

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-273-3-72-79>

УДК 629.4.015:656.2.08

НАГАЛЬНІ ЗАВДАННЯ СТВОРЕННЯ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ ЩОДО ДОПУСКУ ДО ЕКСПЛУАТАЦІЇ ШВИДКІСНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Дьомін Ю.В., Дьомін Р.Ю., Черняк Г.Ю., Морнева М.О.

URGENT TASKS OF CREATION A REGULATORY FRAMEWORK FOR ADMISSION TO OPERATION OF HIGH-SPEED ROLLING STOCK

Domin Yu.V., Domin R.Yu., Cherniak G.Yu., Morneva M.O.

У статті розглядаються питання осучаснення нормативної документації щодо розрахунків і оцінки динамічних якостей рухомого складу колії 1520 мм та створення системи процедур з допуску швидкісного рухомого складу до експлуатації. Актуальність вказаної проблеми визначається застарілістю нормативної бази, за якою здійснюється приймання та допуск до експлуатації рухомого складу, і відсутністю технічних вимог до швидкісного рухомого складу з точки зору забезпечення гарантованої безпеки руху поїздів. Наведено відомості щодо системи динамічних показників рухомого складу колії 1520 мм і вимог до динамічних якостей рухомого складу за Європейськими нормами. На основі порівняльного аналізу систем оцінки динамічних властивостей залізничних транспортних засобів колії 1520 мм і 1435 мм визначені принципові відмінності цих систем за показниками безпеки руху. Запропоновано удосконалити відповідну нормативну базу шляхом застосування сучасних методів і засобів оцінки характеристик екіпажних частин, що ґрунтуються на світовому досвіді виробництва та випробувань нової залізничної техніки, зокрема за європейськими нормами (EN), технічними вимогами інтероперабельності (TSI), Пам'ятками ОСЖД та UIC. Зазначено, що процеси оновлення чинної нормативної документації стосовно введення в експлуатацію швидкісного рухомого складу для вітчизняних залізниць мають ґрунтуватись на принципах інтеграції та гармонізації вітчизняних керівних документів з відповідними актами країн Європейського Союзу. Рекомендовано доповнити систему традиційних показників безпеки руху критеріями, що застосовуються на залізницях колії 1435 мм. Крім того, вперше запропоновано включити до переліку показників безпеки руху критичну швидкість щодо автоколівань виляння рухомого складу. Наведено два підходи до визначення критичної швидкості. Зазначено, що під час ходових динамічних випробувань колеса одиниць рухомого складу повинні бути у двох станах – початковому (неспрацьованому) і такому, що відповідає природному спрацюванню коліс у процесі експлуатації. При цьому припускається, що профілі коліс повинні відповідати розрахунковим значенням еквівалентної конусності.

Ключові слова: нормативна документація, рухомий склад, допуск до експлуатації.

Вступ. За Угодою про асоціацію між Україною та Європейським Союзом у статті щодо зближення технічного регулювання, стандартів та оцінки відповідності [1, стаття 56] зазначено, що Україна має поступово впроваджувати звід Європейських стандартів (EN) у якості національних стандартів. Для задоволення вимогам законодавства Європейського Союзу стосовно транспортної безпеки передбачено розробку комплексу науково обґрунтованих заходів в усіх секторах залізничного транспорту, у тому числі у господарствах рухомого складу.

Досвід, набутий в процесі впровадження в експлуатацію електропоїздів HRCS2 [2-4] та вагонів на візках з розсувними колісними парами [5-7], свідчить про нагальну необхідність удосконалення системи допуску до експлуатації швидкісного рухомого складу з урахуванням досягнень залізниць світу, зокрема країн Євросоюзу і Китаю, які мають значні напрацювання щодо використання рухомого складу з конструкційними швидкостями 160-200 км/год і вище.

Дотепер існує значне розходження у підходах як до розрахункових випадків, так і до оцінки ходових властивостей рухомого складу колій 1520 мм і 1435 мм. Це пояснюється, перш за все, тим, що нормативні документи, які діють на залізницях України, застарілі і потребують перегляду. Крім того, ці документи не передбачають вимог до швидкісного рухомого складу [8]. Досі зберігається штучний розподіл нормативних документів за видами рухомого складу [9-11]. Європейські ж стандарти більш інтегровані й систематично оновлюються, підтримуючи нові підходи до проектування і ґрунтуючись на сучасних досягненнях науки і техніки [12, 13]. Звідси виникає необхідність у гармонізації вітчизняної нормативної бази для створення нової техніки залізниць. Для цього слід оцінити та порівняти динамічні показники рухомого складу, що застосовуються на залізницях України і Європейського Союзу. На

цій основі визначити завдання щодо розроблення нормативної бази з забезпечення експлуатації рухомого складу та скласти рекомендації стосовно вимог до процедур комплексних випробувань для приймання і допуску до експлуатації швидкісного рухомого складу.

Метою роботи є обґрунтування основних положень нормативних вимог щодо допуску швидкісного рухомого складу на залізниці України на базі дослідження методів і засобів визначення динамічних показників безпеки руху рейкових транспортних засобів.

1. Оцінювання динамічних показників безпеки руху поїздів

Умови безпеки руху поїздів в механічному сенсі визначаються, перш за все, конструкційними характеристиками і технічним станом ходових частин рухомого складу та колії. Відповідні чинники набувають все більшої ваги з об'єктивним підвищенням вимог до якості перевезень пасажирів і вантажів.

Сходження рухомого складу з рейок – це процес, протягом якого принаймні одне з коліс рейкового екіпажу втрачає контакт з рейкою в результаті надмірного бокового переміщення колісної пари. За цим настає сходження колісної пари з рейок, що призводить до сходження інших колісних пар рейкового екіпажу. З точки зору динаміки колесо-рейкової системи бокове переміщення колеса є результатом дії нормальної і поперечної контактних сил. Тому важливим є достовірне визначення цих сил [12].

1.1. Система динамічних показників рухомого складу колії 1520 мм. Ходові якості, безпека руху та плавність ходу залізничного рухомого складу колії 1520 мм оцінюються експериментальними та розрахунковими способами за системою динамічних показників [9-11]. Наявна система динамічних показників склалася з урахуванням досвіду численних натурних випробувань рухомого складу.

Експериментально значення динамічних показників визначаються за результатами ходових динамічних випробувань дослідних екіпажів. Для цього під час випробувань реєструються динамічні навантаження на колісні пари, сили, які діють у ресорному підвішуванні, прискорення кузовів у діапазоні частот коливань до 20 Гц. Значення динамічних показників можна оцінити шляхом розв'язання відповідних задач динаміки вагонів. Але розрахункові значення динамічних показників розцінюються як прогнозні дані, котрі частіше використовуються при проектних розробках.

Унормованим показником, що застосовується для оцінювання динамічної поведінки рухомого складу щодо безпеки руху на залізницях колії 1520 мм, є коефіцієнт запасу стійкості колісної пари проти сходження з рейок за умови вкочування гребеня колеса на головку рейки k_{cc} . Коефіцієнт запасу стійкості колеса проти сходжень з рейок k_{cc} при русі вагона з максимальною швидкістю прямою колією задовільного стану з сполученнями відс-

тупів у плані, перекосами і просадками, що допускаються, обчислюється за формулою:

$$k_{cc} = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu \cdot tg\beta} \cdot \frac{P_a}{P_o}, \quad (1)$$

де β – кут нахилу до горизонту твірної конусоподібної поверхні гребеня колеса; μ – коефіцієнт тертя ковзання поверхонь коліс і рейок, що взаємодіють; P_a – вертикальна складова сил, що діють від коліс на рейки; P_o – горизонтальна складова сил взаємодії колеса з рейкою, яка діє одночасно з силою P_a .

Допустиме значення коефіцієнта запасу стійкості колісної пари від сходжень з рейок для пасажирських вагонів приймається рівним $[k_{cc}] = 1,8$, для тягового рухомого складу – $[k_{cc}] = 1,4$, для вантажних вагонів – $[k_{cc}] = 1,3$.

Розрахунки значень k_{cc} не враховують суттєвої обставини, яка пов'язана з часовим фактором, а саме, тривалість дії бокової сили одного напрямку при несприятливому сполученні з силами, що діють у вертикальному напрямку. Головним недоліком такого підходу до оцінки стійкості рухомого складу в рейковій колії є опосередкованість визначення сил взаємодії коліс і рейок через рамні сили. За діючою методикою рамні сили вимірюються за деформаціями рам візків. Недоліком такого способу вимірювання сил є невисока точність, що, в кінцевому рахунку, позначається на результатах розрахунку сил взаємодії, а значить і коефіцієнта запасу стійкості колісної пари від сходження з рейок.

Окрім коефіцієнтів запасу стійкості динамічна поведінка одиниць рухомого складу оцінюється такими величинами:

- рамні сили H_p , що діють з боку окремої колісної пари на раму візка і визначаються в долях статичного навантаження коліс на рейки;
- коефіцієнти вертикальної динаміки k_d за силами в підвішуванні;
- горизонтальні поперечні та вертикальні прискорення кузова (j_y і j_z) в точках, розміщених над п'ятниковими вузлами і в центрі кузова;
- горизонтальні поперечні та вертикальні прискорення рам візків (j_{py} і j_{pz}).

Разом з тим використання в якості критерію коефіцієнта запасу стійкості k_{cc} проти сходження колісних пар з рейок за умови вкочування гребеня колеса на головку рейки має певні недоліки. Зокрема суттєвим недоліком використання k_{cc} у якості критерію розпізнавання події сходження, є неадекватність значення коефіцієнта k_{cc} ситуації з подальшим вкочуванням колеса на рейку після виходу на гребеневий контакт. Намагання покращити чутливість критерію шляхом використання часу або шляху вкочування в окремих випадках не призводить до розпізнавання ситуації сходження. Тому одночасно з традиційним підходом до оцінки стійкості одиниць рухомого складу в рейковій колії пропонується до застосування в процесі розпізнавання події сходження використовувати комбіно-

ваний критерій безпеки $k_{\text{об}}$, який дозволяє адекватно оцінити процес повного вкочування колеса на головку рейки.

Суть цього критерію полягає в наступному. Процес вкочування поділено на дві фази: до критичної точки і вище критичної точки. Критична точка на профілі гребеня – це перша точка контакту в процесі вкочування з найбільшим кутом нахилу твірної гребеня. В другій фазі процесу вкочування колеса на рейку, коли гребеневий контакт виявився в критичній точці, для оцінювання безпеки сходження замість показника $k_{\text{св}}$ пропонується використовувати величину підйому колеса z на головку рейки.

З приведених нормативних положень стосовно оцінки безпеки руху вагонів колії 1520 мм виходить, що для визначення величин коефіцієнтів запасу стійкості коліс проти сходжень з рейок необхідні дані щодо бокових сил, тобто сил, що діють на колісні пари з боку рам візків. Далі за відповідним перерахунком за наведеними вище виразами здійснюється спроба оцінити співвідношення сил, що діють в контактах коліс і рейок. Такий підхід можна було сприймати як задовільний для існуючого рухомого складу. Стосовно швидкісного рухомого складу колії 1520 мм необхідні нові підходи до оцінки умов безпеки руху, засновані на безпосередньому визначенні сил взаємодії коліс і рейок. Для цього слід скористатись досвідом, накопиченим залізницями колії 1435 мм при запровадженні швидкісного і високошвидкісного руху.

1.2. Вимоги до динамічних якостей рухомого складу за Європейськими нормами. Приймання та допуск рухомого складу до експлуатації на залізницях країн ЄС здійснюється згідно вимог, що встановлюють стандарти EN і Пам'ятки UIC, зокрема документи EN 14363 [12] і UIC Code 518 [13]. В цих документах визначено методи, засоби й умови проведення випробувань рухомого складу з визначення якостей ходових характеристик. Оцінка динамічних якостей досліджуваного екіпажа за силовими показниками, які отримуються з дослідних даних, проводиться, перш за все таких, що характеризують умови безпеки руху.

За європейськими нормами існують два методи вимірювання величин для оцінки динамічних якостей рухомого складу: нормальний і спрощений. При нормальному методі вимірюють сили взаємодії коліс і рейок (бокова Y та вертикальна Q складові), як мінімум для кожної зовнішньої осі візка. Технічні вимоги розраховують на те, що підрозділ, що здійснює приймальні випробування, має у своєму розпорядженні устаткуванням, яке здатне визначити сили Y і Q , зокрема так звані вимірювальні (тензометричні) колісні пари [14, 15].

При спрощеному методі, який застосовується у випадках, коли випробуванням піддаються модифіковані вагони, або коли змінюються умови експлуатації, застосовуються два способи вимірювань:

1) замість сил взаємодії коліс і рейок дозволяється вимірювати бічні сили H між колісними парами і рамами візків, так звані буксові сили;

2) вимірюються лише прискорення кузова у горизонтальному і вертикальному напрямках (\ddot{y}_s^* і \ddot{z}_s^*) та бічні прискорення рам візків (\ddot{y}_s^+).

За критерій стійкості від сходження з рейок рухомого складу колії 1435 мм прийнято частку відношення напрямної сили до вертикальної сили (Y/Q) на колесо. Це відношення відоме як критерій Надала (M. J. Nadal) [12]:

$$\frac{Y}{Q} = \frac{\tan \beta - \mu}{1 + \mu \cdot \tan \beta}. \quad (2)$$

Для залізничних екіпажів колії 1435 мм відношення Y/Q за виразом (2) є головним критерієм стійкості. Критична для безпеки руху величина відношення бічної сили до вертикальної, які діють на напрямне колесо, становить $(Y/Q)_{\text{max,lim}} = 0,8$. Ця величина використовується у випадках, коли криволінійна колія має радіус $R > 250$ м. За дослідженнями Європейської залізничної адміністрації при $\gamma = 70^\circ$ і $\mu = 0,36$ граничне значення для $(Y/Q)_{\text{lim}}$ було визначено як 1,2.

Сили Y і Q вимірюють при випробуваннях екіпажів, призначених для експлуатації з максимальними швидкостями руху понад 120 км/год. Для екіпажів на менші допустимі швидкості та у разі спрощеного методу випробувань вважається достатнім вимірювання бічних сил H між буксами і колісними парами.

Для забезпечення безпеки руху вагонів, крім зазначеного обмеження на відношення Y/Q , встановлюються також обмеження на величину суми напрямних сил ΣY_{max} – критерій Прюдодма (A. Prud'homme). Максимально допустима (критична) величина цього показника за умов стійкості рейко-шпальної решітки від зсуву становить:

$$\Sigma Y_{\text{max,lim}} = k_1 (10 + 2Q_0 / 3), \quad (3)$$

де коефіцієнт $k_1 = 1,0$ для локомотивів, моторних вагонів, комбінованих одиниць і пасажирських вагонів; $2Q_0$ – статичне осьове навантаження у кН.

Сума бічної буксової сили H_{max} як граничне значення використовується тільки при спрощеному методі вимірювання

$$H_{\text{max,lim}} = k_2 (10 + 2Q_0 / 3), \quad (4)$$

де коефіцієнт $k_2 = 0,90$ для локомотивів, моторних вагонів, комбінованих одиниць і пасажирських вагонів.

Залежно від маси m^+ візка, включаючи колісні пари, граничне значення бокового прискорення рами візка $\ddot{y}_{s,\text{lim}}^+$ становить:

$$\ddot{y}_{s,\text{lim}}^+ = 12 - \frac{m^+}{5}. \quad (5)$$

В результаті порівняння всіх вимірних величин з допустимими значеннями робиться висновок про те чи транспортний засіб допускається, або ні до експлуатації, що є головним завданням для забезпечення безпеки руху поїздів.

2. Засади гармонізації нормативних вимог з допуску до експлуатації швидкісного рухомого складу

З порівнянь нормативних вимог стосовно оцінки динамічних якостей та дії на колію рухомого складу колії 1520 мм, з одного боку, та відповідних європейських нормативних документів, з другого, можна констатувати про значне розходження у підходах як до розрахункових випадків, так і до оцінки ходових властивостей рухомого складу.

За відсутності сучасної вітчизняної нормативної бази зі створення і допуску до експлуатації швидкісного рухомого складу необхідною стає розробка нової нормативної документації, яка б складала основу для проектування екіпажних частин за критеріями забезпечення безпеки руху, міцнісної надійності, плавності ходу і допустимої дії на колію. Процедура допуску до експлуатації нового рухомого складу мають бути пов'язані з відповідними розрахунками та комплексними випробуваннями, метою яких є встановлення відповідності нової залізничної техніки вимогам безпеки. Тому виникає необхідність у гармонізації вітчизняної нормативної бази для створення нової техніки залізниць, зокрема швидкісного рухомого складу. Крім того, потребують перегляду методи і засоби, що традиційно використовуються при випробуваннях рухомого складу.

Щодо розбіжностей у нормативних вимогах слід зауважити, що, наприклад, оцінка показників безпеки руху за нормами для колій 1520 мм ведеться за методикою, яка не відображає дійсних умов, які підвищують ризики щодо сходу локомотивів і вагонів з рейок, оскільки не враховується часовий фактор. Плавність ходу оцінюється за показниками, які визначаються з використанням методики, розробленої кілька десятків років тому.

З огляду на відсутність нормативної бази щодо допуску до експлуатації швидкісного рухомого складу, природним є запозичення досвіду залізниць, що освоїли швидкісний і високошвидкісний рух. Тому в справі створення вітчизняної нормативної бази логічним є шлях освоєння міжнародних норм і стандартів.

2.1. До удосконалення системи випробувань рухомого складу. Процедурні дії, за результатами яких має прийматися рішення щодо допуску рейкових транспортних засобів до експлуатації, включають комплекс натурних випробувань, такі як: стаціонарні випробування, випробування на міцність і стійкість несівних конструкцій, ходові динамічні випробування, випробування щодо дії на колію.

Спираючись на нормативні вимоги щодо порядку і методів проведення випробувань рухомого складу колії 1435 мм, пропонується переглянути методичні підходи до формування процедурних завдань та оновити способи і засоби натурних випробувань. Так, стаціонарні випробування, окрім поkolісного зважування і скидання з клинів, мають включати визначення опору повороту візків відносно кузова в горизонтальній площині.

Визначення характеристик опору повороту візків відносно кузова виконується з метою оцінки одного з критеріїв доказу безпеки руху екіпажу, яким є показник X . Рекомендовані значення показника X знаходяться в межах 0,03...0,07. Цей показник обчислюється за формулою [12]:

$$X = \frac{M_{z,R_{\min}}}{2a^+ 2Q_0}, \quad (6)$$

де $M_{z,R_{\min}}$ – обертовий момент візка відносно кузова в плані, визначений для кута повороту (кута впливання) $\psi = a^+ / R_{\min}$; a^+ – половина відстані між шворнями, м; R_{\min} – мінімальний радіус кривої, м; $2a^+$ – відстань між крайніми осями візка, м.

Вимірювання обертового моменту проводяться на спеціальному стенді [16]. Цей стенд повинен забезпечувати постійну кутову швидкість впливання рівну 1 градус/с і реєстрацію поточних змін значень моменту у функції кута повороту візка. Вимірювання необхідно проводити окремо для кожного візка при поворотах візка в обидві сторони на кут, що відповідає руху екіпажа кривою з мінімальним радіусом R_{\min} .

Випробування на міцність і стійкість несівних конструкцій мають складатись зі статичних і динамічних випробувань, стендових випробувань на опір утомі й випробувань на співударяння [17].

Умови ходових динамічних випробувань передбачають дослідні поїздки на прямолінійних і криволінійних ділянках колії. Випробування відбуваються на експлуатаційних лініях. Обов'язковою вимогою є наявність кривих з радіусами 250...400 м. Фіксованих ділянок колії у зоні випробувань повинно бути не менше як 25. Залежно від плану колії довжина вимірних ділянок колії становить від 70 до 500 м. Максимальна швидкість руху на випробувальних ділянках повинна дорівнювати конструкційній швидкості з додатком 10%.

Під час випробувань колеса повинні мати профілі поверхонь кочення, котрі відповідають природному спрацюванню у процесі експлуатації. Нові екіпажі, для яких невідома картина спрацювання коліс в експлуатації, попередньо випробовуються з новими профілями коліс. Остаточні висновки щодо їхніх динамічних властивостей формулюються після випробувань з колесами, що мають експлуатаційні спрацювання.

Припускається, що профілі коліс повинні відповідати розрахунковим значенням еквівалентної конусності $\tan \gamma_e$ [18]. Для певної колісної пари, що

рухається рейковою колією, еквівалентна конусність дорівнює тангенсу кінчного кута профілю такої колісної пари, котра має поперечний рух з тією за довжиною хвилею виляння, як і колісна пара, що розглядається. Цей параметр узагальнює характеристики геометричної взаємодії колісних пар з рейками, які мають суттєвий вплив на динамічну поведінку того чи іншого екіпажа. Високий рівень еквівалентної конусності підвищує можливість сходження колісних пар з рейок. Максимальні значення еквівалентної конусності в залежності від швидкості руху становлять від 0,5 при $v \leq 140$ км/год до 0,15 при $v \leq 350$ км/год.

Ефективне використання сучасних методів і засобів комп'ютерного моделювання для оцінки міцності несівних елементів екіпажних частин та їх динамічних якостей суттєво підвищує вірогідність отримання відповідних характеристик реальної конструкції. За Пам'яткою УІС 518 для застосування чисельного моделювання визначені три області [9]. Це: процедура приймання для вдосконалених залізничних транспортних засобів; процедура приймання нового залізничного транспортного засобу в порівнянні зі вже прийнятою базовою конструкцією; доповнення ряду умов випробувань, коли повна програма випробувань не була завершена. В цих сферах вважається доцільним використання чисельного моделювання замість випробування на колії.

2.2. Рекомендації щодо критеріїв безпеки руху. Для оцінки умов гарантованої безпеки руху рейкових екіпажів, конструкційна швидкість яких перевищує 160 км/год, поряд з традиційними оцінками, рекомендуються до застосування наступні критерії:

- критерій стійкості рухомого складу від сходу з рейок у вигляді відношення бокової сили Y до вертикальної Q , які діють в контактні напрямного колеса і рейки;

- критерій стійкості рейко-шпальної решітки від зсуву внаслідок дії рухомого складу на залізничну колію сумарними напрямними силами;

- критерій безпеки руху рухомого складу за горизонтальними поперечними прискореннями рами візка;

- величина обертового моменту сил опору повороту візків відносно кузова, що має визначатися за допомогою спеціального стендового обладнання;

- критична швидкість щодо автоколивальних вилянь рухомого складу.

Останній з рекомендованих критеріїв є принципово новим елементом у системі вибору раціональних параметрів екіпажної частини швидкісного рухомого складу з метою гарантованого забезпечення безпеки руху. Для отримання високих динамічних якостей рейкових екіпажів критична швидкість $v_{кр}$ повинна бути вища за конструкційну v_k , тобто $v_{кр} > v_k$.

При визначенні критичної швидкості можливе застосування таких двох підходів [16]:

- перший підхід засновано на аналізі дійсних частин власних значень матриці коефіцієнтів рів-

нянь руху (розв'язок задачі про стійкість руху за О.М. Ляпуновим в першому наближенні):

$$h_{max} = \max_{j=1,2n} h_j = \max_{j=1,2n} \operatorname{Re}(\lambda_j) \quad (7)$$

– другий підхід, ґрунтується на проведенні розрахунків шляхом інтегрування системи рівнянь руху в загальному вигляді за відсутності зовнішніх збурень.

Перший підхід використовується виключно для випадків, коли рівняння руху наближені до лінійних і за умови, якщо лінеаризація системи рівнянь здійснюється коректно в математичному сенсі. За лінеаризованою системою рівнянь руху формується матриця коефіцієнтів. За результатами обчислення власних значень матриці коефіцієнтів для різних швидкостей руху будуються графіки залежностей $h_{max}(v)$. Значення швидкості руху, що відповідає точці перетину кривої $h_{max}(v)$ з віссю абсцис, тобто коли $h_{max} = 0$, є критичною швидкістю $v_{кр}$.

Другий підхід використовується у випадку нелінійних рівнянь руху рейкового екіпажа. У разі наявності відкритих пар сухого тертя у сполученнях несівних елементів ходових частин між собою та кузовом, можливі зупинки у відносних переміщеннях окремих тіл системи. Таким чином, система може втрачати ступені вільності і переходити з одного структурного стану в інший. Отже, вихідну розрахункову систему можна розглядати як систему з перемінною структурою. Кількість можливих структурних станів такої системи дорівнює 2^i (i – кількість вузлів тертя).

На підставі концепції принципової перемінності вихідної системи, яка імітує динамічну поведінку вантажного вагона, запропоновано спосіб визначення критичних швидкостей з використанням методу лінеаризації дискретних систем з вузлами сухого тертя [19]. Суть цього способу полягає у заміщенні вихідної нелінійної системи l лінійними підсистемами ($l = 2^i$). Кожна з l підсистем відповідає одному з можливих станів вихідної нелінійної системи. Такі підсистеми будуються відповідно до структурних змін вихідної системи внаслідок почергового закриття зв'язків з сухим тертям.

При побудові лінійних підсистем основним є визначення параметрів в'язкого тертя, яке заміщує сухе тертя у незакритих зв'язках. За розробленою методикою формування лінійних підсистем визначення коефіцієнта еквівалентного в'язкого опору у зв'язку багатомасової автоколивальної системи з сухим тертям здійснюється за методом С.П. Тимошенко при дослідженні вимушених коливань осцилятора з сухим тертям [20].

Далі оцінюється стійкість можливих станів системи (підсистем) так як це здійснюється у першому підході. Найменша з отриманого в такий спосіб спектра критичних швидкостей і є швидкістю руху, при якій виникають автоколивання в досліджуваній системі з перемінною структурою.

Таким чином, показники стійкості руху найменш стійких з низки підсистем, якими апроксимовано вихідну систему, визначають умови виникнення автоколивань досліджуваного рейкового екіпажу. Отже метод структурної лінеаризації дозволяє поширити потужні методи лінійної алгебри на клас систем, що принципово не лінеарізуються.

Висновки. Через принципові відмінності системи оцінки динамічних якостей рухомого складу колії 1520 мм від європейських стандартів та відсутності нормативних документів з розробки та допуску до експлуатації швидкісного рухомого складу запропоновано удосконалити відповідну нормативну базу шляхом застосування сучасних методів і засобів оцінки характеристик екіпажних частин, що ґрунтуються на світовому досвіді виробництва та випробувань нової залізничної техніки. Процеси оновлення чинної нормативної документації стосовно введення в експлуатацію швидкісного рухомого складу для вітчизняних залізниць мають ґрунтуватися на принципах інтеграції та гармонізації вітчизняних керівних документів з відповідними актами країн ЄС, таких як європейські норми (EN), технічні вимоги інтероперабельності (TSI), Пам'ятки ОСЖД та UIC.

Основні положення нормативних вимог щодо допуску швидкісного рухомого складу на залізницю України окрім традиційних показників безпеки руху мають включати низку критеріїв, а саме: критерій стійкості рухомого складу від сходу з рейок у вигляді відношення бокової сили до вертикальної, що діють в контакті напрямного колеса і рейки; критерій стійкості рейко-шпальної решітки від зсуву внаслідок дії рухомого складу на залізничну колію сумарними напрямними силами; критерій безпеки руху рухомого складу за горизонтальними поперечними прискореннями рами візка; величину обертового моменту сил опору повороту візків відносно кузова; критичну швидкість щодо автоколивань впливання рухомого складу. Під час ходових динамічних випробувань колеса одиниць рухомого складу повинні бути у двох станах – початковому (неспрацьованому) і такому, що відповідає природному спрацьованню коліс у процесі експлуатації.

Література

1. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. – Нормативні акти Верховної Ради України [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/984_011.
2. Domin R. Mechanical Safety of Railway Vehicles / Domin R. – Düsseldorf: LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 140 p.
3. Дьомін Р.Ю. Визначення показників безпеки руху швидкісного електропоїзда шляхом комп'ютерного моделювання динаміки його вагонів / Р.Ю. Дьомін, Ю.В. Дьомін, Г.Ю. Черняк. *Вагонний парк*. 2016. № 1 – 2. С. 32 – 34.

4. Domin R. Estimation of Dynamic Performances of the Safe Operation of High-Speed Electric Train / R. Domin, Iu. Domin, G. Cherniak. *Archives of Transport*. – 2017. – Vol. 41, Iss. 1. – P. 7-16.
5. Domin Iu. Technical and Technological Providing of Intermodal Transportation between Ukraine and EU / Iu. Domin, R. Domin // *Advanced Rail Technologies: 5th International Conference*, 9-10.11.2016: Conference Proceedings. – Warsaw, 2016. – P. 39.
6. Дьомін Р.Ю. Впровадження AGCS-технологій – шлях до інтеграції залізниць України в європейську транспортну мережу / Р. Ю. Дьомін, Ю. В. Дьомін // *Вагонний парк*. – 2017. – № 5-6 (122–123). – С. 20-23.
7. Domin R. Technical and technological means to ensure the development of interoperable transportation between Ukraine and the EU / R. Domin // *Problemy Kolejnictwa*. – 2017. – Zeszyt 176. – S. 7-13.
8. Сучасні підходи до нормативних оцінок міцності несвітних елементів екіпажних частин, динамічних якостей локомотивів та їх дії на колію / І.Є. Батюшин, С.Г. Грищенко, Р.Ю. Дьомін, Ю.В. Дьомін, Г.Ю. Черняк // *Локомотив-Інформ*. – 2010. – № 2. – С. 24-27.
9. Нормы для расчёта и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996.
10. Нормы расчёта и оценки прочности несущих элементов и динамических качеств экипажной части моторвагонного подвижного состава железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм. – М.: ВНИИЖТ РФ, 1997.
11. Нормы расчёта и оценки прочности несущих элементов и динамических качеств экипажной части локомотивов. – М.: ВНИИЖТ РФ, 1998.
12. EUROPEAN STANDARD EN 14363. Railway applications — Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles — Testing of running behaviour and stationary tests.
13. UIC Code 518. Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour — Safety — Track fatigue — Ride quality.
14. Licciardello R.V. Introduction to the Experimental Evaluation of the Dynamics of Railway Vehicles // *Rail vehicle dynamics and associated problems*. Gliwice: Silesian University of Technology, 2005. – P. 89-113.
15. Riggall Greg. IWT4 goes into operation / Greg Riggall // *Railway Gazette International*. – July 2008. – P. 455-456.
16. Динаміка та безпека швидкісного руху рейкових транспортних засобів / Р.Ю. Дьомін, Ю.В. Дьомін, Г.Ю. Черняк, В.С. Ноженко. – Івано-Франківськ: НАІР, 2021. – 172 с.
17. Motive power units – Bogies and running gear – Bogie frame structure strength tests: UIC Code 615-4.
18. UIC Code 519. Method for determining the equivalent conicity.
19. Геккер Ф. П. Динамика машин, работающих без смазочных материалов в узлах трения / Ф. П. Геккер. – М.: Машиностроение, 1983. – 168 с.
20. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле – М.: Наука, 1967. – 444 с.

References

1. Uhoda pro asotsiatsiyu mizh Ukrainoyu, z odniyei storony, ta Yevropeys'kym Soyuzom, Yevropeys'kym spivtovarystvom z atomnoyi enerhiyi i yikhnimy derzhavamy-chlenamy, z inshoyi storony [Association Agreement between Ukraine, of the one part, and the European Union, the European Atomic Energy Community and their Member States, of the other part]. – *Normativni akty*

- Verkhovnoyi Rady Ukrainy [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/984_011. (in Ukrainian)
2. Domin R. Mechanical Safety of Railway Vehicles / Domin R. – Düsseldorf: LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 140 p. (in English)
 3. Domin R.Yu. Vyznachennya pokaznykiv bezpeky rukhu shvydkisnoho elektropoyizda shlyakhom komp'yuternoho modelyuvannya dynamiky yoho vahoniv [Determination of safety indicators of high-speed electric train by computer modeling of the dynamics of its cars] / R. Yu. Domin, Yu. V. Domin, G. Yu. Chernyak // Vahonnyy park. – 2016. – № 1-2. – S. 32-34. (in Ukrainian)
 4. Domin R. Estimation of Dynamic Performances of the Safe Operation of High-Speed Electric Train / R. Domin, Iu. Domin, G. Cherniak // Archives of Transport. – 2017. – Vol. 41, Iss. 1. – P. 7-16. (in English)
 5. Domin Iu. Technical and Technological Providing of Intermodal Transportation between Ukraine and EU / Iu. Domin, R. Domin // Advanced Rail Technologies: 5th International Conference, 9-10.11.2016: Conference Proceedings. – Warsaw, 2016. – P. 39. (in English)
 6. Domin R. Yu. Vprovadzhennya AGCS-tehnolohiy – shlyakh do intehtatsiyi zaliznyts' Ukrainy v yevropeys'ku transportnu merezhu [Implementation of AGCS-technologies - a way to integration of Ukrainian railways into the European transport network] / R. Yu. Domin, Yu. V. Domin // Vahonnyy park. – 2017. – № 5-6 (122-123). – S. 20-23. (in Ukrainian)
 7. Domin R. Technical and technological means to ensure the development of interoperable transportation between Ukraine and the EU / R. Domin // Problemy Kolejnictwa. – 2017. – Zeszyt 176. – S. 7-13. (in English)
 8. Suchasni pidkhody do normatyvnykh otsinok mitsnosti nesivnykh elementiv ekipazhnykh chastyn, dynamichnykh yakostey lokomotyviv ta yikh diyi na koliiyu [Modern approaches to normative assessments of strength of sowing elements of crew parts, dynamic qualities of locomotives and their action on the track] / I.Ye. Batyushyn, S.H. Hryshchenko, R.Yu. Domin, Yu.V. Domin, G.Yu. Chernyak // Lokomotyv-Inform. – 2010. – № 2. – S. 24-27. (in Ukrainian)
 9. Normy raschota i otsenki prochnosti nesushchikh elementov i dinamicheskikh kachestv ekipazhnoy chasti motorvagonnogo podvizhnogo sostava zheleznykh dorog MPS RF kolei 1520 mm [Standards for calculating and assessing the strength of load-bearing elements and dynamic qualities of the undercarriage of a multi-unit rolling stock of 1520 mm gauge railways of the Ministry of Railways of the Russian Federation]. – M.: VNIIZHT RF, 1997. (in Russian)
 10. Normy dlya rascheta i proyektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh) [Standards for the calculation and design of wagons of 1520 mm gauge railways of the Ministry of Railways (non-self-propelled)]. – M.: GosNIIV-VNIIZHT, 1996. (in Russian)
 11. Normy raschota i otsenki prochnosti nesushchikh elementov i dinamicheskikh kachestv ekipazhnoy chasti lokomotivov [Standards for calculating and assessing the strength of load-bearing elements and dynamic qualities of the undercarriage of locomotives]. – M.: VNIIZHT RF, 1998. (in Russian)
 12. EUROPEAN STANDARD EN 14363. Railway applications — Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles — Testing of running behaviour and stationary tests. (in English)
 13. UIC Code 518. Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour — Safety — Track fatigue — Ride quality. (in English)
 14. Licciardello R.V. Introduction to the Experimental Evaluation of the Dynamics of Railway Vehicles // Rail vehicle dynamics and associated problems. Gliwice: Silesian University of Technology, 2005. – P. 89-113. (in English)
 15. Riggall Greg. IWT4 goes into operation / Greg Riggall // Railway Gazette International. – July 2008. – P. 455-456. (in English)
 16. Dynamika ta bezpeka shvydkisnoho rukhu reykovykh transportnykh zasobiv [Dynamics and safety of motion of high-speed rail vehicles] / R.Yu. Domin, Yu.V. Domin, H.Yu. Chernyak, V.S. Nozhenko. – Ivano-Frankivsk: NAIR, 2021. – 172 s. (in Ukrainian)
 17. Motive power units – Bogies and running gear – Bogie frame structure strength tests: UIC Code 615-4. (in English)
 18. UIC Code 519. Method for determining the equivalent conicity. (in English)
 19. Gekker F.R. Dinamika mashin, robotayushchikh bez smazochnykh materialov v uzlakh treniya [Dynamics of machines operating without lubricants in friction units] / F.R. Gekker. – M.: Mashinostroyeniye, 1983. – 168 s. (in Russian)
 20. Timoshenko S.P. Kolebaniya v inzhenernom dele [Oscillations in engineering]. – M.: Nauka, 1967. – 444 s. (in Russian)

Domin Yu., Domin R., Cherniak G., Morneva M.
Urgent tasks of creation a regulatory framework for admission to operation of high-speed rolling stock

The article considers the issues of modernization of normative documentation on calculations and estimation of dynamic qualities of rolling stock of 1520 mm track gauge and creation of a system of procedures for admission of high-speed rolling stock to operation. The urgency of this problem is determined by the obsolescence of the regulatory framework under which the acceptance and admission to operation of rolling stock, and the lack of technical requirements for high-speed rolling stock in terms of ensuring the safety of trains. Information on the system of dynamic indicators of 1520 mm rolling stock and requirements for dynamic qualities of rolling stock according to European standards is given. On the basis of the comparative analysis of systems of an estimation of dynamic properties of railway vehicles of 1520 mm and 1435 mm track gauge fundamental differences of these systems on indicators of traffic safety are defined. It is proposed to improve the relevant regulatory framework through the use of modern methods and tools for assessing the characteristics of vehicle units based on world experience in the production and testing of new railway equipment, including European standards (EN), technical requirements for interoperability (TSI), OSJD and UIC Leaflets. It is noted that the processes of updating the current regulations on the commissioning of high-speed rolling stock for domestic railways should be based on the principles of integration and harmonization of domestic guidelines with relevant acts of the European Union. It is recommended to supplement the system of traditional traffic safety indicators with the criteria used on 1435 mm gauge railways. In addition, it is proposed for the first time to include in the list of traffic safety indicators a critical speed for self-oscillations of rolling stock. There are two approaches to determining the critical speeds. It is noted that during running

dynamic tests, the wheels of rolling stock units must be in two states - the initial (unused) and one that corresponds to the natural wear of the wheels during operation. It is assumed that the wheel profiles must correspond to the calculated values of the equivalent conicity.

Key words: *regulatory documentation, rolling stock, admission to operation.*

Дьомін Юрій Васильович – д.т.н., проф., професор кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк), domin1520.1435mm@gmail.com

Дьомін Ростислав Юрійович – д.т.н., виконуючий обов'язки генерального директора, Дніпровський тепловозоремонтний завод (м. Дніпро), r.domin@1520mm.com

Черняк Ганна Юрійвна – к.т.н., доц., с.н.с., старший науковий співробітник кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк), anchernyak1520mm@gmail.com

Морнева Марина Олегівна – к.т.н., доц., доцент кафедри електричної інженерії, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк), morneva@gmail.com

Стаття подана 01.02.2022 р.