

С. О. Столетов

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна
Тел.: +380673674043, E-mail: stoletoff.s.a@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8819-2534>

П. О. Хозя

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна
Тел.: +380504410342, E-mail: pavlo.khozia@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8948-6032>

М. В. Григорошенко

Публічне акціонерне товариство «Крюківський вагонобудівний завод», вул. І. Приходька, 139, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна
Тел.: +380675454575, E-mail: icenter1@kvsz.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7946-1835>

**ХОДОВІ ДИНАМІЧНІ ТА МІЦНОСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ВАГОНА-ХОПЕРА ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЦЕМЕНТУ МОДЕЛІ 19-7160**

В статті проаналізовано існуючі дослідження щодо оцінки динамічних та міцносних якостей новостворених, модернізованих, а також моделей вантажних вагонів після їх тривалої експлуатації. Обґрунтовано необхідність експериментального оцінювання показників ходових динамічних якостей руху та міцності конструкції бункерного вагона для перевезення цементу моделі 19-7160 на відповідність чинним нормативним вимогам.

Описано конструктивні особливості та представлено технічні характеристики вагона для перевезення цементу моделі 19-7160. Описано методологію проведення ходових динамічних та міцносних випробувань. Наведено місця розташування схем і тензорезисторів під час проведення ходових динамічних та міцносних випробувань. Описано формули для визначення таких основних показників динамічних якостей вагонів як коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходження з рейок, коефіцієнт запасу поперечної стійкості від перекидання під час дії бічних сил у кривих, коефіцієнт вертикальної динаміки кузова, коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, коефіцієнт горизонтальної динаміки кузова.

У статті наведено результати експериментального оцінювання динамічних показників якості руху бункерних вагонів для перевезення цементу моделі 19-7160 у порожньому та завантаженому до максимальної вантажопідйомності станях. Наведено точки з мінімальними значеннями коефіцієнтів запасу опору втоми у елементах металоконструкції вагона. За результатами аналізу отриманих

© Столетов С. О., Хозя П. О., Григорошенко М. В., 2026

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

числових значень показників динамічних якостей руху вагонів та коефіцієнтів запасу опору втомі у порожньому та завантаженому до максимальної вантажопідйомності станах встановлено, що ці показники знаходяться в межах допустимих значень згідно вимог ДСТУ 7598. Визначено можливість подальшої експлуатації вагонів-цементовозів моделі 19-7160 зі швидкостями до 120 км/год включно за динамічними якостями руху та показниками міцності цих вагонів.

Ключові слова: бункер, вагон-хопер, випробування, дослідження, динаміка, кузов, металоконструкція, міцність, рама, цементовоз.

Вступ та постановка проблеми. Наявний вітчизняний парк бункерних вагонів для перевезення цементу потребує оновлення сучасними інноваційними вагонами з покращеними технічними та експлуатаційними характеристиками. Особливо актуальним питання оновлення цього типу рухомого складу постане у найближчій перспективі після закінчення бойових дій та необхідності виконання значного обсягу будівельних робіт. Тому, розуміючи цей факт, вітчизняні вагонобудівні підприємства протягом останнього часу активно спрямовують свої зусилля на розроблення нових моделей бункерних вагонів для перевезення цементу та інших будівельних матеріалів.

В рамках ініціативної розробки Публічним акціонерним товариством «Крюківський вагонобудівний завод» (далі – ПАТ «КВБЗ») було створено сучасний бункерний вагон для перевезення цементу моделі 19-7160 зі збільшеним об'ємом кузова (не менше 76 м³) та вантажопідйомністю 73,5 т (з урахуванням не перебільшення встановленого розрахункового статичного навантаження від колісної пари на рейки). Основною метою створення цього вагона було більш ефективне перевезення швидкотвердіючого типу цементу з насипною щільністю менше ніж 1 т/м³ та інших нетоксичних (неотруйних) будівельних і гранульованих сипких вантажів, які потребують захисту від атмосферних опадів, розширення номенклатури продукції, що виготовляється заводом, та найбільш повного задоволення вимог потенційних споживачів. Цей вагон призначений для безтарного перевезення цементу по залізницях колії 1520 мм з гравітаційним завантаженням через верхні люки та гравітаційним розвантаженням у міжрейковий простір через нижні розвантажувальні люки на спеціальних розвантажувальних пристроях. Вагон моделі 19-7160 має габарит 1-ВМ та можливість допуску до обороту на магістральних і ряду інших ліній залізниць європейських країн-членів Організації співробітництва залізниць колії 1435 мм, що використовуються для міжнародних сполучень, за погодженими маршрутами з перестановкою візків на колію 1435 мм.

В той же час для підтвердження заявлених технічних характеристик вагона моделі 19-7160 потрібне проведення комплексу науково-експериментальних досліджень. У цій роботі пропонується зосередити зусилля на динамічних та міцносних показниках. Слід зазначити, що від фактичних значень цих показників напряду залежить безпека руху на залізниці, тому необхідність та актуальність їх визначення в ході проведення ходових та міцносних досліджень є беззаперечною та першочерговою.

Аналіз останніх досліджень. Питанню оцінки динамічних та міцносних якостей руху вантажних вагонів завжди приділялась значна увага. Особливо детально це питання розглядається під час постановки на виробництво нових та удосконаленні існуючих моделей вантажних вагонів, а також після удосконалення та модернізації конструкції ходових частин вагонів.

У статті [1] наведено аналіз результатів науково-експериментальних досліджень під час постановки на виробництво вагона-самоскида моделі 33-7141, у тому числі виконано оцінку його динамічних та міцносних якостей.

У роботах [2-4] проведено науково-експериментальні дослідження з оцінки динамічних та міцносних якостей новостворених моделей вагонів-платформ моделей 13-4155, 13-1894, 13-7133. За аналізом результатів проведених науково-експериментальних досліджень встановлено, що динамічні та міцносні показники цих вагонів задовольняють нормативним допустимим значенням. За підсумками позитивних результатів науково-експериментальних досліджень зазначені новостворені моделі вагонів-платформ поставлені до серійного виробництва.

У публікації [5] наведено аналіз результатів науково-експериментальних досліджень під час постановки на виробництво вагона-хопера для перевезення сипких вантажів моделі 19-7154. Виконано ходові динамічні у порожньому та завантаженому станах та ходові міцносні випробування у завантаженому стані вагона, за результатами яких підтверджено відповідність теоретично-розрахунковим даним та нормативним допустимим значенням.

У дослідженні [6] наведено результати науково-експериментальних досліджень в рамках постановки на виробництво вагона для цементу бункерного типу моделі 17-1890. В дослідженні проаналізовано визначені ходові динамічні показники у порожньому та завантаженому станах вагона, а також виконано порівняння отриманих значень з нормативними. На підставі отриманих експериментальних даних під час ходових міцносних досліджень визначено коефіцієнти запасу опору втомі елементів конструкції рами та бункерів вагона із розрахунку його експлуатації протягом 28 років. Отримані фактичні значення знаходились в межах нормативних вимог.

Стаття [7] присвячена особливості створення шестивісного зчленованого 80 футового вагона-платформи типу Sggrss моделі 13-7147. Наведено результати теоретичних досліджень та комплексних натурних випробувань на відповідність стандартам Європейського Союзу. Підтверджено відповідність міцносних показників вагона-платформи за різних схем її навантаження контейнерами. Результати виконаних випробувань дослідного зразка вагона-платформи моделі 13-7147 підтвердили повну відповідність його технічних показників вимогам TSI до вантажних вагонів цього класу під час руху зі швидкостями до 120 км/год у залізничній системі Європейського Союзу. Отримано комплект міжнародних сертифікатів та дозволів на право вільної експлуатації вагонів-платформ моделі 13-7147 на коліях шириною 1435 мм України та країн Європейського Союзу.

У роботі [8] виконано експериментальне оцінювання якості руху легковагових вагонів, які найчастіше сходили з рейок, а саме вагони-платформи моделей 13-4012, вагони-хопери для цементу зі знятим дахом моделі 19-758-01, вагони-цистерни моделі 15-1443. За результатами проведених ходових динамічних випробувань вагона-платформи моделі 13-4012, вагона-хопера зі знятим дахом моделі 19-758-01, вагона-цистерни моделі 15-1443 у порожньому стані встановлено відповідність та невідповідність до чинних вимог щодо динамічних якостей цих вагонів.

У статті [9] виконано експериментальні дослідження показників якості руху переобладнаних вагонів-хоперів моделей 11-715-01 та 19-923-01 з цементовозів та мінераловозів для перевезення сипучих вантажів, які не потребують захисту від атмосферних опадів. Результати виконаних досліджень показали, що показники динаміки знаходилися в допустимих межах для руху із швидкостями до 80 км/год включно.

У роботі [10] виконано дослідження міцносних показників модернізованого вагона-зерновоза моделі 19-752 з посиленою хребтовою балкою. За результатами досліджень встановлено, що рівні напружень у несних конструкціях вагона не перевищують допустимих нормативних значень. Визначено, що розрахунковий залишковий ресурс модернізованого вагона з посиленою хребтовою балкою складає не менше 6 років.

Стаття [11] присвячена дослідженням показників міцності перспективної конструкції вагона-зерновоза для країн Європи. Доведено, що показники міцності несучих металокопункцій перспективного вагона-зерновоза знаходяться в межах допустимих значень і конструкція вагона, у цілому, має достатній запас міцності.

У роботах [12, 13] визначено динаміко-міцносні якості критого вагона моделі 11-217; вагона-платформи моделі 13-401; вагона-цистерни моделі 15-1443-06; вагона-хопера для перевезення окатишів моделі 20-9749 з урахуванням корозійних зносів за фактичними розмірами несних металокопункцій цих вагонів.

У публікації [14] визначено вплив технічного стану та зношення ковзунів на динамічні показники руху вантажних вагонів. У статті [15] досліджено динамічні показники вагона-цистерни моделі 15-1900 та піввагона моделі 12-1905, обладнаних візками моделі 18-1711 з осьовим навантаженням 25 тс та уніфікованих за основними вузлами й деталями з вантажними вагодонами попереднього покоління.

Вплив поперечного та поздовжнього зміщення центру ваги в піввагодонах на їх динамічні якості розглянуто в роботі [16].

Таким чином, у роботах [1-7] наведено та проаналізовано результати ходових динамічних та міцносних науково-експериментальних досліджень таких новостворених моделей вантажних вагонів як 33-7141, 13-4155, 13-1894, 13-7133, 19-7154, 17-1890, 13-7147. У дослідженнях [8-13] виконано оцінку динамічних та міцносних якостей вагонів моделей 11-217, 11-715-01, 13-401, 13-4012, 15-1443, 15-1443-06, 19-752, 19-758-01, 19-923-01, 20-9749 після їх тривалої експлуатації з урахуванням деградаційних змін та модернізацій, якщо такі виконувались. У публікаціях [14-16] розглянуто вплив на динамічні якості вантажних вагонів окремих вузлів та факторів, як то технічний стан та зношення ковзунів, впровадження візків нової моделі 18-1711 з осьовим навантаженням 25 тс, поперечне та поздовжнє зміщення центру ваги.

За результатами проведеного аналізу існуючих досліджень можна зробити висновки, що питанню оцінки ходових динамічних та міцносних показників вантажних вагонів завжди приділяється значна увага. Питання підвищеної уваги до цих досліджень пов'язане з безпекою руху на залізниці, мінімізації та попередженню аварійних ситуацій на залізничному транспорті. Тому це питання залишається актуальним як під час постановки на виробництво новостворених моделей вантажних вагонів, так і в експлуатації після їх модернізації, зношення несучих конструкцій та елементів ходових частин.

Отже, новостворений ПАТ «КВБЗ» бункерний вагон-хопер для перевезення цементу моделі 19-7160, який має свої конструктивні особливості, потребує проведення комплексу ходових динамічних та міцносних досліджень для підтвердження теоретичних розрахунків на етапі проектування, подальшої безпечної експлуатації та можливості серійного виробництва. При цьому під час проведення зазначених досліджень пропонується враховувати конструктивні особливості вагона та практичний досвід, який наведено у вищенаведених роботах.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Мета статті – виконати експериментальне оцінювання показників ходових якостей руху та міцності конструкції бункерного вагона-хопера для перевезення цементу моделі 19-7160 на відповідність чинних нормативних вимог.

У процесі досягнення поставленої мети пропонується вирішення таких задач:

– представлення конструктивних особливостей, загального вигляду, технічних характеристик вагона для перевезення цементу моделі 19-7160;

– проведення ходових динамічних та міцносних експериментальних досліджень вагона для перевезення цементу моделі 19-7160;

– визначення динамічних та міцносних показників бункерного вагона для перевезення цементу моделі 19-7160 у порожньому та завантаженому станах за результатами виконаних ходових досліджень;

– аналізування отриманих числових значень динамічних та міцносних показників, їх порівняння з нормативними допустимими значеннями та надання рекомендацій щодо можливості постановки на виробництво вагона моделі 19-7160.

Матеріал та результати досліджень. Новостворений ПАТ «КВБЗ» бункерний вагон-хопер для перевезення цементу моделі 19-7160 складається з таких основних частин: кузова, рами, гальма автоматичного, гальма стоянкового, автозчепних пристроїв, ходових частин, завантажувальних люків, бункерів з розвантажувальними люками. Конструктивними особливостями новоствореної моделі вагона є збільшений об'єм кузова до 76 м³ за рахунок того, що дах має більш виражену краплеподібну форму, а торцева стіна – тільки похилу поверхню. Розташування завантажувальних та розвантажувальних люків, база вагона враховують вже наявну інфраструктуру підприємств-виробників та терміналів розвантаження споживачів цементу. Габарит 1-ВМ вагона для цементу моделі 19-7160 має можливість допуску до обороту на магістральних і ряду інших ліній залізниць європейських країн-членів Організації співробітництва залізниць колії 1435 мм, що використовуються для міжнародних сполучень, за погодженими маршрутами з перестановкою візків на колію 1435 мм. Вагон обладнаний місцями для встановлення спеціалізованих вібраторів на бункерах. Усі чотири завантажувальні люки можна опломбувати однією пломбою, що пришвидшує процес завантаження та знижує експлуатаційні витрати. Кути нахилу торцевих стін та бункерів розвантажувальних люків дозволяють швидко та безперешкодно розвантажити цемент.

Зовнішній вигляд бункерного вагона-хопера для перевезення цементу моделі 19-7160, зображено на рис. 1. Основні технічні характеристики вагона моделі 19-7160 наведено в табл. 1.



Рис. 1. Зовнішній вигляд вагона-цементовоза моделі 19-7160

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 1. – Технічні характеристики вагона-хопера моделі 19-7160

Найменування характеристики	Значення характеристики
Вантажопідйомність, т	73,5
Об'єм кузова, м ³	76,0
Маса тари вагона, не більше, т	20,5
Питома матеріалоемність	0,279
Питомий об'єм, м ³ /т	1,034
Матеріал кузова	09Г2, 09Г2С, 09Г2Д, 10СХНД, 10Г2БД, 10Г2ФД, S355J2+N, YQ450NQR1
Розрахункове навантаження від колісної пари на рейки, кН (тс)	230,5 (23,5)
Кількість люків, шт	
завантажувальних	4
розвантажувальних	4
Ширина колії, мм	1520
Максимальна швидкість, км/год	120
База вагона, мм	7700
Довжина по осях зчеплення, мм	11920
Довжина по кінцевим балкам рами, мм	10700
Максимальна ширина, мм	3240
Висота від рівня головки рейки, мм	4650
Кількість осей, шт	4
Модель візка	18-7055
Габарит по ДСТУ Б.В.2.3-29	1-ВМ
Нормативний строк служби, років	26

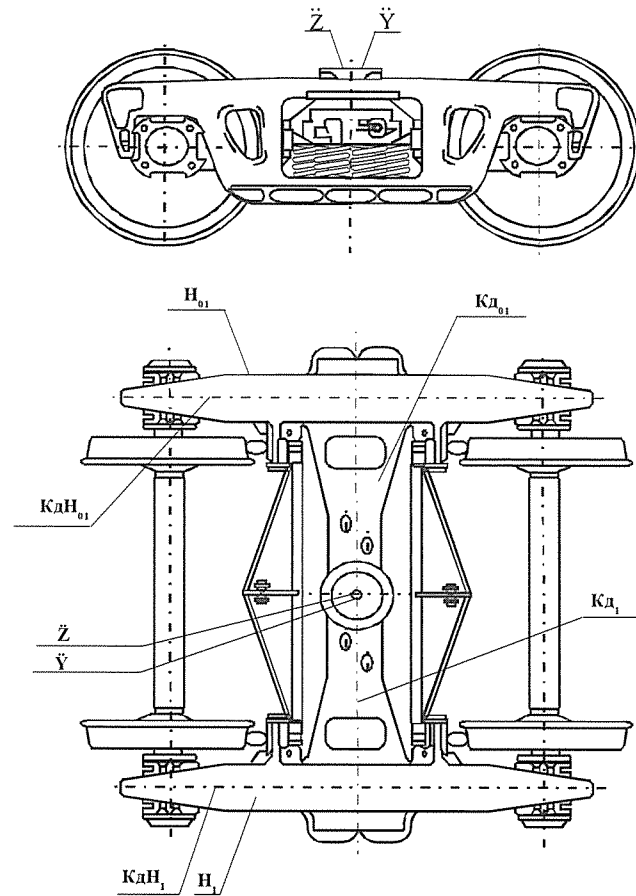
Ходові динамічні науково-експериментальні дослідження проводились фахівцями ДП «УкрНДІВ» спільно з співробітниками ПАТ «КВБЗ» у складі дослідного зчепу. Дослідний зчеп був сформований з: локомотива, дослідного вагона-цементовоза моделі 19-7160 у порожньому стані (№ 00002502), динамометричного вагона-лабораторії, дослідного вагона-цементовоза моделі 19-7160 у завантаженому стані (№ 00002501), на ділянці «Самар-Дніпровський – Балівка – Самар-Дніпровський – Воскобійня – Сухачівка – Дніпро-Лоцманська – Самар-Дніпровський» Придніпровської залізниці.

Ділянка колії, на якій проводились науково-експериментальні дослідження, відповідала вимогам до колії для проведення ходових динамічних випробувань.

В ході підготовки до ходових динамічних науково-експериментальних досліджень проводилося тарування вертикальних і горизонтальних сил. Тарування вертикальних сил проводилося шляхом навантаження візка кузовом вагона, а горизонтальних сил проводилося механічно шляхом прикладання до бокових рам візка в буксових вузлах послідовних еталонних навантажень у горизонтальній площині перпендикулярно до осі залізничної колії. Перед початком проведення ходових динамічних науково-експериментальних досліджень виконувалося поколісне зважування дослідних вагонів.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Під час підготовки дослідних вагонів до ходових динамічних науково-експериментальних досліджень підбирались тензорезистори, виконувалась зачистка та підготовка місць установки тензорезисторів, здійснювалась наклеювання тензорезисторів на візки та кузови дослідних вагонів. Тензорезистори, за допомогою підпаяних до них кабелів, з'єднувались з масштабними перетворювачами і апаратурою, встановленою у вагоні-лабораторії, що реєструє й обробляє дані випробувань. Умовами початку проведення науково-експериментальних досліджень є завершення монтажу, налагодження вимірювальних схем і перевірка роботоздатності випробувального устаткування. Місця розташування вимірювальних схем на візках вагонів моделі 19-7160, зображено на рис. 2.



- H_1, H_{01} - місце розташування вимірювальних схем для визначення рамних сил;
- $K_{д1}, K_{д01}$ - місце розташування вимірювальних схем для визначення коефіцієнта вертикальної динаміки кузова;
- $K_{дH_1}, K_{дH_{01}}$ - місце розташування вимірювальних схем для визначення коефіцієнта вертикальної динаміки необресореної частини візка;
- Y - місце розташування вимірювальних схем для визначення горизонтального прискорення;
- Z - місце розташування вимірювальних схем для визначення вертикального прискорення.

Рис. 2. Схема розташування приладів, вимірювальних на елементах візка вагона-цементовоза моделі 19-7160

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Ходові динамічні науково-експериментальні дослідження проводилися під час дослідних поїздок у реальних умовах експлуатації з реєстрацією динамічних процесів і деформацій у контрольних точках. Реєстрація вимірюваних процесів ходових динамічних випробувань проводилась на прямих і кривих ділянках колії і стрілочних переводах у всьому проектному діапазоні допустимих експлуатаційних швидкостей аж до швидкості, що перевищує конструкційну на 12 км/год на прямих ділянках. Під час руху в кривих і стрілочних переводах виконувалось дотримання установлених правил технічної експлуатації і нормативних указівок щодо швидкостей руху. При цьому розпочинались дослідження з малих швидкостей (30-40) км/год, із подальшим збільшенням швидкості руху до максимальної. Дослідні дані групувались за діапазонами швидкостей руху (10-20 км/год), характерними особливостями дослідних ділянок залізничної колії (пряма, крива, стрілки і ін.).

У процесі ходових динамічних випробувань вагона, вимірювались, аналізувались та визначались такі показники та їх величини:

- коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходження з рейок – K_{yc} ;
- коефіцієнт запасу поперечної стійкості від перекидання під час дії бічних сил у кривих – K_c ;
- коефіцієнт вертикальної динаміки кузова – K_o ;
- коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка – K_{on} ;
- коефіцієнт горизонтальної динаміки кузова – K_z ;
- бічна (рамна) сила – H_p , кН;
- прискорення кузова вертикальні – Z , в долях g ;
- прискорення кузова горизонтальні – Y , в долях g .

Також в процесі досліджень вимірюють сили, що діють на вагон, та швидкості його руху.

Обробка даних ходових динамічних науково-експериментальних досліджень передбачає розшифрування, ідентифікацію та систематизацію зареєстрованих динамічних процесів. Під час аналізу записів динамічних процесів визначають характерні види коливань, оцінюють залежність характеру і інтенсивності коливань залежно від умов руху. У зв'язку з ймовірнісною природою показників динамічної навантаженості ходових частин вагонів застосовують відповідний математичний апарат теорії ймовірностей. Максимальні значення K_o , та K_z визначались з довірчою ймовірністю 0,97, а значення K_{yc} – з довірчою ймовірністю не менше 0,999.

Ходові міцносні випробування проводились фахівцями ДП «УкрНДІВ» спільно з співробітниками ПАТ «КВБЗ» у складі дослідного зчепу. Дослідний зчеп був сформований з: локомотива, дослідного вагона для перевезення цементу моделі 19-7160 (№ 00002501), динамометричного вагона-лабораторії, на ділянці між станціями «Самар-Дніпровський–Балівка–Самар-Дніпровський» магістральних залізничних колій регіональної філії Придніпровська залізниця. Ділянка колії, на якій проводились науково-експериментальні дослідження, відповідала вимогам до залізничної колії для проведення ходових міцносних випробувань.

Для реєстрації показників міцності вагона використовувались тензометричні датчики з базою 20 мм. Місця розташування тензорезисторів на елементах металокопонування вагона під час проведення ходових міцносних науково-експериментальних досліджень, наведено на рис. 3.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

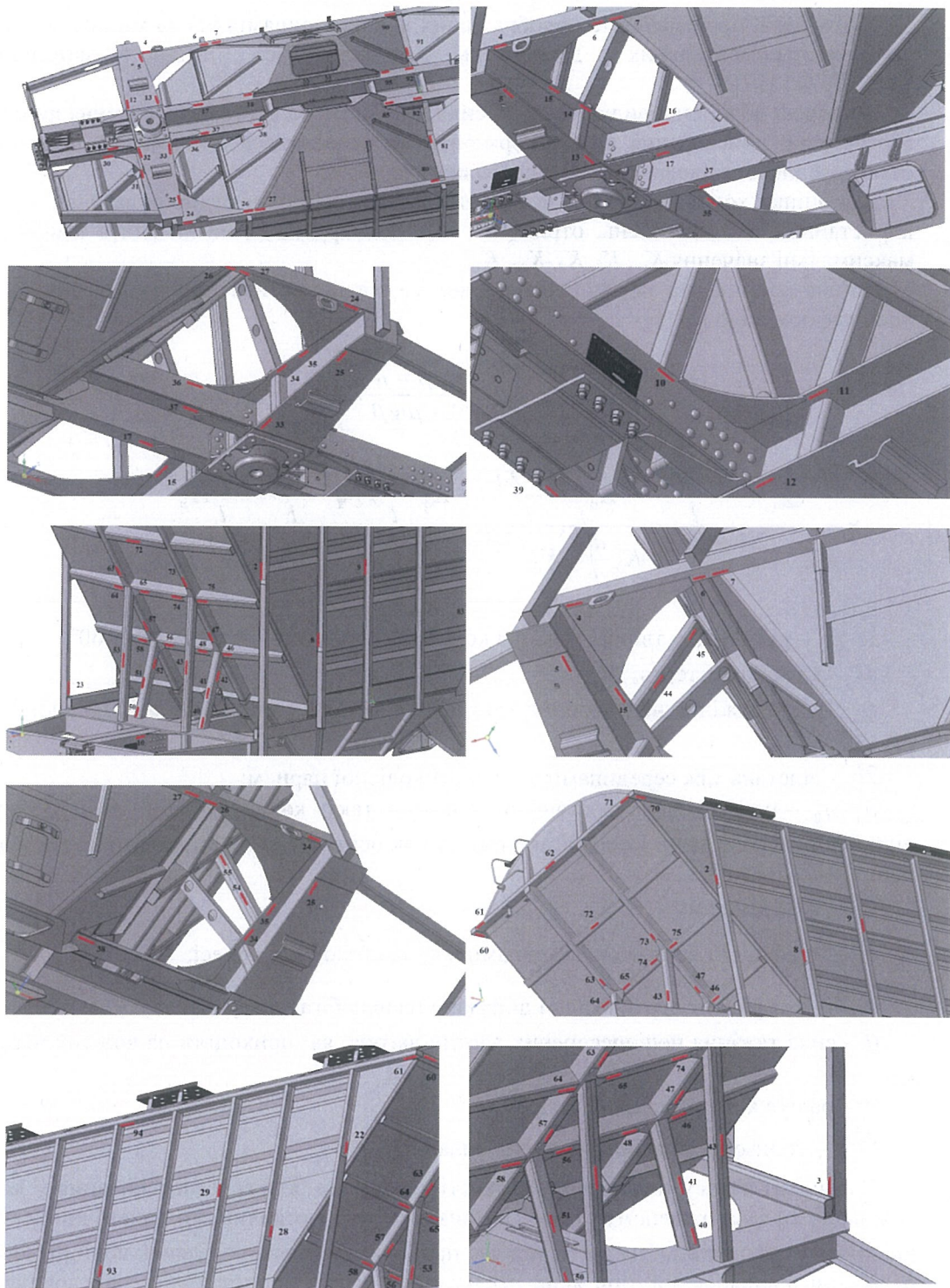


Рис. 3. Розташування тензорезисторів на рамі та кузові вагона-цементовоза моделі 19-7160

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Підготовка, проведення та обробка даних ходових динамічних та міцносних науково-експериментальних досліджень здійснювались згідно методики М 6.5.00745 [17].

В процесі обробки швидкість руху, сили, що діють на вагон, прискорення кузова вертикальні, прискорення кузова горизонтальні визначалась визначались методом безпосередніх вимірювань зазначених величин.

Для оцінки ходових якостей за величинами виміряних показників вагонів, з використанням співвідношень, отриманих під час тарування, визначалися ймовірні максимальні значення K_{yc} , K_c , K_δ , $K_{\delta n}$, K_ρ .

Оцінка коефіцієнта запасу стійкості колеса від сходження з рейок K_{cm} визначалось за формулою [17]:

$$K_{yc} = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu tg\beta} \times \frac{Q_{ш} \cdot \left(\frac{2(b-2a_2)}{l} - K_\delta^n \frac{2(b-2a_2)}{l} + K_\delta^{nn} \frac{a_2}{l} \right) + q \frac{b-2a_2}{l} + \frac{r}{l} H_p}{\mu Q_{ш} \cdot \left(\frac{2(b-2a_1)}{l} + K_\delta^n \frac{a_1}{l} - K_\delta^{nn} \frac{2(b-2a_2)}{l} \right) + \mu q \frac{b-2a_1}{l} + \left(1 - \frac{r}{l} \mu\right) H_p}, \quad (1)$$

де β – кут нахилу твірної гребеня колеса до горизонтальної осі; $\beta = 60^\circ$;

μ – коефіцієнт тертя; $\mu = 0,25$;

$Q_{ш}$ – сила тяжіння надресорних частин вагона, діюча на шийку осі колісної пари, кН;

$2b$ – відстань між серединами шийок осі колісної пари, м;

a_1, a_2 – розрахункова відстань від точок контакту коліс з рейками до середини відповідних (набігаючі і ненабігаючі) шийок осі колісної пари приймаються відповідно 0,25 м та 0,22 м;

$2l$ – база візка, м;

K_δ^n – коефіцієнт вертикальної динаміки на набігаючому колесі;

K_δ^{nn} – коефіцієнт вертикальної динаміки на ненабігаючому колесі;

q – сила тяжіння непіддресорених частин вагона, які приходять на колісну пару, кН;

r – радіус кола кочення колеса, м;

H_p – горизонтальна бокова рамна сила, кН.

Коефіцієнт запасу поперечної стійкості вагона від бокового перекидання у порожньому та завантаженому станах K_c визначають за величинами динамічних сил, що діють у експлуатації на вагон під час проходження кривих ділянок колії різного радіуса зі швидкостями, при яких реалізується рівень непогашеного прискорення до $0,7 \text{ м/с}^2$ з відношення (2):

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

$$K_c = \frac{K_\delta^n - K_\delta^p + 2}{K_\delta^n + K_\delta^p}, \quad (2)$$

де K_δ^n, K_δ^p – максимально ймовірні значення коефіцієнтів вертикальної динаміки (перевантаження і розвантаження) навантаженої і розвантаженої сторін візка вагона відповідно, визначені за напруженнями (деформаціями) бокових рам, значення K_δ^n і K_δ^p приймають додатними у випадку розвантаження коліс.

Коефіцієнт вертикальної динаміки кузова (необресореної рами візка) K_o, K_{on} у загальному вигляді визначають:

$$K_o (K_{on}) = \frac{\sigma_o}{\sigma_{cm}}, \quad (3)$$

де σ_o – динамічне напруження від вертикального навантаження в перерізі даного елемента, МПа;

σ_{cm} – статичне напруження від вертикального навантаження у тому ж перерізі, МПа.

Коефіцієнт горизонтальної динаміки K_z визначають за формулою:

$$K_z = \frac{H_p}{P_0}, \quad (4)$$

де P_0 – вертикальне статичне навантаження від осі на рейки, кН.

Максимально та мінімально ймовірні значення показників ходових динамічних процесів визначались за формулами [17]:

$$X_{\max}^{i\text{мов}} = \bar{X} + k \cdot S, \quad (5)$$

$$X_{\min}^{i\text{мов}} = \bar{X} - k \cdot S, \quad (6)$$

де \bar{X} – середні статистичні значення показника;

k – коефіцієнт, що залежить від рівня довірчої імовірності та визначає розмір довірчого інтервалу;

S – середнє квадратичне відхилення.

За результатами проведення ходових міцносних науково-експериментальних досліджень визначались коефіцієнти опору втомі елементів конструкції кузова вагона, із розрахунку його експлуатації на 26 років, за формулою (7) [17]:

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,e}} \geq [n], \quad (7)$$

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

де $\sigma_{a,N}$ – границя витривалості (за амплітудою) натурної деталі за симетричним циклом і установленим режимом навантажень на базі випробувань N_0 ;

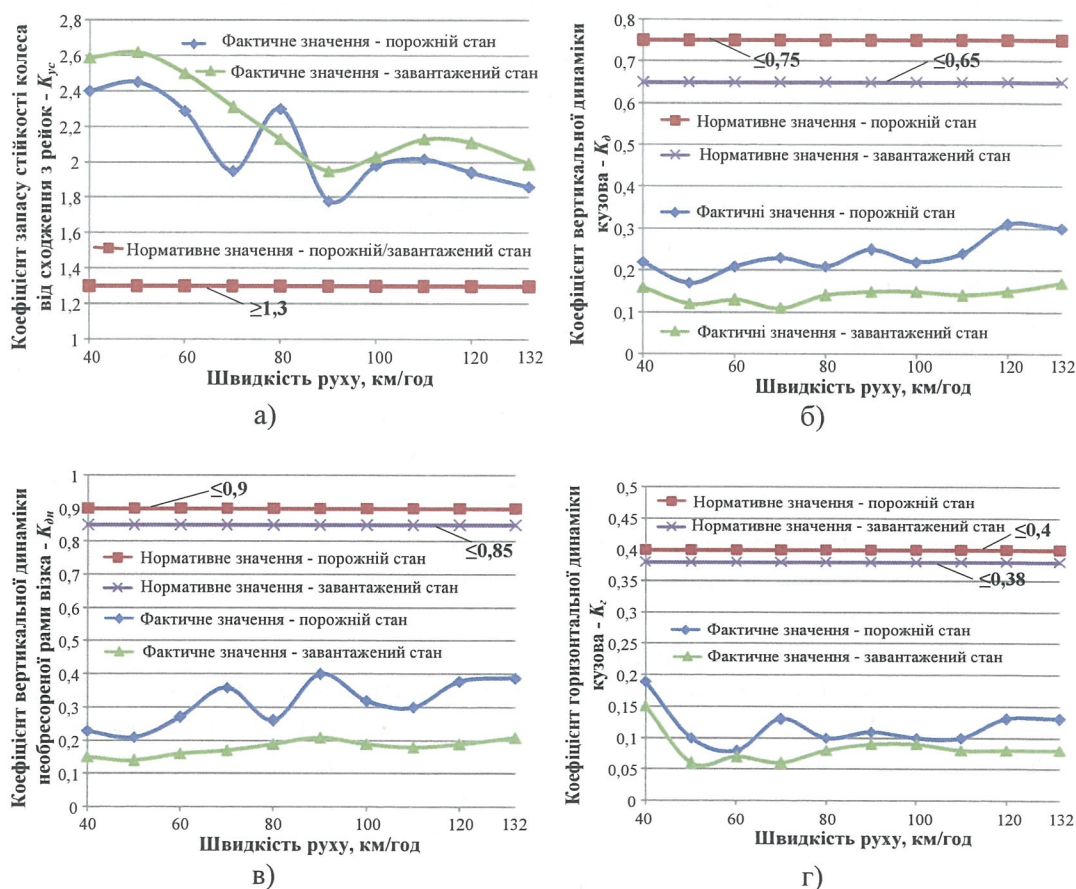
$\sigma_{a,e}$ – розрахункова величина еквівалентної амплітуди динамічного напруження у реальному режимі експлуатаційних випадкових навантажень за проектний термін служби конструкції;

$[n]$ – допустимий коефіцієнт запасу опору втомі.

Згідно вимог [18] прийнято: коефіцієнт кривої втомі $m = 4,0$ та загальний коефіцієнт зниження границі витривалості даної натурної деталі відносно границі витривалості гладкого стандартного зразка $k_{\sigma k} = 1,88$; середнє значення границі витривалості $\sigma_{-1} = 265$ МПа (для балки хребтової), 220 МПа (для балки шворневої), 225 МПа (для інших елементів).

Результати ходових динамічних науково-експериментальних досліджень вагона для перевезення цементу моделі 19-7160 у порожньому та завантаженому станах, зображено на рис. 4 та табл. 2.

Точки та значення мінімальних фактичних значень коефіцієнтів запасу опору втомі у елементах металоконструкції вагона для перевезення цементу моделі 19-7160 у завантаженому стані, визначених експериментально-розрахунковим шляхом, зображено на рис. 5.



РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

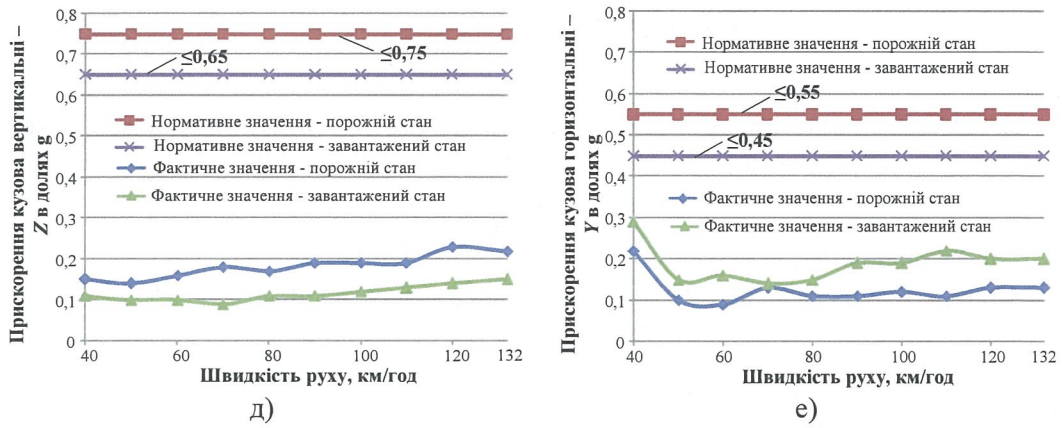


Рис. 4. Результати ходових динамічних досліджень вагона моделі 19-7160:
а) $K_{ус}$; б) K_0 ; в) $K_{0н}$; г) K_2 ; д) Z; е) Y

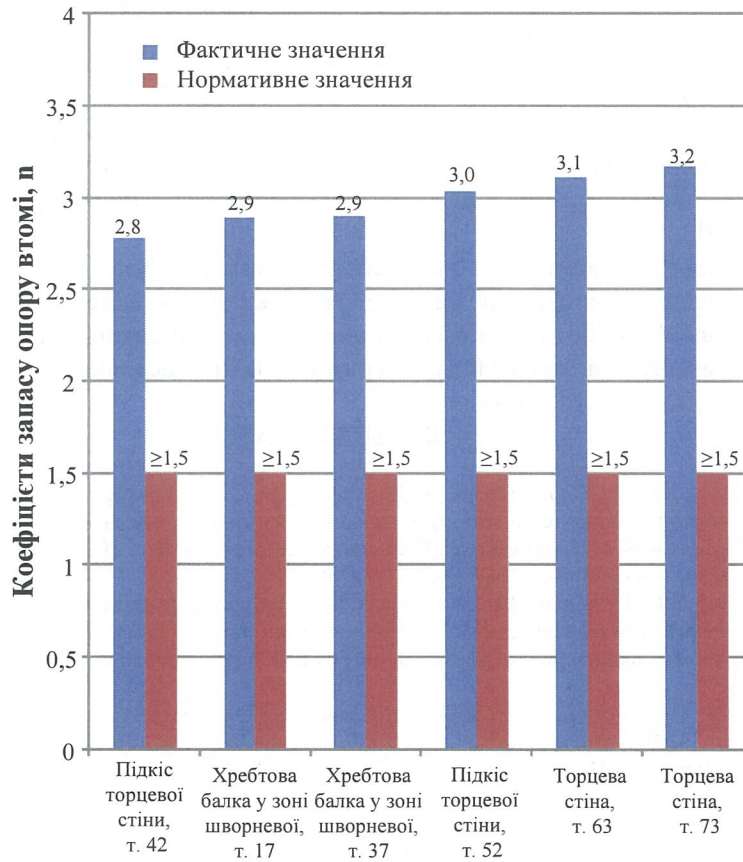


Рис. 5. Точки з мінімальними значеннями коефіцієнтів запасу опору втомі у елементах металоконструкції вагона

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 2. – Результати визначення коефіцієнта запасу поперечної стійкості вагона моделі 19-7160

Коефіцієнт запасу поперечної стійкості від перекидання при русі у кривих від дії бічних сил – K_c :	Фактичне значення	Нормативне значення
Порожній стан		
– на зовнішню сторону кривої;	8,1	$\geq 1,3$
– на внутрішню сторону кривої	8,1	$\geq 1,2$
Завантажений стан		
– на зовнішню сторону кривої;	7,1	$\geq 1,3$
– на внутрішню сторону кривої	8,1	$\geq 1,2$

Висновки.

1. Ходові динамічні показники якості ходу вагона моделі 19-7160 в порожньому та завантаженому станах відповідають чинним нормативним вимогам для вантажних вагонів у всьому діапазоні експлуатаційних швидкостей аж до конструкційної включно на залізничних коліях, які за станом поточного утримання відповідають вимогам руху із вказаними швидкостями.

2. На підставі проведеного аналізу результатів ходових міцносних науково-експериментальних досліджень вагона для перевезення цементу моделі 19-7160 можна зробити висновок, що цей вагона відповідає нормативним вимогам ДСТУ 7598 [18].

3. Результати проведених науково-експериментальних досліджень показали можливість подальшої експлуатації вагона для перевезення цементу моделі 19-7160 до 120 км/год включно без встановлення швидкісних обмежень в частині відповідності чинним вимогам динаміки його руху та міцності конструкції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Хозя П.О., Юшко О.О., Орлов О.В., Хвоєнко Є.О., Григорошенко М.В. Науково-експериментальні дослідження технічних характеристик вагона-самоскида моделі 33-7141. *Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад»*. Кременчук: ДП «УкрНДІВ», 2022. Вип. 25. С. 129–143. DOI: <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2022-25-129-143>

2. Рейдемейстер О.Г., Шикунів О.А., Ягода Д.О. Експериментальні дослідження технічних характеристик вагона-платформи моделі 13-4155. *2-а Міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивні технології засобів транспорту»*. Харків, 05-06 грудня.: Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2024. С. 76–77.

3. Федорак І.І., Сулим А.О., Хозя П.О., Столетов С.О. Експериментальні дослідження вагона-платформи моделі 13-1894 для великотоннажних контейнерів. *Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад»*. Кременчук: ДП «УкрНДІВ», 2024. Вип. 29. С. 81–93. DOI: <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2024-29-81-93>

4. Костиця С.А., Федоров С.Ф., Болотов В.В., Грановська Н.Й. Ходові динамічні та міцносні випробування вагона-платформи для великотоннажних контейнерів моделі 13-7133 на візках з ковзунами зазорного типу для перевезення крупнотонажних контейнерів. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту : матеріали 81 Міжнародної науково-практичної конференції, 22-23 квітня 2021 р. / за заг. ред. А.В. Радкевича, Р.В. Рибалки*. Дніпров. нац. ун-т. залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпро, 2021. С. 307–308.

5. Гречкін О.А., Єгоров Д.О. Створення вантажного вагону для перевезення сипких вантажів моделі 19-7154. *Залізничний транспорт України*. 2024. № 4. С. 4–9. DOI: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2024-153-4-04-09>
6. Сулим А.О., Орлов О.В., Столетов С.О., Федорак І.І. Експериментальні дослідження міцності конструкції та ходових якостей вагону для цементу бункерного типу. *Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад»*. Кременчук: ДП «УкрНДІВ», 2024. Вип. 28. С. 7–21. DOI: <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2024-28-7-21>
7. Крамаренко М.В., Гречкін О.А., Плютін О.І., Єгоров Д.О. Створення першого вітчизняного вантажного вагону для колії 1435 мм за вимогами TSI. *Залізничний транспорт України*. 2024. № 3. С. 4–14. DOI: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2024-152-3-04-14>
8. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І., Фоміна А.М. Оцінка показника якості руху легковагових вагонів в складі поїзда. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля*. 2019. № 2 (250). С. 103–109.
9. Фомін О.В., Кара С.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І., Фомін В.В. Оцінка динамічних якостей руху переобладнаних вагонів-хоперів після тривалої експлуатації. *Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології»*. 2020. Вип. 36. С. 33–42. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-36-4>
10. Петренко В.О., Кельріх М.Б., Прокопенко П.М., Кара С.В. Оцінка несівної здатності модернізованої рами вагону-зерновоза. *Залізничний транспорт України*. 2022. № 3. С. 4–10. DOI: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2022-144-3-04-10>
11. Жигіль О.М., Прокопенко П.М., Кара С.В., Родіонов А.Ю. Дослідження показників міцності перспективної конструкції вагону-зерновоза для країни Європи. *Залізничний транспорт України*. 2025. № 2. С. 21–30. DOI: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2025-155-2-21-30>
12. Fomin O., Lovska A. Establishing patterns in determining the dynamics and strength of a covered freight car, which exhausted its resource. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 6. No. 7 (108). P. 21–29. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217162>
13. Fomin O., Lovska A. Determination of dynamic loading of bearing structures of freight wagons with actual dimensions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 2. No. 7 (110). P. 6–14. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.220534>
14. Myamlin S., Neduzha L., Ten O., Shvets A. Determination of dynamic performance of freight cars taking into account technical condition of side bearers. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2013. № 1 (43). С. 162–169. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2013/9589>
15. Bubnov V.N., Myamlin S.V., Mankevych N.B. Dynamic performance of freight cars on bogies model 18-1711. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2013. № 4 (46). С. 118–126. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2013/16616>
16. Швець А.О. Вплив поздовжнього та поперечного зміщення центру ваги вантажу в піввагонах на їх динамічні показники. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2018. № 5 (71). С. 115–128. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/146432>
17. М 6.5 00745 Вагони вантажні та пасажирські. Методика випробувань (статичні випробування на міцність від дії вертикального навантаження, випробування на міцність від дії поздовжнього квазістатичного навантаження, навантажень при ремонті та обслуговуванні, зосередженим вантажем, гідравлічних випробувань, розвантаження-завантаження, випробувань на співудар, власної частоти вигинних коливань кузова, ходових динамічних випробувань, ходових міцносних випробувань, плавності ходу та вібрації, випробувань з впливу на колію, поколісного зважування та випробувань з визначення показників шуму). Кременчук: ДП «УкрНДІВ», 2019. 39 с.
18. ДСТУ 7598:2014 Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Введено на підставі наказу ДП «УкрНДІВ» від 02.12.2014 № 1430. Київ, ДП «УкрНДІВ», 2014. 161 с.

S. O. Stoletov

State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute»,
33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine
Tel.: +380673674043, E-mail: stoletoff.s.a@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8819-2534>

P. O. Khozia

State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute»,
33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine
Tel.: +380536662043, E-mail: E-mail: pavlo.khozia@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8948-6032>

M. V. Hryhoroshenko

Public joint-stock company «Kryukovsky Railway Car Building Works»,
139 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine
Tel.: +380675454575, E-mail: icenter@kvsz.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7946-1835>

**RUNNING DYNAMIC AND STRENGTH STUDIES
OF THE 19-7160 MODEL HOPPER CAR
FOR TRANSPORTING CEMENT**

The article analyses existing research on the assessment of the dynamic and strength characteristics of newly built, refurbished freight wagons models and railcar models after prolonged operation. The necessity of experimental assessment of the running dynamic qualities and structural strength of the 19-7160 model cement hopper car for compliance with current regulatory requirements is justified.

The design features and technical characteristics of the 19-7160 model cement freight car are outlined. The methodology for carrying out dynamic and strength tests is characterized. The locations of the diagrams and strain gauges during the dynamic and strength tests are given. Formulas are described for determining such basic indicators of the dynamic qualities of wagons as the coefficient of wheel stability against derailment, the coefficient of transverse stability against overturning under the action of lateral forces in curves, the coefficient of vertical dynamics of the body, the coefficient of vertical dynamics of the unsprung bogie frame, and the coefficient of horizontal dynamics of the body.

The article presents the results of experimental assessment of dynamic indicators of the quality of movement of 19-7160 model hopper cars for transporting cement under empty and maximum load capacity conditions. Points with minimum values of fatigue safety factor in the metal structure elements of the car are given. Based on the analysis of the numerical values of the dynamic performance indicators of the wagons and the fatigue safety factors in empty and maximum load capacity conditions, it was established that these indicators are within the permissible values according to the requirements of DSTU 7598. The possibility of further operation of 19-7160 model cement wagons at speeds up to 120 km/h inclusive was determined based on the dynamic movement characteristics and strength indicators of these wagons.

Keywords: cement silo, hopper car, testing, research, dynamics, body, metal structure, strength, frame, cement railcar.

REFERENCES

1. Khozia, P.O., Yushko, O.O., Orlov, O.V., Khvoienko, E.O., & Hryhoroshenko, M.V. (2022). Naukovo-eksperymentalni doslidzhennia tekhnichnykh kharakterystyk vahona-samoskyda modeli 33- 7141 [Scientific and experimental research on the technical characteristics of the 33-7141 model dump car]. *Zbirnyk naukovykh prats «Reikovy rukhomiy sklad» – Collection of scientific works 'Railbound Rolling Stock'*, 25, 129–143. Kremenchuk: SE «UkrNDIV», DOI: <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2022-25-129-143> [in Ukrainian].
2. Reidemester, O.H., Shikunov, O.A., & Yahoda, D.O. (2024). Eksperymentalni doslidzhennia tekhnichnykh kharakterystyk vahona-platformy modeli 13-4155 [Experimental studies of the technical characteristics of the 13-4155 model flatcar]. *Proceedings from 2-a Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia «Prohresyvni tekhnologii zasobiv transportu» – The Second International Scientific and Technical Conference 'Advanced Technologies for Transport'*. (pp. 76–77). Kharkiv: UkrDUZT [in Ukrainian].
3. Fedorak, I.I., Sulym, A.O., Khozia, P.O., & Stolietov, S.O. (2024). Eksperymentalni doslidzhennia vahona-platformy modeli 13-1894 dlia velykotonnazhnykh konteineriv [Experimental studies of the 13-1894 model flatcar for large-tonnage containers]. *Zbirnyk naukovykh prats «Reikovy rukhomiy sklad» – Collection of scientific papers 'Railbound Rolling Stock'*, 29, 81–93. Kremenchuk: SE «UkrNDIV». DOI: <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2024-29-81-93> [in Ukrainian].
4. Kostytsia, S.A., Fedorov, E.F., Bolotov, V.V., & Granovskaia, N.Y. (2021). Khodovi dynamichni ta mitsnosni vyprobuvannia vahona-platformy dlia velykotonnazhnykh konteineriv modeli 13-7133 na vizkakh z kovzunamy zazornoho typu dlia perevezennia krupnotonnazhnykh konteineriv [Running dynamic and strength tests of a flatcar for large-tonnage containers, model 13-7133, on bogies with gap-type skids for transporting large-tonnage containers]. Problems and prospects for the development of railway transport [Problemy ta perspektyvy rozvytku zaliznychnoho transportu]. *Proceedings of 81 Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii – The 81st International Scientific and Practical Conference*. A.V. Radkevich, R.V. Rybalko (Ed.). (pp. 307–308). Dniprov. nats. universytet zaliznych. transp. im. akad. V. Lazariana – Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazarian. Dnipro [in Ukrainian].
5. Hrechkin, O.A., & Yehorov, D.O. (2024). Creation of a freight car for transporting bulk cargo, model 19-7154 [Stvorennia vantazhnoho vahonu dlia perevezennia sypkykh vantazhiv modeli 19-7154]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 4, 4–9. DOI: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2024-153-4-04-09> [in Ukrainian].
6. Sulym, A.O., Orlov, O.V., Stolietov, S.O., & Fedorak, I.I. (2024). Eksperymentalni doslidzhennia mitsnosti konstrukttsii ta khodovykh yakosteï vahona dlia tseментu bunkernoho typu [Experimental studies of the structural strength and running characteristics of a bunker-type cement car]. *Zbirnyk naukovykh prats «Reikovy rukhomiy sklad» – Collection of scientific works 'Railbound Rolling Stock'*, 28, 7–21. Kremenchuk: SE «UkrNDIV». DOI: <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2024-28-7-21> [in Ukrainian].
7. Kramarenko, M.V., Hrechkin, O.A., Pliutin, O.I., & Yehorov, D.O. (2024). Stvorennia pershoho vitchyznianoho vantazhnoho vahona dlia kolii 1435 mm za vymohamy TSI [Construction of the first domestic freight wagon for 1435 mm gauge in accordance with TSI requirements]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 3, 4–14. DOI: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2024-152-3-04-14> [in Ukrainian].
8. Fomin, O.V., Prokopenko, P.M., Horbunov, M.I., & Fomina, A.M. (2019). Otsinka pokaznyka yakosti rukhu lehkovo-vahovykh vahoniv v skladi poizda [Assessment of the quality indicator of light-weight wagons in a train]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnogo universytetu imeni V. Dalia – Bulletin of the V. Dahl East Ukrainian National University*, 2 (250), 103–109 [in Ukrainian].
9. Fomin, O.V., Kara, S.V., Prokopenko, P.M., Horbunov, M.I., & Fomin, V.V. (2020). Otsinka dynamichnykh yakosteï rukhu pereobladnanykh vahoniv-khoperiv pislia tryvaloï eksploatatsii [Assessment of the dynamic qualities of converted hopper cars after prolonged operation]. *Zbirnyk naukovykh prats DUIT. Serii «Transportni systemy i tekhnologii» – Collection of scientific works of DUIT. Series 'Transport Systems and Technologies'*, 36, 33–42. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-36-4> [in Ukrainian].
10. Petrenko, V.O., Kelrikh, M.B., Prokopenko, P.M., & Kara, S.V. (2022). Otsinka nesivnoi zdatnosti modernizovanoi ramy vahona-zernovoza [Assessment of the load-bearing capacity of a modernised grain car frame]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 3, 4–10. DOI: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2022-144-3-04-10> [in Ukrainian].
11. Zhihil, O.M., Prokopenko, P.M., Kara, S.V., & Rodionov, A.Yu. (2025). Doslidzhennia pokaznykiv mitsnosti perspektyvnoi konstrukttsii vahona-zernovoza dlia krainy Yevropy [Research on the strength

indicators of a promising grain car design for European countries]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2, 21–30. DOI: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2025-155-2-21-30> [in Ukrainian]

12. Fomin, O., & Lovska, A. (2020). Establishing patterns in determining the dynamics and strength of a covered freight car, which exhausted its resource. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6, 7 (108), 21–29. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217162>

13. Fomin, O., & Lovska, A. (2020). Determination of dynamic loading of bearing structures of freight wagons with actual dimensions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2, 7 (110), 6–14. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.220534>

14. Miamlin, S., Neduzha, L., Ten, O., & Shvets, A. (2013). Determination of dynamic performance of freight cars taking into account technical condition of side bearers. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana – Science and progress in transport. Bulletin of the Dnipropetrovsk University of Railway Transport named after Academician V. Lazarian*, 1 (43), 162–169. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2013/9589>

15. Bubnov, V.N., Miamlin, S.V., & Mankevych, N.B. (2013). Dynamic performance of freight cars on bogies model 18-1711. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana – Science and progress in transport. Bulletin of the Dnipropetrovsk University of Railway Transport named after Academician V. Lazarian*, 4 (46), 118–126. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2013/16616>

16. Shvets, A.O. (2018). Vplyv pozdovzhnoho ta poperechnoho zmishchennia tsentru vahy vantazhu v pivvahonakh na yikh dynamichni pokaznyky [The influence of longitudinal and transverse displacement of the centre of gravity of cargo in semi-wagons on their dynamic performance]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana – Science and Progress in Transport. Bulletin of the Dnipropetrovsk University of Railway Transport named after Academician V. Lazarian*, 5 (71), 115–128. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/146432> [in Ukrainian]

17. Vahony vantazhni ta pasazhyrski. Metodyka vyprobuvannia (statychni vyprobuvannia na mitsnist vid dii vertykalnoho navantazhennia, vyprobuvannia na mitsnist vid dii pozdovzhnoho kvazistatychnoho navantazhennia, navantazhen pry remonty ta obsluhovuvanni, zoseredzhenym vantazhem, hidravlichnykh vyprobuvannia, rozvantazhennia-zavantazhennia, vyprobuvannia na spivudar, vlasnoi chastoty vyhynnykh koly-van kuzova, khodovykh dynamichnykh vyprobuvannia, khodovykh mitsnosnykh vyprobuvannia, plavnosti khodu ta vibratsii, vyprobuvannia z vplyvu na koliiu, pokolisnoho zvazhuvannia ta vyprobuvannia z vyznachennia pokaznykyv shumy) [Freight and passenger wagons. Testing methods (static tests for strength under vertical load, tests for strength under longitudinal quasi-static load, loads during repair and maintenance, concentrated load, hydraulic tests, unloading-loading, tests for impact, natural frequency of bending vibrations, running dynamic tests, running strength tests, smoothness of running and vibration, tests for impact on the track, wheel weighing and tests to determine noise indicators)]. (2019). *M 6.5 00745*. Kremenchuk: SE «UkrNDIV» [in Ukrainian]

18. Vahony vantazhni. Zahalni vymohy do rozrakhunkiv ta proektuvannia novykh i modernizovanykh vahoniv kolii 1520 mm (nesamokhidnykh) [Freight cars. General requirements for the calculation and design of new and modernized 1520 mm gauge cars (non-self-propelled)]. (2014). DSTU 7598:2014 from 2nd December 2014. Kyiv: SE «UkrNDNTs» [in Ukrainian].



Стаття надійшла 20.04.2026
Стаття прийнята 23.04.2026
Опубліковано 29.05.2026