Байєса. За методом ВПС для відображення факторів події сходження рухомого складу з рейок знаки використовуються за принципом «так/ні», що дає можливість відобразити в комп'ютерній моделі параметри рухомого складу, характеристики та обставини події сходження. На основі багатьох ознак планується повнофакторний комп'ютерний експеримент. Результати окремих експериментів аналізуються, щоб визначити ті, для яких подія сходження, ймовірно, відбулася, і ті, для яких подія сходу, ймовірно, не відбулася. Визначення причин сходження рухомого складу з рейок здійснюється за результатами статистичної обробки даних комп'ютерного експерименту, за якими на основі статистичних висновків та обчислення умовної ймовірності розраховуються вагові коефіцієнти факторів, що впливають на подію сходження. Відображення факторів події сходження за допомогою ознак, запропонованих методом ВПС, розширює область пошуку найбільш значущих факторів серед параметрів, характеристик та обставин події сходження. Застосування методу ВПС доцільне при розслідуванні сходжень з рейок вантажних вагонів в режимах тяги або гальмування поїздів.

Ключові слова: рухомий склад, комп'ютерне моделювання, показники безпеки руху.

Вступ. Встановлення механічних причин сходження рухомого складу з рейок є достатньо складним завданням з огляду на значну кількість чинників, що сприяли сходженню, й неповноту інформації, яка характеризує різноманітні причини або їх збіг стосовно певного випадку сходження [1]. Під час службового розслідування встановлюється вся можлива інформація стосовно сходження, й далі вона використовується в якості вихідної для з'ясування того, які ж саме чинники обумовили досліджувану транспортну подію [2]. Чинниками причин сходження можуть бути обставини, характеристики або параметри, які відносяться до рухомого складу, рейкової колії, режиму руху тощо. При цьому основним завданням є виявлення таких чинників, за якими було порушено вимоги нормативних документів з безпеки руху.

Тим не менше, в окремих випадках розслідування сходжень рухомого складу з рейок залишаються нез'ясованими причини, що спровокували процеси втрати контакту між колесом і рейкою, тоді як були виконані вимоги з безпеки руху за всіма нормативними документами. В цих випадках нелегко з'ясувати однозначну причину сходження, виявити серед декількох ймовірних чинників найбільш суттєвий у від'ємному сенсі, тобто такий, за відсутності якого сходження не сталося б. Також важливо з'ясувати найбільш суттєву причину сходу рухомого складу з рейок у випадку, коли одночасно порушені вимоги нормативних документів з безпеки руху за кількома факторами.

Розроблений раніше метод оперативного розслідування сходження рухомого складу з рейок (метод ОРС) призначено для виявлення серед можливих механічних причин транспортних подій найсуттєвіших [3]. На підставі отриманих даних визначаються напрямки подальшого удосконалення вимог безпеки руху щодо стану утримання вантажних вагонів і колії й умов їх раціональної експлуатації щодо забезпечення прийняттого рівня безпеки руху. Застосування методу ОРЗ доцільне при розслідуванні сходжень з рейок вантажних вагонів в режимі вибігу.

Розроблений метод встановлення причин сходження (метод ВПС) призначено до застосування при розслідуванні сходжень вагонів в поїздах. Метод ВПС ґрунтується на статистичній обробці результатів моделювання динаміки поїзда певного складу з застосуванням сучасних засобів програмного забезпечення [4, 5].

Мета статті полягає у представленні метода створюваного для встановлення причин сходження рухомого складу з рейок. Завдання дослідження полягає у розвитку прикладного напрямку розробленого метода.

Виклад основного матеріалу дослідження. За методом ВПС для відображення чинників події сходження використовуються ознаки за принципом «є/немає», що забезпечує можливість відбивати в комп'ютерній моделі динаміки рухомого складу параметри, характеристики й обставини події сходження. За множиною ознак проводиться планування повно факторного комп'ютерного експерименту, виконується аналіз результатів окремих дослідів з виявленням таких, за якими подія сходу напевно сталася б, і таких, за якими подія сходу напевно

не сталася б. Встановлення причин сходження рухомого складу з рейок ґрунтується на результатах статистичної обробки даних комп'ютерного експерименту, за якими розраховуються вагові коефіцієнти впливу чинників на подію сходження на підставі статистичних висновків й обчислення умовної ймовірності.

Представлення чинників події сходження за допомогою ознак, що пропонується за методом ВПС, розширює можливості пошуку найсуттєвіших чинників серед параметрів, характеристик й обставин події сходження, що дозволяє рекомендувати цей метод для розслідування причин стосовно режимів руху, схеми формування поїзда тощо.

Загальна процедура методу ВПС полягає в наступному:

- формування множини чинників F події сходження у вигляді ознак, за якими проводитиметься пошук найсуттєвіших з них, і формування альтернативних до них з «протилежним» значенням;
- побудова плану повно факторного експерименту;
- розробка комп'ютерної моделі динаміки поїзда з прийнятним ступенем деталізації, що дозволяє відбивати множину чинників F ;
- проведення за планом комп'ютерного експерименту дослідів і з'ясування можливості сходження за кожним дослідом;
- обчислення вагових коефіцієнтів впливу чинників події сходження на підставі статистичної обробки результатів з залученням підходу Байєса.

Структурна схема методу ВПС приведена на рис. 1.

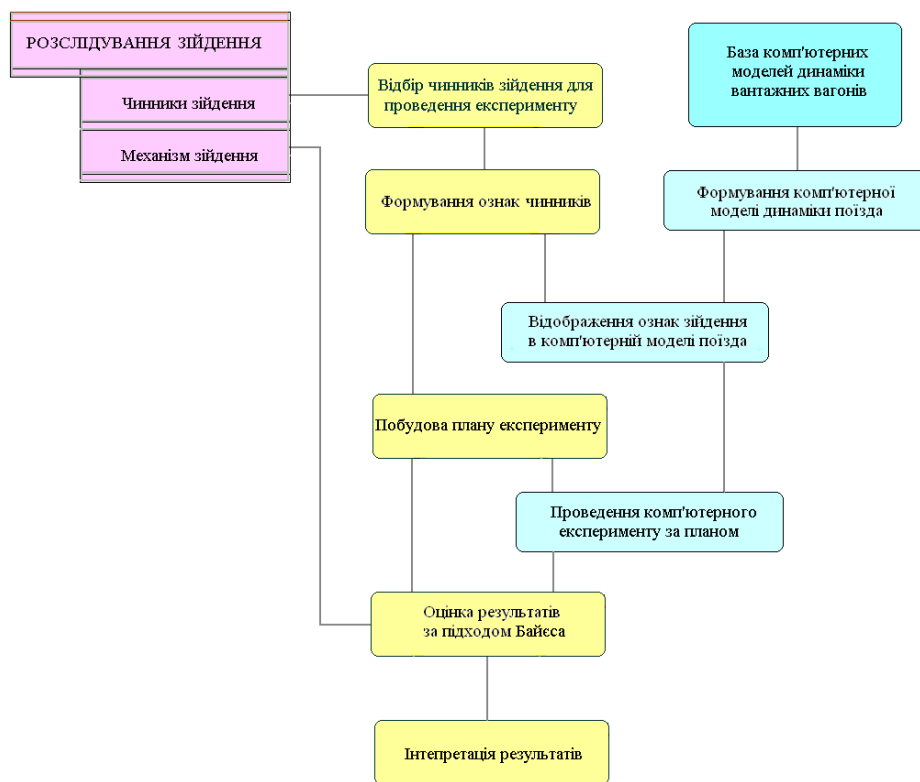


Рисунок 1 - Структурна схема методу ВПС

Доопрацювання при розробці цього методу потребує процедуру формування множини чинників у вигляді ознак, побудову моделі динаміки поїзда, формування матриці експерименту, що пов'язана з алгоритмом оцінювання ваги чинників, за якими будується план експерименту.

Теоретичне обґрунтування методу ВПС ґрунтується на ідеї парних порівнянь за кожним чинником з множини F й альтернативним до нього настанню події сходження та обчислення умовних ймовірностей події на підставі результатів комп'ютерного експерименту, отриманих за допомогою математичної моделі динаміки поїзда.

Особливої уваги при розробці методу ВПС вимагають етапи визначення множини чинників у вигляді ознак, що відбивали подію сходження за різними обставинами, й формування альтернатив до них, створення комп'ютерної моделі динаміки поїзда з прийнятною адекватністю щодо проведення комп'ютерного експерименту, а також розробка матриці плану експерименту, яка використовується для обчислення умовних ймовірностей події сходження за чинниками.

При формуванні множини чинників F події сходження з огляду на різноманітність обставин сходження рухомого складу з рейок застосовано декомпозицію загальної задачі на чотири під задачі для з'ясування впливу:

- режиму ведення поїзда;
- схеми формування вагонів у складі поїзда;
- стану утримання колії на ділянці сходу;
- технічного стану вагона, що зійшов першим.

В такому разі загальна множина чинників F отримується як об'єднання підмножин чинників $F = F_1 \cup F_2 \cup F_3 \cup F_4$, де F_i ($i = 1, \dots, 4$) – це множина чинників i -ї підзадачі. Переліки чинників кожної підзадачі формуються окремо, забезпечуючи можливість за певних відомих обставин сходження скорочення кількість підзадач або множини чинників кожної підзадачі.

Для кожного рівня за кількістю елементів, що включені до множин F_1, F_2, F_3, F_4 , визначається кількість розрахункових варіантів N_1, N_2, N_3, N_4 , які є мінімально необхідними для надання відповіді, чи був вплив величин чинників цього рівня вирішальним щодо порушення умов безпеки руху на ділянці сходження. Кількість елементів в кожній множині F_i , формується на підставі відомої інформації за обставинами певного сходження. Загальна кількість дослідних варіантів, що утворюють план комп'ютерного експерименту, дорівнює добутку $N = N_1 \cdot N_2 \cdot N_3 \cdot N_4$.

За режимом ведення поїзда підмножину F_1 утворюють чотири параметри $F_1 = \{n_{Vn}, n_{tr}, n_r, n_{TE}\}$, де n_{Vn} – ознака швидкості руху V_n на початку ділянки сходження; n_{tr} – ознака стосовно часу зміни режиму руху поїзда τ_r , що вимірюється від моменту, коли перший локомотив поїзда заїхав на ділянку сходження; n_r – ознака застосованого режиму гальмування або положення контролера машиніста для режиму тяги; n_{TE} – ознака стосовно часу застосування локомотивного гальма [6 – 8]. Повна множина ознак F_1 дозволяє сформувати декілька сценаріїв руху поїзда, включаючи перехідні режими руху.

За схемою формування поїзда підмножину чинників $F_2 = \{n_{1v}, n_{2v}\}$ створено двома параметрами: n_{1v} – це ознака завантаженості вагонів, що передують тому, що зійшов першим; n_{2v} – це ознака завантаженості вагонів, що рухалися позаду вагона, що зійшов першим. Кожна ознака n_{1v} і n_{2v} може приймати два значення 0 і 1.

За станом утримання колії підмножину чинників $F_3 = \{n_k, n_{rl}, n_{rr}\}$, де n_k – це ознака стану утримання колії; n_{rl} – це ознака стану робочих поверхонь рейок з лівого боку і n_{rr} – це ознака стану робочих поверхонь рейок з правого боку колії за напрямком руху на ділянці сходу. В разі $n_k = 0$ – в розрахунках використовуються дані про фактичний стан колії; в разі $n_k = 1$ – використовуються дані про стан утримання колії, що репрезентує стан колії з відступами другого ступеню.

Ознаки стану робочих поверхонь рейок n_{rl} і n_{rr} з лівого і правого боків за напрямком руху застосовуються при відомій інформації про зношеність рейок на ділянці сходу. В разі n_{rl} (n_{rr}) = 0 в розрахунках використовуються дані про фактичний зношений стан робочих поверхонь рейок з лівого (правого) боку колії за напрямком руху; в разі n_{rl} (n_{rr}) = 1 – використовуються дані, що описують робочі поверхні нових рейок.

За технічним станом вагона, що зійшов першим, множину чинників F_4 утворює сім ознак чинників $F_4 = \{n_d, n_p, n_n, n_z, n_{pp}, n_b, n_{kl}\}$, які призначені для формування варіантів за: n_d – діаметром коліс вагона; n_p – дефектами поверхонь кочення коліс; n_n – просіданням пружин ресорних комплектів; n_z – зазорами в ковзунах; n_{pp} – зносом в підп'ятникових вузлах; n_b – зазорами в буксових прорізах; n_{kl} – завищенням клинів.

Кожна ознака може приймати два значення: 0 – для розрахунку за фактичними значеннями відповідних чинників; 1 – для розрахунку за номінальними значеннями відповідних чинників.

Дослідження обставин сходження рухомого складу з рейок і з'ясування найбільш вагомих причин їх виникнення потребує розробки комп'ютерної моделі, до якої включено усі складові системи «поїзд-вагон-колія». Складність проблеми і взаємозв'язок цих складових вимагає побудови узагальненої моделі, що поєднує в собі опис поздовжньої динаміки поїзда та просторової динаміки локомотива або вагона, що зійшов першим. Опис поздовжньої динаміки поїзда надає можливість обчислювати зусилля, що діють на включений в поїзд екіпаж за умови реалізованого режиму ведення поїзда, для якого зафіксовані необхідні вхідні дані, тоді як просторова динамічна модель вагона (локомотива) дозволяє обчислити взаємодію коліс і рейок.

Комп'ютерна модель динаміки руху поїзда дозволяє здійснювати таке:

- конкретизувати режим ведення поїзда;
- розраховувати динаміку руху поїзда і відповідні поздовжні сили;
- моделювати рух поїзда за режимом ведення відмінним від того, що зафіксовано в реальній події, і розраховувати відповідні поздовжні динамічні сили;
- здійснювати порівняння розрахункових значень поздовжніх динамічних сил з нормативними, такими, що забезпечують безпеку руху поїзда;
- виявляти в поїзді найбільш небезпечні ділянки за рівнем поздовжньо-динамічних сил.

За визначеними силами в міжвагонних зв'язках і на підставі деталізованих моделей окремих вантажних вагонів (локомотивів) уточнюється картина взаємодії коліс і рейок, що, як випливає з наведеного огляду типових механізмів сходу, саме й спричиняє сходження з рейок рухомого складу.

Головні особливості комбінованої комп'ютерної моделі поїзда, призначеної для визначення механічних причин сходів рухомого складу з рейок, полягають у врахуванні:

- взаємодії між усіма одиницями рухомого складу поїзда за дійсною схемою його формування, фактичним завантаженням і послідовністю, а також характеристиками міжвагонних з'єднань;
- режиму ведення поїзда (тяга, вибіг, гальмування) та швидкості руху на ділянці сходу;
- устрою колії за планом та профілем на ділянці сходу;
- конструктивних особливостей і технічного стану вагона, що зійшов з рейок першим;
- стану утримання колії на ділянці сходу.

Комп'ютерна модель динаміки поїзда з детальним представленням усіх вагонів та локомотивів внаслідок своєї складності не дозволить оперативно отримувати результати моделювання або призведе до неприпустимого скорочення кількості розрахункових варіантів. Отже для оперативного встановлення причин сходження рухомого складу з рейок пропонується використовувати комбіновану модель, до якої включається зчеп з кількох вагонів (трьох або п'яти), що представлені більш детально, ніж інші екіпажі поїзда, і серед яких той, що зійшов першим.

Місце розміщення в моделі поїзда зчепу з трьох або п'яти просторових моделей вагонів визначається за порядковим номером вагона, що зійшов першим. Цей вагон представлено всередині зчепу, а інші вагони приєднані до нього попереду й позаду. При формуванні моделі поїзда однотільні моделі локомотива й вагонів описуються за дійсними геометричними розмірами (відстанями за осями зчеплення автозчепів) і фактичним станом завантаження щодо обставин певного сходження [9].

Моделі вантажних вагонів в зчепі відображаються у визначеній обставинами сходження послідовності за їх типом (напіввагон, критий вагон, хопер, цистерна тощо). При цьому модель будь-якого вантажного вагона представлена системою з 19-ти твердих тіл й має 114 степенів вільності, на відміну від моделей інших одиниць рухомого складу поїзда, які представлені одномасовими тілами з одним степенем вільності, поєднаними пружно-дисипативними елементами, еквівалентними міжвагонним зв'язкам за своїми характеристиками. З метою підвищення адекватності комп'ютерної моделі поїзда щодо обставин певного сходження особливу увагу потрібно приділити технічному стану вагона, що зійшов з рейок першим.

План комп'ютерного експерименту та алгоритмізації подальшої обробки отриманих результатів за всіма дослідними варіантами формується за певним алгоритмом [10, 11]. Для цього усім чинникам із створеного переліку надаються символічні позначення, наприклад, за англійським алфавітом. Формування матриці плану комп'ютерного експерименту розпочинається з визначення стовпчиків з позначкою A і перебігає до останнього стовпчика. Загальна кількість варіантів розрахунку становить $N = 2^K$, де K – це кількість відібраних чинників.

У ініційованому початковому варіанті плану всі ознаки чинників дорівнюють 0, що відображає фактичні обставини сходження. Далі, починаючи з першого стовпчика, по чергово вносяться значення ознак чинників за таким правилом: в другому рядку замінити чинник зі стовпчику A на 1; чинник зі стовпчика B замінюється на 1 через два рядки, чинник зі стовпчика C – через чотири рядки і т.д. Коли алгоритм досягає останнього чинника, процес формування матриці плану закінчується.

Рядки побудованої матриці відповідають дослідом, стовпчики – факторам. Елемент матриці f_{ji} задає значення i -го фактора в j -му досліді. Таким чином, реалізується повно факторний план, в якому кожний фактор приймає тільки два значення: значення 0 відповідає дійсним обставинам сходження, значення 1 – протилежним, які за припущеннями, встановленими з досвіду розслідувань, послаблюють схильність рухомого складу до сходження. При цьому значенню чинника 1 відповідають параметри, характеристики або обставини, що належать можливому діапазону зміни відповідного чинника.

Після побудови матриці плану комп'ютерного експерименту, можливо приступати до його проведення. Варто звернути увагу на те, що матриця плану будується на підставі ознак чинників. Конкретні варіанти плану комп'ютерного експерименту утворюються з відповідних рядків за ознаками чинників шляхом підстановки конкретних значень аргументів.

З метою встановлення ваги впливу кожного чинника належить, при виконанні моделювання за кожним дослідним розрахунковим варіантом, виявити здійснення одної з двох подій: подію H_0 , що відповідає ситуації сходження рухомого складу з рейок на ділянці сходу, або протилежну подію H_1 , що відповідає ситуації, коли сходження не відбувається.

Крім того, за значеннями вектора результату дослідів Y обчислюється загальна кількість варіантів, що призвели до сходження, та кількість варіантів, за якими сходження не відбулося.

На підставі розрахованих величин обчислюються ймовірності події сходження p_0 та протилежної події q_0 за всіма варіантами, а також ймовірності цих двох подій p_A, p_B, \dots й q_{NA}, q_{NB}, \dots , відповідно кожному чиннику.

Розрахунок ваги впливу чинника F_j на подію сходу здійснюється шляхом розрахунку умовної ймовірності події сходження H_0 за формулою Байеса [12]:

$$P(H_0|F_j) = \frac{P(H_0)P(F_j|H_0)}{P(H_0)P(F_j|H_0) + P(H_1)P(F_j|H_1)}, \quad (1)$$

де значення ймовірностей $P(H_0) = p0$; $P(H_1) = p1$, $P(F_j|H_0) = pA (pB, \dots)$; $P(F_j|H_1) = pNA (pNB, \dots)$ обчислюються на підставі комп'ютерного експерименту.

Результати розрахунку за формулою (1) надаються у вигляді переліку чинників F_j , що супроводжували певне сходження, зі значеннями вагових коефіцієнтів λ_j їх впливу на здійснення події сходу.

Розроблений алгоритм визначає відносну значущість усіх чинників зі зформованого переліку чинників, що за результатами розслідування вважаються такими, що за припущенням впливають на подію сходу. Ґрунтуючись на результатах моделювання за кожним з варіантів, цей алгоритм вказує найбільш суттєві чинники сходу серед множини чинників, що включено у розгляд. В системі «Mathcad» розроблено комп'ютерну програму, за якою обчислюються значення вагових коефіцієнтів [13].

Висновки.

1. Метод визначення причин сходження (ВПС) разом з методом оперативного розслідування сходження (ОРЗ) встановлюють загальний методичний порядок проведення шляхом комп'ютерного моделювання динаміки рухомого складу багатоваріантних досліджень щодо розрахунку показників безпеки руху вантажних вагонів, що зійшли з рейок, та забезпечують виявлення найбільш суттєвих механічних чинників сходу рухомого складу з рейок.

2. Загальними етапами виконання методів ОРЗ і ВПС є поділ (класифікація) всіх механічних чинників події сходу за принципом «сталі», «квазі-сталі» й стохастичні з метою формування множини ймовірних чинників події, за якими формується план комп'ютерного експерименту й проводяться багатоваріантні розрахунки.

3. Метод ВПС рекомендується до використання у випадках, коли причина сходження за матеріалами розслідування транспортної події не є очевидною або однозначною. Використання цього методу гарантує отримання об'єктивної кількісної інформації щодо показників безпеки руху на ділянці сходження одиниці рухомого складу і виявлення функціональних та стохастичних залежностей між показниками безпеки руху й певними чинниками, що супроводжували подію сходження.

4. За методом ВПС для представлення чинників події сходження використовуються парні ознаки (за принципом «є/немає»), що дозволяє відображати як параметричні, так і ситуативні чинники події (іншу схему формування поїзда, інший режим руху тощо), розширюючи число можливих чинників події, за якими здійснюється комп'ютерний експеримент. Застосовувати метод ВПС доцільно при розслідуванні сходжень з рейок вантажних вагонів в режимах тяги або гальмування поїздів.

Література

1. Domin R. Investigation of the some problems of running safety of rolling stock on the Ukrainian railways / R. Domin, Iu. Domin, G. Cherniak, A. Mostovych, V. Konstantidi, P. Gryndei // Archives of Transport. – 2016. – 40(4). – P. 79-91.
2. Методичні вказівки щодо порядку службового розслідування причин сходу рухомого складу з рейок на залізницях України, №259 від 27.04.2001р. – 14 с.
3. Дьомін Р.Ю. Метод оперативного розслідування сходження рухомого складу з рейок / Р.Ю. Дьомін, Ю.В. Дьомін, Г.Ю. Черняк, В.С. Ноженко // Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і технології». – 2021. – Вип. 37. – С. 173-186.
4. Pogorelov D. Simulation of Rail Vehicle Dynamics with Universal Mechanism Software / D. Pogorelov // Rail vehicle dynamics and associated problems. Gliwice: Silesian University of Technology. – 2005. – P. 13-58.
5. Черняк А.Ю. Применение компьютерного моделирования для определения вероятных причин схода с рельсов грузовых вагонов / А.Ю. Черняк // Залізничний транспорт України. – 2009. – №3. – С. 49-52.
6. Иноземцев В.Г. Тормоза железнодорожного подвижного состава / В.Г. Иноземцев // М.: Транспорт. – 1979. – 424 с.
7. Дубровский З.М. Грузовые электровозы переменного тока: Справочник / З.М. Дубровский // М.: Транспорт. – 1991. – 471 с.
8. Гребенюк П.Г. Тяговые расчеты: Справочник / П.Г. Гребенюк, А.Н. Долганов, А.И. Скворцова // М.: Транспорт. – 1987. – 272 с.
9. Черняк А.Ю. Компьютерная модель для оперативного определения вероятных причин схода с рельсов грузовых вагонов / А.Ю. Черняк // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. Наук. жур. – 2010. – №5(147). Ч. 1. – С. 40-46.
10. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский // М.: Наука. – 1971. – 279 с.
11. Асатурян В.И. Теория планирования эксперимента / В.И. Асатурян // М.: Радио и связь. – 1983. – 248 с.
12. Глибовець М.М. Штучний інтелект : Підруч. / М.М. Глибовець, О.В. Олецкий // К.: Вид. дім «КМ Академія». – 2002. – 366 с.
13. Дьяконов В.П. Mathcad 8/2000: Специальный справочник / В.П. Дьяконов // СПб.: Питер, 2001. - 592 с.

References

1. Domin R. Investigation of the some problems of running safety of rolling stock on the Ukrainian railways / R. Domin, Iu. Domin, G. Cherniak, A. Mostovych, V. Konstantidi, P. Gryndei // Archives of Transport. – 2016. – 40(4). – P. 79-91.
2. Metodychni vkazivky shchodo poryadku sluzhbovoho rozsliduvannya prychnyn skhodu rukhomoho skladu z reyok na zaliznytsyakh Ukrayiny [Methodical instructions on the procedure for official investigation of the causes of rolling stock derailment on the railways of Ukraine], №259 vid 27.04.2001r. – 14 s.
3. Domin R.Yu. Metod operatyvnoho rozsliduvannya skhodzhennya rukhomoho skladu z reyok Method of operative investigation of rolling stock derailment / R.Yu. Domin, Yu.V. Domin, H.Yu. Chernyak, V.S. Nozhenko // Zbirnyk naukovykh prats' Derzhavnogo universytetu infrastruktury ta tekhnolohiy: Seriya «Transportni systemy i tekhnolohiyi». – 2021. – Vyp. 37. – S. 173-186.
4. Pogorelov D. Simulation of Rail Vehicle Dynamics with Universal Mechanism Software / D. Pogorelov // Rail vehicle dynamics and associated problems. Gliwice: Silesian University of Technology. – 2005. – P. 13-58.
5. Chernyak A.Yu. Primeneniye komp'yuternogo modelirovaniya dlya opredeleniya veroyatnykh prichin skhoda s rel'sov gruzovykh vagonov Application of computer modeling to determine the probable causes of derailment of freight cars / A.Yu. Chernyak // Zaliznichniy transport of Ukrayiny. – 2009. – №3. – S. 49-52.
6. Inozemtsev V.G. Tormoza zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava [Railway rolling stock brakes] / V.G. Inozemtsev // M.: Transport. – 1979. – 424 s.
7. Dubrovskiy Z.M. Gruzovyie elektrovozy peremennogo toka: Spravochnik [Freight electric locomotives of alternating current: Handbook] / Z.M. Dubrovskiy // M.: Transport. – 1991. – 471 s.
8. Grebenyuk P.G. Tyagovyie raschety: Spravochnik [Traction calculations: Handbook] / P.G. Grebenyuk, A.N. Dolganov, A.I. Skvortsova // M.: Transport. – 1987. – 272 s.
9. Chernyak A.Yu. Komp'yuternaya model' dlya operativnogo opredeleniya veroyatnykh prichin skhoda s rel'sov gruzovykh vagonov [Computer model for operative determination of probable causes of derailment of freight cars] / A.Yu. Chernyak // Visnik Skhidnoukr. nats. un-tu im. V. Dalya. Nauk. zhur. – 2010. – №5(147). Ch. 1. – S. 40-46.
10. Adler Yu.P. Planirovaniye eksperimenta pri poiske optimal'nykh usloviy [Planning an experiment to find optimal conditions] / Yu.P. Adler, Ye.V. Markova, Yu.V. Granovskiy // M.: Nauka. – 1971. – 279 s.
11. Asaturyan V.I. Teoriya planirovaniya eksperimenta [Experiment planning theory] / V.I. Asaturyan // M.: Radio i svyaz'. – 1983. – 248 s.
12. Glibovets' M.M. Shtuchniy intelekt : Pidruch. [Artificial intelligence : Textbook] / M.M. Glibovets', O.V. Olets'kiy // K.: Vid. dim «KM Akademiya». – 2002. – 366 s.
13. D'yakonov V.P. Mathcad 8/2000: Spetsial'nyy spravochnik [Mathcad 8/2000: Special reference] / V.P. D'yakonov // SPb.: Piter, 2001. - 592 s.

The method of determining the reasons for the derailment of rolling stock (DRD method), which is presented in the article, is intended for use in the investigation of the derailment of cars in trains. DRD method is based on statistical processing of the results of modeling the dynamics of a train of a certain composition with the use of modern software. The general procedure of the DRD method is as follows: formation of a set of factors F of the derailment event in the form of signs, which will search for the most significant of them, and formulation of alternatives with "opposite" meaning; construction of a plan for a full factorial experiment; development of a computer model of train dynamics with an acceptable level of detail, which allows you to reflect many factors F; conducting experiments according to the plan of a computer experiment and finding out the possibility of derailment for each experiment; calculating the weights of the factors of the derailment event based on statistical processing of results using the Bayesian approach. According to the DRD method to reflect the factors of the event of derailment, the signs are used on the principle of "yes / no", which provides an opportunity to reflect in a computer model of the dynamics of rolling stock parameters, characteristics and circumstances of the derailment. On the basis of many features, a full-factor computer experiment is planned; the results of individual experiments are analyzed to identify those for which the event of the derailment would probably have occurred, and those for which the event of the derailment would probably not have occurred. Determining the reasons for the derailment of rolling stock is based on the results of statistical processing of computer experiment data, which calculate the weights of factors influencing the event of derailment on the basis of statistical conclusions and calculation of the conditional probability. Representation of derailment event factors using the features proposed by DRD method expands the search for the most significant factors among the parameters, characteristics and circumstances of the climbing event, which allows us to recommend this method to investigate the causes of train modes, train formation schemes, etc.

Key words: rolling stock, computer modeling, motion safety indicators.

Дьомін Р. Ю. – доктор технічних наук, перший заступник директора Науково-дослідного та конструкторсько-технологічного інституту залізничного транспорту; r.domin@1520mm.com

Дьомін Ю. В. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля; [do-min1520.1435mm@gmail.com](mailto:domin1520.1435mm@gmail.com)

Черняк Г. Ю. – кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля; anchernyak1520mm@gmail.com

Ноженко В. С. – кандидат технічних наук, проректор Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля; v.nozhenko@1520mm.com