

УДК 656.212.5:[656.2.08:347.948-048.42]

М. І. БЕРЕЗОВИЙ^{1*}, Д. М. КОЗАЧЕНКО^{2*}, В. В. МАЛАШКІН^{3*},
Т. В. БОЛВАНОВСЬКА^{4*}

^{1*}Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 03, ел. пошта: m.i.berezovyi@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-6774-6737

^{2*} Каф. «Транспортний сервіс та логістика», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта d.m.kozachenko@ust.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

^{3*} Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (068) 409 61 85, ел. пошта v.v.malashkin@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-5650-1571

^{4*}Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 12, ел. пошта t.v.bolvanovska@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-6462-8524

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ СУДОВИХ ЕКСПЕРТИЗ ЗАЛІЗНИЧНО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ

Мета. Метою дослідження є обґрунтування необхідності розробки методики визначення гальмівної потужності уповільнювачів в рамках проведення судових експертиз залізнично-транспортних пригод на сортувальних гірках. **Методи.** Дослідження виконані на підставі аналізу літературних джерел, присвячених регулюванню швидкості скочування відцепів на гірках з використанням методів теорії безпеки руху поїздів і математичного імітаційного моделювання гіркових процесів. **Результати.** В реєстрі методик проведення судових експертиз відсутні методики дослідження процесів на сортувальних гірках, тому дослідження спрямоване на обґрунтування розробки методики визначення гальмівної потужності вагонних уповільнювачів та її використання під час проведення судових експертиз залізнично-транспортних пригод на сортувальних гірках є актуальним. Нормативна документація, що регламентує показники технічного стану вагонних уповільнювачів, не встановлює чітких і однозначних критеріїв стосовно їх відключення для ремонту через недостатню гальмівну потужність. Втрата гальмівної потужності через незадовільний технічний стан вагонних уповільнювачів може призводити до реалізації механізму залізнично-транспортної пригоди навіть в умовах, коли фактичні дії операторів гірки відповідають вимогам нормативних документів. Встановлення фактичної гальмівної потужності уповільнювачів можливе шляхом визначення зусиль натискання шин на колеса вагонів. Для визначення зусиль натискання шин уповільнювачів використовується вимірювально-реєстраційна станція на базі тензометричної апаратури ТМА32. Основним засобом вимірювання є тензорезистор КФ5П1-10-200(А12), вмонтований в месдозу, яка кріпиться на металевому вкладиші з імітацією обода колеса вагона. Тиск в пневматичній системі живлення уповільнювача в режимі реального часу фіксується датчиком тиску МД-10ТС, встановленим на місце манометра керуючої станції уповільнювача. Визначення фактичної гальмівної потужності уповільнювачів дозволяє здійснити перевірку достатності гальмівної потужності уповільнювачів на підставі аналізу виконання комплексу умов. **Наукова новизна.** Обґрунтовано необхідність розробки методики визначення фактичної гальмівної потужності вагонних уповільнювачів в рамках проведення судових експертиз залізнично-транспортних пригод на сортувальних гірках. **Практична значимість.** Отримані в роботі результати можуть бути використані в якості вихідних даних для розробки та реєстрації методики визначення гальмівної потужності вагонних уповільнювачів, визначення першопричини залізнично-транспортної пригоди та побудови її механізму.

Ключові слова: сортувальна гірка, вагонний уповільнювач, розділення відцепів, гальмівна потужність, розпуск составів, судова експертиза

Вступ

Становлення судової залізнично-транспортної експертизи в Україні необхідно пов'язувати з розвитком залізничної галузі в цілому з середини XIX сторіччя, коли почалося будівництво перших залізниць на території України: Львів – Перемишль (1861 р.) та Одеса – Балта (1865 р.).

Експлуатація залізниць стала вимагати

технічного нагляду – фахового огляду та оцінки технічного стану колій, вагонів, локомотивів, мостів, тунелів, тощо, тому експертна діяльність на цьому етапі носила переважно інженерно-технічний характер і проводилася фахівцями залізниць.

З розвитком централізованої економіки та індустріалізації була створена система залізничного нагляду й контролю, яка полягала у тому,

що в межах системи Міністерства шляхів сполучення (МШС) СРСР були сформовані спеціалізовані лабораторії, інститути, технічні комісії.

Наукове підґрунтя судової залізнично-транспортної експертизи формувалось у тому числі і у вищих навчальних закладах України, зокрема у Дніпропетровському інституті інженерів транспорту, де функціонувала Галузева науково-дослідна гірковипробувальна лабораторія з її прямим підпорядкуванням МШС.

З 1991 року після розпаду СРСР в Україні розпочався розвиток власної експертної бази, що знайшло відображення у створенні відділів транспортної експертизи в системі Міністерства юстиції, нових науково-дослідних інститутів судових експертиз, у прийнятті законів і підзаконних актів, які визначають порядок проведення транспортної та технічної експертизи.

Однак ключовим моментом розвитку саме залізнично-транспортної судової експертизи в Україні є червень 1995 року, коли на базі Львівського відділення Київського науково-дослідного інституту судових експертиз (КНДІСЕ) було створено Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз – ЛНДІСЕ. Значний доробок у розвиток судової залізнично-транспортної експертизи вніс професор Сокол Е. М., що розпочав свою роботу в ЛНДІСЕ на посаді заступника директора інституту з наукової роботи. З його ініціативи в структурі інституту було організовано сектор судових залізнично-транспортних досліджень та запропоновано перелік спеціальностей судової залізнично-транспортної експертизи.

Аналіз Реєстру методик проведення судових експертиз [1] показує, що з 22-х атестованих та зареєстрованих методик проведення залізнично-транспортних судових експертиз розробником 15-ти з них є Львівський НДІСЕ, а семи з них – професор Сокол Е. М.

При цьому 6 методик присвячені дослідженням сходжень з рейок рухомого складу, а ще 5 методик присвячені дослідженню проблемних питань взаємодії «колесо-рейка» – причин втрати стійкості рейко-шпальної решітки залізничної колії, визначення технічного стану скріплень та підрейкової основи, величини динамічного розширення колії під рухомим складом, стійкості земляного полотна та взаємодії рухомого складу та колії з несправностями геометрії колії.

Сьогодення потребує вирішення питань гармонізації експертної діяльності з європейськими стандартами; цифровізація та автоматизація вимагає розробки та впровадження програмного

забезпечення і технічних засобів контролю; розширення сфер експертизи потребує вирішення питань експертизи залізничної логістики, збитків, завданих підприємствам, екологічної експертизи на залізничному транспорті, тощо.

У той же час в царині залізнично-транспортних експертиз відсутні методики дослідження процесу розпуску составів на сортувальних гірках і оцінки впливу на цей процес стану технічних засобів сортувальних гірок – стрілочних переводів, уповільнювачів, систем контролю зайнятості колій тощо. Така ситуація склалася зокрема через складність досліджень і відсутність серед судових експертів науково-дослідних установ фахівців, що достатньою мірою володіють питаннями теорії розпуску составів на сортувальних гірках.

Актуальність необхідності розробки таких методик підтверджується фактичним станом вагонних уповільнювачів на сортувальних гірках українських залізниць та необхідністю об'єктивного встановлення першопричин залізнично-транспортних пригод на гірках.

Мета дослідження

Метою дослідження є обґрунтування необхідності розробки методики визначення гальмівної потужності уповільнювачів в рамках проведення судових експертиз залізнично-транспортних пригод на сортувальних гірках з можливістю її подальшого використання установами Міністерства Юстиції України при проведенні судових експертиз.

Аналіз досліджень і публікацій

Процесу регулювання швидкості скочування відцепів, впливу точності реалізації їх гальмування та технічного стану гальмівних уповільнювачів на показники роботи гірок з розформування составів присвячена значна кількість досліджень вітчизняних та європейських авторів.

Вагонні уповільнювачі є найбільш відповідальними технічними елементами, що забезпечують розпуск составів. Технічний стан саме цих пристроїв найбільш суттєво впливає на процес розпуску составів.

У цьому зв'язку слід відзначити кілька характерних рис нинішніх умов експлуатації сортувальних гірок АТ «Укрзалізниця».

Першою з них є період введення в експлуатацію гірок на станціях українських залізниць – перша половина та середина минулого сторіччя [2]. У той час широко експлуатувались вагони на підшипниках ковзання, високий опір руху яких,

у порівнянні з вагонами на підшипниках ковчання, вимагав застосування уклонів сортувальних колій 1,5 % у порівнянні з уклоном 0,6 % за існуючими нормами проектування [3]. Такі уклони сортувальних колій на багатьох гірках залишились і в нинішній час, що вносить складність реалізації прицільного гальмування відчепів.

Другою рисою є суттєве перевищення розрахункової переробної спроможності гірок фактичного обсягу переробки вагонів [4]. Це на перший план ставить вирішення проблем підвищення безпеки та зниження собівартості процесу розформування составів.

Ще однією особливістю гірок АТ «Укрзалізниця» є значний знос уповільнювачів спускної частини гірок та паркових позицій. Разом з падінням обсягів переробки вагонів це призвело до виникнення парку зношених технічних засобів. Така ситуація пояснює той факт, що тільки на розформування-формування поїздів на сортувальних гірках щорічно припадає 20...30 % транспортних подій [5], причиною яких є порушення безпеки руху у т.ч. через незадовільний технічний стан вагонних уповільнювачів. Понад 88 % випадків порушення безпеки руху на гірках відбувається при управлінні швидкістю скочування відчепів [7].

Управління процесом розпуску составів є складним процесом через невизначеність ходових характеристик відчепів і неточність реалізації режимів гальмування.

Пристрої для визначення ходових характеристик відчепів відсутні на існуючих сортувальних гірках. На кількох сортувальних станціях в Україні на гірках у 2-й половині 20-го сторіччя здійснювалась дослідна та в подальшому постійна експлуатація пристроїв для визначення ходових характеристик відчепів. В даний час ці технічні засоби є морально та фізично застарілими і не використовуються через ручне управління уповільнювачами, як більш надійне у порівнянні з автоматичним, або знаходяться в неробочому стані. Теоретичні дослідження у цьому напрямку проводяться, так, наприклад, у роботі [10] розглянуті можливості підвищення точності ходового опору відчепів на базі методів теорії статистичних рішень.

Погашена уповільнювачем енергетична висота в метрах енергетичної висоти (м.ен.в) в кожному окремому випадку є випадковою величиною через те, що коефіцієнт тертя колеса вагона об шину уповільнювача змінюється в межах від 0,05 до 0,20; висота ободів коліс і положення шин уповільнювача також є випадковими

величинами, які змінюються в межах допусків; тиск у пневматичній системі теж може знижуватися під час розпуску і впливати на силу натискання гальмівної шини уповільнювача на вагонне колесо. У цьому зв'язку в роботах [6-8] розглянуто задачу оптимізації режимів гальмування у стохастичній постановці. Порівняння рішення вказаної задачі з її рішенням у детермінованій постановці показує, що за рахунок перерозподілу інтервалів на розділових елементах можна скоротити кількість недопустимих ризиків нерозділення відчепів без погіршення показників прицільного регулювання швидкості відчепів.

Робота [9] присвячена розробці вимог до організації розпуску в умовах зменшення фактичної гальмівної потужності уповільнювачів відносно номінальної.

Однією із задач, що виникає при цьому, є встановлення достатності гальмівної потужності уповільнювачів на підставі аналізу виконання цілого комплексу умов.

Так, уповільнювачі першої гальмівної позиції (ГП1) повинні забезпечувати вхід всіх відчепів на другу гальмівну позицію (ГП2) з допустимою швидкістю.

Уповільнювачі ГП1 і ГП2 повинні забезпечувати вхід всіх відчепів на паркову гальмівну позицію (ППП) з допустимою швидкістю. Окрім цього ГП1 та ГП2 спільно повинні забезпечувати зупинку відчепа на другій гальмівній позиції.

В результаті виконаних досліджень в роботі [9] запропоновано представляти безпечні режими роботи гальмівних уповільнювачів графічно у вигляді області допустимих режимів гальмування. Для ілюстрації наведених вище обмежень, вони представляються на координатній площині $H_{ГП1}OH_{ГП2}$ лініями U_1 , U_2 і U_3 , які виділяють три області Ω_1 , Ω_2 і Ω_3 . Якщо фактичні потужності ГП1 і ГП2 відповідають області Ω_1 , то розпуск виконується в нормальному режимі, якщо області Ω_2 – з обмеженнями, області Ω_3 – розпуск припиняється (рис. 1).

Практичним застосуванням результатів досліджень, наведених в [9], є розробка заходів, заснованих на зменшенні швидкості розпуску та його повному припиненні, застосуванні додаткового башмачного гальмування, збільшенні частоти осаджування та підтягування вагонів на сортувальних коліях при їх підготовці до розпуску наступного состава.

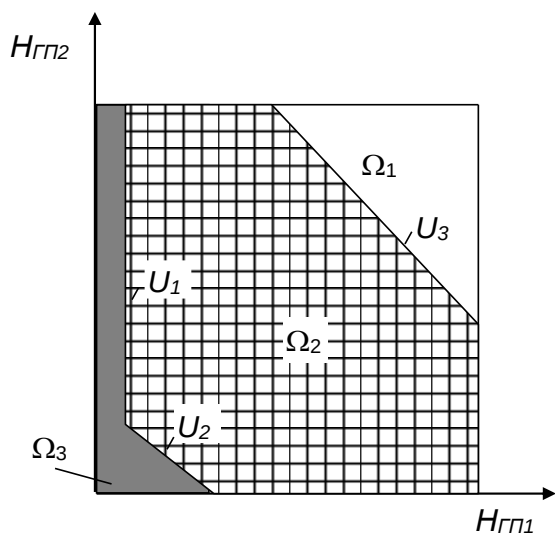


Рис. 1. Графічне представлення обмежень потужності ГП1 та ГП2

В роботі [11] удосконалено існуючі методи визначення переробної спроможності сортувальних гірок, які враховують технологічні обмеження, викликані вимогами безпеки розпуску составів, а саме в умовах параметричних відмов уповільнювачів.

Таким чином, проблема управління швидкістю скочування вимагає вирішення двох взаємопов'язаних задач – інтервального та прицільного регулювання.

Значного прогресу у вирішенні цих задач в рамках практичного застосування алгоритмів рішення при автоматизації сортувальних станцій досягла компанія Siemens [12]. Станом на 2017 рік системою автоматизації MSR32 було оснащено 27 станцій, найбільше – 11 на залізницях державної компанії Deutsche Bahn (DB), портових станціях, промисловій станції концерну BASF у Німеччині, по 4 на швейцарських федеральних залізницях Schweizerische Bundesbahnen (SBB) і австрійських федеральних залізницях Österreichische Bundesbahnen (ÖBB) та на 2 станціях Національного товариства бельгійських залізниць Nationale Maatschappij der Belgische Spoorwegen (NMBS).

Компанія Siemens використовує власні гідравлічні вагонні уповільнювачі TW-4F та TW-5EF. Використання спеціальних гальмівних шин [12] і гідравлічної системи забезпечують низький рівень шуму та питомих енергозатрат на гальмування. Для вкладання уповільнювачів не потрібен котлован, а протягом життєвого циклу уповільнювачі не потребують демонтажу при проведенні капітального ремонту.

Функціональні можливості системи MSR32 передбачають заходи щодо запобігання небезпечним ситуаціям при розпізнаванні поганих

бігунів, їх зупинок та можливості нагону в зоні розташування розділових стрілок. Це ще раз підтверджує як роль уповільнювачів в процесі розпуску составів, так і пристроїв для визначення ходових характеристик відцепів, однак алгоритми функціонування автоматизованої системи MSR32 є комерційною та промисловою таємницею.

Задача вибору режиму гальмування може бути вирішена шляхом використання алгоритмів управління автоматизованих систем, що впроваджені та експлуатуються на сортувальних станціях [13, 14]. Так, оцінка правильності функціонування автоматизованих систем управління маневрами на сортувальних станціях Польських залізниць (Polskie Koleje Państwowe – PKP), особливо у нетипових умовах розпуску составів, здійснюється з використанням симулятора, який дозволяє оцінити та оптимізувати алгоритм управління уповільнювачами у процесі регулювання швидкості скочування відцепів.

Питання гальмування відцепів розглянуті і в роботах науковців Українського державного університету залізничного транспорту [15-18]. Автори пропонують гравітаційно-прицільне гальмування відцепів на сортувальній гірці зі спеціальною конструкцією профілю. Її особливістю є розміщення частини чи всієї стрілочної зони та початку сортувальних колій за останніми розділовими стрілками на елементах профілю з підйомом у бік розпуску.

Серед суто технічних невідповідностей такої конструкції нормам проектування сортувальних пристроїв [3] необхідно відзначити наявність уклонів в межах спускної частини гірки до 71,4 ‰ та власне елементів на підйомі у бік розпуску. Це призведе до виникнення експлуатаційних вад, таких як погіршення умов рушення у напрямку горба зі спускної частини; значне збільшення розрахункової потужності уповільнювачів спускної частини гірки через збільшення її висоти і забезпечення зупинки відцепів на ГП2; погіршення умов безпеки розпуску через можливість скочування відцепів у бік гірки на елементах з протиуклонами до 20,6 ‰; забезпечення стійкого водовідведення від колій стрілочної зони, що знаходяться в «ямі».

Разом із закладанням авторами у конструкцію таких гірок [15-18] допоміжних гальмівних позицій, симетричних стрілок марки 1/9, тощо, їх реалізація на існуючих гірках неможлива, а нове будівництво є сумнівним через експлуатаційні та технічні обмеження.

Основний матеріал дослідження

При виконанні судової експертизи за фактом залізнично-транспортної пригоди одним з питань постанови про призначення експертизи є питання про відповідність фактичних дій посадових осіб вимогам нормативних документів.

Однак нормативна документація, що регламентує показники технічного стану вагонних уповільнювачів, не встановлює чітких і однозначних критеріїв стосовно їх відключення для ремонту через недостатню гальмівну потужність. Відсутні також науково обґрунтовані методи розпуску составів в таких умовах.

Це призводить до розмивання грані між відповідністю фактичних і потрібних дій робітників сортувальних гірок, відповідальних за технічний стан вагонних уповільнювачів. В результаті на сортувальних гірках підвищується ймовірність порушення вимог Правил технічної експлуатації (ПТЕ) і виникнення транспортних пригод.

Дії операторів сортувальних гірок, у т.ч. в нестандартних ситуаціях, регламентуються зокрема методичними рекомендаціями [19]. Цей нормативний документ внесений в професійний стандарт «Оператор сортувальної гірки» [20] в перелік документів, знання положень яких є обов'язковим для працівників цієї професії.

Так, у [19] встановлено, що при тиску повітря у пневматичній системі, визначеному за показанням манометру у приміщенні оператора, менше 0,65 МПа (6,5 кгс/см²) виконувати розпуск забороняється.

Однак сила натискання шин уповільнювача на обід колеса вагону і гальмівна потужність залежить не лише від тиску повітря в пневматичній системі, а і від стану шин, регулювань їх основних положень в загальмованому та відгальмованому стані, тощо.

Таким чином, можливими є ситуації, коли при фактичних діях оператора гірки, які відповідають вимогам нормативних документів, механізм залізнично-транспортної пригоди реалізується саме через технічний стан уповільнювачів та, як наслідок, зменшення реальної гальмівної потужності.

Процедура визначення гальмівної потужності вагонних уповільнювачів повинна бути недовготривалою, з мінімальними можливими затратами на її здійснення, а хід польових досліджень не повинен впливати на процес розпуску составів і переробну спроможність сортувальної гірки.

Питома енергетична висота, реалізована балочними уповільнювачами, забезпечується за

рахунок тертя коліс об їх шини і визначається за формулою [9]:

$$h_r = \frac{z\mu P_k K_{пр} n l_{ш}}{Q}, \quad (1)$$

де z – число поверхонь, що труться (2 – для одніткових уповільнювачів і 4 – для двоніткових);

μ – коефіцієнт тертя колеса вагона об шину уповільнювача;

P_k – сила тиску гальмівної шини уповільнювача на колесо;

$K_{пр}$ – коефіцієнт приведення, який визначається відстанню між центром ваги площі зчеплення гальмівної шини з колесом до точки опори колеса і радіусом колеса;

n – кількість осей відчепа;

$l_{ш}$ – довжина шин уповільнювача;

Q – маса відчепа.

Аналіз формули (1) показує, що фактична потужність уповільнювачів гальмівних позицій H_ϕ може бути визначена за результатами перевірки зусилля натискання їх шин на колесо за допомогою виразу:

$$H_\phi = \frac{H_{ном}}{r p_{ном}^{min}} \sum_{j=1}^r p_j, \quad (2)$$

де p_j – виміряні зусилля натискання шин по осях важелів;

r – кількість важелів;

$H_{ном}$ – номінальна гальмівна потужність уповільнювача;

$p_{ном}^{min}$ – мінімальне номінальне зусилля натискання шин уповільнювачів на колесо.

Таким чином, для визначення фактичної гальмівної потужності уповільнювача потрібно розробити порядок і методику визначення зусиль натискання шин на колеса вагонів.

При виконанні випробувань вагонних уповільнювачів, які здійснювались гіркововипробувальною лабораторією ДПТУ ще за радянських часів, а також випробувань уповільнювача УВСК виробництва ПрАТ «Старокраматорський машинобудівний завод» у 2009 році [21], встановленого на східній сортувальній гірці станції Ясинувата, використовувались такі засоби вимірювання.

Зусилля натискання шин реєструвались вимірювально-реєстраційною станцією на базі тензOMETричної апаратури ТМА32. Основним засобом вимірювання при цьому являється тензорезистор КФ5П1-10-200(А12), вмонтований в месдозу товщиною 20 мм. Сама месдоза кріпиться на металевому вкладиші товщиною 110

мм, який встановлюється між шинами уповільнювача (див. рис. 2). Загальна ширина вкладиша та месдоза становить 130 мм, що відповідає ширині обода колеса вагона.

Для фіксації тиску в пневматичній системі



Рис. 2. Загальний вигляд металевого вкладиша з месдозою, встановленого на шини уповільнювача в незагальмованому стані:

Описаний вимірювальний комплекс дозволяє, окрім визначення зусиль натискання та гальмівної потужності уповільнювача, отримувати показники його спрацювання:

- тривалість загальмування (підняття шин уповільнювача) – відрізок часу від моменту подачі струму на управляючий соленоїд до моменту досягнення максимального зусилля гальмівних шин (тиск на месдозі досягає максимального сталого значення);

- тривалість відгальмування (опускання шин уповільнювача) – відрізок часу від моменту зникнення струму на управляючому соленоїді до моменту досягнення нульового значення зусилля натискання гальмівних шин (тиск на месдозі зменшується до нуля).

Гальмівна потужність вагонних уповільнювачів повинна визначатись при тиску повітря в пневмосистемі P , рівному 0,65 МПа (6,5 кгс/см²). При тиску в пневмосистемі $P_{\text{ЕКС}}$, що не відповідає вказаному, гальмівну потужність слід перерахувати за формулою:

$$H_{6,5} = \frac{H_{\text{ЕКС}} P}{P_{\text{ЕКС}}} \quad (3)$$

Визначення гальмівної потужності вагонних уповільнювачів дозволяє встановити її достатність на основі аналізу виконання комплексу умов, розглянутих вище.

живлення уповільнювача в режимі реального часу на місце манометра керуючої станції уповільнювача встановлюється малогабаритний датчик тиску МД-10ТС, який також приєднується до вимірювально-реєстраційної станції.

У якості прикладу розглянемо умову [3], відповідно до якої найменша потрібна потужність ГП1 визначається за результатами моделювання скочування бігуна ШВ в сприятливих умовах за формулою [9]:

$$H_{\text{гп1}} \geq \sum_{\text{ВГ}}^{\text{гп2}} i l 10^{-3} + \frac{V_{0,\text{ном}}^2 - V_{\text{гп2}}^2}{2g'_{\text{шв}}} - \quad (4)$$

$$- h_{\text{осн}}^{\text{гп2}} - h_{\text{ск}}^{\text{гп2}} - h_{\text{св}}^{\text{гп2}}$$

де $\sum_{\text{ВГ}}^{\text{гп2}} i l 10^{-3}$ – профільна висота ділянки від вершини гірки до входу на ГП2, м.ен.в.;

$V_{0,\text{ном}}$ – номінальна швидкість розпуску, м/с;

$V_{\text{гп2}}$ – максимальна допустима швидкість входу в ГП2, м/с;

$h_{\text{осн}}^{\text{гп2}}, h_{\text{ск}}^{\text{гп2}}, h_{\text{св}}^{\text{гп2}}$ – питома робота сил опору руху, відповідно, основного, стрілок і кривих, середовища і вітру на ділянці від вершини гірки до входу на пучкову гальмівну позицію, м.ен.в.;

$g'_{\text{шв}}$ – прискорення вільного падіння з урахуванням інерції обертових мас вагона, м/с².

Сумарна величина вимірюваних зусиль натискання шин уповільнювачів ГП1 по осях важелів

$\sum_j^{\text{гп1}} P_j^{\text{гп1}}$ повинна задовольняти умові:

$$\sum_j^{r_1} p_j^{\text{ГПІ}} \geq \frac{r p_{\text{ном}}^{\text{мін}}}{H_{\text{ном}}} \left(\sum_{\text{ВГ}}^{\text{нпг2}} i l 10^{-3} + \frac{V_{0, \text{ном}}^2 - V_{\text{гп2}}^2}{2 g'_{\text{бт}}} - \frac{h_{\text{осн}}^{\text{нпг2}} - h_{\text{ск}}^{\text{нпг2}} - h_{\text{св}}^{\text{нпг2}}}{2} \right). \quad (4)$$

Аналогічно здійснюється перевірка інших умов для встановлення достатності гальмівної потужності уповільнювачів сортувальної гірки.

Наукова новизна та практична значимість

Обґрунтовано необхідність розробки методики визначення фактичної гальмівної потужності вагонних уповільнювачів в рамках проведення судових експертиз залізнично-транспортних пригод на сортувальних гірках.

Практична значимість полягає у тому, що отримані в роботі результати можуть бути використані в якості вихідних даних для розробки та реєстрації методики визначення гальмівної потужності вагонних уповільнювачів, визначення першопричини залізнично-транспортної пригоди та побудови її механізму.

Висновки

Найбільш відповідальним технічним елементом механізованих сортувальних гірок є балочні вагонні уповільнювачі з пневматичним приводом. Дослідженнями встановлено наступне.

1. На розформування-формування поїздів на сортувальних гірках щорічно припадає до 30 % транспортних подій. Понад 88 % випадків порушення безпеки руху на гірках відбувається при управлінні швидкістю скочування відцепів.

2. Нормативна документація, що регламентує показники технічного стану вагонних уповільнювачів і встановлює критерії стосовно їх відключення для ремонту, на українських залізницях відсутня.

3. Способом визначення фактичної гальмівної потужності уповільнювачів є метод вимірювання зусиль натискання шин на ободи коліс вагонів з використанням вимірювально-реєстраційної станції на базі тензометричної апаратури ТМА32.

4. Тривалість польових вимірів гальмівної потужності уповільнювачів на сортувальній гірці не перевищує 1...2 робочих днів.

5. Розробка методики визначення фактичної гальмівної потужності уповільнювачів при проведенні судової експертизи на підставі результатів досліджень, представлених в даній статті, дозволить об'єктивно встановлювати першопричини залізнично-транспортних пригод на гірках.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Про затвердження Порядку ведення Реєстру методик проведення судових експертиз : Наказ М-ва юстиції України від 02.10.2008 № 1666/5 : станом на 14 лют. 2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0924-08#Text> (дата звернення: 14.04.2025).

2. Аналіз конструкції обхідних колій в сортувальних парках та їх автоматизоване проектування / М. І. Березовий та ін. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2025. № 29. С. 5–13. <https://doi.org/10.15802/tstt2025/325346>.

3. ГБН В.2.3-37472062-1:2012. Споруди транспорту. Сортувальні пристрої залізниць. Норми проектування. Чинні від 2013-01-17. Вид. офіц. Київ : М-во інфраструктури України, 2012. 112 с.

4. Козаченко Д. М., Гревцов С. В., Кліга О. В. Розвиток методів моделювання скочування відцепів із сортувальних гірок. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2023. № 26. С. 4–13. URL: <https://doi.org/10.15802/tstt2023/293337>.

5. Гревцов С. Підвищення ефективності процесу розформування составів на сортувальних гірках з немеханізованими парковими гальмовими позиціями: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20. Дніпро, 2018. 164 с.

6. Bobrovskiy V., Kozachenko D., Dorosh A., Demchenko E., Bolvanovska T., Kolesnik A. Probabilistic approach for the determination of cuts permissible braking modes on the sorting humps. *Transport Problems*. 2016. Vol. 11, Issue 1, P. 147–155. DOI: 10.20858/tp.2016.11.1.14.

7. Козаченко Д. М., Болвановська Т. В., Яновський П. О. Оптимізація режимів гальмування відцепів на сортувальних гірках у стохастичних умовах. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2017. № 44 (1266). С. 97–102.

8. Kozachenko D., Grevtsov S., Titova A. Determination of the optimal cars exit speeds from the retarders on sorting humps. *Proceedings of 27th International Scientific Conference Transport Means*. 2023. Part II. P. 966–971. DOI: 10.5755/e01.2351-7034.2023.P2.

9. Controlling the speed of rolling cuts in conditions of reduction of brake power of car retarders / D. M. Kozachenko та ін. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*. 2016. № 3(63). С. 28–40. URL: <https://doi.org/10.15802/stp2016/74710>.

10. Жуковицький І. В., Устенко А. Б. Використання методу статистичних рішень для підвищення точності ідентифікації ходового опору відцепів. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2020. № 19. С. 55–59. <https://doi.org/10.15802/tstt2020/208696>.

11. Козаченко Д. М., Гревцов С. В., Болвановська Т. В. Дослідження впливу технічного стану гальмових уповільнювачів на переробну спроможність сортувальних гірок. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2016. № 4 (64). С. 37–46.

12. Система MSR32 Автоматизація сортувальних станцій. Siemens Mobility. URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:9a9209ef-619c-419f-b038-bbb1edae73b9/siemens-msr32-general-rus.pdf> (дата звернення: 20.07.2025).

13. Moczarski J. Modeling and simulation in the research of automatic wagon shunting control systems. *Proceedings of 24th International Scientific Conference Transport Means 2020*. 2020. Part 1. P. 81–84.

14. Raport z badań systemu półautomatycznego sterowania rozrzędem typu PSR-1 / Instytut Kolejnictwa; Moczarski J. Warszawa. 2015.

15. Огар О. М., Таратушка К. В. Дослідження ефективності застосування технології гравітаційно-прицільного гальмування відцепів. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2015. № 9. С. 49–56.

16. Науковий підхід до зменшення потужності паркової гальмової позиції сортувального пристрою з гравітаційно-прицільним гальмуванням відцепів / О. М. Огар та ін. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2024. № 208. С. 250–261. URL: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.208.2024.308812>.

17. Визначення умов застосування технології гравітаційно-прицільного гальмування відцепів / О. М. Огар та ін. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*.

2021. № 196. С. 161–170. URL: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.196.2021.242270>

18. Розроблення методу розрахунку швидкості виходу відцепів із паркової гальмової позиції сортувального пристрою з гравітаційно-прицільним їх гальмуванням / О. М. Огар та ін. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2025. № 2. С. 16–26. URL: <https://doi.org/10.18664/ikszt.v30i2.335318>.

19. Методичні рекомендації операторам сортувальних гірок щодо управління пристроями на механізованих і автоматизованих сортувальних гірках: Наказ Укрзалізниці від 22.02.2013 р. № 042-Ц/од. Київ: ТОВ «Інпрес», 2013. 108 с.

20. Професійний стандарт. Оператор сортувальної гірки. Наказ Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України від 28.12.2020 № 2764.

21. Новий вагонний уповільнювач УВСК українського виробництва / Д. М. Козаченко та ін. *Залізничний транспорт України*. 2010. № 2. С. 34–38.

Надійшла в редколегію 26.04.2025

Прийнята до друку 23.06.2025

M. BEREZOVYI, D. KOZACHENKO, V. MALASHKIN, T. BOLVANOVSKA

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR CONDUCTING FORENSIC EXAMINATIONS OF RAILWAY TRANSPORT ACCIDENTS AT HUMPS

Purpose. The purpose of the study is to justify the need to develop a methodology for determining the braking power of retarders in the context of forensic examinations of railway incidents on marshalling yards. **Methods.** The research was conducted based on an analysis of literature sources dedicated to regulating the speed of cut roll-downs at humps, utilizing methods of train traffic safety theory and mathematical simulation modeling of hump processes. **Results.** The register of forensic examination methods does not include methods for investigating processes on marshalling yards, therefore research aimed at substantiating the development of a method for determining the braking power of wagon retarders and its use in forensic examinations of railway incidents on marshalling yards is relevant. Regulatory documentation governing the technical condition indicators of car retarders does not establish clear and unambiguous criteria for their deactivation for repair due to insufficient braking power. Loss of braking power due to the unsatisfactory technical condition of car retarders can lead to the realization of a railway transport accident mechanism even under conditions where the actual actions of hump operators comply with regulatory requirements. Establishing the actual braking power of retarders is possible by determining the pressing forces of the shoes on the car wheels. To determine the pressing forces of retarder shoes, a measurement-recording station based on TMA32 strain gauge equipment is used. The primary measuring instrument is the KFP5P1-10-200(A12) strain resistor, installed in a dosimeter attached to a metal insert simulating a car wheel rim. Pressure in the pneumatic supply system of the retarder is recorded in real time by the MD-10TS pressure sensor, installed in place of the manometer on the retarder's control station. Determining the actual braking power of retarders enables verification of the sufficiency of the retarders' braking power based on an analysis of compliance with a set of conditions. **Scientific novelty.** The necessity of developing a methodology for determining the actual braking power of wagon retarders within the framework of forensic examinations of railway accidents on marshalling yards has been substantiated. **Practical significance.** The results obtained in this work can be used as source data for developing and registering methods for determining the braking power of railcar retarders, identifying the root cause of railway incidents, and constructing their mechanisms.

Keywords: hump, car retarder, separation of cuts, braking power, humping of trains, forensic examination