

Міністерство освіти і науки України  
Державний університет інфраструктури та технологій

Міністерство освіти і науки України  
Державний університет інфраструктури та технологій

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ПРОКОПЕНКО ПАВЛО МИКОЛАЙОВИЧ**

УДК 629.4.018:629.4.086

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ЗІ ЗМЕНШЕНОЮ  
ТАРОЮ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАСОБІВ І ПІДХОДІВ  
ПРОВЕДЕННЯ ХОДОВИХ ВИПРОБУВАНЬ**

273 – Залізничний транспорт

27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



П.М. Прокопенко

Науковий керівник –  
Фомін Олексій Вікторович  
доктор технічних наук, професор

Київ – 2021

## АНОТАЦІЯ

Прокопенко П.М. Підвищення безпеки руху вантажних вагонів зі зменшеною тарою шляхом удосконалення засобів і підходів проведення ходових випробувань. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 273 – «Залізничний транспорт». – Державний університет інфраструктури та технологій, Київ 2021.

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню актуального наукового завдання удосконалення засобів і підходів проведення ходових випробувань вантажних вагонів зі зменшеною тарою.

Наукова новизна отриманих результатів роботи полягає у вирішенні наукового завдання – підвищення безпеки руху вантажних вагонів зі зменшеною тарою шляхом удосконалення засобів і підходів проведення ходових випробувань.

### **Вперше:**

- науково обґрунтовано удосконалення засобів і підходів проведення ходових випробувань з метою підвищення безпеки руху вагонів зі зменшеною тарою;
- розроблено програмно-математичне забезпечення процедури оцінювання показників якості та безпеки руху з урахуванням вагових коефіцієнтів основних факторів, які спричиняють сход вантажних вагонів зі зменшеними тарами з рейок, що дозволяє з достатньою точністю визначати ці показники мобільними пристроями безпосередньо в експлуатації;
- розроблено структурно-функціональні технічні описання (концепти) зі створення нових та модернізації існуючих конструкцій вантажних вагонів з метою підвищення показників якості та безпеки руху, швидкості їх зразків зі зменшеною тарою.

**Удосконалено** базу схем діагностування показників якості та безпеки руху вантажних вагонів шляхом обґрунтування місць та способів (видів) визначення завантаженості їх конструкцій зі зменшеною тарою.

**Дістали подальшого розвитку** схеми формування вантажних поїздів та обґрунтування допустимих швидкостей їх руху, за рахунок розроблення відповідних наукових напрацювань для вагонів зі зменшеною тарою.

**Практичне значення одержаних результатів:**

- запропоновані нові конструкторсько-технічні рішення з удосконалення конструкції вантажних вагонів, які захищені державними патентами України та можуть бути використані при проектуванні вантажних вагонів нового покоління або модернізації існуючих (патенти України: № 130258, № 138162, № 146774, № 146775, № 148801, № 148800, № 148799, № 148802, № 148798);
- розроблений програмний алгоритм для визначення показників якості руху вантажних вагонів;
- рішенням Правління АТ «Укрзалізниця» від 06.09.2019 року введено в дію СТП 07-003:2019 «Залізничний транспорт. Норми допустимих швидкостей рухомого складу по коліях шириною 1520 мм». Пунктом 10.5 якого встановлена така вимога – «Швидкості руху вантажних поїздів, до складу яких включені порожні вагони, встановлюються директором регіональної філії АТ «Укрзалізниця» залежно від технічного стану колії, але не вище ніж 65 км/год»;
- рішенням Правління АТ «Укрзалізниця» від 19.11.2020 року до СТП 07-003:2019 «Залізничний транспорт. Норми допустимих швидкостей рухомого складу по коліях шириною 1520 мм» внесені такі зміни. Розділ 10 пункт 10.5 Допустимі швидкості руху поїздів викласти в новій редакції: «10.5 Швидкості руху вантажних поїздів, до складу яких включені порожні вагони, встановлюються директором регіональної філії АТ «Укрзалізниця» відповідно до технічної документації на їх виготовлення, вимог Правил технічної експлуатації

залізниць України та технічного стану колії. Швидкості руху вантажних поїздів, до складу яких включені вагони-платформи моделей 13-4012, 13-4012М, 13-401-17 в порожньому стані, тара яких менша за мінімальну масу тари вагона, встановлюються не більше 60 км/год».

Основні результати дисертаційної роботи використані філією «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» АТ «Укрзалізниця», в етапах дослідження та проведення випробувань спрямованих на дослідження та визначення показників якості та безпеки руху вантажних вагонів та робіт з визначення безпечних умов експлуатації вагонів та впроваджені у навчальний процес кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного університету інфраструктури та технологій при підготовці фахівців спеціальності 273 – «Залізничний транспорт» (підтверджено актами впровадження Додаток А).

Відповідно до теми дисертації опубліковано 9 наукових праць в українських виданнях, які входять до затвердженого МОН України переліку наукових фахових видань, 2 наукові праці у фахових закордонних виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз у числі н/м базі Scopus, 10 – в матеріалах конференцій, з яких 2 – за кордоном, 9 патентів України на корисну модель та 2 авторських права на твір.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, їх зв'язок з науковими програмами, вказано методи досліджень, достовірність отриманих результатів, визначено наукову новизну дисертації, практичне значення та особистий внесок автора, наведено данні про апробацію результатів роботи і публікації.

Перший розділ присвячений огляду літератури за темою роботи та обґрунтуванню вибору напрямків дисертаційних досліджень. Виконано огляд наукових праць спрямованих на визначення показників якості руху вантажних вагонів, існуючих систем оцінки показників якості руху та оцінки динамічних характеристик рухомого складу, виконано аналіз проблем експлуатації таких вагонів, наведено статистику сходів вантажних вагонів зі зменшеною тарою з

рейок. Описано існуючі проекти, які спрямовані на покращення показників динаміки руху вантажних вагонів.

Спираючись на досвід українських та світових вчених, провідних наукових організацій зроблено висновок, що показники динаміки та міцності вантажних вагонів зі зменшеною тарою, які експлуатуються на залізницях України, не задовольняють сучасним вимогам та потребують розробки технічних рішень, які покращать показники якості руху вантажних вагонів зі зменшеною тарою.

У другому розділі розроблено структурно-функціональні технічні описання (концепти) зі створення нових та модернізації існуючих конструкцій вантажних вагонів з метою підвищення показників якості та безпеки руху, швидкості їх зразків зі зменшеною тарою. Суть запропонованих покращень полягає у застосуванні шарнірних елементів в його конструкції, замість існуючих нерухомих елементів (суцільні балки, зварні з'єднання).

Запропоновано методику поглибленої обробки результатів ходових випробувань рухомого складу. Суть полягає у виконанні кореляційного та спектрального аналізу процесів, досліджених для різних елементів несучих конструкцій, з метою виявлення взаємозв'язків між коливальними процесами несучих конструкцій, оцінка частот при яких відбувається взаємодія між ними та рівні взаємодії. Розроблено програмно-математичне забезпечення процедури оцінювання показників якості та безпеки руху, з урахуванням вагових коефіцієнтів основних факторів, які спричиняють сход вантажних вагонів зі зменшеними тарами з рейок, що дозволяє з достатньою точністю визначати ці показники мобільними пристроями безпосередньо в експлуатації (рис.1).

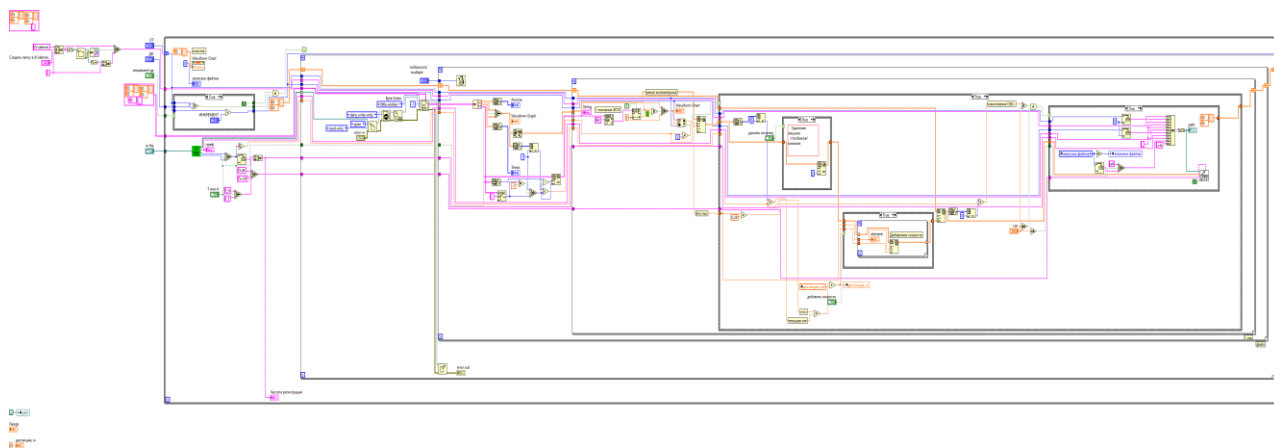


Рисунок 1 – Блок-схема програмного забезпечення для оцінки отриманих експериментальних даних

У третьому розділі сформульовано загальні вимоги до мобільної системи для визначення показників якості та безпеки руху вагонів зі зменшеною тарою в умовах експлуатації. Описана апаратна частина та первинні перетворювачі мобільної системи. Викладено результати теоретичних та практичних досліджень, щодо порівняння та визначення показників якості та безпеки руху вантажних вагонів зі зменшеною тарою різних моделей та долю факторів, які негативно впливають на показник якості та безпеки руху вагоні. Приведений економічний ефект від впровадження запропонованих рішень.

За результатами порівняльних випробувань вагона-платформи для перевезень великовантажних контейнерів моделі 13-401-17 (№ 94227717 з модернізацією за проектом С.14.01, 1983 року виготовлення та вагона-платформи № 94287356 з модернізацією за проектом С.03.04-ковзуни А.СТАКИ 1982 року виготовлення) в порожньому стані встановлено, що показники динаміки руху вагона-платформи з модернізацією за проектом С.03.04-ковзуни А.СТАКИ кращі ніж в іншого дослідного вагона, коефіцієнт запасу стійкості на швидкості 80 км/год у вагона без модернізації складає 1,15, що менше за допустиме 1,3, а у вагона з модернізацією А.СТАКИ складає 1,45. Також встановлено резонансний діапазон швидкості 60-70 км/год., де спостерігалось значне погіршення коефіцієнту запасу стійкості від сходу коліс з рейок.

За результатами ходових динамічних випробувань вантажних вагонів зі зменшеною тарою у порожньому стані в складі поїзда було встановлено, що значення сил стиску, які діють на автозчепні пристрої вагонів та коефіцієнт запасу стійкості колеса проти сходу з рейок, досягають або перевищують критичних значень в головній та середній частинах поїзда. Доцільною є постановка порожніх вагонів зі зменшеною тарою в останній третині поїзда. Запропоновано винести на обговорення під час найближчого засідання Постійно-діючої комісії з безпеки руху поїздів і автотранспорту, охорони праці і пожежної безпеки АТ «Українська залізниця», рішення про відміну змін до п.15.32 «Щодо порядку формування великовагових та довгосоставних поїздів» ПТЕ залізниць України, затверджених Наказом МТУ від 10.12.2003 № 962.

За результатами комп'ютерного моделювання показників, які впливають на динаміку руху вагонів зі зменшеною тарою встановлено:

- при справному технічному стані вагонів та колії, показники динаміки знаходяться у межах допустимих значень;
- при відхиленнях у технічному стані вагонів та колії відбувається погіршення динаміки вагонів до недопустимого рівня;
- швидкість, при якій рівень запасу стійкості зменшується менше мінімально-допустимого при наявності відхилень –  $70 \pm 5$  км/год;
- одночасна наявність відхилень в утриманні колії та у технічному стані вагону зменшує швидкість, при якій запас стійкості досягає значення менше мінімально-допустимого.

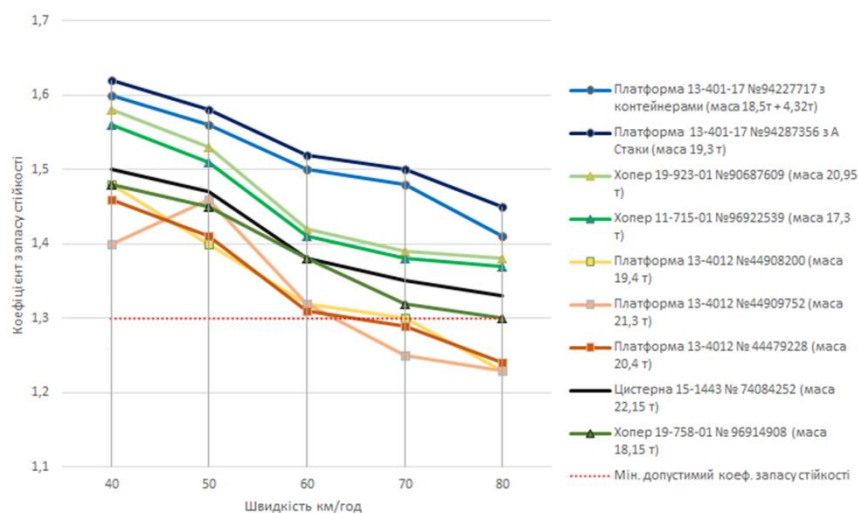


Рисунок 2 – Графік залежності від швидкості руху коефіцієнтів запасу стійкості колісних пар від сходу з рейок за результатами випробувань

На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що впровадження принципу адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах в несучих системах вагона призводить до покращення показників динаміки руху порожніх вагонів. Обґрунтовано доцільність впровадження ковзунів постійного контакту типу А.СТАКИ в конструкції вантажних вагонів зі зменшеними тарою, для покращення показники якості та безпеки руху.

**Ключові слова:** вантажні вагони зі зменшеною тарою, ходові випробування, показники якості та безпеки руху, стійкість, мобільна система, динаміка, програмування.

## ABSTRACT

Pavlo Prokopenko Improving the safety of freight cars with reduced tare by improving the means and approaches to running tests. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of philosophy on a specialty 273 - "Railway transport" State University of Infrastructure and Technology, Kyiv 2021.

The dissertation work is devoted to the decision of an actual scientific problem of perfection of means and approaches of carrying out running tests of freight cars with the reduced tare. The scientific novelty of the value of the dissertation research is as follows.

**For the first time:**

- scientifically substantiated increase of safety of movement of cars with the reduced tare by improvement of means and the approach of carrying out running tests;

- the mathematical maintenance of procedure of definition of indicators of quality and safety of movement that will allow to define with sufficient accuracy these indicators by mobile devices directly in operation is developed;

- structurally functional decisions on creation of new and modernization of existing designs of freight cars for the purpose of increase of indicators of quality and safety of movement, speed of their samples with the reduced tare are developed.

**The base** of schemes for diagnosing indicators of quality and safety of freight cars by substantiating places and methods (types) of determining the load of their structures with reduced tare has been improved.

**The system** of traffic safety was further developed due to the proposed schemes of train formation in which cars with reduced tare are included and substantiation of admissible speeds of their movement.

**Practical significance of the obtained results:**

- proposed new design and technical solutions to improve the design of freight cars, which are protected by state patents of Ukraine and can be used in the design of new generation freight cars or modernization of existing ones (patents of Ukraine: № 130258, № 138162, № 146774, № 146775, № 148801, № 148800, № 148799, № 148802, № 148798);

- the software algorithm for definition of indicators of quality of movement of freight cars is developed; - by the decision of the Board of JSC "Ukrzaliznytsia" dated 06.09.2019 STP 07-003: 2019 "Railway transport. Norms of admissible speeds of a rolling stock on tracks 1520 mm wide ». Clause 10.5 establishes the following

requirement - "Speeds of freight trains, which include empty cars, are set by the director of the regional branch of JSC" Ukrzaliznytsia "depending on the technical condition of the track, but not higher than 65 km / h"; - by the decision of the Board of JSC "Ukrzaliznytsia" from 19.11.2020 to STP 07-003: 2019 "Railway transport. Norms of admissible speeds of a rolling stock on tracks 1520 mm wide "the following changes are made. Section 10 item 10.5 Permissible speeds of trains shall be stated in the new wording: "10.5 Speeds of freight trains, which include empty cars, shall be set by the director of the regional branch of JSC Ukrzaliznytsia in accordance with the technical documentation technical condition of the track. The speeds of freight trains, which include platform cars of models 13-4012, 13-4012M, 13-401-17 in the empty state, the tare of which is less than the minimum weight of the car, are set not more than 60 km/h.

The main results of the dissertation were used by the branch "Research and Design Institute of Railway Transport" JSC "Ukrzaliznytsia", in the stages of research and testing aimed at research and determination of quality and safety of freight cars and work to determine safe operating conditions of cars and introduced into the educational process of the department "Wagons and wagon economy" of the State University of Infrastructure and Technology in the training of specialists in the specialty 273 - "Railway Transport" (confirmed by the acts of implementation of Annex A).

According to the dissertation topic, 9 scientific papers were published in Ukrainian publications, which are included in the list of scientific professional publications approved by the Ministry of Education and Science of Ukraine, 2 scientific papers in professional foreign publications included in international scientometric databases, including Scopus, 10 - in conference proceedings, of which 2 - abroad, 9 patents of Ukraine for utility models and 2 copyrights for the work.

The introduction substantiates the relevance of the dissertation topic, formulates the purpose and objectives of the research, their connection with scientific programs, indicates research methods, reliability of the results, determines the scientific novelty of the dissertation, practical significance and personal contribution of the author.

The first section is devoted to a review of the literature on the topic of work and justification of the choice of areas of dissertation research. The review of systems of estimation of indicators of quality of movement and an estimation of dynamic characteristics of a rolling stock is carried out, the analysis of problems of operation of such cars is executed, and statistics of ladders of freight cars with the reduced container from rails are resulted. Existing projects aimed at improving the dynamics of freight cars are described.

Based on the experience of Ukrainian and world scientists, leading scientific organizations, it is concluded that the dynamics and strength of reduced tare of freight cars operated on Ukrainian railways do not meet modern requirements and require the development of technical solutions that will improve the quality of reduced tare of freight cars.

The second section formulates the concept of technical solutions for load-bearing systems of freight cars with reduced tare to improve the dynamics and strength. The essence of the proposed improvements is to use hinged elements in its design instead of the existing fixed elements (solid beams, welded joints).

A method of in-depth processing of the results of running tests of rolling stock is proposed. The essence is to perform correlation and spectral analysis of the processes studied for different elements of load-bearing structures to identify relationships between oscillatory processes of load-bearing structures, estimating the frequencies at which there is interaction between them and the levels of interaction. The software algorithm of the in-depth estimation of experimental indicators of quality of movement of cars with the reduced tare is developed (fig. 1).

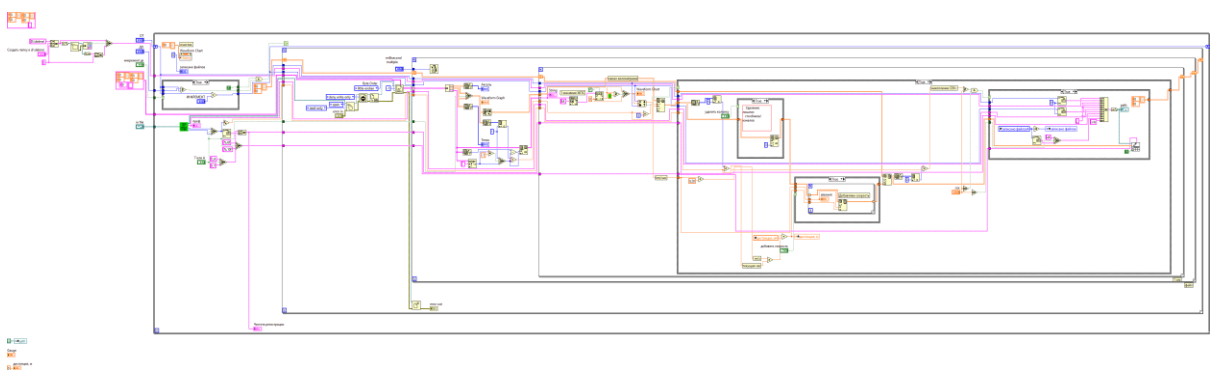


Figure 1 - Block diagram of the software for evaluating the obtained experimental data

In the third section the general requirements to the mobile system for definition of indicators of quality and safety of movement of cars with the reduced tare in the conditions of operation are formulated. The hardware and primary converters of the mobile system are described. The results of theoretical and practical research on the comparison and determination of quality and safety of freight cars with reduced tare of different models and the share of factors that negatively affect the quality and safety of the car.

The results of comparative tests of the platform car for transportation of heavy-duty containers of model 13-401-17 (№ 94227717 with modernization according to the project C.14.01 1983 of production and the platform car № 94287356 with modernization according to the project C.03.04- A. STAKI 1982 production ) in the empty state it is established that the dynamics of the platform car with modernization according to the project C.03.04- A.STAKY are better than in another experimental car, the coefficient of stability at a speed of 80 km / h for a car without modernization is 1.15, which is less than the allowable 1.3, and the car with the modernization of A. STAKI is 1.45. The resonant speed range of 60-70 km / h was also established based on the test results. where there was an initial deterioration of the coefficient of stability from the derailment of the wheels.

According to the results of running dynamic tests of freight cars with reduced tare in the empty state in the train, it was found that the values of compressive forces acting on car couplings and quality and safety indicators reach or exceed critical values in the main and middle parts of the train. installation of empty cars with reduced tare in the last third of the train. It is proposed to submit for discussion during the next meeting of the Standing Committee on Train Safety and Transport, Occupational Safety and Fire Safety of JSC "Ukrainian Railways", a decision to cancel changes to paragraph 15.32 "On the formation of heavy and long trains" The railways technical operation rules Of Ukraine, approved by the Order of MTU dated 10.12.2003 № 962.

According to the results of computer modeling of indicators that affect the dynamics of the movement of cars with reduced tare, it is established that:

- at a serviceable technical condition of cars and a track, indicators of dynamics are within admissible values.
- at deviations in a technical condition of cars and a track there is a deterioration of dynamics of cars to inadmissible level.
- speed at which the level of stability decreases less than the minimum allowable in the presence of deviations -  $70 \pm 5$  km/h.
- the simultaneous presence of deviations in the track maintenance and in the technical condition of the car reduces the speed at which the margin of safety reaches a value less than the minimum allowable.

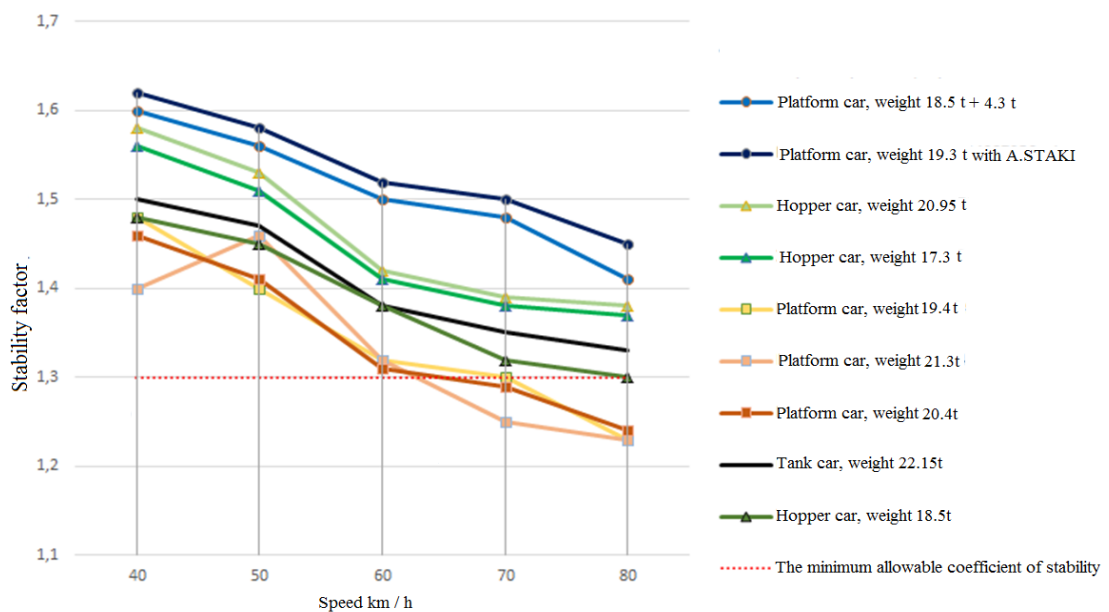


Figure 2 - Graph of the dependence of the speed of the coefficients of the margin of stability of the wheelsets from the derailment according to the test results

On the basis of the conducted researches it is possible to draw a conclusion that introduction of the principle of adaptive perception of operational loadings in the loaded or unloaded states in bearing systems of the car leads to improvement of indicators of dynamics of movement of empty cars.

**Key words:** freight wagon with reduced tare, running tests, quality and safety indicators, stability, mobile system, dynamics, programming.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Основні наукові результати дисертації опубліковані в наступних наукових працях:

1. Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Mykola Gorbunov, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Vladimir Hauser. The improved hatch cover construction for universal open box-type wagon from the strength and durability point of view. *Manufacturing Technology*. Ústí nad Labem, Czech Republic 2019. Vol. 19. № 2. P 216-221. doi: 10.21062/ujep/272.2019/a/1213-2489/MT/19/2/216 (періодичне іноземне (чеське) наукове видання, яке проіндексовано у базі даних Scopus та віднесене до другого квантилю Q 2)
2. Fomin Oleksij, Lovska Alyona, Daki Olena, BohomiaVolodymyr, Tymoshchuk Olena and Prokopenko Pavlo. The substantiation of the concept of creating containers with viscous-elastic connections in fitting. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. VOL. 14 № 15. 2019. P 2771-2776. [http://www.arnpjournals.org/jeas/research\\_papers/rp\\_2019/jeas\\_0819\\_7871.pdf](http://www.arnpjournals.org/jeas/research_papers/rp_2019/jeas_0819_7871.pdf) (періодичне іноземне (пакистанське) наукове видання, яке проіндексовано у базі даних Scopus та віднесене до другого квантилю Q 2)
3. Фомін О.В., Прокопенко П.М. Теоретично - експериментальне визначення коефіцієнту стійкості вагона-платформи в залежності від експлуатаційно - деградаційних змін тари. *Вісник СХУ ім. В. Даля*. Сєверодонецьк. 2018. № 2(243). С. 225-232 (наукове фахове видання України)
4. Фомін О.В., Прокопенко П.М. Горбунов М.І., Кара С.В., Фомін В.В. Оцінка міцності несівних конструкцій вантажного вагона з врахуванням їх деградаційних змін. *Наукові вісті Далівського університету* №19. 2020. <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2020-19-9> (наукове фахове видання України)
5. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І., Фоміна А.М. Оцінка показника якості руху легковагових вагонів в складі поїзда. *Вісник СХУ ім. В. Даля*. Сєверодонецьк. 2019. № 2(250). С. 103-109. (наукове фахове видання України)

6. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Сапронова С.Ю., Фоміна А.М. Експериментальне оцінювання показника коефіцієнта стійкості вантажних вагонів в експлуатації. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій серія «Транспортні системи і технології»*. Київ. 2019 № 33 том 1. С. 144-155. (наукове фахове видання України)

7. Фомин А.В., Прокопенко П.Н., Горбунов Н.И., Сова С.С. Способ оценки показателей качества движения легковесных пустых вагонов. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології»*. Київ. 2020. №35. С. 44-51. (наукове фахове видання України)

8. 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 Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології»*. Київ. 2020. №36. С. 33-42. (наукове фахове видання України)

9. Фомін О.В., Кара С.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І., Фомін В.В. Дослідження показників динаміки порожніх легковагових вагонів з врахуванням експлуатаційних показників. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. № 20. 2021. С. 22-32. (наукове фахове видання України)

#### **Наукові праці апробаційного характеру:**

10. Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Alyona Lovskaya, Mykola Gorbunov, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko and Tomas Lack Dynamic loading of the tank container on a flat wagon considering fittings displacement relating to the stops. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 234. 05002. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201823405002> (матеріали міжнародної науково-практичної конференції, видання проіндексоване у базі даних Scopus)

11. Фомін О.В., Прокопенко П.М. Теоретичні аспекти випробування вагонів-платформ з експлуатаційно-граничною зменшеною тарою. *Збірник наукових праць VIII-ї міжнародної науково-практичної конференції*

*«Транспорт і логістика: проблеми та рішення» 23-25 травня 2018 р. м. Одеса.* Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля. 2018. С.132-134.

12. Фомін О.В., Прокопенко П.М. Експериментальне визначення коефіцієнту запасу стійкості вагона платформи в експлуатації. *Збірник наукових праць науково-практичної конференції «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» 16-17 листопада 2018 року.* Київ. 2018. С. 229-231.

13. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Фоміна А.М. Експериментальне оцінювання якості руху легковагових вантажних вагонів. *Актуальні проблеми сучасної освіти: реалії та перспективи. Матеріали Всеукраїнської конференції студентів та викладачів ЗВО. Тези доповідей учасників конференції. Маріупольський коледж ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», 17 травня 2019 р.* Маріуполь. 2019. С. 124-125.

14. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Сова С.С., Фоміна А.М. Теоретичне оцінювання залишкового ресурсу вагоповірного вагона. *Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції «Транспортні технології та безпека дорожнього руху» 14–15 квітня 2020 року.* Запоріжжя. 2020. С. 47-49.

15. Кара С.В., Петренко В.О. Прокопенко П.М. Проведення періодичних контрольних випробувань вантажних вагонів з метою підвищення ефективності їх використання. *The 7th International scientific and practical conference “Science, society, education: topical issues and development prospects” (June 7-9, 2020) SPC “Sci-conf.com.ua”, Kharkiv.* 2020. С. 328 – 330.

16. Фомін О.В., Ловська А.О., Gerlici. J., Фоміна Ю.В., Федосов-Ніконов Д.В., Прокопенко П.М. Визначення закономірностей динамічної завантаженості несучої конструкції критого вагона при веденні з нього вогняної дії у горизонтальній площині. *Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність на транспорті», Харків, 18-20 листопада 2020 р.: Тези доповідей.* УкрДУЗТ. Харків. 2020. С. 52-53.

17. Фомин А.В., Прокопенко П.М., Горбунов Н.И., Кара С.В. Фомин В.В. Оценка динамических качеств вагона в условиях эксплуатации. *Сборник*

*VII міжнародної науково-практичної конференції «Наука і освіта в сучасному світі: виклики XXI століття». 22 жовтня 2020 р. Нур-Султан (Казахстан). 2020. С. 105-108.*

18. Фомін О.В., Кара С.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І., Фомін В.В. Вплив на інтермодальні контейнерні перевезення вагонів з експлуатаційно-граничною зменшеною тарою. *Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Дніпровські читання-2020». 23 грудня 2020 р., м. Київ. 2020. С. 186-189.*

19. Кельрих М.Б., Фомин А.В. Прокопенко П.Н. Оценка динамических качеств платформы в условиях эксплуатации. *Материалы X международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте». Часть 5. «Белорусский государственный университет транспорта». 26-27 ноября 2020. Республика Беларусь, г. Гомель. 2020. С.73-74.*

**Додатково відображають наукові результати дисертації:**

20. M Kelrykh, O Fomin, J Gerlici, P Prokopenko, K Kravchenko and T Lack. Features of tank car testing for dangerous cargoes transportation. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. №659. 2019. (матеріали міжнародної науково-практичної конференції, видання проіндексоване у базі даних Scopus)*

21. Фомін О.В., Прокопенко П.М. Оцінка залишкового ресурсу вантажних вагонів з терміном служби, який перевищує нормативний. *Залізничний транспорт України. Київ. 2018. № 4. С. 37-48*

22. Кельрих М.Б., Брайковська Н.С., Фомін О.В., Прокопенко П.М. Особливості проведення випробувань вагона-цистерни для небезпечних вантажів. *Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Сєверодонецьк. 2019. № 3(251). С. 77-83.*

23. Фомін О.В., Прокопенко П. М., Бурлуцький О.В., Фоміна А.М. Контрольні випробування вагона-цистерни з метою оцінки залишкового ресурсу несучих конструкцій. *«Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки». Київ. Том 30 (69) Ч. 2 № 5. 2019. С. 154-159.*

24. Кельріх М.Б., Фомін О.В., Прокопенко П.М., Сова С.С. Теоретичні аспекти визначення залишкового ресурсу вагона-цистерни для небезпечних вантажів. *Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. Сєверодонецьк. № 5 (261). 2020. С. 5-9.

25. Фомін О.В., Горбунов М.І., Кара С.В., Прокопенко П.М., Гриндей П.О. Вдосконалення литих деталей візків вантажних вагонів на основі результатів визначення ймовірних місць виникнення втомних руйнувань. *Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. Сєверодонецьк. №19. 2020. С. 1-7.

26. Фомін О.В., Прокопенко П.М. Горбунов М.І., Кара С.В., Фомін В.В. Оцінка міцності несівних конструкцій вантажного вагона з врахуванням їх деградаційних змін. *Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. Сєверодонецьк. №19. 2020. С. 8-16.

27. O.V. Fomin, P.M. Prokopenko, A.O. Lovsky. Technical diagnosis of surfaces with a terminal service which remains a semiconductor from a normative. *Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Технології та інфраструктура транспорту»*. Харків. 14-16 травня 2018. С. 512-513.

28. Кельріх М.Б., Брайковська Н.С., Фомін О.В., Прокопенко П.М. Особливості проведення випробувань вагона-цистерни для небезпечних вантажів. *Збірник наукових праць ІХ-ої міжнародної науково-практичної конференції «Транспорт і логістика: проблеми та рішення» 22-24 травня 2019 року*. Одеса. 2019. С. 76-79.

29. Фомін О.В., Прокопенко П.М. Дослідження несучих систем вагонів з метою визначення їх залишкового ресурсу. *Матеріали 79 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» 16-17 травня 2019 року*. Дніпро. 2019 С. 88-89.

30. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Фоміна А.М. Технічне оцінювання залишкової несівної здатності металоконструкції напіввагона. *Збірник тез доповідей II Регіональної науково-практичної конференції «Транспорті*

*системи та технології: проблеми та перспективи розвитку» 12 квітня 2019 року. Запоріжжя. 2019. С. 24-26.*

31. Kelrich M., Braikovskaya N., Fomin O., Prokopenko P. Features of research results of liquid cargo in a railway cister during movement. *Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects: thesis, 5-10 May 2020. Georgia. 2020. P. 27-30.*

32. Musij Kelrykh, Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Pavlo Prokopenko, Kateryna Kravchenko, Tomas Lack. Tank car testing for dangerous cargoes transportation. *Book of Abstracts for the 9th International Scientific Conference [on] Research and Development of Mechanical Elements and Systems, IRMES 2019, 5-7 September 2019. Kragujevac, Serbia. 2019. P. 226-227.*

33. Oleksij Fomin, Angela Shvets, Vladimír Hauser , Pavlo Prokopenko. Transversal displacement of freight wagonsbogies. *Proceedings abstracts for the international scientific conference dynamics of rigid and deformable bodies. October 9-11. 2019. Ústí nad Labem, Czech Republic. 2019.*

34. . Фомін О.В, Прокопенко П.М., Крисенко Н.М., Сова С.С. Контрольні випробування вагона-цистерни з метою оцінки залишкового ресурсу несучих конструкцій. *Матеріали третьої всеукраїнській практично-пізнавальній інтернет-конференції «Наукова думка сучасності і майбутнього» 29 листопада - 5 грудня. 2019. Івано-Франківськ. С. 52-55.*

35. . Фомін О.В, Прокопенко П.М., Борович Р.О., Литвиненко А.С. Теоретичні особливості визначення залишкового ресурсу несучих конструкцій вантажного вагона з строком служби який перевищує призначений. *Матеріали третьої всеукраїнській практично-пізнавальній інтернет-конференції «Наукова думка сучасності і майбутнього». 2019. 29 листопада - 5 грудня. 2019. С. 55-58.*

36. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І., Сова С.С. Оцінка залишкового ресурсу несучих конструкцій пасажирського вагона за межами призначеного терміну служби. *Логістичне управління та безпека руху на*

транспорті: збірник наукових праць науково-практичної конф., 14-16 жовтня 2019 р. Сєвєродонецьк. СНУ ім. В. Даля. Лиман. 2019. С.160-164.

37. Кельрих М.Б., Брайковская Н.С. Прокопенко П.Н Особенности проведения исследований по продлению назначенного срока службы вагонов-цистерн для перевозки легких порошкообразных грузов. *Материалы IX международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте». Часть 1. «Белорусский государственный университет транспорта»*. Республика Беларусь, г. Гомель. 2019. С.158-160.

38. Фомін О.В., Горбунов М.І., Кара С.В., Прокопенко П.М. Вдосконалення литих деталей візків вантажних вагонів шляхом впровадження систем діагностування найбільш навантажених зон. *The 1st International scientific and practical conference “Science and education: problems, prospects and innovations” (October 7-9, 2020) CPN Publishing Group*. Kyoto, Japan. 2020. С. 472 – 477.

39. Патент України на корисну модель № 130258, МПК (2018.01) В61D 3/00, Піввагон глуходонний. Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Цимбалюк А.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: автори – № и 2018 07212; заявка 26.06.2018 ; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22.

40. Патент України на корисну модель № 138162, МПК (2006.01) В61D 3/20, (2006.01) Вагон-платформа. Фомін О.В., Горбань А.В., Прокопенко П.М., Скляренко І.Ю. (Україна); власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № и 2019 03964; заявка 16.04.2019 ; публ. 25.11.2019, Бюл.№ 22.

41. Патент України на корисну модель № 146774 , МПК (2006.01) В61D 3/00, В61D 3/18 (2006.01). Критий вагон-хопер для перевезення цементу. Фомін Олексій Вікторович, Скляренко Інна Юріївна, Прокопенко Павло Миколайович, Фоміна Анна Миколаївна, Тимощук Олена Миколаївна (Україна); власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № U202006035, заявка 21.09.2020 ; публ. 17.03.2021, Бюл.№ 11.

42. Патент України на корисну модель № 146775 , МПК (2006.01) В61D 3/00, В61D 3/18 (2006.01). 8-вісний піввагон. Фомін Олексій Вікторович,

Сапронова Світлана Юріївна, Скок Павло Олександрович, Прокопенко Павло Миколайович, Фоміна Анна Миколаївна (Україна) власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № U202006036, заявка 21.09.2020 ; публ. 17.03.2021, Бюл.№ 11.

43. Патент України на корисну модель № 148801 , МПК (2006.01) B61F 5/04, B61F 5/16 (2006.01). Надресорна балка візка вантажного вагона. Фомін О.В., Горбунов М.І., Кара С.В., Фомін В.В., Прокопенко П.М. (Україна) власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № U202007877, заявка 09.12.2020 ; публ. 22.09.2021, Бюл.№ 38.

44. Патент України на корисну модель № 148800 , МПК (2006.01) B61D 5/06 (2006.01). 8-ми вісна залізнична цистерна. Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Фомін В.В., Кара С.В., Ковтанець М.В. (Україна) власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № U202007876, заявка 09.12.2020 ; публ. 22.09.2021, Бюл.№ 38.

45. Патент України на корисну модель № 148799 , МПК (2006.01) B61D 5/06 (2006.01). 8-ми вісна залізнична цистерна. Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Фомін В.В., Кара С.В., Ковтанець М.В. (Україна) власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № U202007875, заявка 09.12.2020 ; публ. 22.09.2021, Бюл.№ 38.

46. Патент України на корисну модель № 148802 , МПК (2006.01) B61F 5/52 (2006.01). Бічна рама візка вантажного вагона. Фомін О.В., Горбунов М.І., Кара С.В., Фомін В.В., Прокопенко П.М. (Україна) власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № U202007878, заявка 09.12.2020 ; публ. 22.09.2021, Бюл.№ 38.

47. Патент України на корисну модель № 148798 , МПК (2006.01) B61D 5/06 (2006.01). 8-ми вісна залізнична цистерна. Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Фомін В.В., Кара С.В., Ковтанець М.В. (Україна) власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № U202007874, заявка 09.12.2020 ; публ. 22.09.2021, Бюл.№ 38.

48. Науковий твір. Програма та методика ходових динамічних випробувань вагонів. Малишко І.В., Коломієць О.П., Прокопенко П.М., Повисший В.М., Кара С.В., Бідун О.М., Петренко В.О., Кошель О.О., Буліч Д.І. Реєстраційний номер 98799 від 10 серпня 2020 р.

49. Науковий твір. Програма та методика ходових динамічних випробувань універсального вагона-платформи моделі 13-4012. Малишко І.В., Коломієць О.П., Прокопенко П.М., Кара С.В., Повисший В.М., Ігнатенко В.С., Бідун О.М., Петренко В.О., Кошель О.О., Буліч Д.І. Реєстраційний номер 98816 від 10 серпня 2020 р.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	25
РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМАТИКА ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ РУХУ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ЗІ ЗМЕНШЕНОЮ ТАРОЮ ТА СИСТЕМИ ЇХ ОЦІНКИ ТА ПОКРАЩЕННЯ .....	34
1.1 Наукове обґрунтування проблематики показників якості руху вантажних вагонів зі зменшеною тарою .....	34
1.2 Систем для визначення показників якості та безпеки руху залізничного рухомого складу.....	37
1.2.1 Аналіз існуючих підходів оцінки показників якості та безпеки руху.....	37
1.2.2 Вимірювання деформацій несучих конструкцій. Загальні відомості.....	45
1.2.3 Вимірювання сил за локальними деформаціями рам візків.....	47
1.2.4 Існуючі системи для визначення показників якості та безпеки руху.....	48
1.3 Проекти з покращення показників якості руху вантажних вагонів.....	52
1.4 Висновки за розділом 1.....	61
РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАСОБІВ І ПІДХОДІВ ПРОВЕДЕННЯ ХОДОВИХ ВИПРОБУВАНЬ, КОНЦЕПТИ З ПОКРАЩЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ .....	62
2.1 Концепти з покращення показників якості руху вантажних вагонів .....	62
2.2 Математичне забезпечення визначення показників якості руху вантажних вагонів зі зменшеною тарою .....	65
2.3 Програмне забезпечення для збору та реєстрації вимірювань...	74
2.4 Висновки по розділу 2.....	76
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНИХ ЗАСОБІВ ТА ПІДХОДІВ ПРОВЕДЕННЯ ТА ОЦІНКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ХОДОВИХ ВИПРОБУВАНЬ .....	77
3.1 Мобільна система для визначення показників якості руху в умовах експлуатації.....	77

3.1.1 Загальні вимоги до мобільної системи визначення показників якості руху.....	77
3.1.2 Апаратна частина та первинні перетворювачі мобільної системи.	78
3.2 Порівняльні ходові динамічні випробування вагонів платформ моделі 13-401-17.....	86
3.3 Ходових динамічні випробування порожніх вагонів-хоперів переобладнаних з цементовозів і мінераловозів.....	102
3.4 Ходові динамічні випробування вагонів платформ моделі 13-4012.	118
3.5 Ходові динамічні випробування вантажних вагонів у порожньому стані в складі поїзда.....	133
3.6 Дослідження показників які впливають на якість руху вагону.....	171
3.6.1 Розробка комп'ютерної моделі динаміки вантажного вагону.....	171
3.6.2 Верифікація комп'ютерної моделі.....	190
3.6.3 Результати моделювання динаміки з варіацією різних показників.....	191
3.7 Економічна оцінка ефективності використання отриманих результатів.....	196
3.8 Висновки за розділом 3.....	199
ВИСНОВКИ.....	202
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	205
ДОДАТОК А АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ.....	223
ДОДАТОК Б ПРОГРАМИ ТА МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕКИ РУХУ ВАТАЖНИХ ВАГОНІВ ЗІ ЗМЕНШЕНОЮ ТАРОЮ.....	227
ДОДАТОК Б СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНІ РІШЕННЯ З ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ РУХУ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ЗІ ЗМЕНШЕНИМИ ТАРАМИ.....	285
ДОДАТОК Г СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ.....	289

### **Актуальність теми.**

Організація руху вантажних поїздів в Україні є важливою чинником в інтеграції залізничного транспорту країни у Європейську систему. На даний час склалася ситуація, яка вимагає значного оновлення вантажного вагонного парку сучасними вагонами для забезпечення вимог вантажних перевезень. Також вагомим недоліком залізничного транспорту України є обмеження швидкості руху поїздів, у складі яких є вантажні вагони зі зменшеною тарою в порожньому стані, тому на даний момент актуальним є питання покращення методологічного та програмного забезпечення та інструментальних засобів випробувань для оцінки показників якості та безпеки руху таких вагонів. Через їх незадовільну динаміку руху окрема група вантажних вагонів, наприклад вагон платформи, має обмеження швидкості 60 км/год, що негативно впливає на швидкість вантажоперевезень залізницею.

Безпека руху - комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безаварійної роботи та утримання в постійній справності залізничних споруд, колій, рухомого складу, обладнання, механізмів і пристроїв.

До важливих характеристик якості руху залізничного рухомого складу, відносяться показники вертикальної та горизонтальної динаміки, коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок, рамні сили та прискорення кузова, які значною мірою залежать від маси тари рухомого складу та показників взаємодії екіпажної частини та колії. Тому визначення та оцінка показників які характеризують ходові якості та безпеку руху має базуватись на поглиблених дослідженнях показників динаміки руху.

На даний час під час проведення натурних випробуваннях пов'язаних з оцінкою показників якості руху, приймання та допуску до експлуатації залізничного рухомого складу використовуються вагони-лабораторії, але сучасний стан розвитку вимірювального обладнання дає змогу в більшості випадків відмовитись від використання таких вагонів при ходових

випробуваннях одиниць рухомого складу на користь мобільних програмно-апаратних комплексів.

Вище викладене свідчить про актуальність вирішення питань з удосконалення методів і засобів експериментальної оцінки показників якості та безпеки руху вантажних вагонів зі зменшеною тарою, у тому числі шляхом покращення методологічного та програмного забезпечення та інструментальних засобів випробувань.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота базується на системному підході до вирішення науково-прикладного завдання з покращення методів та засобів експериментальної оцінки показників динаміки, якості та безпеки руху залізничного рухомого складу.

Дисертаційна робота виконана відповідно з Законом України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» Статтею 4 а також відповідно з діючими Державними програмами і концепціями: Стратегічні пріоритетні напрями інноваційної діяльності на 2011-2021 роки; Shift2Rail рамкова програма Європейського Союзу з фінансування досліджень та інновацій «HORIZON 2020»; проект Rail route 2050: The Sustainable Backbone of the Single European Transport Area; Угода про асоціацію між Україною та Європейським Союзом в частині співробітництва в галузі транспорту; Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року, яку схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 року № 430-р.; Стратегія акціонерного товариства «Українська залізниця» на 2019-2023 роки, яку погоджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 12 червня 2019 року № 591-р.; Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки, яка затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 жовтня 2008 року № 1259; програма підвищення безпеки руху на залізницях України, яку затверджено наказом Укрзалізниці № 547-Ц від 15.10.2001 р.

Результати та висновки дисертаційної роботи отримані при виконанні наступних науково-дослідних робіт, у тому числі держбюджетних, в яких автор був виконавцем та відповідальним виконавцем: «Проведення ходових динамічних випробувань вагонів-платформ для перевезення великотоннажних контейнерів моделі 13-401-17 у порожньому стані» (Державний реєстраційний номер 0119U102777 дата реєстрації 31.07.2019р., договір №435-Ліски/2017-ЦЮ від 08.06.2017р.); «Дослідження та розробка вимог щодо проведення технічного діагностування вантажних вагонів з терміном служби, який перевищує полуторний (в т.ч. подвійний) від нормативного, встановленого заводом виробником» (Державний реєстраційний номер: 0119U102708 дата реєстрації 24.07.2019р., згідно плану НДДКР та НД ПАТ «Укрзалізниця» на 2017 р.); «Оцінювання показників якості руху універсальної платформи в порожньому стані моделі 13-4012 за результатами ходових динамічних випробувань на перегоні Брівки-Попільня Південно-Західної залізниці» (Державний реєстраційний номер: 0119U102739 дата реєстрації 29.07.2019р., договір №1367-ПЗЗ/2018-ЦЮ) від 26.09.2018р.; «Дослідження динамічних випробувань режимів ведення поїзда з визначенням порядку постановки порожніх вагонів у склад поїзда» (Державний реєстраційний номер: 0119U102707 дата реєстрації 24.07.2019р. згідно плану НДДКР та НД ПАТ «Укрзалізниця» на 2018 р.); «Дослідження та визначення безпечних умов експлуатації порожніх вагонів-хоперів переобладнаних з цементовозів і мінераловозів, розробка рекомендацій» (згідно плану НДДКР та НД АТ «Укрзалізниця» на 2019 р.); «Фундаментальні основи створення адекватно-спрямованого напружено деформованого стану мультифункціональних модулів вагоноконструкцій з можливостями перспективного широкого машинобудівного застосування» (№0119U1000437); «Інноваційні засади створення ресурсозберігаючих конструктивів шляхом урахування уточнених динамічних навантажень та функціонально адаптивних флеш-концептів» (№0120U102037).

**Мета і задачі дослідження.** Вирішити наукове завдання з удосконалення підходів та засобів експериментальної оцінки показників якості та безпеки руху

вантажних вагонів зі зменшеною тарою шляхом поліпшення їх теоретичного обґрунтування, методологічного забезпечення та інструментальних засобів випробувань. Впровадження удосконалених підходів та засобів дозволить покращити безаварійність та екологічність залізничних вантажних перевезень, і тим самим підвищить їх ефективність та конкурентоздатність.

Для досягнення поставленої мети був поставлений та вирішений ряд науково-практичних задач, серед яких можна виділити:

- проаналізувати проблеми, пов'язані з якістю руху вантажних вагонів в Україні, країнах СНД та шляхи їх вирішення;
- виконати огляд наукових праць присвячених удосконаленню конструкції вантажних вагонів з метою підвищення якості руху;
- дослідити показники якості руху вагона зі зменшеною тарою після тривалої експлуатації;
- шляхом розрахунково-експериментального підходу визначити показники якості руху вантажних вагонів зі зменшеною тарою, які в більшій мірі негативно впливають на динаміку руху;
- сформулювати загальні вимоги до мобільних систем визначення показників якості руху рухомого складу;
- розробити поглиблену процедуру обробки результатів випробувань вантажних вагонів зі зменшеною тарою з використанням аналізу прискорень основних елементів конструкції;
- запропонувати шляхи усунення основних недоліків конструкції вантажних вагонів зі зменшеною тарою;
- оцінка економічного ефекту від запровадження запропонованих рішень.

**Об'єкт досліджень.** Об'єкт досліджень – процеси, що характеризують якість та безпеку руху вантажних вагонів.

**Предмет дослідження** – методи і засоби експериментальної оцінки показників якості та безпеки руху залізничного рухомого складу.

**Методи дослідження.** З метою вирішення поставлених у дисертаційній роботі задач застосовано комплексний підхід, що включає методи математичної

статистики, методи та засоби експериментального та теоретичного дослідження показників якості та безпеки руху вантажних вагонів. Для розрахунків використане ліцензійне програмне забезпечення «LabView», «SolidWorks» та «UM».

**Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, які захищаються в дисертаційній роботі** обумовлені виваженою та обґрунтованою постановкою мети та завдань, коректними та виваженими допущеннями, використанням класичних та загальноприйнятих теоретичних та експериментальних методів дослідження транспортних механічних систем, сучасними методами отримання та обробки результатів, коректними та виваженими допущеннями, достовірність результатів підтверджується адекватністю розроблених технічних рішень, до того ж отримані висновки та рекомендації не суперечать вже відомим.

**Наукова отриманих результатів роботи** полягає у вирішенні наукового завдання – підвищення безпеки руху вантажних вагонів зі зменшеною тарою шляхом удосконалення засобів і підходів проведення ходових випробувань.

**Вперше:**

- науково обґрунтовано удосконалення засобів і підході проведення ходових випробувань з метою підвищення безпеки руху вагонів зі зменшеною тарою;
- розроблено програмно-математичне забезпечення процедури оцінювання показників якості та безпеки руху з урахуванням вагових коефіцієнтів основних факторів, які спричиняють сход вантажних вагонів зі зменшеними тарами з рейок, що дозволяє з достатньою точністю визначати ці показники мобільними пристроями безпосередньо в експлуатації;
- розроблено структурно-функціональні технічні описання (концепти) зі створення нових та модернізації існуючих конструкцій вантажних вагонів з метою підвищення показників якості та безпеки руху, швидкості їх зразків зі зменшеною тарою.

**Удосконалено** базу схем діагностування показників якості та безпеки руху вантажних вагонів шляхом обґрунтування місць та способів (видів) визначення завантаженості їх конструкцій зі зменшеною тарою.

**Дістали подальшого розвитку** схеми формування вантажних поїздів та обґрунтування допустимих швидкостей їх руху, за рахунок розроблення відповідних наукових напрацювань для вагонів зі зменшеною тарою.

**Практичне значення одержаних результатів:**

- запропоновані нові конструкторсько-технічні рішення з удосконалення конструкції вантажних вагонів, які захищені державними патентами України та можуть бути використані при проектуванні вантажних вагонів нового покоління або модернізації існуючих (патенти України: № 130258, № 138162, № 146774, № 146775, № 148801, № 148800, № 148799, № 148802, № 148798);
- розроблений програмний алгоритм для визначення показників якості руху вантажних вагонів;
- рішенням Правління АТ «Укрзалізниця» від 06.09.2019 року введено в дію СТП 07-003:2019 «Залізничний транспорт. Норми допустимих швидкостей рухомого складу по коліях шириною 1520 мм». Пунктом 10.5 якого встановлена така вимога – «Швидкості руху вантажних поїздів, до складу яких включені порожні вагони, встановлюються директором регіональної філії АТ «Укрзалізниця» залежно від технічного стану колії, але не вище ніж 65 км/год»;
- рішенням Правління АТ «Укрзалізниця» від 19.11.2020 року до СТП 07-003:2019 «Залізничний транспорт. Норми допустимих швидкостей рухомого складу по коліях шириною 1520 мм» внесені такі зміни. Розділ 10 пункт 10.5 Допустимі швидкості руху поїздів викласти в новій редакції: «10.5 Швидкості руху вантажних поїздів, до складу яких включені порожні вагони, встановлюються директором регіональної філії АТ «Укрзалізниця» відповідно до технічної документації на їх виготовлення, вимог Правил технічної експлуатації

- залізниць України та технічного стану колії. Швидкості руху вантажних поїздів, до складу яких включені вагони-платформи моделей 13-4012, 13-4012М, 13-401-17 в порожньому стані, тара яких менша за мінімальну масу тари вагона, встановлюються не більше 60 км/год»;
- основні результати дисертаційної роботи використані філією «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» АТ «Укрзалізниця», в етапах дослідження та проведення випробувань спрямованих на дослідження та визначення показників якості та безпеки руху вантажних вагонів зі зменшеною тарою та робіт з визначення безпечних умов експлуатації вагонів та впроваджені у навчальний процес кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного університету інфраструктури та технологій.

**Особистий внесок здобувача.** Результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, отримано особисто автором або за його безпосередньої участі. У наукових роботах, опублікованих у співавторстві дисертанту належать:

[1] – проведено аналіз та систематизацію причин відмов кришок люків напіввагоні з урахуванням деградаційних змін та визначення найбільш навантажених зон конструкції.

[2] – проведено аналіз проблематики експлуатації перевезення контейнерів на фітингових вагонах-платформах та обґрунтовано концепцію створення контейнерів нового покоління

[3, 6] –. описано проблематику експлуатації та запропоновано методику оцінки показників якості руху вагона платформи після тривалої експлуатації.

[4] – розроблено методику та проведені практичні дослідження спрямовані на оцінку міцності несівних конструкцій в умовах експлуатації з врахуванням їх де граційних змін.

[5] – виконано аналіз причин сходів вантажних вагонів зі зменшеною тарою в складі поїзда, розроблено методику та проведені практичні дослідження з визначення місць постановки таких вагонів в складі поїзда.

[7] – проведені теоретичні та практичні дослідження з оцінки та визначення показників безпеки руху вагонів зі зменшеною тарою в порожньому стані.

[8] – виконано аналіз та оцінка причин сходів переобладнаних вагонів хоперів, проведені теоретичні та практичні дослідження з визначення динамічних показників вагонів-хоперів в експлуатації.

[9] – розроблено методику та проведені теоретичні та практичні дослідження з оцінки динаміки руху вантажних вагонів з експлуатаційними змінами тари та технічного стану.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційної роботи були представлені на:

- VIII Міжнародна науково-практична конференція «Транспорт і логістика: проблеми та рішення» (23-25 травня, м. Одеса, 2018 р.);

- Науково-практична конференція «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» (16-17 листопада, Київ, 2018 р.);

- Всеукраїнська конференція студентів та викладачів ЗВО. Маріупольський коледж ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» (17 травня м. Маріуполь, 2019 р.);

- International scientific conference dynamics of rigid and deformable bodies. (October 9-11, Ústí nad Labem, 2019);

- Всеукраїнська науково-практична конференція «Транспортні технології та безпека дорожнього руху» (14–15 квітня, Запоріжжя, 2020 р.);

- The 7th International scientific and practical conference “Science, society, education: topical issues and development prospects” (June 7-9, Kharkiv., 2020 );

- Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність на транспорті» (18-20 листопада, Харків, 2020 р.);

- VII международная научно-практическая конференция «Наука и образование в современном мире: вызовы XXI века». (22 октября, г. Нур-Султан 2020 г.);

- Міжнародна науково-практична конференція «Дніпровські читання-2020» (23 грудня м. Київ, 2020 р.);

- X міжнародно научно-практическая конференция «Проблемы безопасности на транспорте». «Белорусский государственный университет транспорта». (26-27 ноября, г. Гомель, 2020 г.).

У повному обсязі дисертація доповідалася та була схвалена на розширеному засіданні кафедри «Вагони та вагонне господарство» Київського інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій за участю рецензентів.

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 9 наукових праць в українських виданнях, які входять до затвердженого МОН України переліку наукових фахових видань [1, 2, 4, 5, 7-9], 2 наукові праці у фахових закордонних виданнях, включених до міжнародно наукометричних баз у числі н/м базі Scopus [3, 6], 10 – в матеріалах конференцій [11-19], з яких 2 – за кордоном. За темою дисертації отримано 9 патентів України на корисну модель та 4 авторських права на твір.

# **1 ПРОБЛЕМАТИКА ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ РУХУ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ЗІ ЗМЕНШЕНОЮ ТАРОЮ ТА СИСТЕМИ ЇХ ОЦІНКИ ТА ПОКРАЩЕННЯ**

## **1.1 Наукове обґрунтування проблематики показників якості руху вантажних вагонів зі зменшеною тарою**

Суттєвим недоліком роботи залізничного транспорту України є обмеження швидкості руху поїздів з окремими вантажними вагонами в порожньому стані, які обладнані візками моделі 18-100.

Забезпечення та підтримання безпечних перевезень на залізницях України це одне з найвагоміших вимог до безпечної роботи залізниці. З числа катастроф і аварій які відбуваються на залізницях найбільшою небезпекою є схід рухомого складу з рейок, бо це призводить до значних фінансових втрат та тяжких наслідків.

У числі причин сходів коліс вагонів з рейок є: несправностями ходових частин вагонів (злам бічних рам і надресорних балок візків, несправності роликів підшипників буксового вузла), знос елементів фрикційних гасителів коливань, неприпустимі відхилення розмірів елементів візка та залізничної колії та особливості конструкції вагонів після ремонтів та модернізацій.

Крім того небезпеку сходу з рейок, особливо при високих швидкостях руху, може викликати причини, не пов'язані з несправностями вагона, а є особливістю його конструкції. Так, наприклад, особливістю вагонів на візках 18-100 являється низька критична швидкість з точки зору стійкості руху, при досягненні якої з'являються незатухаючі коливання колісних пар в межах рейкової колії, що призводить до появи додаткових сил взаємодії вагона на колії.

Основними причинами сходів вантажних вагонів зі зменшеною тарою з колії пов'язані з несправностями рухомого складу, недотримання норм утримання колії, негативна динаміка руху поїзда, а також умови їх експлуатації. Описані несправності, пов'язані з руйнуванням елементів ходової частини,

призводять до сходів вагонів з рейок. Основними причинами сходів вантажних вагонів зі зменшеною тарою являються несправності рухомого складу, відхиленнями від допустимих показників утримання колії, незадовільні показники динаміки поїзда та умови їх експлуатації. Описані несправності, також пов'язані з руйнуванням елементів ходової частини, що безпосередньо викликає можливість сходу вагонів з рейок. Важливим чинником є деградаційні зміни тари вагона більше ніж на 10% від назначеної заводом виробником.. Описані несправності, зокрема, зв'язані з пошкодженням ходової частини, безпосередньо призводять до сходів вагонів. Однак, деякі з них прямо не викликають схід, але є причинами розвитку динамічних процесів, які викликають підвищену силову взаємодію рухомого складу. З числа вагонів, в яких наявна тенденція до сходу з рейок – вагони-хопери для цементу зі знятою кришею та порожні вагони-платформи. Результат проведеного аналізу причин та обставин сходження порожніх вагонів з рейок встановлено, що частими наслідками сходження є серйозні пошкодження залізничної колії, рухомого складу та інших елементів інфраструктури залізниці, зменшення швидкості та порушення графіку перевезень, що всовую чергу тягне за собою значні фінансові втрати.

Аналіз інформації щодо експлуатації та сходів порожніх вагонів з рейок.

Статистичні дані щодо сходів вантажних вагонів в порожньому стані на ділянках залізниць України показують, що найбільше сходів за останні роки (2011-2020 рр.) відбулося з вантажними вагонами зі зменшеною тарою: універсальними платформами моделі 13-4012 та вагони-хопери для цементу зі знятою кришею моделі 19-758-01. За період з 2011 по 2021 року було більше 36 випадків сходу вагонів з рейок :

- 23.08.2017р. на перегоні Кривин – Славута регіональної філії (далі –РФ) Південно-Західна залізниця вагон-хопер моделі 19-758-01, швидкість 67 км/год, 19 з 21 вагонів (у ховості);

- 21.08.2011 на перегоні Кролевець – Алтинівка РФ Південно-Західна залізниця вагон-платформа моделі 13-4012М, швидкість 67 км/год, 48 з 53 вагонів (у ховості);

- 27.08.2012 на перегоні Заворичі – Бобрик РФ Південно-Західна залізниця вагон-платформа моделі 13-4012М, швидкість 69 км/год, 49 з 57 вагонів (у ховості);

- 25.07.2013 на перегоні Письменка – Ульянівка РФ Південна залізниця вагон-платформа моделі 13-4012, швидкість 62 км/год, 48 з 54 вагонів (у ховості);

- 26.07.2016 на перегоні Плиски – Крути РФ Південно-Західна залізниця вагон-платформа моделі 13-401-17, швидкість 77 км/год, 47 з 61 вагонів (у ховості);

- 06.08.2016 на перегоні Брівки – Попільня РФ Південно-Західна залізниця вагон-платформа моделі 13-401-17, швидкість 68 км/год, 52 з 66 вагонів (у ховості);

- 23.05.2017 на перегоні Рихальське– Вершниця РФ Південна залізниця вагон-платформа моделі 13-4012, швидкість 70 км/год, 44 з 52 вагонів (у ховості);

- 29.04.2018р. на перегоні Брівки – Попільня РФ Південно-Західна залізниця вагони-платформи моделі 13-4012, швидкість 67 км/год, 19, 20 з 20 вагонів (у ховості);

- 03.05.2018р. на перегоні Брівки – Попільня РФ Південно-Західна залізниця вагон-платформа моделі 13-4012, швидкість 68 км/год, 6 з 53 вагонів (у голові). На ділянці Козятин-Фастів, перегін Брівки-Попільня, 964 км ПК4–ПК2 (за актом 03.05.2018 р. ст. Фастів-2 964 км ПК7) 03.05.2018 р. в поїзді №1442 мала зйдення четверта колісна пара вагона-платформи (№44908200) моделі 13-4012, в складі поїзда ця платформа слідувала шостою. За службовими матеріалами стосовно цієї події вказано, що до складу поїзда №1442 входили локомотив ВЛ80т (в голові поїзда) і 53 вагона-платформи моделі 13-4012. Загальна маса поїзда становила 1114 тон, всі вагони перебували в порожньому

стані. Режим ведіння поїзда перед подією зазначений як вибіг зі швидкістю (зі слів заступника начальника депо Козятин) рівною 60 км/год. За іншою інформацією швидкість поїзда в місці події становила 68 км/год і режим ведення поїзда – тяга за позицією 17. Ознаки пошкоджень мала четверта колісна пара вагона.

За період з 01.01.2017 р. по 20.12.2021 р. допущено 7 транспортних подій через сходження з рейок вагонів переобладнаних з цементовозів для сипучих вантажів (модель 19-758-01).

Наслідками цих сходів були серйозні пошкодження рухомого складу, залізничної колії та інших елементів інфраструктури залізниці, зниження швидкості та порушення графіку руху поїздів

Всі випадки сходу вагонів буди у порожньому стані та зі швидкістю більше 60 км/год.

## **1.2 Системи для визначення показників якості та безпеки руху залізничного рухомого складу**

Завдання підвищення швидкостей пасажирського рухомого складу вимагає нових підходів до оцінки показників безпеки руху поїздів та плавності ходу вагонів. Умови стійкості в рейковій колії одиниць рухомого складу визначаються співвідношенням сил, що діють в контактах коліс з рейками. Визначення цих сил – надзвичайно складна задача, так як зона контакту постійно переміщується поверхнями кочення коліс і рейок. Крім того, для оцінки стійкості колеса від вкочування на рейку необхідно постійно обчислювати відношення горизонтальних і вертикальних контактних сил впродовж певного проміжку часу, бо навіть поодинокі випадки перевищення допустимих значень цього відношення можуть стати причиною порушення умов безпеки руху.

### **1.2.1 Аналіз існуючих підходів оцінки показників якості та безпеки руху**

Для оцінки показників якості, безпеки руху вагонів, локомотивів та інших типів рейкового рухомого складу відзначається різноманітність підходів до оцінки умов безпеки та вирішенню зазначеної проблеми.

Так, проблема забезпечення стійкості екіпажів на колії має багаторічну історію. Ще в 1882 році інженер Поше вивів формулу, яка визначає співвідношення між бічним тиском гребеня колива і навантаженням його на рейку, при якому можливе сходження колеса з рейки. Пізніше Мар'є [1] зазначив, що ця формула стала поштовхом для побудови теорії сходу колеса з рейок.

В 1908 році, М. Надалем [2] був запропонований спосіб визначення співвідношення діючих на колесо сил, при якому запобігає його сходу від сповзання на рейку. Вихідним положенням колеса при цьому вважається таке, при якому його поверхня катання піднялася над голівкою рейки, і колесо контактує з рейкою тільки в точці, розташованій на конічній частині гребеня. Прийнято, що безпека від сходу буде забезпечена, якщо співвідношення прикладених до колеса сил — горизонтальної поперечної  $Y$  і вертикальної  $Q$  (при дії граничної сили сухого тертя  $T = \mu N$ ) буде такою, що гребінь відносно рейки ковзатиме вниз (рис. 1.1),  $\mu$ - коефіцієнт тертя.

$N = Q \cos \beta + Y \sin \beta$  — нормальна реакція рейки в точці контакту.

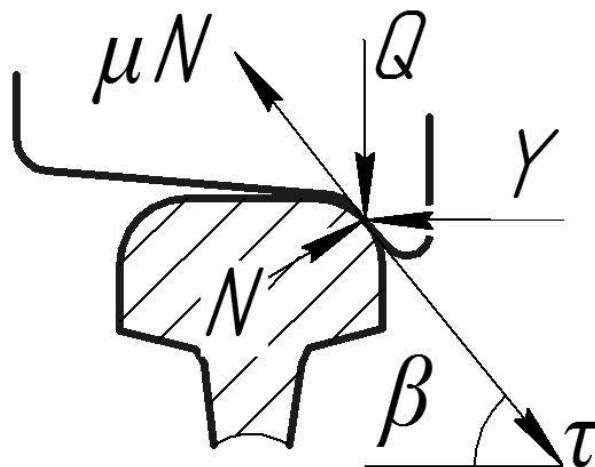


Рисунок 1.1 – Сили діючі в точці контакту при ковзанні гребня вниз відносно головки рейки.

У роботі [2] автор виходить з того, що сили  $Y$ ,  $Q$  і  $Q'$  прикладені не в точках контакту коліс з рейками, як вважав Мар'є при виведенні своєї формули, а на бортик шийки осі (сила  $Y$ ) і до шийок осі аналізованої колісної пари (сили  $Q$  і  $Q'$ ), тобто автор рекомендує користуватися схемою, яка на його думку враховує дію всіх сил і пар, які впливають на умови сходження коліс з рейок (рис. 1.2).

О.У. Галеев показує своєю новою формулою, що «критичне» або максимально допустиме значення співвідношення поперечної сили до вертикального навантаження, яке приходить на шийку осі колісної пари з сторони набігаючого колеса – величина змінна, яка залежить від співвідношення вертикальних навантажень, які приходять на шийку осі колісних пар

$$\frac{F}{P_1} \leq \frac{P_2}{P_1} \cdot k_1 - k_2, \quad (1.1)$$

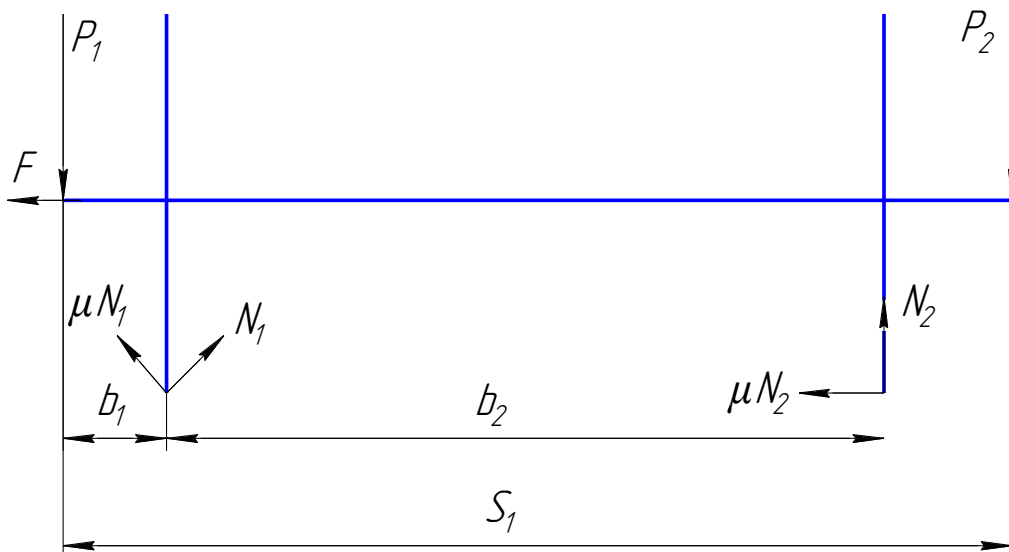


Рисунок 1.2 – Схема сил, прикладених до колісної пари (по роботі [2])

Формула (1.2) визначає критичну величину співвідношення поперечної сили до вертикальної при даному розподіленні вертикального навантаження на вісь однієї колісної пари.

Як зазначає у своїй роботі К. Н. Міщенко [3], питання про взаємодію сил, що розвиваються між рейкою і колесом, що набігає на нього, трактується

різними авторами по-різному. Зрештою, ми маємо ряд формул, що оцінюють можливість сповзання та сходу колеса, співвідношенням найбільшого поперечного тиску колеса на рейку (напряме зусилля) та вертикального тиску колеса на рейку.

Подальший розвиток теорії безпеки від сходу, колеса з рейки висвітлювалося таких роботах, як [4, 5, 6, 7, 8]. У цих роботах в основному розглядалося стан граничної рівноваги колісної пари.

У роботах, виконаних під керівництвом професора М. Ф. Вериги [4, 5, 6, 9], запропоновано метод оцінки стійкості руху проти сходу колеса з рейок за уточненою формулою, яка визначає критичну величину співвідношення горизонтальної рамної сили та вертикальної сили при даному розподілі вертикальних навантажень на осі однієї і тієї ж колісної пари.

Наведена в цих роботах уточнена умова знайшла широке застосування в експериментальних роботах з визначення гранично допустимих швидкостей руху нових та модернізованих одиниць рухомого складу.

Тут було розглянуто умову, що забезпечує безперервне ковзання гребеня колісної пари по бічній поверхні головки рейки, є умова, що забезпечує недопущення сповзання колеса на рейку.

$$\frac{Y_p}{P_1} \leq \frac{P_2}{P_1} \cdot k_1 - k_2 + k_3 \cdot \frac{K}{P_1}, \quad (1.2)$$

$$k_1 = \frac{\mu b_2 - (S_1 - b_2) \cdot \operatorname{tg}(\beta - \varphi)}{(R + r) \cdot [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu] - S_1},$$

$$k_2 = \frac{\mu b_1 + (S_1 + b_1) \cdot \operatorname{tg}(\beta - \varphi)}{(R + r) \cdot [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu] - S_1},$$

$$k_3 = \frac{S_1 \cdot \left\{ \frac{I_2}{K} \cdot \mu - \frac{I_1}{K} \cdot \operatorname{tg}(\beta - \varphi) + [\mu - 2\operatorname{tg}(\beta - \varphi)] \right\}}{(R + r) \cdot [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu] - S_1},$$

де  $Y_p$  – рамне зусилля;

$P_1, P_2$  – сили, які передаються колісній парі надресорними частинами, прикладені до середини шийок осі.

$K$  – половина ваги колісної пари;

$I_1, I_2$  – вертикальні сили інерції колісної пари, викликані її рухом по нерівностям колії або нерівностям самої колісної пари (рис. 1.3)

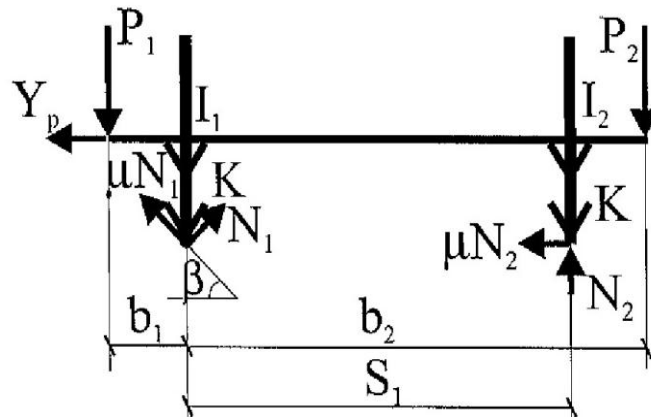


Рисунок 1.3 – Схема сил, прикладених до колісної пари (по роботі [4])

Авторами роботи [5] також запропоновано один із можливих способів автоматизації обробки дослідних даних при визначенні коефіцієнта запасу стійкості проти сходу з колії колісної пари. При цьому передбачається, що зміна в часі коефіцієнта запасу стійкості це стаціонарна та випадкова ергодична функція. Автори наводять достатню умову безпеки руху з точки зору набігання колеса на головку рейки. Для цього вони розглядають траєкторію руху  $y(t)$  колеса протягом часу набігання  $t$  гребеня на рейку. З співставлення траєкторії руху колеса з максимально допустимим значенням зміщення в поперечному напрямку, як якого прийнята горизонтальна проекція утворює конусну частину гребеня  $b_{доп}$ , отримано достатню умову безпеки руху  $y(t) \leq b_{доп}$  при всіх значеннях часу  $t$ .

Проблемі сходу колеса з рейки присвячена робота В. Ф. Кондратьєва [10], в якій пропонується вихідну систему сил, що діють на колісне пару, привести до більш простої, еквівалентної системи. Для цього достатньо привести систему

заданих сил до центру ваги колісної пари та розглянути головний вектор та головний момент цих сил. Тут автор розрізняє колісні пари за режимом руху та досліджує вплив цього фактора на процес сходу.

Комбінований критерій з метою оцінки небезпеки сходу рухомого складу шляхом вкочування колеса на головку рейки пропонується в роботах [11, 12]. Тут замість коефіцієнта тертя пропонується використовувати відношення поперечної складової сили крипа до нормальної реакції у точці контакту. Автори пропонують використовувати безпосередньо величини підйому колеса над головою рейки для оцінки небезпеки сходу, починаючи від положення, при якому гребневий контакт вперше виявляється в точці, де кут нахилу утворює профілю гребеня максимальний. Однак такий підхід оцінки безпеки може успішно застосовуватись при відповідному технічному оснащенні вимірювальних комплексів.

У роботі [13] формулюється енергетичне трактування вкочування колеса на головку рейки. На думку авторів, це можливо тоді, коли кінетична енергія руху, що припадає на колісну пару, що набігає на рейку, перевершує ту роботу сил, що виникають в контакті поверхонь гребеня і колеса, яку вони здійснюють при підйомі на висоту гребеня. На думку авторів, запропонована схема оцінки запасу стійкості враховує вплив основних факторів, що спричиняють виникнення аварійного стану.

У роботі [14] автори розробили уточнений метод визначення небезпеки сходу, де на кожному кроці інтегрування в процесі комп'ютерного моделювання руху рухомого складу процедура порівняльної оцінки значень трьох коефіцієнтів запасу стійкості, що розраховуються за формулою Мар'є з урахуванням розвантаження  $K_{уст\_Мар'є}$ , по тиску в точках контакту  $K_{уст\_д}$  і за енергетичним співвідношенням  $K_{уст\_ен}$  вибирається мінімальне значення коефіцієнта стійкості, фіксується його значення і виводиться на графік як підсумкове значення у вигляді комбінованого коефіцієнту стійкості.

У роботі [15] пропонується метод оцінки достатньої умови стійкості колеса на рейці з урахуванням імовірнісного характеру сил, що діють у їх контакт, та кута набігання колеса на рейку.

Подана оцінка є достатньою, але не необхідною умовою стійкості колеса на рейці, при виконанні якої ймовірність стійкості заздалегідь забезпечуватиметься.

Автор роботи [16] зазначає, що існує кілька критеріїв оцінки стійкості рухомого складу проти сходу колеса з рейок: по зсуву рейкошпальної решітки, по сповзанню гребеня, по перекиданню екіпажу, по руйнуванню рейкошпальної решітки та по руйнуванню колісної колії.

Практика показує, що зсув рейкошпальних решіток не відбувається, якщо відношення рамної сили, що діє на колісну пару екіпажу, до вертикального навантаження на колесо менше 0,4. Автор пропонує для практичних цілей створити узагальнений критерій стійкості рухомого складу проти сходу колеса з рейок, що відобразить допустимий рівень динамічної взаємодії між колесом та рейкою.

У роботі [17] обговорюються деякі логічні суперечності в критеріях оцінок викочування колеса з рейкової колії. Автори вважають, що при логічному підході нормоване значення  $Y/Q$  має визначатися з фактичних геометричних умов сходу коліс з рейок, встановлених в результаті вирішення тривимірного завдання нелінійного кочення колеса по рейці. Наприклад, можна вважати, що граничним є стан, коли контакт між гребенем і рейкою відбувається в крайній точці прямолінійної ділянки профілю гребеня колеса і, задаючи деякий запас, перейти до визначення відповідного співвідношення  $Y/Q$ .

Широкі дослідження з проблем безпеки руху було проведено науково-дослідним інститутом залізничного транспорту японських національних залізниць під час створення рухомого складу Нової лінії Токайдо. Серед численних випробувань особлива увага приділялася питанням сходу вагона з рейок та його перекиданню. У статті [18] викладено докладний звіт про результати, отримані під час теоретичних та експериментальних досліджень.

Тут як критерій безпеки руху прийнято відношення бічного тиску до статичного навантаження. Гранично допустима величина такого відношення залежить від процесу сходу. Так, при підстрибуванні колеса відношення зазначених сил пропорційно часу дії бокового тиску, а при вкочуванні колеса на головку рейки граничним прийнято відношення сил, що дорівнює 0,8. Такий самий критерій знайшов місце у роботі [62].

У роботі [19] порівнюються північноамериканський британський та європейський підходи до оцінки безпеки руху. Автори приходять до висновку, що британські та європейські критерії містять граничні значення сил, що передаються від екіпажу на колію. Північноамериканський підхід не обмежує максимум сил, які діють колію, а обмежує статичні навантаження на колію.

У Британському підході є обмеження вертикальних, і горизонтальні сил, а європейському — лише горизонтальні поперечні.

У роботі [20] говориться, що було запропоновано методику непрямого визначення коефіцієнта запасу стійкості  $k_y$ , проти сходу колеса з рейок, що використовує кореляційну залежність  $k_y$  від поперечних прискорень у шкворневому (п'ятниковому) перерізі вагона. З експериментальних даних автори роботи [20] показали, що при режимах руху пасажирського вагона, далеких від аварійних, визначення коефіцієнта  $k_y$  за результатами виміру горизонтальних поперечних прискорень шкворневого перерізу підлоги вагона пов'язані з великою неточністю.

Формула для обчислення коефіцієнта запасу стійкості проти сходу колеса з рейки при обробці результатів ходових динамічних випробувань рухомого складу залізниць виведена в припущенні, що сила інерції, що діє на колісну пару, незначна в порівнянні з рамною силою. Для завантаженого вагона це цілком обґрунтовано. Однак при дослідженні порожніх вагонів виникає необхідність брати до уваги силу інерції, що діє на колісну пару, оскільки в цьому випадку відношення суми мас усіх колісних пар до маси вагона зростає в 3-4 рази (порівняно з тим самим ставленням для завантаженого вагона). Тому в роботі [20] був реалізований зазначений підхід до визначення запасу стійкості і

визначено значення цієї величини в декількох дослідах. Виявилося, що значення коефіцієнта запасу стійкості колеса проти сходу колеса з рейок, розраховані з урахуванням без урахування сил інерції, відрізняються на соті частки. Тому його можна обчислювати без урахування сил інерції.

### 1.2.2 Вимірювання деформацій несучих конструкцій. Загальні відомості

Для вимірювання механічних напружень в поверхневих шарах елементів несучих конструкцій рухомого складу використовуються методи і засоби тензометрії, тобто тензометри і реєстраційна апаратура. Робота тензорезистора заснована на тензоефекті провідника або напівпровідника, що прикріплюється до поверхні несучого елемента конструкції спеціальним клеєм. Таким чином, деформуючись разом з металевим елементом при його навантаженні, тензометр змінює свій електричний опір.

За конструкцією тензометри поділяються на дротові, фольгові і напівпровідникові. Дротовий тензометр, схематично зображений на рисунку 1.4, являє собою дротову спіраль 1, розміщену між двома шарами тонкого паперу 2. До спіралі припаяні виводи 3 для з'єднання тензометрів між собою в електричну схему. Для тензометрів застосовують дріт з константану (сплав міді і нікелю) або ніхрому (сплав нікелю і хрому). Діаметр такого дроту становить 0,015...0,025 мм [21].

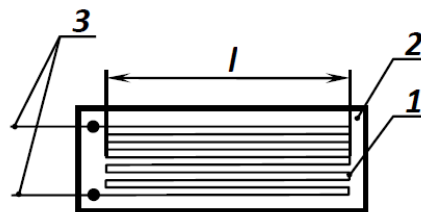


Рисунок 1.4 – Схема тензорезистора

Фольгові тензометри виготовляють методом травлення або штампування з константанової фольги, закріпленої на плівковій або паперовій основі.

Напівпровідникові тензометри виготовляють з напівпровідникових матеріалів у вигляді тонких смужок германія або з кремнію з припаяними металевими виводами. Такі тензометри мають чутливість на 1-2 порядки вище, ніж дровові або фольгові.

Основними характеристиками тензометрів є номінальний опір  $R$ , база  $l$  (див. рис. 1.4) і чутливість  $\gamma$ . Чутливість тензометра визначається як відношення відносної зміни опору до його відносного подовження:

$$\gamma = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\varepsilon} \quad (1.3)$$

де  $\Delta R$  – зміна опору тензорезистора при його деформації;  $\varepsilon$  – відносне подовження провідника.

Зміна опору тензометра при деформаціях дуже мала, зазвичай порядку декількох сотень Омів. З найзручніших засобів вимірювань таких змін є міст Уїтстона (Wheatstone). Він включає чотири резистори з'єднані з електроживленням постійного струму, як показано на рисунку 1.5.

Якщо  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ , це свідчить про те, що міст збалансовано, і вольтметр, включений у вимірювальну діагональ мосту, показуватиме 0 В. Принцип роботи мостової схеми полягає в тому, що електричний струм, який протікає через резистори, у випадку невірноваженого (розбалансованого) стану мосту створює у вимірювальній діагоналі різницю потенціалів, і через вимірювальний прилад буде протікати електричний струм.

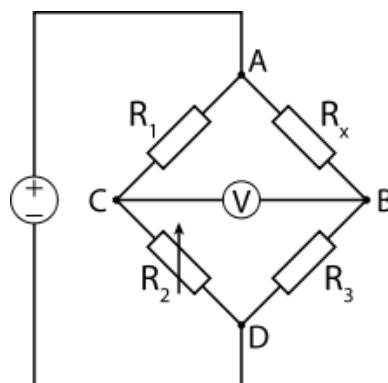


Рисунок 1.5 – Схема підключення моста Уїтстона з балансуванням

Міст може містити один, два або чотири тензометри за схемами, показаними на рисунку 1.3, і вони відомі як  $\frac{1}{4}$ -міст, напівміст і повний міст, відповідно. З цих трьох схем  $\frac{1}{4}$ -міст матиме найнижчу чутливість. Якщо не вжити заходів, можливі помилки, тому що тензометри чутливі до теплових ефектів. Для того, щоб запобігти цьому, один з тензометрів суміжний з активним може бути замінений так званим компенсаційним. Цей тензометр ідентичний активному, знаходиться в тих же навколишніх умовах, але не піддається навантаженню, що досягається, наприклад, установленням його на ненапруженій частині об'єкту, що випробовується. Обидва тензометра піддаються однаковим температурним змінам, і в результаті погашається дія будь-якої результуючої на рівновагу мосту внаслідок теплових ефектів.

Напівміст матиме вищу чутливість, ніж  $\frac{1}{4}$ -міст, оскільки додатковий тензометр вироблятиме більшу неврівноважену напругу через міст Уїтстона. Присутність двох активних тензометрів також виключають будь-які теплові ефекти, як це викладено вище. З трьох схем найбільшу чутливість має повний міст. До того ж він є самокомпенсуючим щодо температурних змін.

Слід зазначити, що зміни вихідної напруги від мостів для вимірювань механічних напружень зазвичай дуже малі і тому потрібно їх підсилювати як найближче до мосту. Кабельні лінії мають бути повністю закритими й екранованими, щоби запобігати спотворенню даних випробувань.

### **1.2.3 Вимірювання сил за локальними деформаціями рам візків**

Тензометричні мости широко застосовуються при проведенні статичних міцнісних та динамічних ходових випробувань рухомого складу. Наприклад, методика визначення вертикальних і горизонтальних поперечних (рамних) сил, що діють на колісні пари, за правилами, які донині є чинними на залізницях колії 1520 мм, передбачає вимірювання деформацій рам візків.

Тензометри наклеюють на зовнішні і внутрішні сторони бічних рам і збирають в схеми, що мають, як правило, добру чутливістю з достатньою компенсацією температурних деформацій. Цей метод дозволяє безперервно

вимірювати горизонтальні (рамні) і вертикальні сили при русі ділянкою колії будь-якої протяжності.

На рисунку 1.6 показана схема установки тензорезисторів на рамі візка 18-100 і з'єднання їх у напівмостові схеми для вимірювання вертикальних та рамних сил.

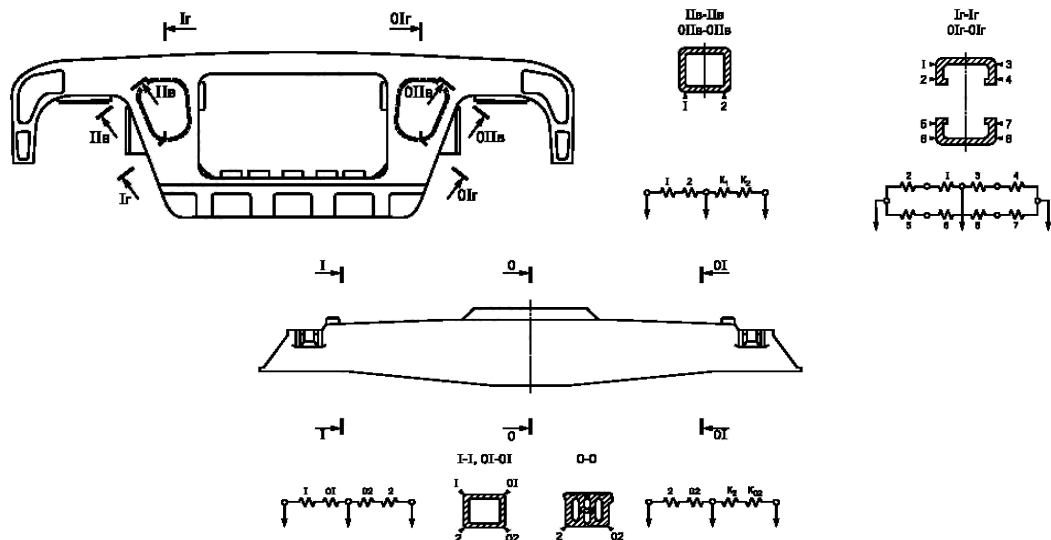


Рисунок 1.6 – Схема розміщення тензорезисторів на рамі візка

Вимірювані таким чином характеристики силової дії в системі «рама візка – колісна пара» розрахунковим способом приводяться до оцінки сил взаємодії коліс і рейок, за співвідношенням яких визначається так званий коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейки.

#### 1.2.4 Існуючі системи для визначення показників якості та безпеки руху

Система отримання даних має бути швидкісною цифровою системою, яка використовує доступні комп'ютерні ресурси і відповідні компоненти. Аналогові сигнали від колісних пар зазвичай зчитуються у діапазоні до 300 Гц з використанням низькочастотних фільтрів до 100 Гц. Дані можуть бути оброблені разом із даними, отриманими системою вимірювання геометрії колії, і синхронізовані таким чином, щоб інформація, яка має відношення до геометрії колії, і та, що визначає реакцію екіпажу на цю геометрію, у будь-який момент часу могла бути оцінена.

Вимірювальними пристроями, що рекомендуються до застосування, є прилади фірми КМТ Kraus Messtechnik GmbH (Німеччина), зокрема модель МРТ-NT. Виходячи з того, що вимірювання проводяться на елементі, який обертається, використовується бездротова передача даних від тензорезисторів, розташованих на дисках коліс, до приймального блоку обладнання. Кожний модуль датчика оснащений перетворювачем сигналу, фільтрами захисту від накладення спектрів, АЦП конвертером і цифровим виходом. Може використовуватися до 32 модулів, контроль яких здійснюється декодером. Така структура дозволяє встановлювати модулі збору даних близько до датчиків для забезпечення невеликої відстані для ліній аналогових датчиків, що дозволяє уникнути небажаного впливу перешкод. Для нечутливих до перешкод цифрових виходів відстань до модуля кодера може становити до 5 м. Вихід кодера представлений у вигляді потоку двійкових сигналів ІКМ, що може бути модульований для передавального блоку.

Різні типи високочастотних передавачів дозволяють використовувати систему для широкого діапазону вимірів. Система може використовуватися на різних відстанях при різній швидкості передачі (40, 320, 640, 1280 або 2560 кбіт/с). Наглядно схема вимірювальної системи представлена на рисунку 1.7 та 1.8.

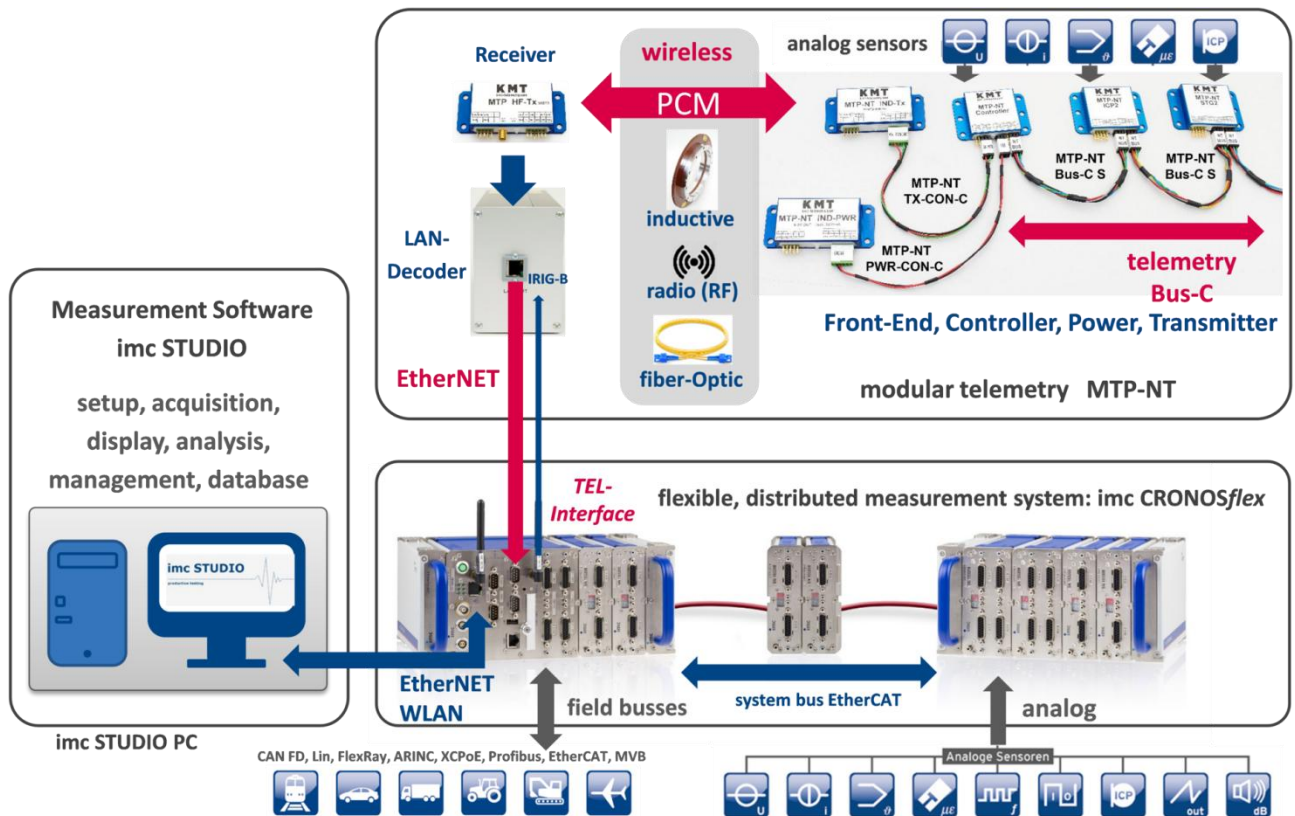


Рисунок 1.7 – Система Kraus Messtechnik MPT-NT

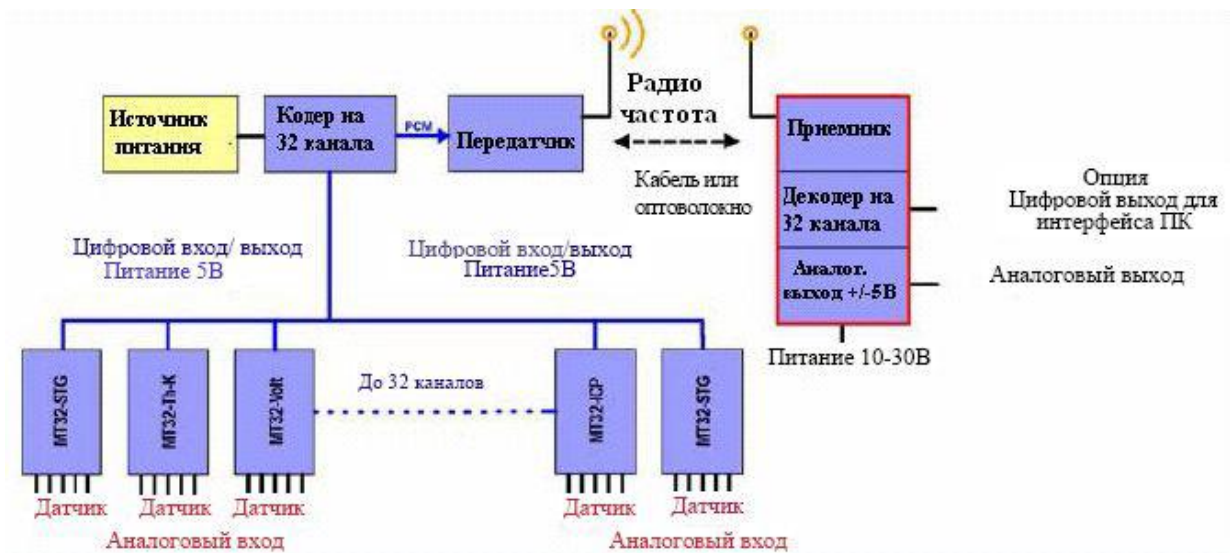


Рисунок 1.8 – Схема вимірювальної системи

Тензометри складаються таким чином, що утворюють тензометричний напівміст. Рисунок 1.9 представляє взаємодію тензометричного напівмосту з модулем накопичувального обладнання MPT-NT. Обладнання MPT-NT дозволяє компенсувати несиметричності тензометричного моста. Канали

обладнання МТР-НТ використовуються для вимірювання деформацій за допомогою тензометрів. Крім того, за необхідності, до обладнання МТР-НТ можуть підключатись датчики прискорень.

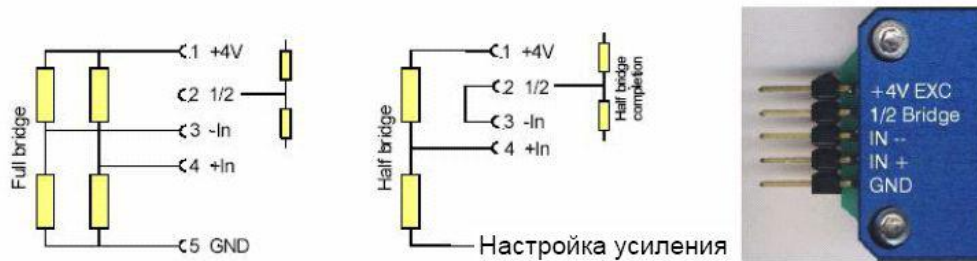


Рисунок 1.9 – Підключення тензометричного моста/напівмоста до модуля накопичувача

На рисунку 1.10, 1.11 приведено приклади використання системи на залізничному транспорті та загальний вигляд системи.

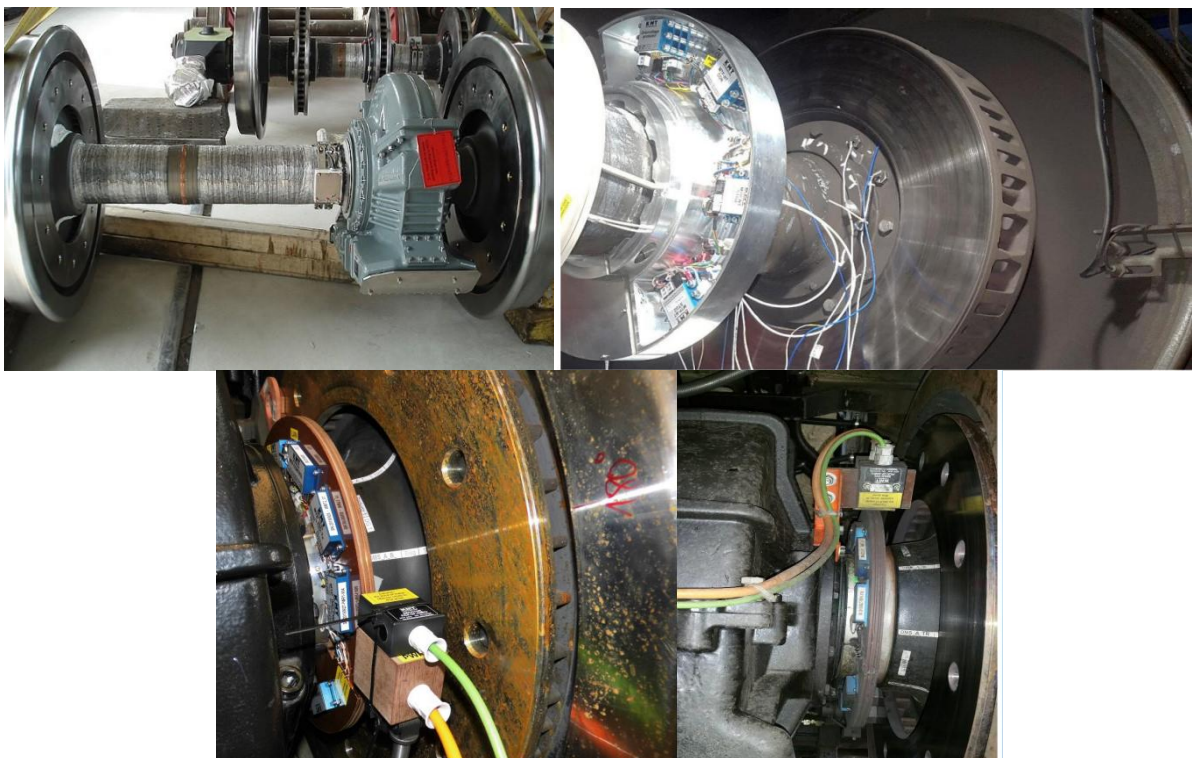


Рисунок 1.10 – Приклади використання системи на залізничному транспорті



Рисунок 1.11 – Загальний вигляд вимірювальної системи

### 1.3 Проекти з покращення показників якості руху вантажних вагонів

В даному розділі представлена загальна інформація по видам окремих трьохелементних візків, які є аналогами 18-100 з покращеними техніко-економічними показниками, основними відмінностями яких є збільшення міжремонтних пробігів, покращення показників динаміки, технологічні особливості виготовлення та обслуговування. До переліку аналогів візків типу 18-100 можна віднести: візок 18-4112 Дніпровагонмаш (рис. 1.12), 18-9771 «ПромтракторВагон» (рис. 1.13), 18-9810 ВАТ «НВЦ «Вагони», Тихвинський вагонобудівний завод (рис. 1.14) та 18-9800 ВНКТІ (Коломна) (рис. 1.15), Barber S-2-R (рис. 1.16), 18-7020 Крюківський ВБЗ (рис. 1.17) та 18-194-1 ВАТ «НПК» Уралвагонзавод (рис.1.18), візки моделі 18-578 та 18-9836 ВАТ «НПК» Уралвагонзавод (рис. 1.19 та 1.20 відповідно), візок моделі 18-4129 ТОВ «Софія-Інвест» (рис. 1.21), 18-9750 НВЦ «Вагони» (рис. 1.22), візок 18-7033 тип 3 Крюківський ВБЗ (рис. 1.20), візок 18-7055 тип 2 Крюківський ВБЗ (рис. 1.23). На рисунку 1.24 приведено візок типу ZK-1. На рисунку 1.25 приведено приклад перспективної зварної конструкції бічної рами візка, яка на даний

момент проходить стендові ресурсні випробування в Інституті електрозварювання імені Є. О. Патона.

Основним проектом модернізації візків типу 18-100 в Україні є модернізація С03.04 з використанням ковзунів постійного контакту А.Стакі, покращення клинів, проточка коліс за профілем ІТМ-73. Аналогом є проекти модернізації С14.01, М1698. Найбільш вигідним є модернізація нових вагонів за проектом С03.04. Дисконтований термін окупності складає 2,1 року для проекту С03.04 та 2,3 роки для М1698, що більш ніж у 2 рази ефективніше ніж для інших модернізацій. Доцільним є модернізація за проектом С03.04 при деповських ремонтах, починаючи з першого деповського ремонту, при строку експлуатації вагона до 15 років.

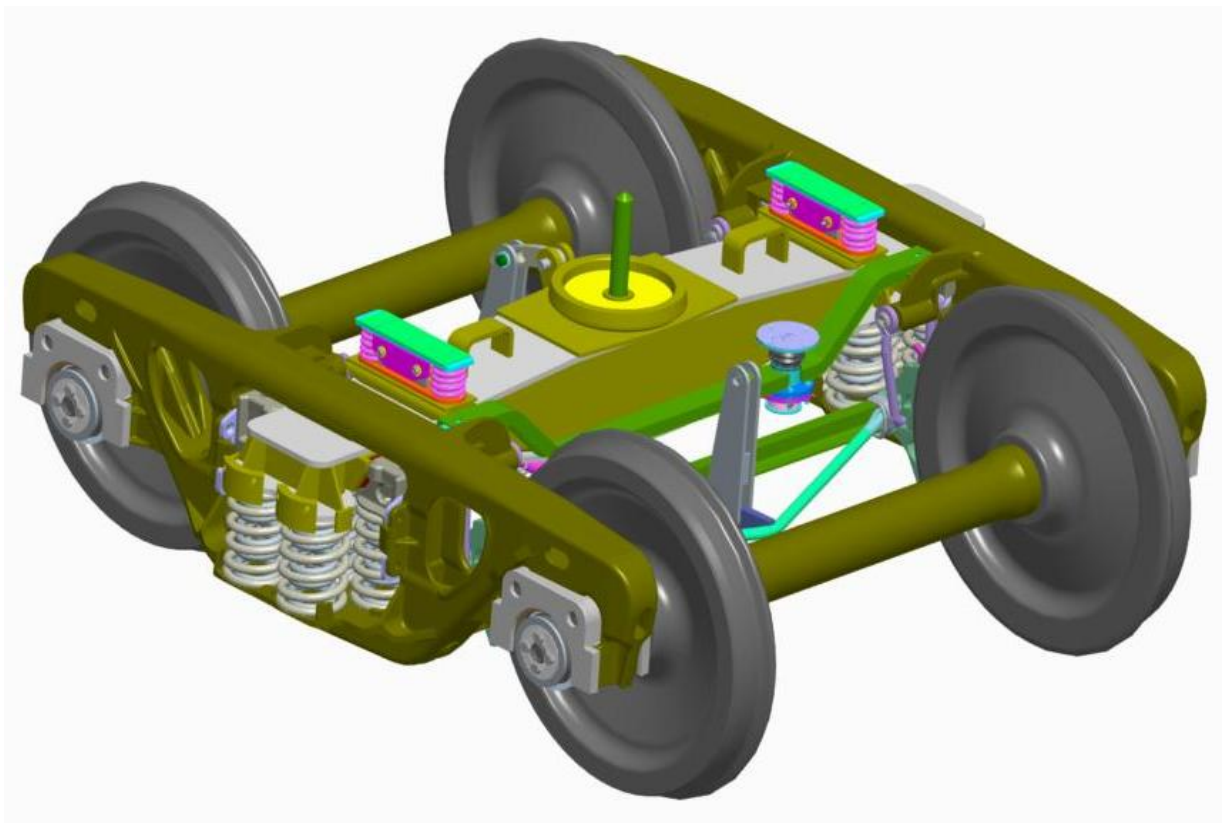


Рисунок 1.12 – Візок 18-4112 Дніпровагонмаш

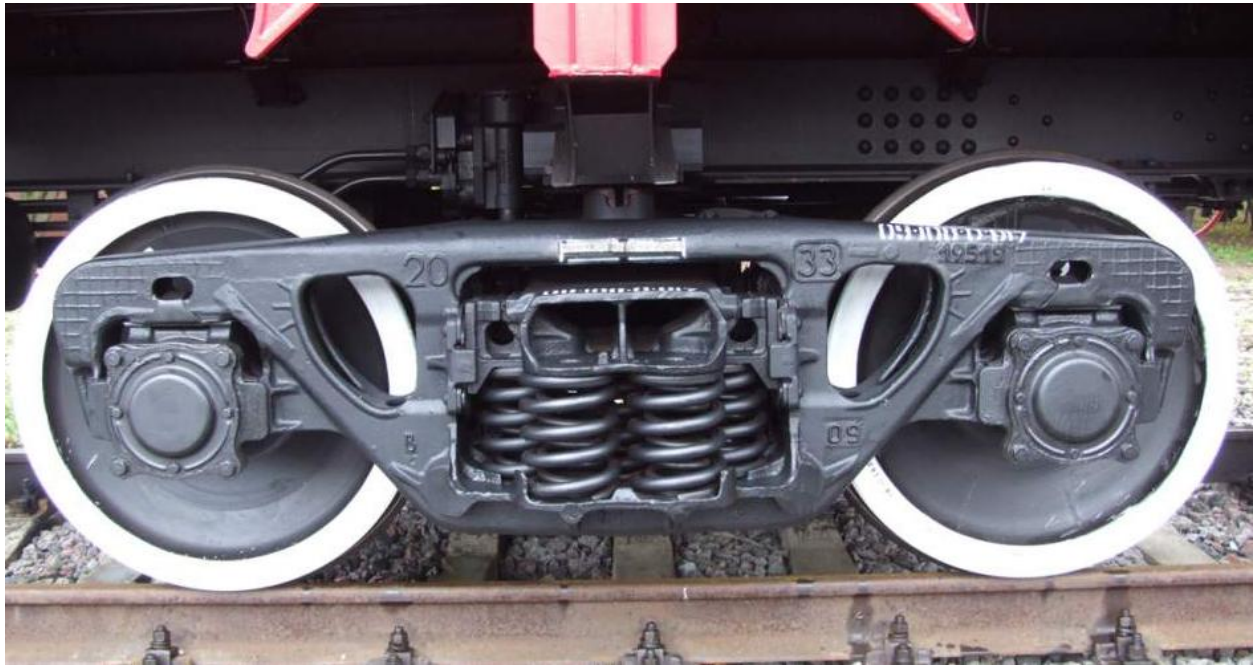


Рисунок 1.13 – Візок 18-9771 «ПромтракторВагон»



Рисунок 1.14 – Візок 18-9810



Рисунок 1.15 – Візок 18-9800



Рисунок 1.16 – Візок Barber S-2-R



Рисунок 1.17 – Візок 18-7020

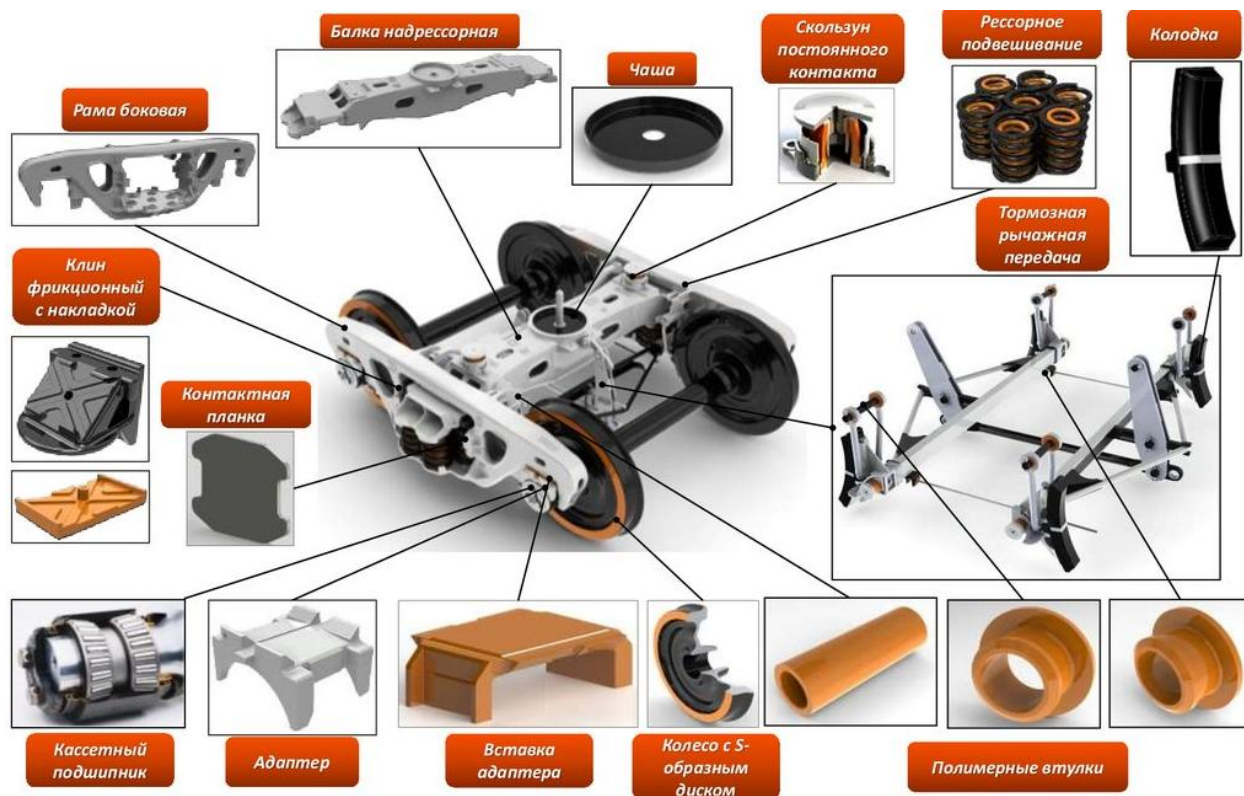


Рисунок 1.18 – Візок 18-194-1

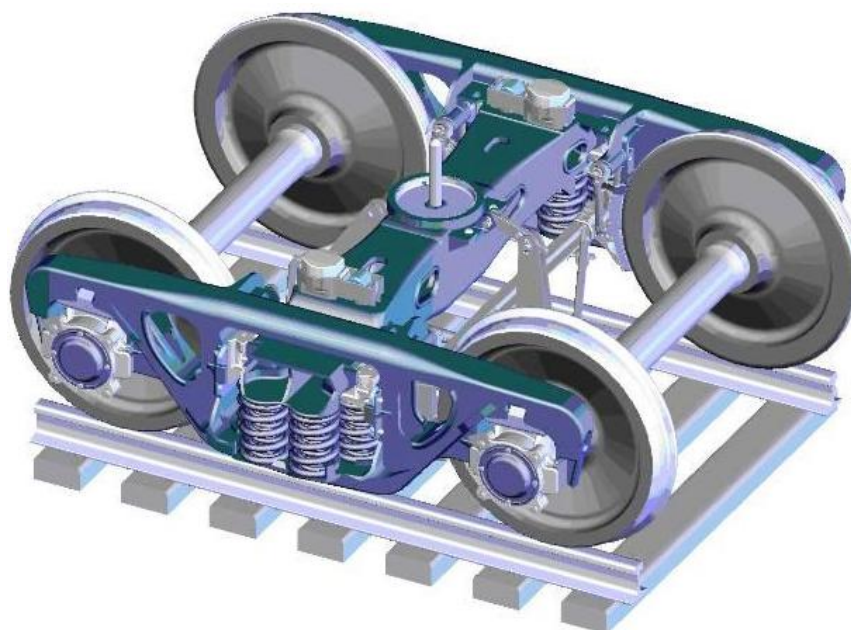


Рисунок 1.19– Візок 18-578



Рисунок 1.20 – Візок 18-9836

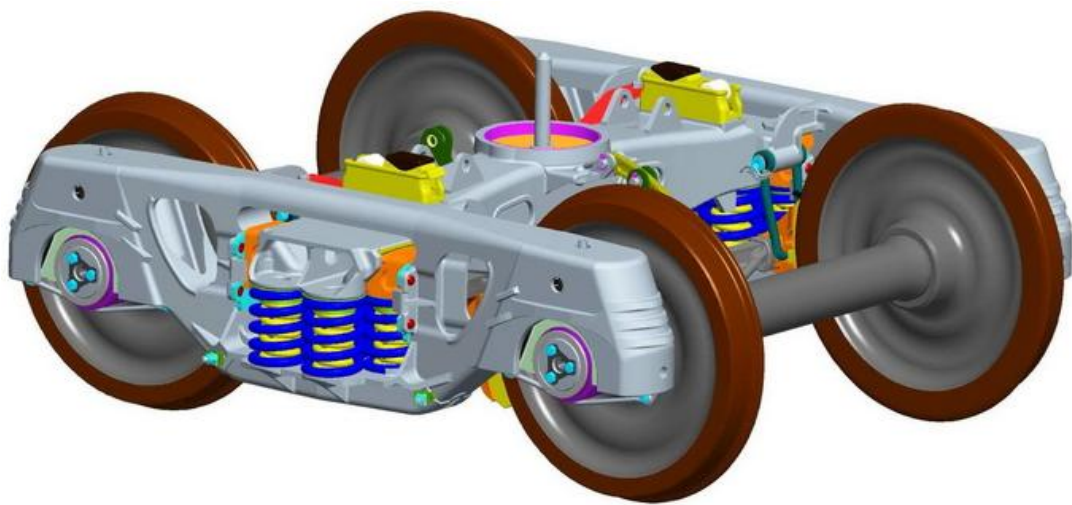


Рисунок 1.21 – Візок 18-4129



Рисунок 1.22 – Візок 18-9750



Рисунок 1.23 – Візок 18-7033 тип 3



Рисунок 1.24 – Візок 18-7055 тип 2

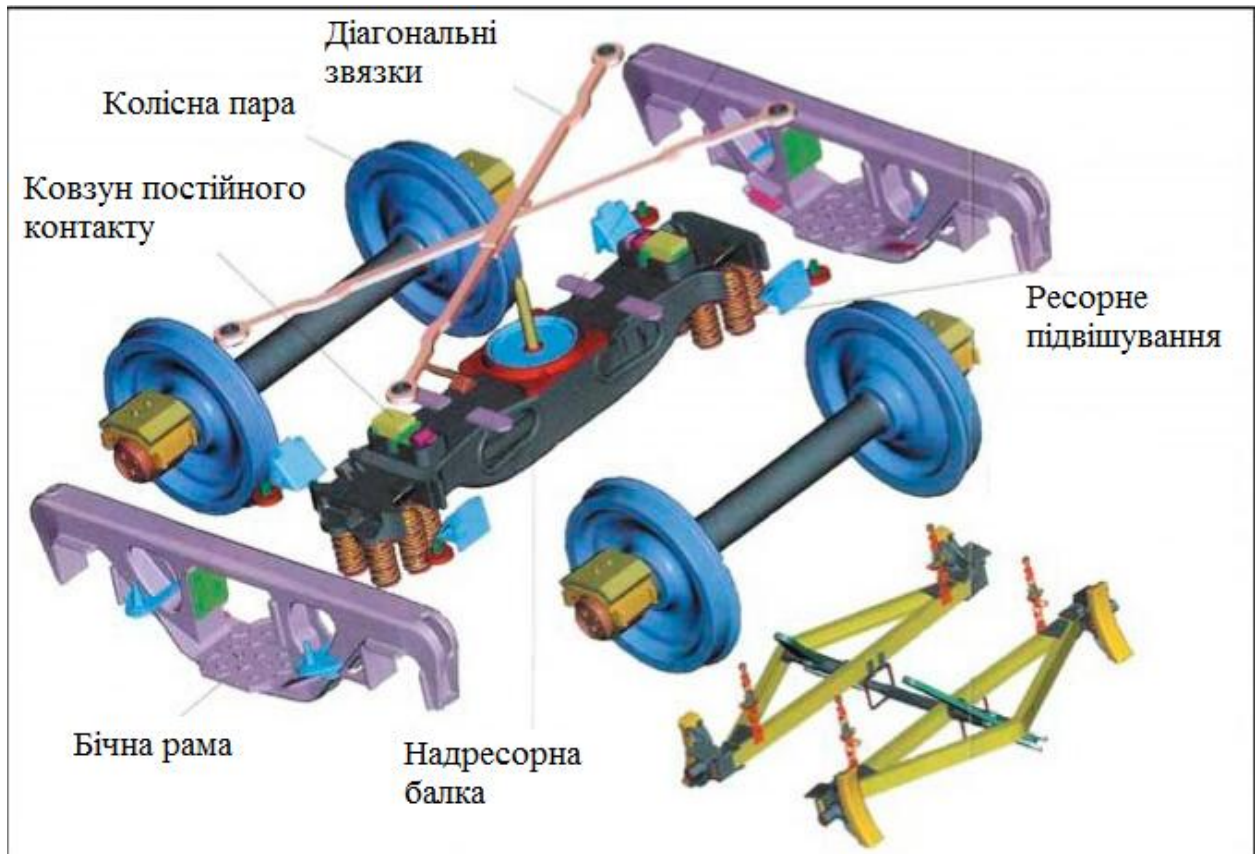


Рисунок 1.25 – Візок ZK-1



Рисунок 1.26 – Перспективна зварна конструкція бічної рами візка

Основним і більш сучасним за трьохелементні візки є візок типу Y25 (рис. 1.27), який є основним в ЄС. Рама візка виконана штамповарною, замкнутої конструкції. Ресорне підвішування одноступінчате буксове з фрикційним клиновим гасником коливань. Рама візка спирається через дворядні циліндричні пружини на припливи корпусів букс. Корпус букси утримується щелепою і має обмежений хід у вертикальній площині. Гальмова важільна передача виконана з двостороннім натисканням гальмівних колодок на колесо. У кожному гальмівному черевіку кріпиться по дві короткі вентилявані гальмівні колодки. Візок комплектується пружними ковзунами постійного контакту. Під'ятник візка виконаний сферичним. На базі візки Y-25 створені візки Y-31 і Y-37 з поліпшеними динамічними якостями.

На даний час актуальним є впровадження візка на основі типу Y25 для колії 1520 мм та залізниць України внаслідок вищих швидкостей руху, доказаної ефективності на коліях 1435 мм та значно нижчого динамічного впливу на рейкову колію.



Рисунок 1.27– Візок типу Y25

Найновітнішою розробкою серед візків (необмоторених) вагонів на сьогоднішній день є візок марки "EfWING" (рис. 1.28), в якому

використовуються ресори із вуглепластика. Звичайні візки використовують сталеві бічні рами і незалежні пружини. Використання ресори із вуглепластику, efWING поєднує в собі функції цих окремих компонентів, тобто вуглепластикова бокова рама є несучим та пружно-дисипативним елементом одночасно. Такий підхід дає змогу знизити масу візка до 40%.

Проекти візків з пружно-дисипативними елементами несучих конструкцій в Україні представлені виключно у вигляді винаходів – рисунок 1.28.



Рисунок 1.28 – Візок марки "EfWING" з пружно-дисипативними несучими елементами

#### **1.4 Висновки за розділом 1**

По результатам огляду та аналізу науково-технічних матеріалів за темою дослідження проаналізовано проблеми експлуатації вантажних вагонів зі зменшеною тарою, проаналізовані проблеми експериментальної оцінки показників якості та безпеки руху.

Описано метод вимірювання напружень в елементах конструкції залізничного рухомого складу.

Виконано аналіз досліджень та існуючих систем для оцінки показників якості та безпеки руху, виконано огляд технічних рішень які покращують показники якості та безпеки руху вантажних вагонів.

## 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАСОБІВ І ПІДХОДІВ ПРОВЕДЕННЯ ХОДОВИХ ВИПРОБУВАНЬ, КОНЦЕПТИ З ПОКРАЩЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

### 2.1 Концепти з покращення показників якості руху вантажних вагонів

*Шарнірні з'єднання.* Модернізація несучих систем вантажних вагонів з метою якісного покращення показників динаміки можлива шляхом застосування шарнірних елементів в його конструкції замість існуючих нерухомих елементів (суцільні балки, зварні з'єднання), а саме встановлення шарнірного елемента в середню частину хребтової балки, встановлення шарнірних елементів в місцях з'єднання балок кінцевих, шворневих та основних поперечних балок. Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечує появу додаткових ступенів вільності конструкції та реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності.

На рисунку 2.1. зображено суть запропонованого технічного рішення, на ньому приведено раму з хребтовою (з шарнірним з'єднанням в середній частині поз. 5), кінцевими 1, шворневими 2 балками та основними поперечними балками 3 які з'єднані шарнірно 4.

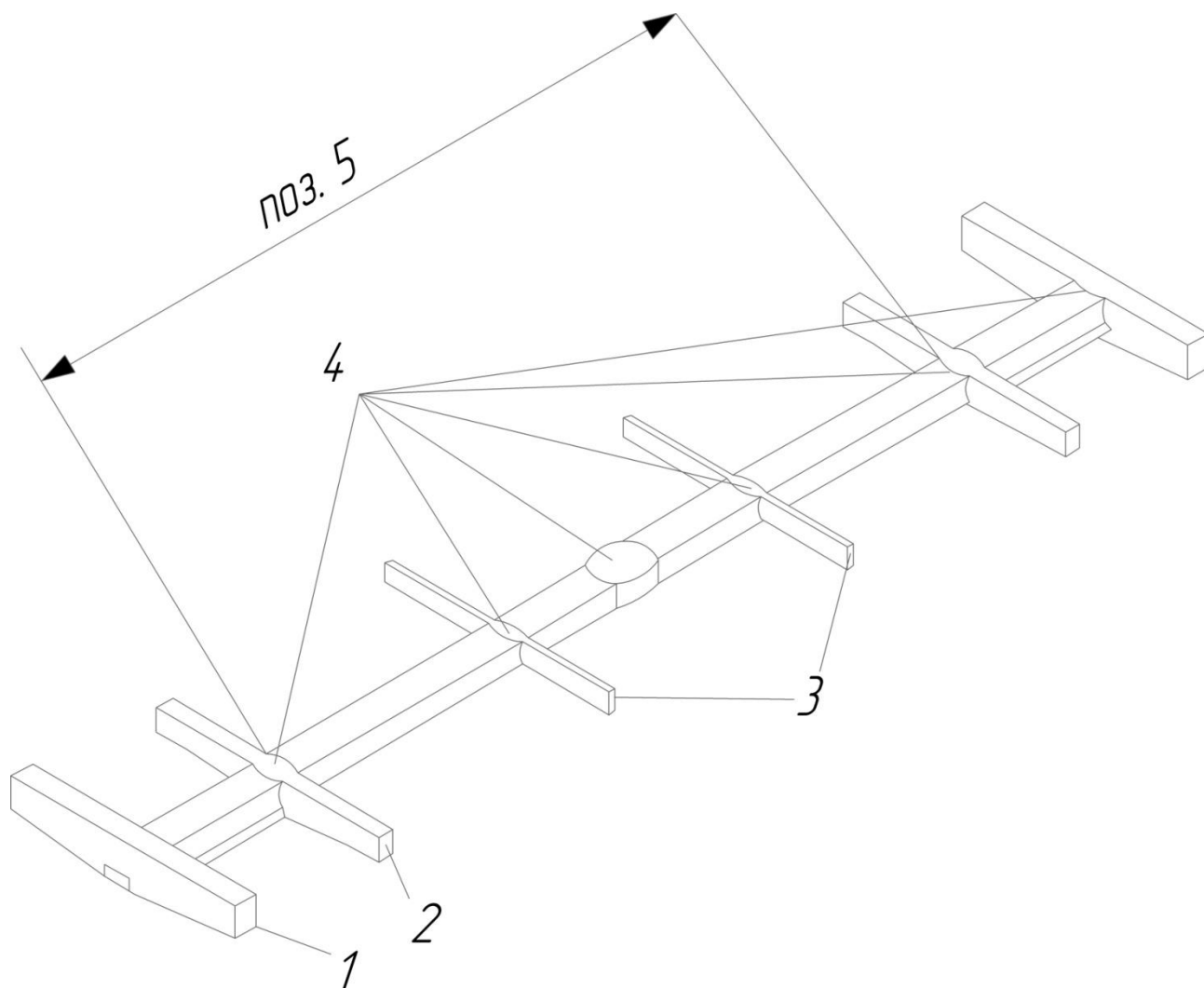


Рисунок 2.1 – Технічне рішення рами вагона з шарнірними з'єднаннями

*Листові ресори.* Модернізація несучих систем вантажних вагонів з метою якісного покращення показників динаміки можлива шляхом виконання середньої частини хребтової балки, поперечних та кінцевих балок у вигляді листових ресор. Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечують поглинання енергії коливань та ударів, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності вагона та забезпечує появу додаткових ступенів вільності конструкції та реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності.

На рисунку 2.2, 2.3 зображено суть запропонованого технічного рішення, на них приведено раму з хребтовою (в тому числі середньою частиною 4),

кінцевими 1, шворневими 2 поперечними балками 3 які виконані у вигляді листових ресор 5 (рис.2.3).

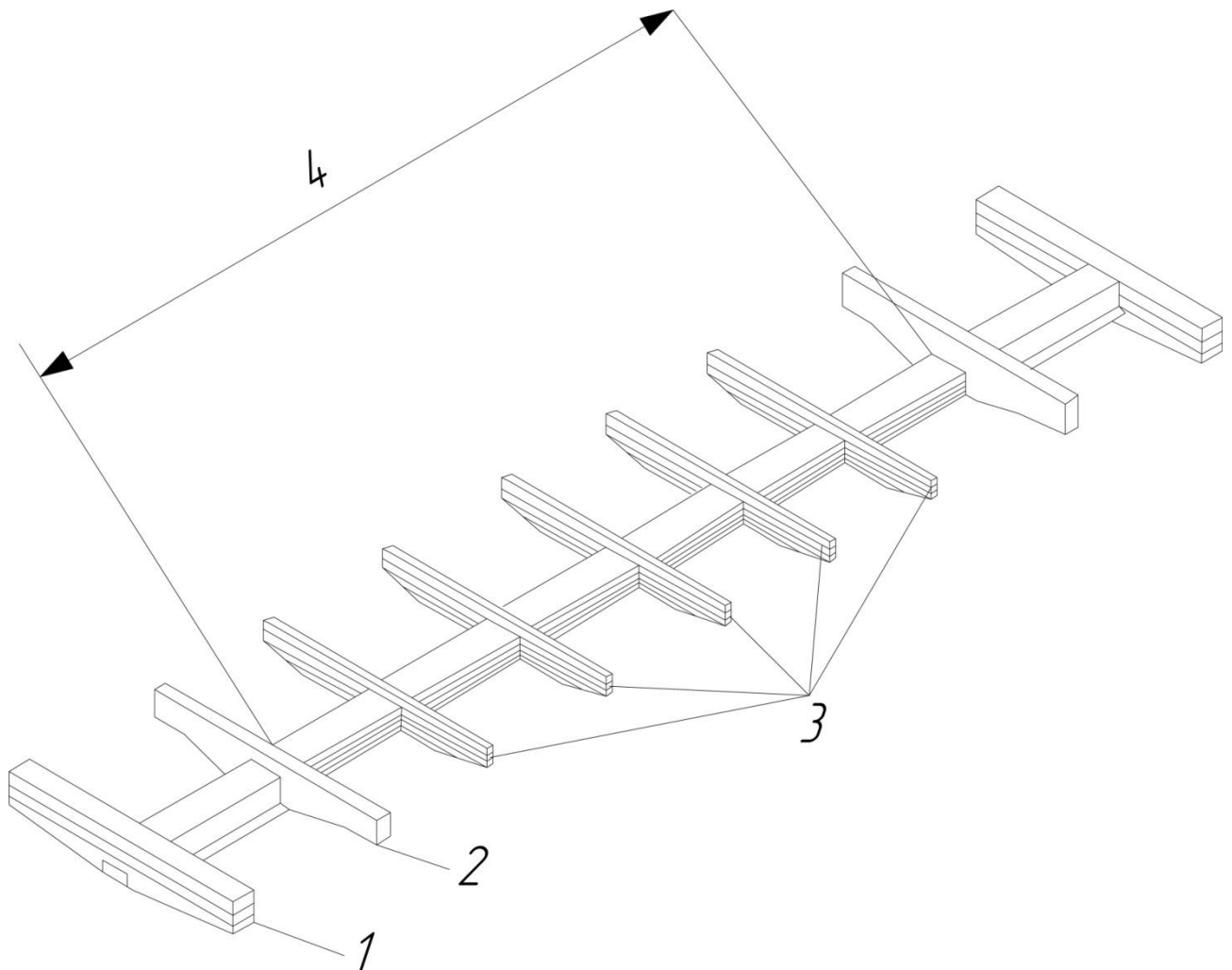


Рисунок 2.2 – Технічне рішення рами піввагона глуходонного з листовими ресорами

Пружні елементи. Модернізація несучих систем вантажних вагонів з метою якісного покращення показників динаміки можлива шляхом виконання опор, які знаходяться між котлом і з'єднувальною балкою візків, у вигляді листових ресор, та удосконалення конструкції з'єднувальної балки візка на основі виконання її із листових ресор, які поглинають енергію коливань, що, як наслідок, покращує показники динаміки залізничної цистерни.

Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечують поглинання енергії коливань та ударів, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності вагона та забезпечує появу додаткових ступенів вільності конструкції та реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності.

На рисунку 2.4 зображено суть запропонованого технічного рішення де опори між котлом та рамою виконано у вигляді листових ресор, тарілчастих пружин та гумометалевих елементів.

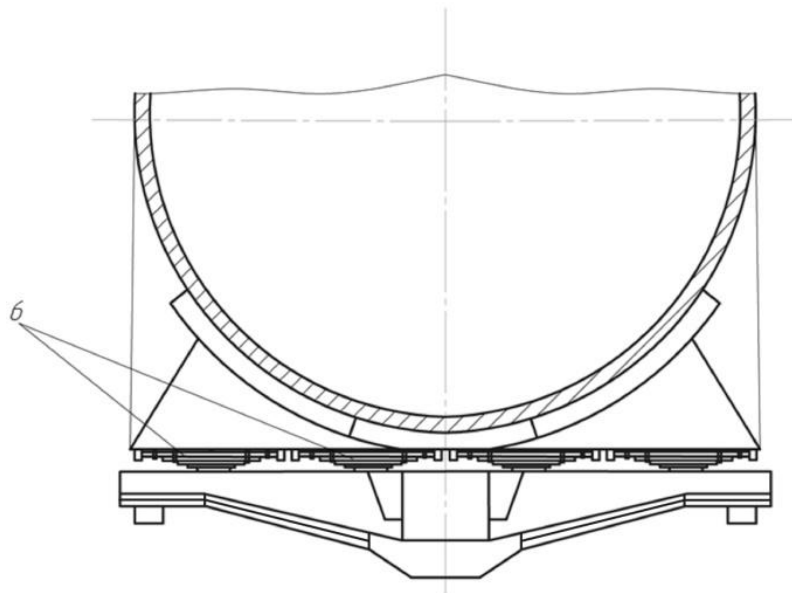


Рисунок 2.4 – Концепт рами залізничної цистерни

## **2.2 Математичне забезпечення визначення показників якості руху вантажних вагонів зі зменшеною тарою**

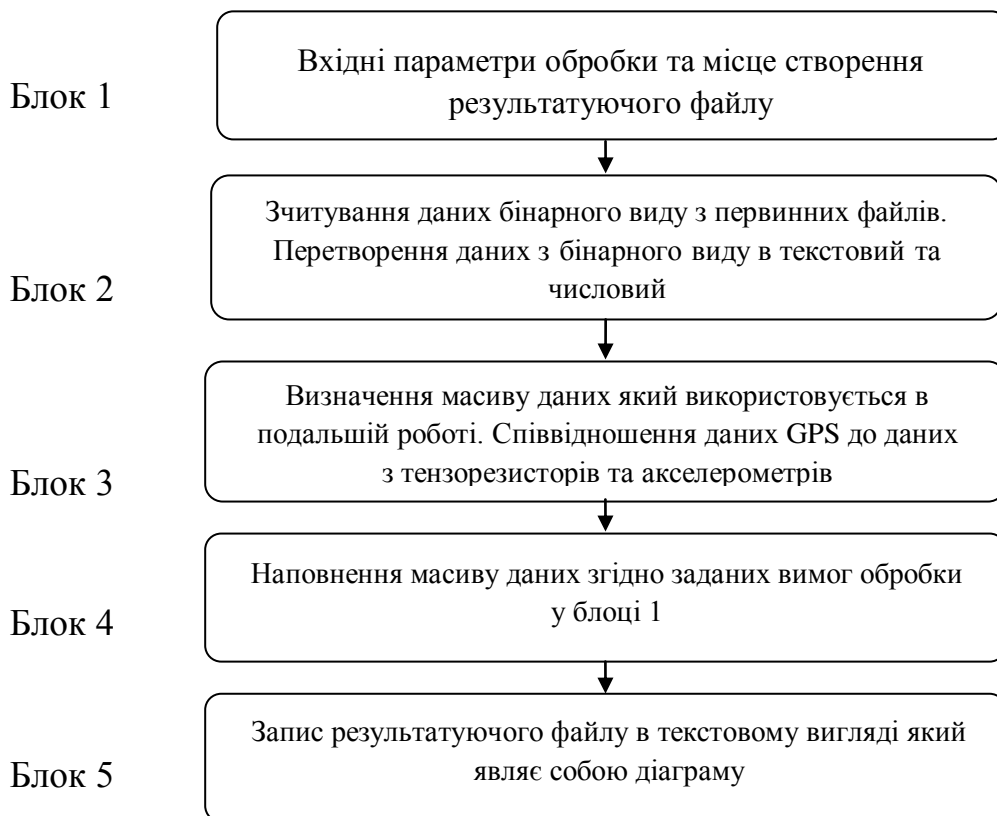
Програмне забезпечення оцінки отриманих експериментальних даних показників якості руху розроблено в програмній оболонці LabView.

В програмній системі LabView реалізовано процес проведення поглибленої обробки результатів ходових динамічних випробувань для виявлення зв'язків

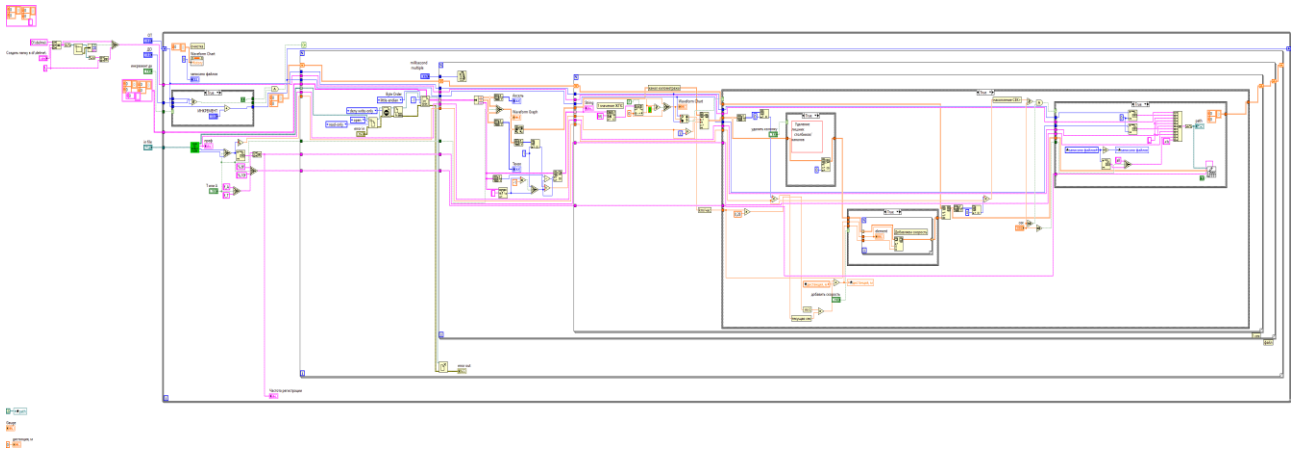
між коливальними процесами несучих конструкцій, оцінка частот при яких відбувається взаємодія між ними та рівні взаємодії.

Вище зазначена обробка результатів випробувань полягає у виконанні кореляційного та спектрального аналізу процесів, досліджених для різних елементів несучих конструкцій. Виміряні в процесі випробувань величини складаються в багатовимірний часовий ряд  $X(t) = \begin{bmatrix} X_1(t) \\ X_p(t) \end{bmatrix}$ , у якого кожний рядок  $X_p(t) = [x_{p1} \dots x_{pn} \dots x_{pN}]$  – одновимірний ряд одного вимірювального каналу.

На рисунку 2.7а та 2.7 б приведено блок-схему розробленого програмного забезпечення для оцінки отриманих експериментальних даних показників якості руху та складається з 5 основних блоків.



а)



a)

Рисунок 2.7 – схема програмного забезпечення для оцінки отриманих експериментальних даних

В блоці 1 задаються вхідні параметри обробки результатів та вказується місце створення результуючого файлу (рис. 2.8).

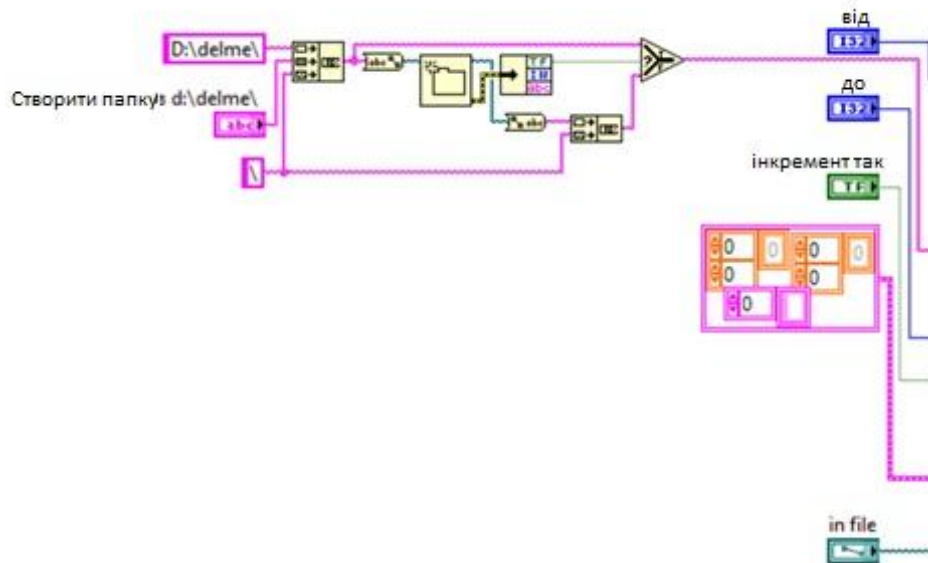


Рисунок 2.8 – Схема блоку 1

В блоці 2 виконується зчитування первинних даних бінарного виду з первинних файлів. Перетворення даних з бінарного виду в текстовий та числовий (рис. 2.9)

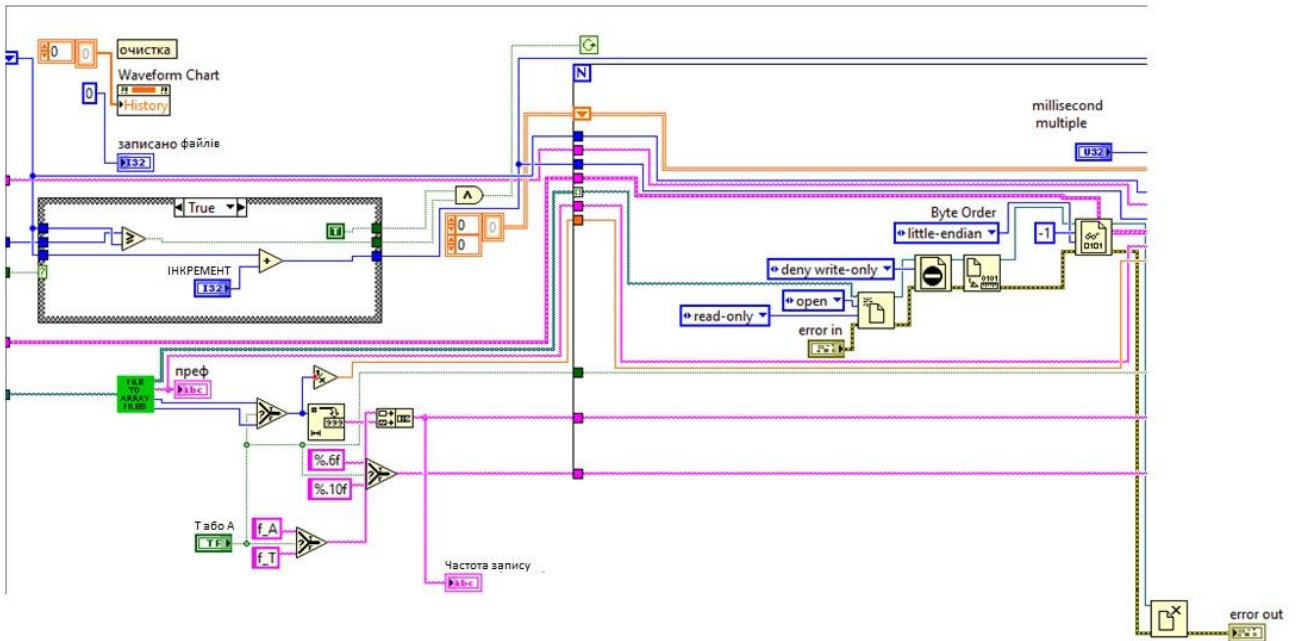


Рисунок 2.9 – Схема блоку 2

В блоці 3 відбувається визначення масиву даних який використовується в подальшій роботі (стільки отримано значень тензорезисторів, акселерометрів, GPS). Визначається кількість прийнятих значень GPS у співвідношенні до кількості значень отриманих від тензорезисторів та акселерометрів, формується масив значень які приходять на одне значення GPS (рис. 2.9).

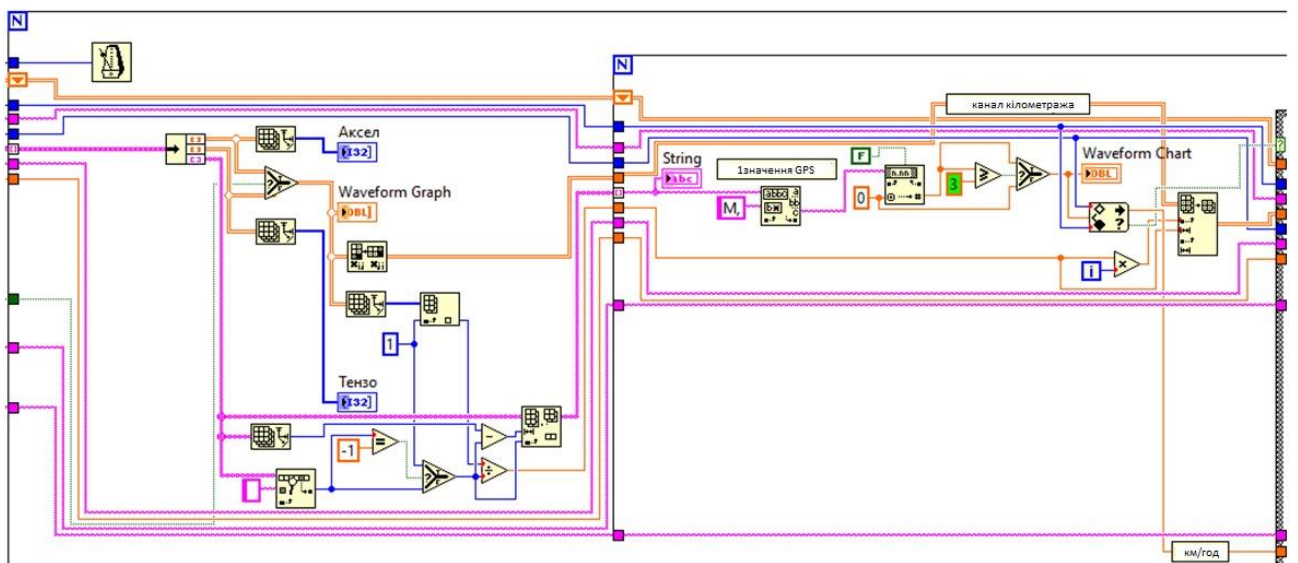


Рисунок 2.10 – Схема блоку 3

У блоці 4 відбувається наповнення масиву даних які відповідають задним вимогам до обробки у блоці 1 діапазони швидкості, кількість значень на діапазон та ін. (рис. 2.11).

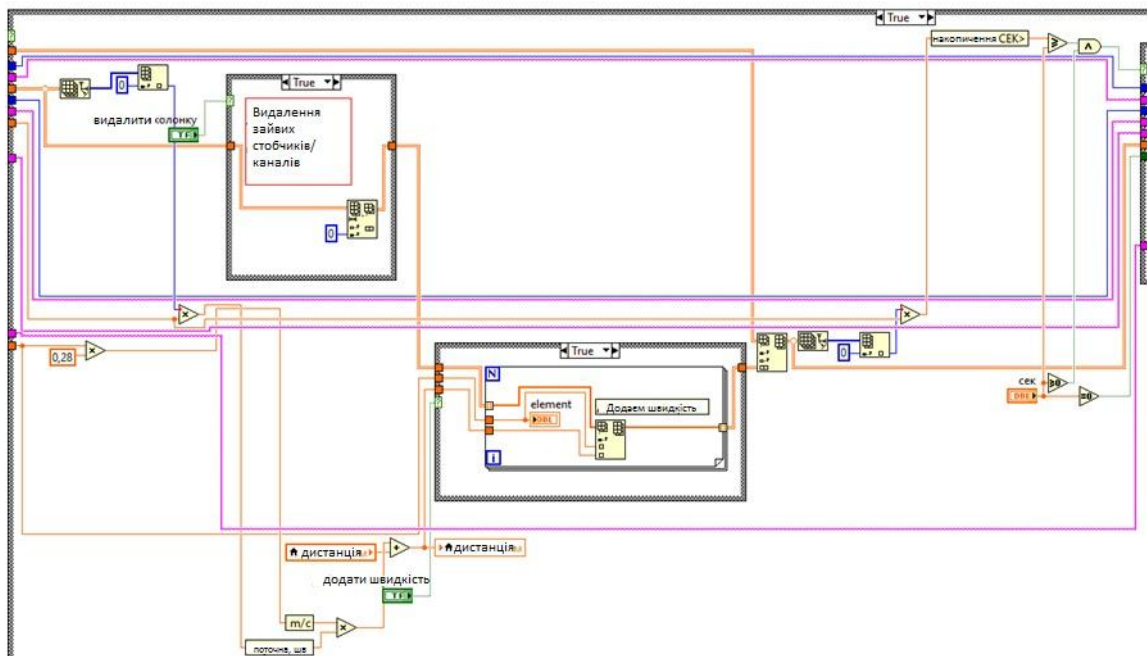


Рисунок 2.11 – Схема блоку 4

В блоці 5 (рис. 2.12) записується результуючий файл по накопиченому масиву даних в блоці 4 в текстовому вигляді та представляє собою осцилограму (рис. 2.13).

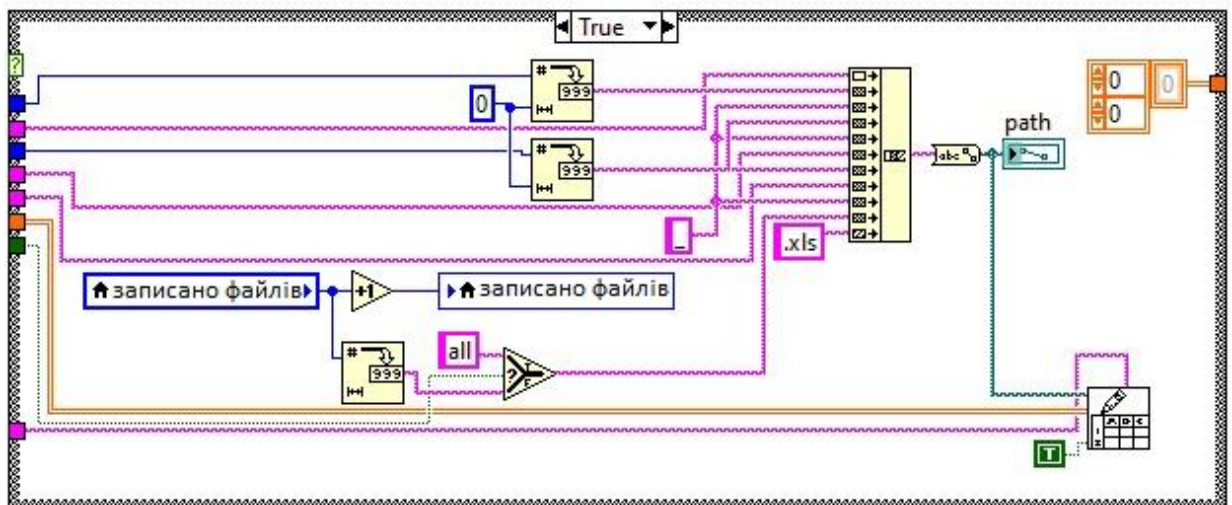


Рисунок 2.12 – Схема блоку 5

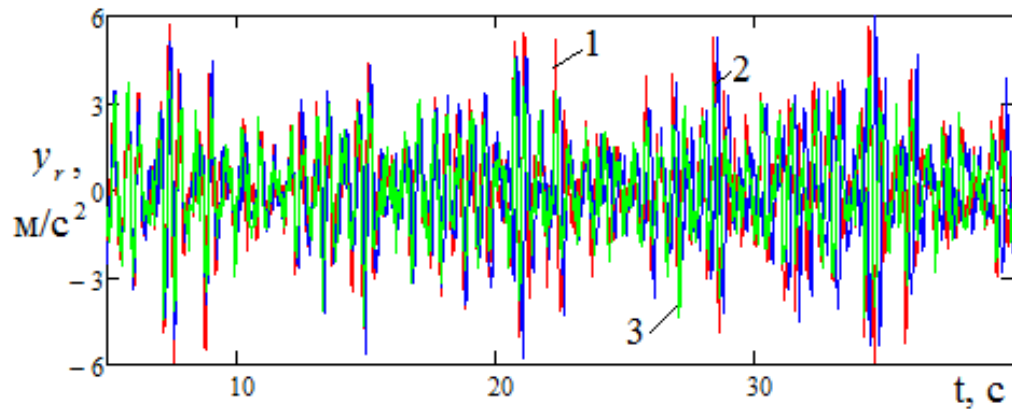


Рисунок 2.13 – Приклад осцилограми результуючого файлу з вимірювання прискорень

Далі результуючий файл необхідно піддати фільтруванню лінійним цифровим фільтром.

Для оцінки показника плавності рухомого складу використовується розроблений спеціалізований програмний модуль в програмній оболонці LABVIEW.

Програмний модуль представляє собою закінчений додаток, вхідними даними якого являються відцифровані осцилограми отримані від датчиків прискорення та зареєстровані програмно апаратним реєстратором на базі програмованого контролера після первинної обробки.

Результатом являється значення показника плавності  $W$  для вхідної реєстрації.

Вхідні данні для роботи додатку представлені у вигляді двомірного масиву  $(i, j)$ , де колонка це номер вимірювального каналу, а строчка - представлена функцією  $F(t)$ .

Загальний вигляд блок-діаграми LabView приведено на рисунку 2.14

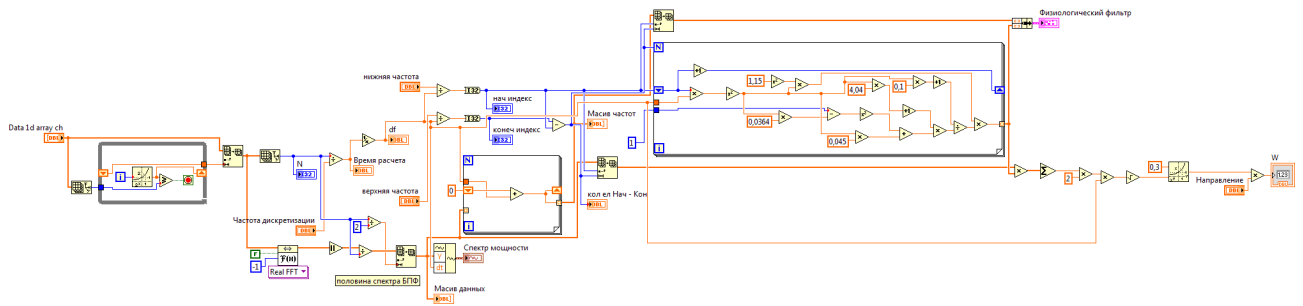
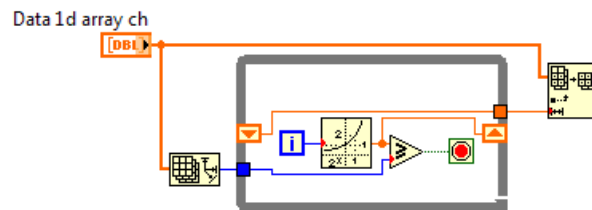


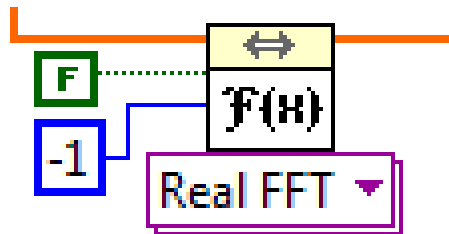
Рисунок 2.14 – Блок-діаграма розробленого фільтра

Алгоритм роботи додатку наступний:

Визначається розмір вхідного блоку для розрахунків. Розмір вхідного блоку визначається числом за основи 2.



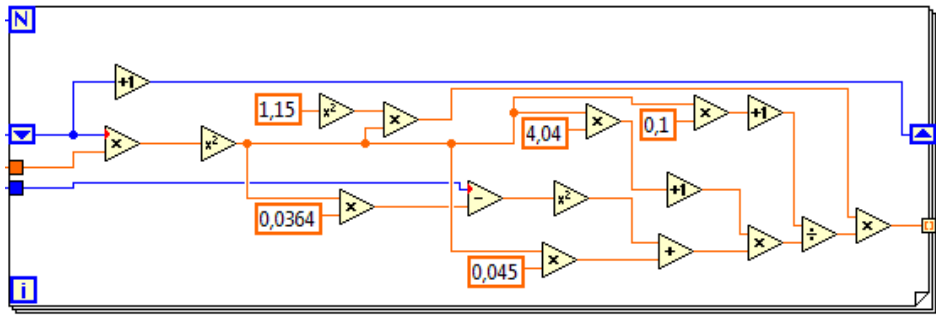
За допомогою вбудованої функції LABVIEW виконується перетворення Фур'є для побудови спектру потужності.



На основі перетворення Фур'є будуються масиви частот та масив даних в заданому діапазоні частот від 0,5 Гц до 20 Гц.

Розраховуються значення нормованої амплітудно-частотної характеристики коригуючого фільтра  $q_n(f)$  за формулою:

$$q_n(f) = 1.15f \sqrt{\frac{(1+0,1f^2)}{(1+4,04f^2)((1+0,0364f^2)^2+0.045f)}} \quad 2.1$$



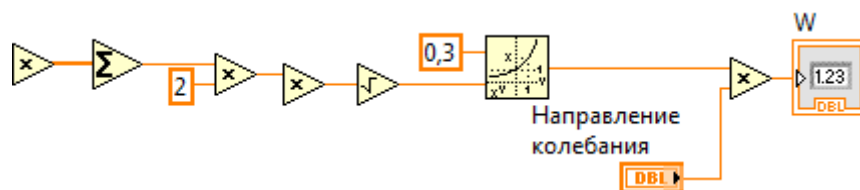
Кінцевий показник плавності ходу  $W$  для вхідного масиву обчислюють за формулою:

$$W = \alpha \cdot \tilde{a}_k^{0.3}$$

де  $\alpha=4,346$  для вертикальних коливань;

$\alpha=4,676$  для горизонтальних (поперечних) коливань;

$\tilde{a}_k^{0.3}$  - середнє квадратичне значення віброприскорення на виході коригуючого фільтра,  $\text{м/с}^2$



Для оцінки показників безпеки та якості руху рухомого складу використовується функція цифровий фільтр Баттерворта програмної оболонки LABVIEW (рис. 2.15).

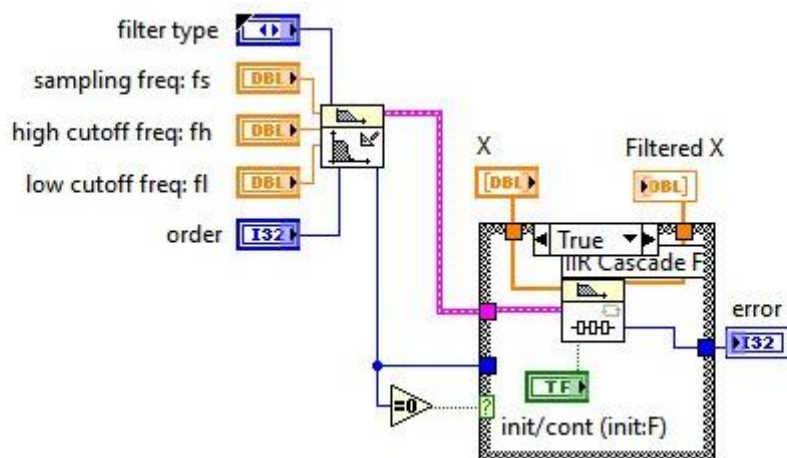


Рисунок 2.14 – Блок-діаграма фільтра Баттерворта

Функція передачі фільтра Баттерворта приведена нижче:

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{2n}}}, \quad (2.2)$$

де  $\omega_0$  - частота зрізу (вона складає 1 рад/с),  $n$  – порядок фільтра.

Коефіцієнт передачі на 0 часто складає 1, на частоті зрізу не залежачи від порядку фільтра є  $1/\sqrt{2} = 3\text{дБ}$ . При  $\omega$  яка наближається до  $\infty$  АЧХ наближається до нуля. АЧХ фільтра Баттерворта є максимально плоскою при  $\omega=0$  та  $\omega=\infty$ . В цілому АЧХ спадає від 1 до 0 при зміні частоти від 0 до  $\infty$  (рис. 2.15).

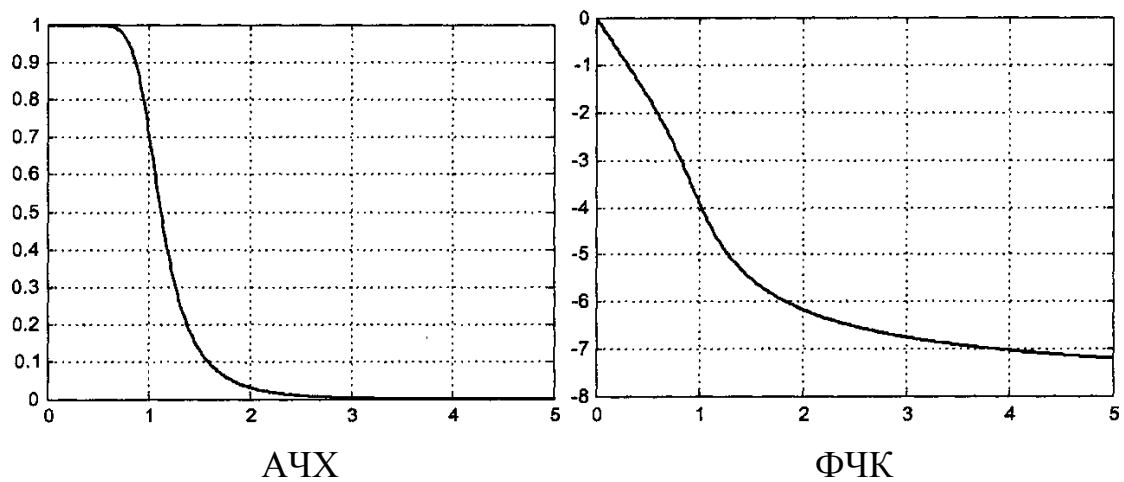
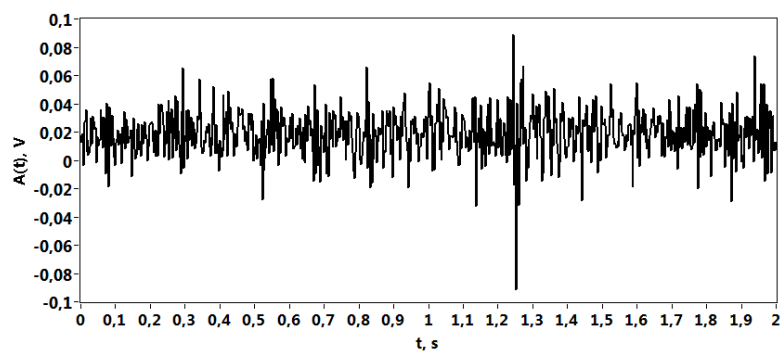
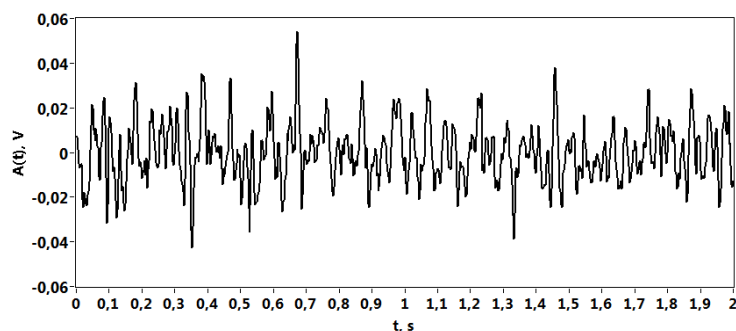


Рисунок 2.15 – Характеристика фільтра Баттерворта

На рисунку 3.16 наведені результати фільтрації сигналу, до фільтрації (рис. 2.16 а) і після (рис. 2.16 б) проходження фільтра.



а)



б)

Рисунок 2.16 – Приклад роботи фільтру

### 2.3 Програмне забезпечення для збору та реєстрації вимірювань

Програмне забезпечення системи збору та реєстрації даних виконує реєстрацію, зберігання та візуалізацію зміни інформаційних каналів (акселерометри, тензорезистори). Для аналізу впливу швидкості руху на зміну досліджувальних параметрів використовуються показання модуля GPS. На рисунку 3.26 приведена блок-схема системи збору та реєстрації вимірюваних параметрів.

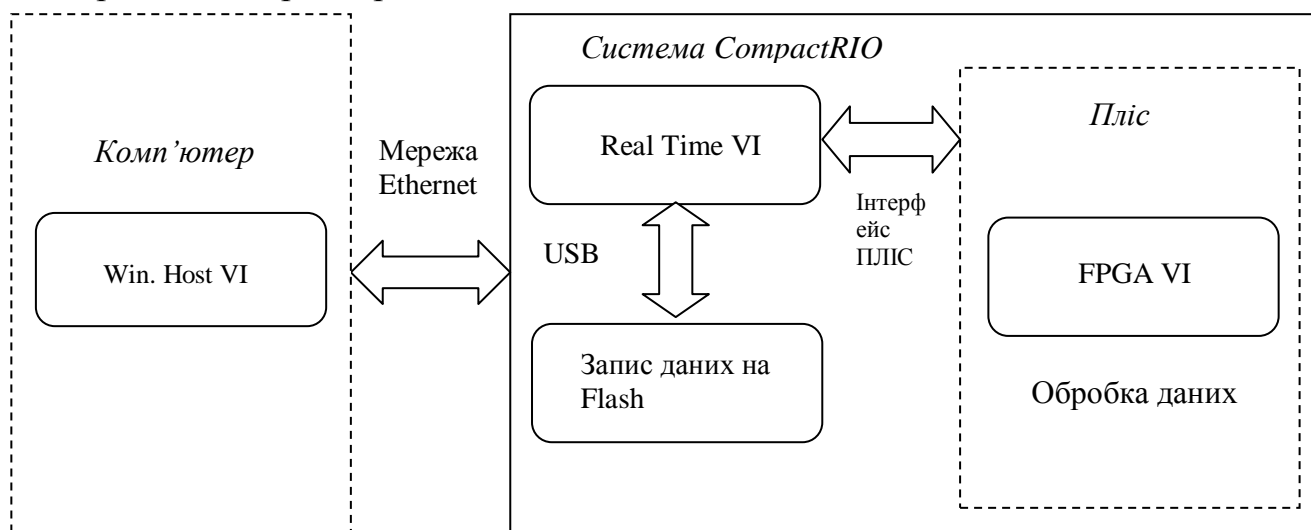


Рисунок 3.26 – Блок-схема системи збору та реєстрації вимірюваних параметрів

Програмне забезпечення мобільної системи розроблено по схемі, яка розділяє його на три групи: віртуальна (HOST VI на ПК, що управляє), Real Time VI на контролері (з власною ос) та FPGA VI на ПЛІС (роботи програми відбувається безпосередньо на апаратному рівні).

Функціонал що виконується за допомогою HOST VI на робочій станції з програмним забезпеченням Windows:

- збереження та доступ до даних;
- виведення інтерфейсу.

На контролері в Real Time VI в режимі реального часу виконується функціонал:

- обробка зареєстрованих даних;
- управління процесом запису;
- збереження даних на контролер та Flash накопичувачі.

Функціонал що виконується в FPGA VI на ПЛІС:

- введення та виведення даних вимірювань;
- управління процесом взаємодії мобільної системи
- обробка вимірювальних даних.

ПЛІС – це мікросхема, функціонал якої визначається при програмуванні в залежності від поставлених задач. ПЛІС призначений для задавання конфігурації, синхронізації, керування, збору даних, попереднього цифрового оброблення сигналів та керування модулями введення-виведення даних. LabView FPGA є доповненням до програмного пакета LabView, який задає логічні роботи ПЛІС у вигляді віртуального пристрою замість програмування. LabView FPGA виконує процес перетворення віртуального приладу у вигляд бінарного коду ПЛІС. Результатом перетворення є бінарний файл який визначає конфігурацію ПЛІС. Під час запуску програми бінарний файл завантажується на шасі та відбувається процес конфігурації ПЛІС. Даний файл може бути збережений у вудовану пам'ять та автоматично завантажуватись при запуску системи.

## 2.4 Висновки по розділу 2

Сформульовано концепцію технічних рішень несучих систем вантажних вагонів зі зменшеною тарою для покращення показників динаміки та міцності. Суть запропонованих покращень полягає у застосуванні шарнірних елементів в його конструкції замість існуючих нерухомих елементів (суцільні балки, зварні з'єднання). Дані технічні рішення забезпечують появу додаткових ступенів вільності конструкції та реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах.

Запропоновано методику поглибленої обробки результатів ходових випробувань рухомого складу. Суть полягає у виконанні спектрального аналізу динамічних процесів для різних елементів несучих конструкцій вантажного вагона, з метою виявлення взаємозв'язків між коливальними процесами несучих конструкцій та частотами при яких відбувається взаємодія між ними. Розроблений програмний алгоритм поглибленої оцінки експериментальних показників якості руху вантажних вагонів зі зменшеною тарою.

### **3 ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНИХ ЗАСОБІВ ТА ПІДХОДІВ ПРОВЕДЕННЯ ТА ОЦІНКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ХОДОВИХ ВИПРОБУВАНЬ**

#### **3.1 Мобільна система для визначення показників якості руху в умовах експлуатації**

Експлуатація рухомого складу та складних технічних програмно-апаратних систем, як правило схильні до відмов. Причинами таких відмов можуть слугувати: недотримання технології виготовлення, складні умови використання, недотримання вимог до експлуатації таких систем та рухомого складу, старіння і зношення вузлів. Тому актуальною та важливою задачею є впровадження на залізницях України періодичних випробувань та діагностики рухомого складу протягом їх життєвого циклу.

На даний час розвиток вимірювальної техніки та систем дають можливість для реалізації передових інструментальних підходів з оцінки показників якості та безпеки руху поїздів та прийняття мір з попередження аварійних ситуацій. Успішний досвід з впровадження систем діагностування локомотивів та пасажирських вагонів обґрунтовує доцільність подальшого вдосконалення методів та засобів експериментальної оцінки динамічних якостей та показників якості та безпеки руху протягом всього періоду експлуатації рухомого складу.

##### **3.1.1 Загальні вимоги до мобільної системи визначення показників якості руху**

Мобільна система з визначення показників якості та безпеки руху рухомого складу в експлуатації повинна включати в себе:

- датчики первинні перетворювачі;
- приймача GPS;
- кабелі для передачі сигналів;
- системи збору та реєстрації вимірювальних показників;
- передачу даних про місце положення та статус системи на сервер;

- визначення та оцінка показників якості та безпеки руху в режимі експрес-обробки.

Датчики первинні перетворювачі – тензорезистори та акселерометри. Кабелі призначені для з'єднання датчиків з реєструючими замобами, робота напруга яких  $\pm 10$  В. Кабелі екрановані 6-ти жильні, стійкі до впливу зовнішніх чинників з температурою експлуатації від  $-40$  до  $+80^{\circ}\text{C}$ .

Мобільна система повинна забезпечувати автономне проведення динамічних випробувань рухомого складу для визначення коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок вертикальні та бічні сили та прискорення обрєсорених та необрєсорених частин рухомого складу, як основі складові оцінки якості проведення планових видів ремонтів та визначення показників якості та безпеки руху в умовах експлуатації.

Під час проведення ходових динамічних випробувань реєструються такі показники: вертикальні та горизонтальні поперечні прискорення рам візків та кузова вагона, динамічні напруження в рамах кузова та візків при різних режимах руху.

### **3.1.2 Апаратна частина та первинні перетворювачі мобільної системи**

Мобільна система для ходових динамічних випробувань та оцінки показників якості та безпеки руху на базі National Instruments CompactRIO вирішує широкий перелік задач, які спрямовані на контроль технічного стану рухомого складу під час випробувань так і в режимі звичайної експлуатації.

Тензорезистори з'єднуються з тензометричним модулем NI 9237 (рис.3.1), а акселерометри з модулем АЦП NI 9205 (рис. 3.2), вони здійснюють масштабування миттєвих значень вхідної напруги й аналого-цифрове перетворення в цифровий код.



Рисунок 3.1 – Модуль NI 9237



Рисунок 3.2 – Модуль NI 9205

Цифрові сигнали по внутрішній шині передаються з модулів NI 9237 та NI 9205 у контролер NI 9012 (рис. 3.3), з виходу якого по інтерфейсній шині Ethernet надходять у комп'ютер, де проводиться обробка, відображення й зберігання вимірювальної інформації.



Рисунок 3.3 – Контролер NI 9012

Програмне забезпечення виконує функції управління процесом запису, початкового налаштування режиму реєстрації сигналів від вимірювальних каналів, режимами роботи автоматичного реєстратора, математичні функції обробки, представлення і зберігання вимірювальної інформації. Складається з наступних блоків:

- програмне забезпечення для прошивання програмованої логічної
- інтегральної мікросхеми (ПЛІС), розташованої в шасі NI 9104 (рис. 3.4);
- прикладного програмного забезпечення контролера NI 9012;
- клієнтської частини прикладного програмного забезпечення реєстратора хост-комп'ютера.



Рисунок 3.4 – Шасі NI 9104

Програмне забезпечення програмно-апаратного реєстратора розроблено в програмній оболонці LabView FPGA.

Прикладне програмне забезпечення призначене для того, щоб на апаратному рівні із заданою частотою дискретизації зчитувати з обраних користувачем каналів вимірювальні дані, вибирати тип підключення виходів первинних вимірювальних перетворювачів, і встановлювати межі виміру напруги.

Прикладне програмне забезпечення контролера NI 9012 складається із двох частин. Перша частина здійснює зчитування даних з модулів АЦП NI 9237 та NI 9205, проводить обробку даних і робить запис в енергонезалежну пам'ять контролера. Друга частина здійснює передачу даних по протоколу керування передачею Transmission Control Protocol (TCP) на зовнішній комп'ютер.

Програмне забезпечення комп'ютера за допомогою інтерфейсу користувача, виконує загальні керуючі функції та відображає поточні виміри на екрані монітора.

Мобільна система може працювати в двох функціональних режимах: оцінка показників якості, безпеки руху та показників міцності в режим реального часу (рис. 3.5) та вимірювання величин прискорення, деформації в автономному режимі на рухомому складі з подальшою обробкою (рис. 3.6). Під час обробки отриманих величин використовуються дані отримані за допомогою GPS-приймача, для оцінки впливу зміни швидкості руху на контрольовані параметри.

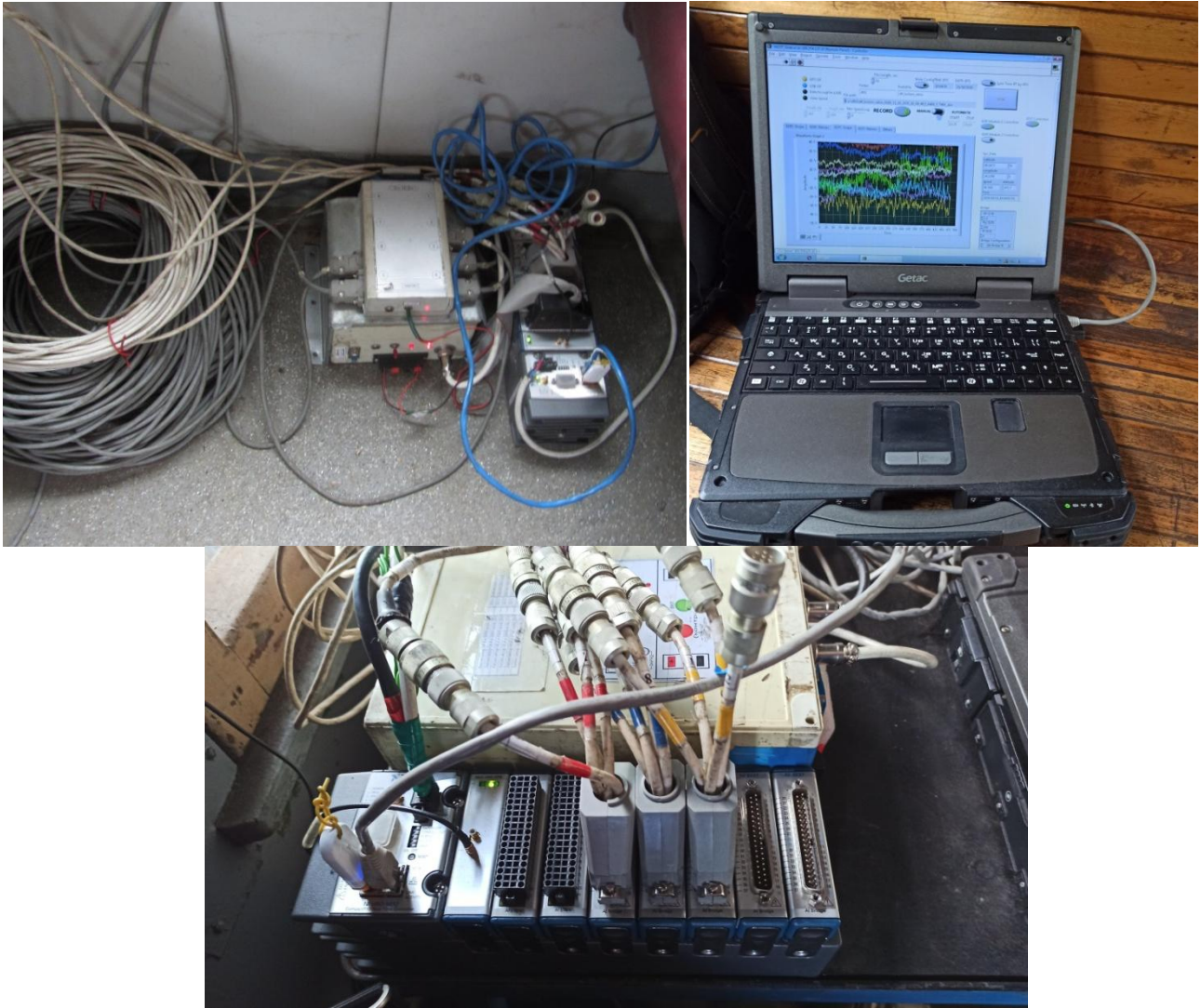


Рисунок 3.5 – Мобільна система в режимі реального часу



Рисунок 3.6 – Мобільна система в автономному режимі

Загальну блок-схему мобільної системи діагностики наведено на рисунку 3.7.

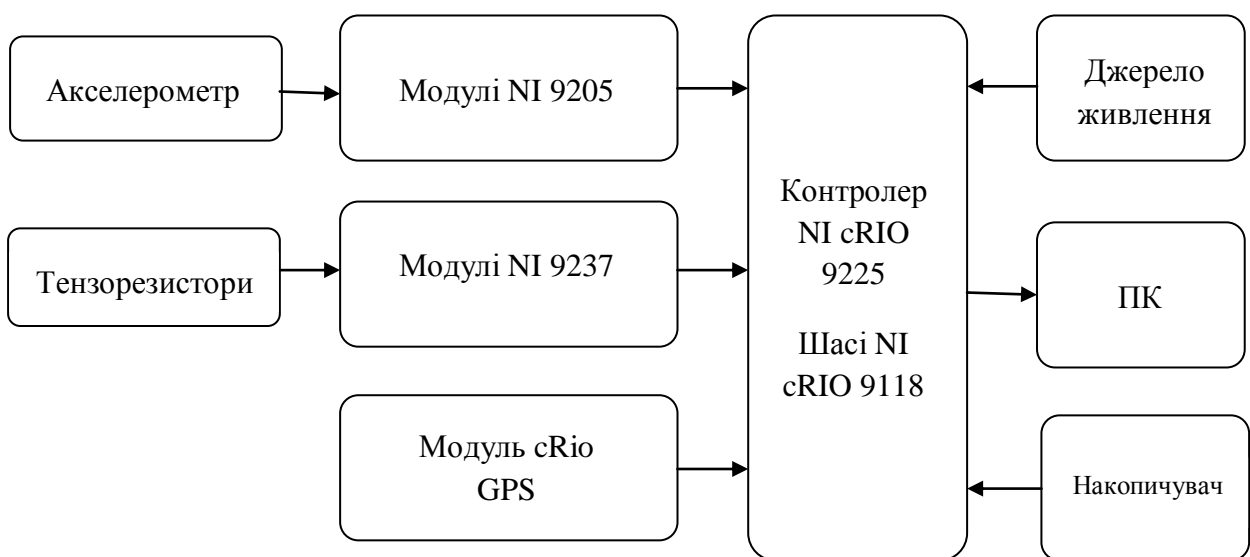


Рисунок 3.7 – Блок схема мобільної системи

Для вимірювання та оцінки динамічних показників рухомого складу використовуються розроблені філією «НДКТІ» низькочастотні акселерометри типу УМ. Він складається з ударостійкого та водо непроникаючого корпусу, плати з мікросхемою ADXL 278, роз'ємна УЗНЦ 05-7/12ВП11 та елементів кріплення. Загальний вид акселерометра наведено на рисунку 3.8.

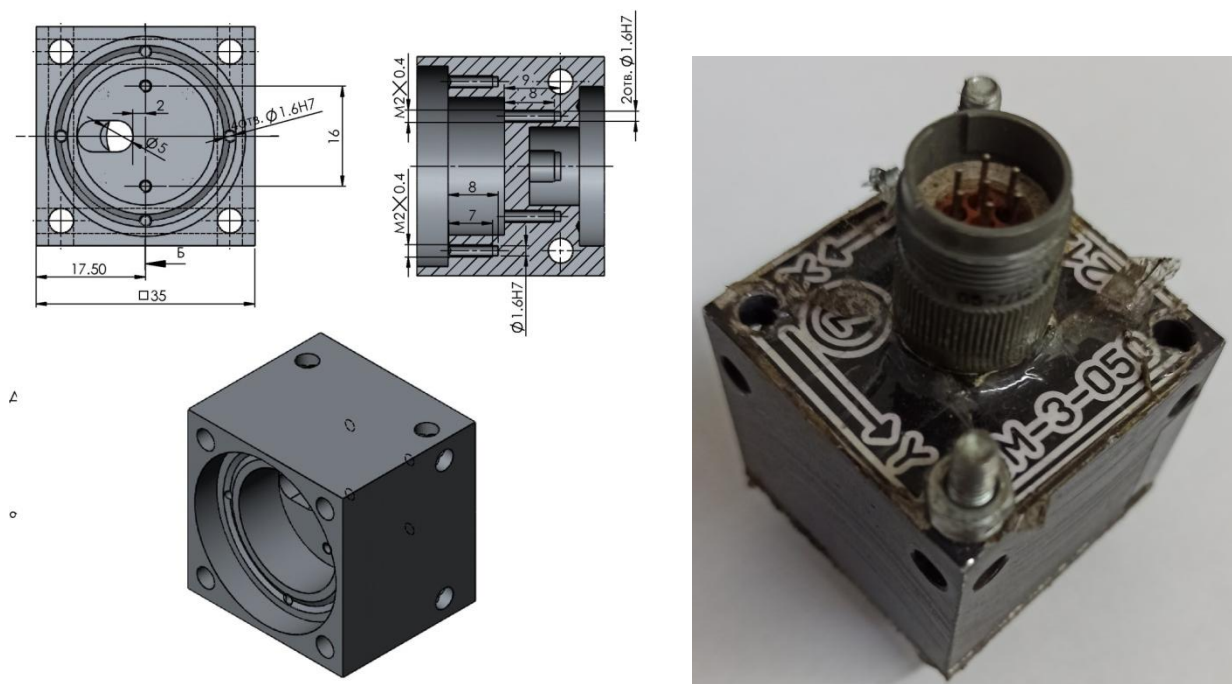


Рисунок 3.9 – Акселерометр типу УМ

Плата з мікросхемою ADXL 278 розроблена в лабораторії НДКТІ та включає в себе мікросхему Analog Devices ADXL 278.

Схема акселерометра приведена на рисунку 3.10.

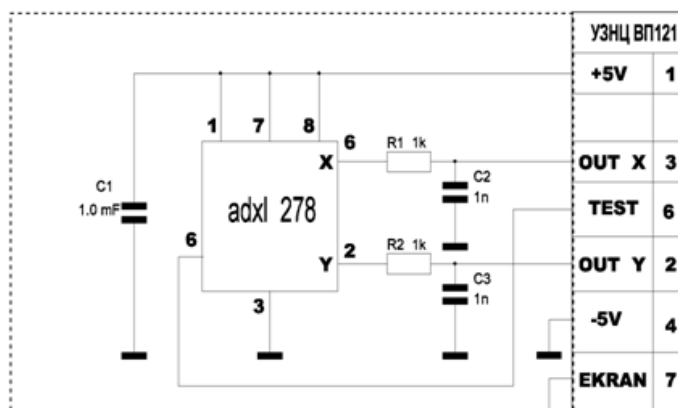


Рисунок 3.10 – Схема акселерометра

Загальні технічні вимоги до акселерометрів які використовуються в мобільній системі діагностики.

Таблиця 3.1 – Технічні вимоги до акселерометрів

№	Зона розміщення	Діапазон, м/с <sup>2</sup>	Діапазон частот, Гц	Невизначеність
1	Буксовий вузол	±500	0,5-100	Від 0,5 до 5 Гц U=2,5% Від 5,1 до 19 Гц U=1,5% Від 20 до 100 Гц U=1%
2	Рама візка	±350	0,5-100	Від 0,5 до 5 Гц U=2,5% Від 5,1 до 19 Гц U=1,5% Від 20 до 100 Гц U=1%
3	Кузов	±100	0,5-100	Від 0,5 до 5 Гц U=2,5% Від 5,1 до 19 Гц U=1,5% Від 20 до 100 Гц U=1%

Отримані віброприскорення можна використовувати для оцінки показників якості колії для виявлення точкових геометричних відхилень, які впливають на показники динаміки руху рухомого складу. Дані вимірювання необхідно використовувати з даними отриманими від GPS та основними вимірювальними параметрами.

Віброприскорення необхідно вимірювати у визначених місцях кузова та візка, місця обирають в залежності який показник необхідно оцінити. Вертикальні прискорення на буксах вимірюють для оцінки поверхневих нерівностей колії. Поперечні прискорення візка вимірюють для оцінки відхилень колії у вигляді коротких хвиль. Вимірювання поперечних та

вертикальних прискорень кузова дає змогу оцінити динамічні показники якості руху рухомого складу. Швидкість при якій проводяться вимірювання прискорення кузовів та візків повинна виконуватися в встановленому робочому діапазоні.

### 3.2 Порівняльні ходові динамічні випробування вагонів платформ моделі 13-401-17

Об'єктами досліджень є два вагона-платформи для перевезень великовантажних контейнерів моделі 13-401-17 (№ 94227717 з модернізацією за проектом С.14.01 1983 року виготовлення, № 94287356 з модернізацією за проектом С.03.04-ковзуни А.СТАКИ 1982 року виготовлення) в порожньому стані, виготовлені ВАТ «Дніпровагонмаш».

В результаті зважування маса вагона-платформи моделі 13-401-17 № 94227717 становить 18,5 т, маса вагона-платформи моделі 13-401-17 № 94287356 становить 19,3 т.

Випробування проводилися на магістральних коліях дільниці «Дарниця-Бобрик-Заворичі-Бобровиці-Кобижчі-Ніжин» Південно-Західної залізниці в жовтні-листопаді 2017 р. у відповідності з дорученням № Ц-4-25/2061-17 від 16.08.2017 та наказом №440-Н від 13.09.2017 регіональної філії «Південно-Західна залізниця». Після проведення двох поїздок додатково платформа моделі 13-401-17 № 94227717 була завантажена 2 порожніми 20 футовими контейнерами загальною масою 4,32 т.

Реєстрація процесів проводилась з використанням тензорезисторів, які встановлювались на елементах конструкції візків у відповідності зі схемою, наведеною на рисунках 3.11-3.13.

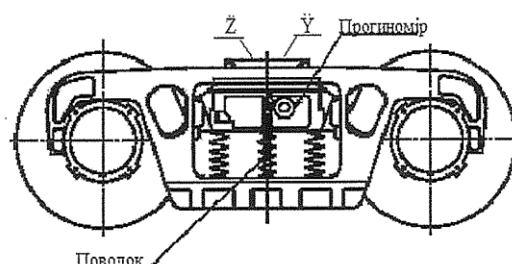


Рисунок 3.11 – Схема розміщення акселерометрів та прогиноміра

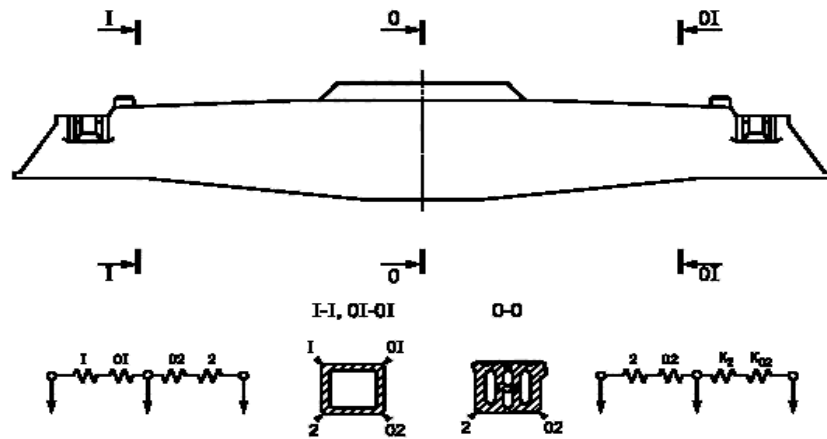


Рисунок 3.12 – Схема встановлення тензорезисторів на надресорній балці

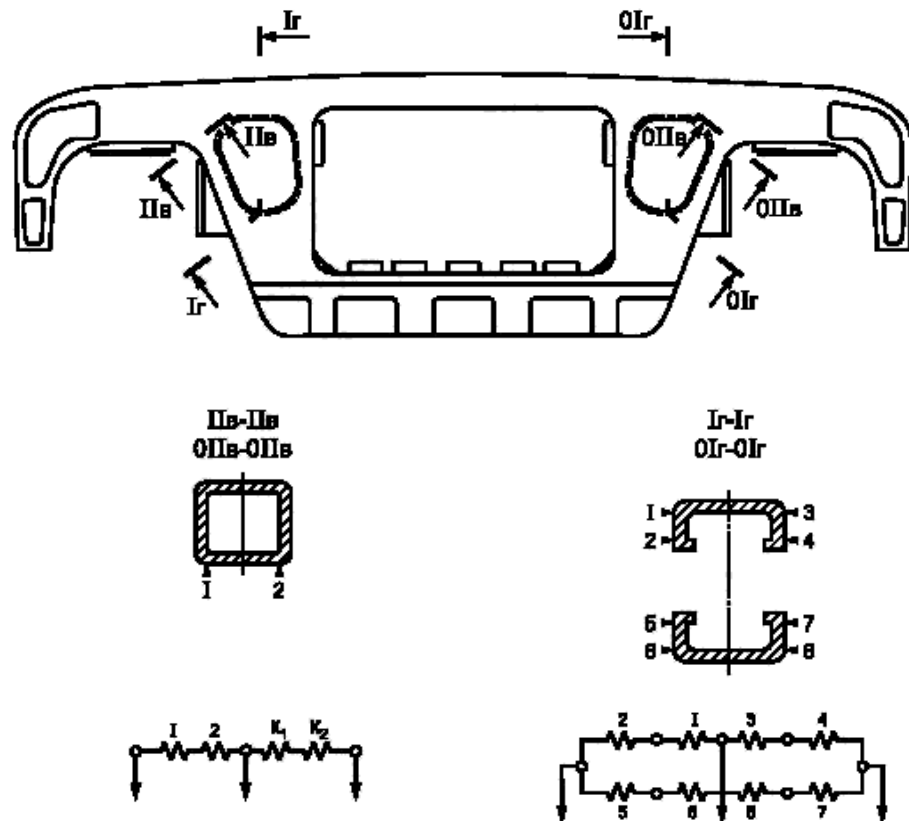


Рисунок 3.13 – Схема розміщення тензорезисторів на бокових рамах візка

На рисунках 2.14-2.16 приведений приклад встановленого вимірювального обладнання на дослідних елементах візка та процес тарування візка горизонтальними та вертикальними силами.



Рисунок 3.14 – Приклад встановлених засобів вимірювальної техніки на боковій рамі



Рисунок 3.15 – Візок із засобами вимірювальної техніки



Рисунок 3.16 – Тарування візка горизонтальними силами

Тезорезистори були з'єднані в напівмостову схему Уїтстона, з одним активним та компенсаційним тензорезистором. Така схема складає вимірювальний канал, який доповнюється тензометричним модулем NI 9237, який здійснює масштабування миттєвих значень вхідної напруги й аналого-цифрове перетворення в цифровий код.

Цифрові сигнали по внутрішній шині передаються з модулів NI 9237 у контролер NI 9012, з виходу якого по інтерфейсній шині Ethernet надходять у комп'ютер, де проводиться обробка, відображення й зберігання вимірювальної інформації.

Програмне забезпечення виконує функції управління процесом запису, початкового налаштування режиму реєстрації сигналів від вимірювальних каналів, режимами роботи автоматичного реєстратора, математичні функції обробки, представлення і зберігання вимірювальної інформації. Складається з наступних блоків:

- програмне забезпечення для прошивання програмованої логічної
- інтегральної мікросхеми (ПЛІС), розташованої в шасі NI 9104;

- прикладного програмного забезпечення контролера NI 9012;
- клієнтської частини прикладного програмного забезпечення реєстратора хост-комп'ютера.

Програмне забезпечення програмно-апаратного реєстратора розроблено в програмній оболонці Lab View FPGA.

Прикладне програмне забезпечення призначене для того, щоб на апаратному рівні із заданою частотою дискретизації зчитувати з обраних користувачем каналів вимірювальні дані, вибирати тип підключення виходів первинних вимірювальних перетворювачів, і встановлювати межі виміру напруги.

Прикладне програмне забезпечення контролера NI 9012 складається із двох частин. Перша частина здійснює зчитування даних з тензометричних модулів АЦП NI 9237, проводить обробку даних і робить запис в енергонезалежну пам'ять контролера. Друга частина здійснює передачу даних по протоколу керування передачею Transmission Control Protocol (TCP) на зовнішній комп'ютер.

Програмне забезпечення комп'ютера за допомогою інтерфейсу користувача, виконує загальні керуючі функції та відображає поточні виміри на екрані монітора.

Обробка результатів випробувань виконувалася на ЕОМ з використанням стандартного програмного математичного забезпечення статистичної обробки процесів. Методика обробки і оцінки результатів випробувань виконана у відповідності з вимогами ДСТУ 7598-2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних), РД 24.050.37-95 «Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний вагонов на прочность и ходовые качества (Вагоны вантажні й пасажирські. Методи випробувань на міцність та ходові якості), ДСТУ ГОСТ 33211-2017 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам».

Обробка даних при статичних навантаженнях виконувалась з використанням автоматизованих комплексів обробки дослідних даних. Величину напружень при статичних випробуваннях визначали за різницею показань засобів вимірювальної техніки до піднімання рами платформи та після нього:

$$\sigma_{\text{вер}} = (\Delta - \Delta_0) \cdot K \quad (3.1)$$

де:  $\Delta$  - показання засобів вимірювальної техніки у завантаженому стані об'єкта випробувань:

$\Delta_0$  - показання засобів вимірювальної техніки у порожньому стані об'єкта випробувань:

$K$  - калібрувальний коефіцієнт засобів вимірювальної техніки, що визначається за формулою (2.2):

$$K = \frac{R_d}{R_{\text{ш}} \cdot A_{\text{ш}}} \quad (3.2)$$

де:  $R_d$  - опір тензорезистора, Ом;

$R_{\text{ш}}$  - опір калібрувального шунта, Ом;

$A_{\text{ш}}$  - амплітуда (відхилення) процесу, виміряна при калібруванні, В.

Результати ходових динамічних випробувань визначались на підставі даних (вимірювань, розрахунків, контролю, візуального огляду) зафіксованих під час проведення вимірювань.

Стійкість колеса від сходу колеса з рейки визначали для найбільш небезпечних випадків поєднання великої поперечної сили взаємодії колеса, що набігає, з рейкою та малим вертикальним навантаженням на це колесо. При одночасній, протягом деякого часу, дії такого поєднання екстремальних сил можливе вкочування гребеня колеса, що набігає, на головку рейки і подальший схід вагона з рейки.

Обробка даних ходових динамічних випробувань вагонів передбачає розшифровку, ідентифікацію та систематизацію параметрів зареєстрованих динамічних процесів. При обробці враховуються показники якості ходу вагона

- до 20 Гц. Частота квантування при обробці дослідних даних на ЕОМ повинна бути не менше 100 Гц.

Дослідні дані групуються за діапазонами швидкостей руху (10-20 км/год), характерних особливостей ділянок колії (пряма, крива, стрілки і ін.).

Для оцінки ходових якостей за величинами виміряних динамічних показників вагона, з використанням співвідношень з урахуванням тарувальних даних визначаються ймовірні максимальні значення коефіцієнтів вертикальної динаміки обресорених  $K_{до}$  і необресорених  $K_{дн}$  мас вагона, бічні (рамні) сили, значення коефіцієнтів запасу стійкості від сходу з рейок  $K_{ус}$ .

Максимальні значення коефіцієнтів вертикальної динаміки і рамних сил визначені з довірчою ймовірністю 0,97 (за амплітудним значенням) і 0,97 (по миттєвим значенням), а мінімальні значення коефіцієнтів запасу стійкості від сходу з рейок, з довірчою ймовірністю не більше 0,0001. За величину бокового (рамного) зусилля  $H_p$  приймається сума рамних зусиль, що діють в один і той самий момент часу, на раму від кожної букси однієї колісної пари.

Розрахунок коефіцієнта запасу стійкості вагона проти сходу з рейок при вповзанні гребня колеса на рейку під дією динамічних зусиль, що виникають при русі, коефіцієнтів вертикальної динаміки обресорених і необресорених мас вагона наведені нижче. Коефіцієнт вертикальної динаміки  $K_d$  в загальному вигляді визначено з наступного виразу:

$$K_d = \frac{\sigma_d}{\sigma_{ст}}, \quad (3.3)$$

де  $\sigma_d$  - динамічне напруження від вертикального навантаження в перерізі даного елемента;

$\sigma_{ст}$  - статичне навантаження від вертикального навантаження у тому ж перерізі.

Коефіцієнти вертикальної динаміки визначався для обресорених ( $K_{до}$ ) і необресорених ( $K_{дн}$ ) мас візки.

Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях осевого навантаження) - $K_r$  визначено за формулою [102]:

$$K_{др} = \frac{H_p}{P_o}$$

де:  $H_p$  – горизонтальна бокова рамна сила;

$P_o$  – вертикальне статичне навантаження від осі на рейки.

Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейки  $K_{yc}$  визначено розрахунковим шляхом за інтегральним коефіцієнтом, обчисленим для діапазону експлуатаційних швидкостей при імовірності 0,001, за формулою (3.4; 3.5):

Оцінка стійкості колеса проти сходу з рейки проводилась формулою (3.4; 3.5),

$$K_{yc} = \varepsilon \frac{P_B}{P_6} \geq [K_{yc}], \quad (3.4)$$

$$\varepsilon = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu tg\beta}, \quad (3.5)$$

де  $\beta$  - Кут нахилу твірної гребня колеса до горизонтальної осі;

$$\beta = 60^\circ;$$

$\mu$  - коефіцієнт тертя,  $\mu = 0,25$ ;

$P_B$  - вертикальна складова сили реакції набігаючого колеса на головку рейки;

$P_6$ - горизонтальна складова сили реакції набігаючого колеса на головку рейки, що діє одночасно з  $P_B$  ;

$[K_{yc}]$ - допустиме значення коефіцієнта запасу стійкості.

При використанні візків моделі 18-100 формула (3.6) має вигляд :

$$K_{yc} = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu tg\beta} \cdot \frac{Q_{ш}(1,03 - 1,17K_D^H + K_D^{HH}) + 0,515q_{кп} + 0,305H_p}{Q_{ш}(0,242 + 0,042K_D^H - 0,285K_D^{HH}) + 0,121q_{кп} + 0,92H_p}, \quad (3.6)$$

де  $Q_{ш}$ - сила тяжіння надресорних частин вагона, діюча на шийку осі колісної пари, кН, визначена, за формулою:

$$Q_{ш} = \frac{Q - nq_{кп}}{2n_0}, \quad (3.7)$$

$Q$  - сила ваги вагона, кН,

$q_{кп}$  - сила тяжіння необресорених частин, яка припадає на колісну пару, кН;

$n_0$  - число осей вагона;

$K_{д}^H$  - коефіцієнт вертикальної динаміки на набігаючому колесу;

$K_{д}^{HH}$  - коефіцієнт вертикальної динаміки на ненабігаючому колесу;

$H_p$  - горизонтальна бічна рамна сила.

Значення  $H_p$  прийнято позитивними в разі направлення її в сторону набігання колеса, а  $K_{д}^H$  і  $K_{д}^{HH}$  - в разі розвантаження коліс.

В таблиці 3.2 приведено засоби вимірювальної техніки які використовувалися під час випробувань.

Таблиця 3.2 – Засоби вимірювальної техніки та засобів випробувального обладнання

№ п.п	Назва засобу вимірювальної техніки	Заводський та інвентарний номер	Основні технічні характеристики
1	Термогірометр ИВА-6	Зав.№ 6764	Діапазон вологості 0÷98 %; похибка вимірювань вологості ±1% на 100 <sup>0</sup> С. Розширена невизначеність (вологість): 25,5% -0,6% 51,1%-0,6% 73,3%-0,6% Температура - 40÷60 <sup>0</sup> С, похибка вимірювань температури від -40 до 0 <sup>0</sup> С: ±1 <sup>0</sup> С; від 0 до 60 <sup>0</sup> С: ±0,5 <sup>0</sup> С Розширена невизначеність (температура): -20,0 <sup>0</sup> С -0,13 <sup>0</sup> С, 0,0 <sup>0</sup> С -0,13 <sup>0</sup> С, 60,0 <sup>0</sup> С -0,14 <sup>0</sup> С

2	Автоматичний реєстратор на базі контролера CompactRIO-9012		
	Канал вимірювання швидкості GPS модуль cRio-GPSIB	Зав. №050403015	Швидкість приймача-Розширена невизначеність, км/год 18-0,5 37,05-1,5
	Приймач GPS супутникових навігаційних систем cRio GPS	Зав. №050403015	Систематичне зміщення при визначенні координат-3,6 м. Невизначеність вимірювань U-9.6м
	Аналого-цифровий перетворювач 4-х канальний NI 9237	Зав. № 15741DA Зав. № 16B2C6B Зав. № 168FAAB Зав. № 16B2C37 Зав. № 16B2C3F	Діапазон вимірювань деформацій ±2000 млн-1
3	Тензорезистор типу BF200-10AA-A(11)-BX30	-	База 10 мм, діапазон опору $R = 200,0 \pm 0,5 \text{ Ом}$ , $K = 2,10 \pm 1\%$
4	Акселерометр UM500	Зав. №090004	$\pm 500 \text{ м/с}^2$
5	Акселерометр UM350	Зав. №090002	$\pm 350 \text{ м/с}^2$
6	Акселерометр UM350	Зав. №090005	$\pm 350 \text{ м/с}^2$
7	Акселерометр UM100	Зав. №090004	$\pm 100 \text{ м/с}^2$
8	Вимірювач лінійних переміщень в складі: 1. АЦП NI 9205; 2. датчики переміщень WDS 300-P60-SR-U	1. Зав. № 1383468 2. Зав. № SN 35955	Діапазони вимірювання переміщення від 0,1 до 300 мм. $U = 1,4\%$

Результати випробувань приведені в таблицях 3.3– 3.5.

Таблиця 3.3 – Результати ходових динамічних випробувань вагона-платформи для великотоннажних контейнерів моделі 13-401-17 № 94227717 у порожньому режимі

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту)	Значення показника											
		За документацією	Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
			40	Невизначеність	50	Невизначеність	60	Невизначеність	70	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коефіцієнт вертикальної динаміки обрешкованої маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,23	0,004	0,23	0,004	0,35	0,007	0,32	0,006	0,38	0,007	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необрешкованої рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,37	0,007	0,44	0,008	0,56	0,011	0,52	0,01	0,58	0,011	
Рамні сили $H_p$ , т	-	-	0,5	0,008	0,8	0,016	1,0	0,016	1,2	0,019	1,4	0,022	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях $P_0$ ( $H_p/P_0$ ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,11	0,002	0,17	0,003	0,21	0,004	0,26	0,005	0,3	0,006	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,26	0,025	1,24	0,024	1,23	0,024	1,18	0,023	1,15	0,023	



Таблиця 3.4 – Результати ходових динамічних випробувань вагона-платформи для великотоннажних контейнерів моделі 13-401-17 № 94227717 у порожньому режимі завантаженого порожніми контейнерами

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту)	За документацією	Значення показника										
			Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
1	2	3	40	Невизначеність	50	Невизначеність	60	Невизначеність	70	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,21	0,004	0,23	0,004	0,28	0,005	0,32	0,006	0,35	0,007	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,32	0,006	0,35	0,007	0,43	0,008	0,48	0,009	0,52	0,010	
Рамні сили $H_p$ , т	-	-	0,6	0,09	0,9	0,014	1,2	0,019	1,35	0,021	1,5	0,024	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях $P_0$ ( $H_p/P_0$ ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,105	0,002	0,15	0,003	0,21	0,004	0,23	0,004	0,28	0,005	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,6	0,032	1,56	0,031	1,5	0,03	1,48	0,029	1,41	0,028	



Таблиця 3.5 – Результати ходових динамічних випробувань вагона-платформи для великотоннажних контейнерів моделі 13-401-17 № 94287356 з ковзунами А.СТАКИ

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту)	За документацією	Значення показника										
			Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
1	2	3	40	Невизначеність	50	Невизначеність	60	Невизначеність	70	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,19	0,003	0,22	0,004	0,25	0,005	0,28	0,005	0,3	0,006	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,29	0,005	0,31	0,006	0,37	0,007	0,42	0,008	0,47	0,009	
Рамні сили $H_p$ , т	-	-	0,5	0,008	0,7	0,011	0,9	0,014	1,05	0,016	1,3	0,02	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях $P_0$ ( $H_p/P_0$ ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,1	0,002	0,14	0,002	0,18	0,003	0,21	0,004	0,2	0,004	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,62	0,032	1,58	0,031	1,52	0,03	1,5	0,03	1,45	0,029	



Висновки за результати випробувань. Вагон-платформа моделі 13-401-17 № 94227717 при завантаженні двома порожніми контейнерами загальною масою 4,32 т та вагон-платформа моделі 13-401-17 № 94287356 з модернізацією за проектом С.03.04-ковзуни А.СТАКИ по показникам ходових якостей повністю **відповідають** вимогам ДСТУ 7598-2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних), ДСТУ ГОСТ 33211-2017 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам».

Вагон-платформа № 94227717 в порожньому режимі **відповідає** вимогам ДСТУ 7598-2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних), ДСТУ ГОСТ 33211-2017 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам» за наступними показниками: коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, коефіцієнт горизонтальної динаміки, коефіцієнт запасу поперечної стійкості від перекидання при русі у кривих від дії бічних сил, прискорення кузова вертикальні та горизонтальні, але без установки порожніх контейнерів або з модернізацією за проектом С.03.04-ковзуни А.СТАКИ **не відповідає** вимогам нормативної документації по показнику коефіцієнта запасу стійкості колеса від сходу з рейок (фактично 1,26 або менше).

### **3.3 Ходових динамічні випробування порожніх вагонів-хоперів переобладнаних з цементовозів і мінераловозів**

Об'єктами досліджень були вагон для сипучих вантажів моделі 19-923-01 № 90687609 1988 року побудови (рис. 3.17) та вагон-хопер моделі 11-715-01 № 96922539 1988 року побудови (рис. 3.18) в порожньому стані.



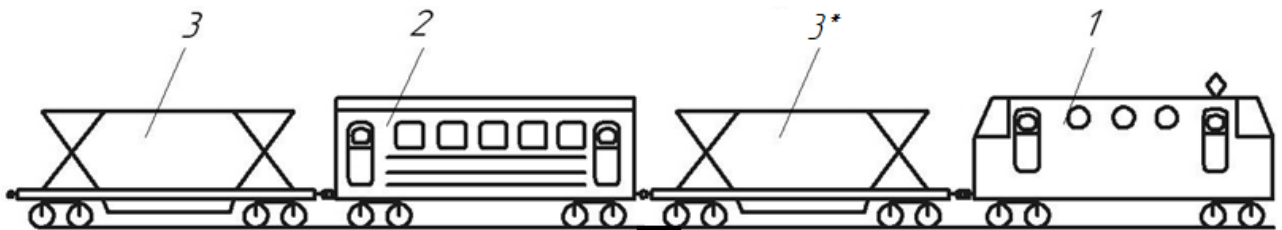
Рисунок 3.17 – Вагон для сипучих вантажів моделі 19-923-01



Рисунок 3.18 – Вагон-хопер моделі 11-715-01 № 96922539

Маса вагона-хопера моделі 19-923-01 № 90687609 становить 20,95 т, маса вагона-хопера моделі 11-715-01 № 96922539 становить 17,3 т.

Ходові динамічні випробування проводились у складі дослідного зчепу у порожньому стані. Дослідний зчеп був сформований з: локомотива, вагона-хопера моделі 19-923-01 № 90687609, вагона-лабораторії, вагона-хопера моделі 11-715-01 № 96922539 (рис. 3.19), на ділянці «Дарниця-Миронівка-Дарниця» Південно-Західної залізниці.



1 – локомотив, 2– вагон-лабораторія, 3, 3\* – дослідні вагони для перевезення сипучих вантажів

Рисунок 3.19 – Схема розташування рухомого складу під час випробувань

Реєстрація процесів проводилась з використанням тензорезисторів, які встановлювались на елементах конструкції візків у відповідності зі схемою, наведеною на рисунках 3.20-3.23.

Встановлення тензорезисторів на дослідних зразках.



Рисунок 3.20 – Канал 1, 2 в зоні R55 бокових рам візка вагона № 90687609



Рисунок 3.21 – Канал 3 на правій боковій рамі візка вагона № 90687609



Рисунок 3.22 – Канал 4 на лівій боковій рамі візка вагона № 90687609

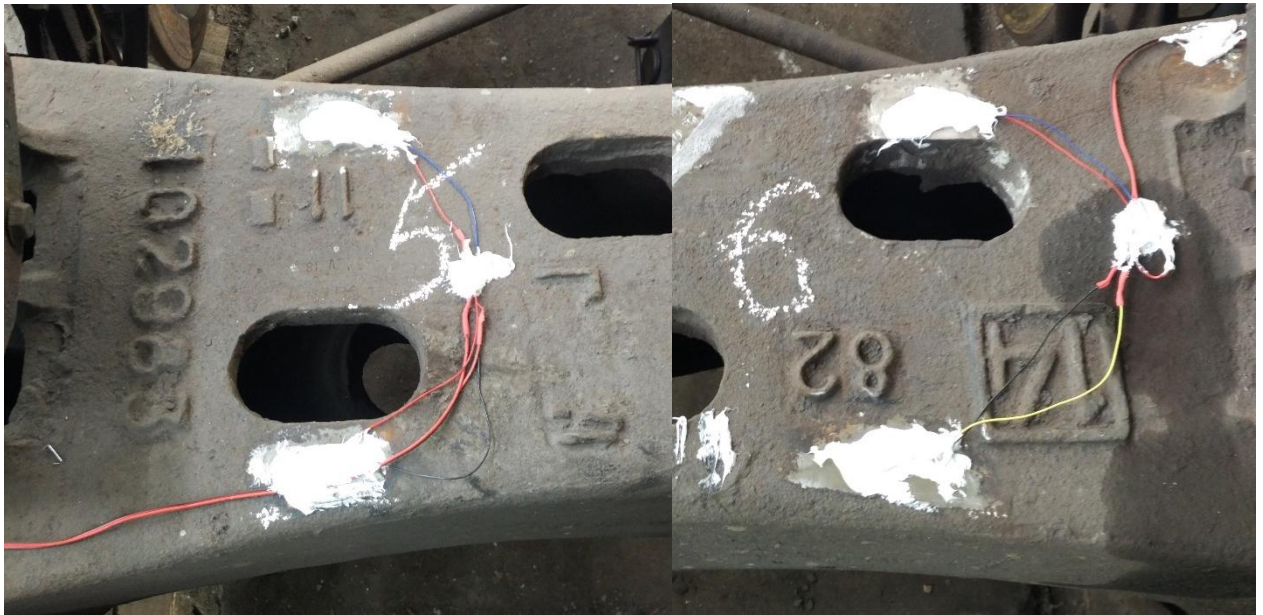


Рисунок 3.23 – Канали 5, 6 на надресорній балці візка вагона № 90687609

Всі інші канали на вагоні-хопері моделі 11-715-01 № 96922539 було встановлено аналогічно.

Після встановлення засобів вимірювальної техніки на дослідні зразки (рисунок 3.24) було проведено тарування візків від вертикальних та горизонтальних сил (рисунок 3.25, 3.26).



Рисунок 3.24 – Візок із засобами вимірювальної техніки



Рисунок 3.25 – Тарування візка горизонтальними силами

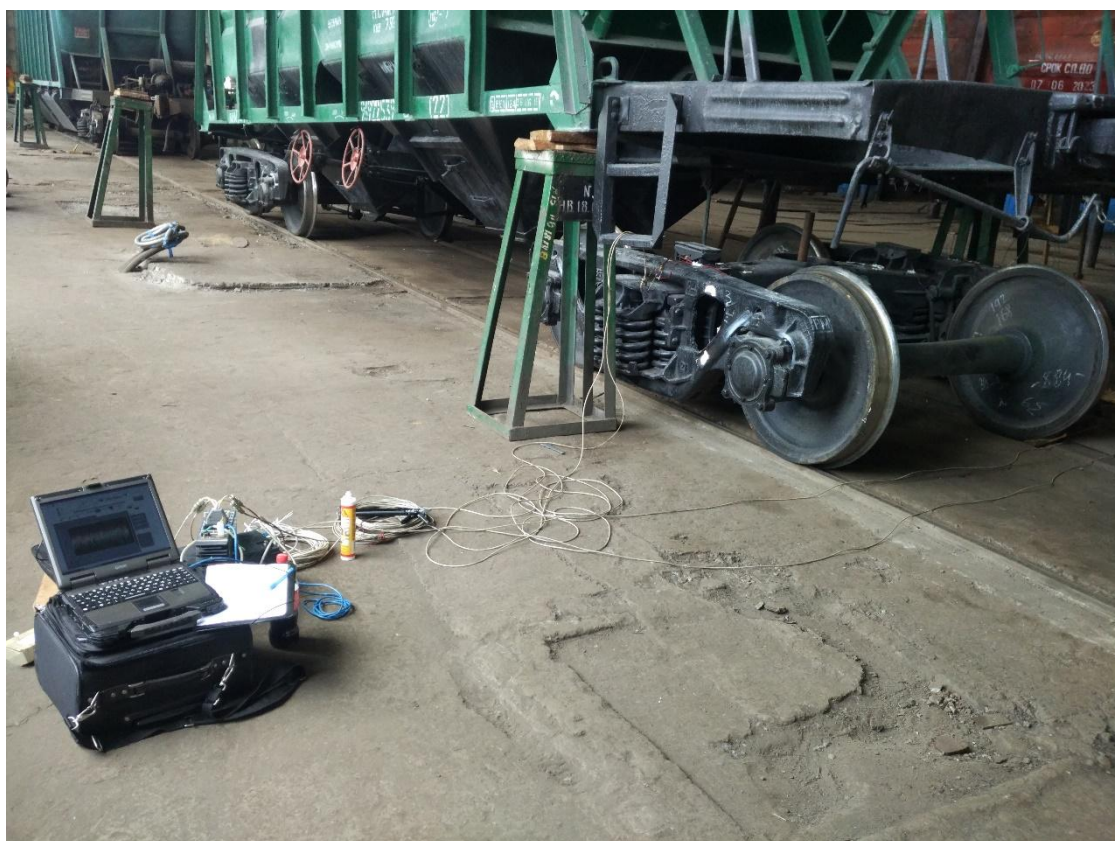


Рисунок 3.26 – Тарування візка вертикальними силами

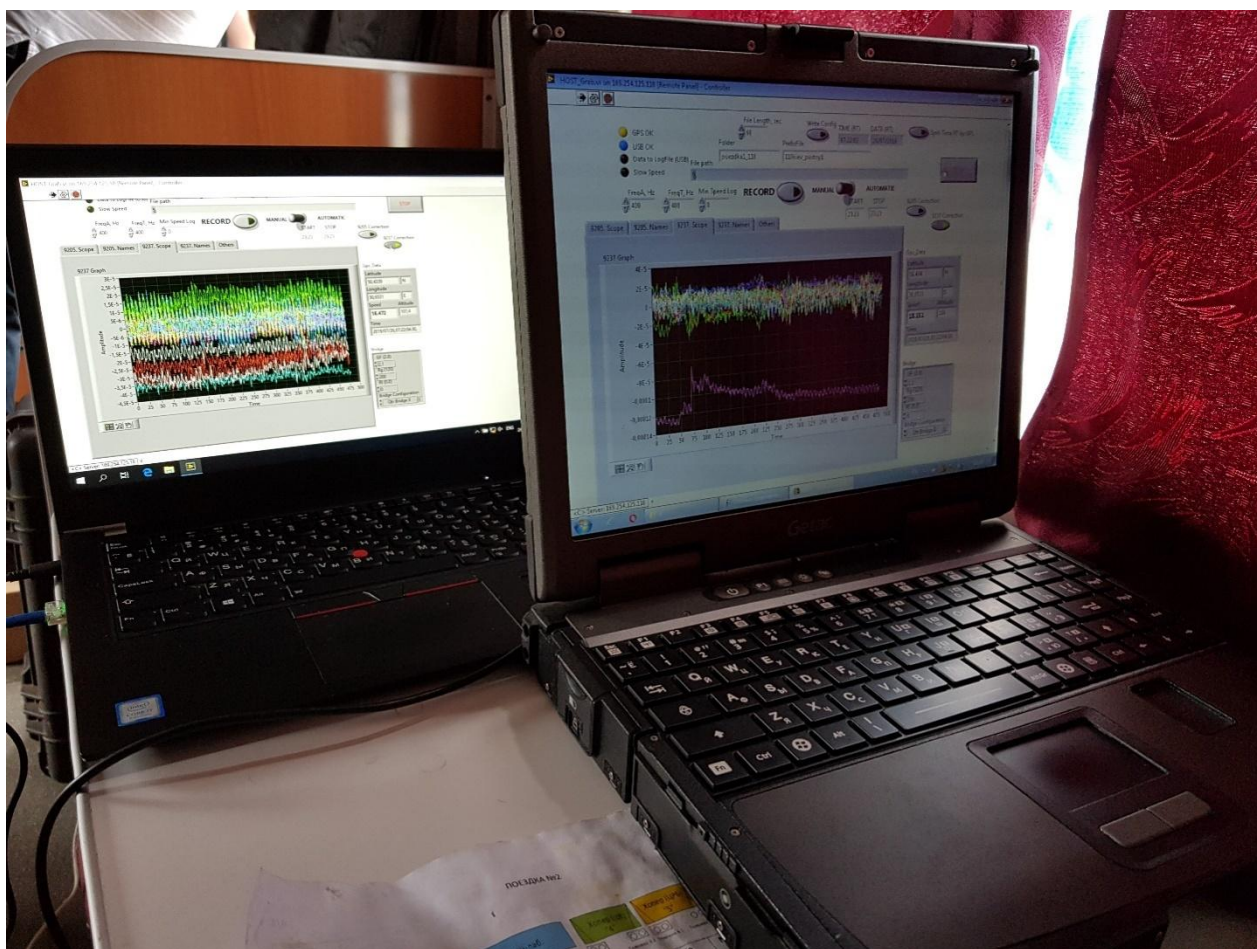


Рисунок 3.27 – Реєструюча апаратура

Результати ходових динамічних випробувань приведені в таблицях 3.6 – 3.9.

Таблиця 3.6 – Результати ходових динамічних випробувань вагона-хопера моделі 19-923-01 № 90687609 у порожньому стані на дільниці Дарниця – Миронівка

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		За документацією	Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
			40±5	Невизначеність, %	50±5	Невизначеність, %	60±5	Невизначеність, %	70±5	Невизначеність, %	80	Невизначеність, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,30	2,1	0,32	2,1	0,39	2,1	0,41	2,1	0,42	2,1	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,41	2,1	0,44	2,1	0,49	2,1	0,51	2,1	0,58	2,1	
Рамні сили Н <sub>p</sub> , т	-	-	1,4	2,1	1,3	2,1	1,2	2,1	1,6	2,1	1,7	2,1	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях P <sub>0</sub> (Н <sub>p</sub> /P <sub>0</sub> ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,28	2,1	0,30	2,1	0,31	2,1	0,33	2,1	0,34	2,1	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,58	2,1	1,53	2,1	1,42	2,1	1,39	2,1	1,38	2,1	

Продовження таблиці 3.6

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		Фактичне (по інтервалах швидкостей)											
		При швидкості, км/год											
		За документац ією	40±5	Невизна- ченість,%	50±5	Невизна- ченість,%	60±5	Невизна- ченість,%	70±5	Невизна- ченість,%	80	Невизна- ченість,%	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прискорення кузова вертикальні Z <sub>кв</sub> , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,29	2,1	0,38	2,1	0,42	2,1	0,49	2,1	0,53	2,1	
Прискорення кузова горизонтальні Y <sub>кв</sub> , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,55 0,55	0,24	2,1	0,25	2,1	0,34	2,1	0,38	2,1	0,41	2,1	

Таблиця 3.7 – Результати ходових динамічних випробувань вагона-хопера моделі 19-923-01 № 90687609 у порожньому стані на дільниці Миронівка – Дарниця

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		За документацією	Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
			40±5	Невизначеність, %	50±5	Невизначеність, %	60±5	Невизначеність, %	70±5	Невизначеність, %	80	Невизначеність, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коефіцієнт вертикальної динаміки обресоної маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,32	2,1	0,33	2,1	0,38	2,1	0,42	2,1	0,43	2,1	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необресоної рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,42	2,1	0,43	2,1	0,47	2,1	0,52	2,1	0,57	2,1	
Рамні сили $H_p$ , т	-	-	1,4	2,1	1,3	2,1	1,2	2,1	1,5	2,1	1,6	2,1	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях $P_0$ ( $H_p/P_0$ ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,29	2,1	0,30	2,1	0,32	2,1	0,34	2,1	0,35	2,1	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,59	2,1	1,54	2,1	1,41	2,1	1,38	2,1	1,37	2,1	

Продовження таблиці 3.7

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		Фактичне (по інтервалах швидкостей)											
		При швидкості, км/год											
		За документац ією	40±5	Невизна- ченість, %	50±5	Невизна- ченість, %	60±5	Невизна- ченість, %	70±5	Невизна- ченість, %	80	Невизна- ченість, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прискорення кузова вертикальні Z <sub>кв</sub> , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,28	2,1	0,40	2,1	0,44	2,1	0,52	2,1	0,55	2,1	
Прискорення кузова горизонтальні Y <sub>кв</sub> , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,55 0,55	0,27	2,1	0,28	2,1	0,33	2,1	0,40	2,1	0,44	2,1	

Таблиця 3.8 – Результати ходових динамічних випробувань вагона-хопера моделі 11-715-01 № 96922539 у порожньому стані на дільниці Дарниця – Миронівка

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		За документацією	Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
			40±5	Невизначеність, %	50±5	Невизначеність, %	60±5	Невизначеність, %	70±5	Невизначеність, %	80	Невизначеність, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,33	2,1	0,35	2,1	0,40	2,1	0,42	2,1	0,43	2,1	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,42	2,1	0,45	2,1	0,50	2,1	0,52	2,1	0,59	2,1	
Рамні сили $H_p$ , т	-	-	1,5	2,1	1,4	2,1	1,3	2,1	1,6	2,1	1,8	2,1	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях $P_0$ ( $H_p/P_0$ ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,28	2,1	0,30	2,1	0,32	2,1	0,35	2,1	0,36	2,1	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,56	2,1	1,51	2,1	1,41	2,1	1,38	2,1	1,37	2,1	

Продовження таблиці 3.8

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		Фактичне (по інтервалах швидкостей)											
		При швидкості, км/год											
		За документац ією	40±5	Невизна- ченість, %	50±5	Невизна- ченість, %	60±5	Невизна- ченість, %	70±5	Невизна- ченість, %	80	Невизна- ченість, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прискорення кузова вертикальні $Z_{кв}$ , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,3	2,1	0,39	2,1	0,44	2,1	0,48	2,1	0,54	2,1	
Прискорення кузова горизонтальні $Y_{кг}$ , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,55 0,55	0,26	2,1	0,27	2,1	0,36	2,1	0,39	2,1	0,42	2,1	

Таблиця 3.9 – Результати ходових динамічних випробувань вагона-хопера моделі 11-715-01 № 96922539 у порожньому стані на дільниці Миронівка – Дарниця

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		За документацією	Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
			40±5	Невизначеність, %	50±5	Невизначеність, %	60±5	Невизначеність, %	70±5	Невизначеність, %	80	Невизначеність, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коефіцієнт вертикальної динаміки обресоної маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,32	2,1	0,34	2,1	0,39	2,1	0,41	2,1	0,43	2,1	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необресоної рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,40	2,1	0,43	2,1	0,49	2,1	0,53	2,1	0,57	,1	
Рамні сили $H_p$ , т	-	-	1,4	2,1	1,3	2,1	1,4	2,1	1,5	2,1	1,7	2,1	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях $P_0$ ( $H_p/P_0$ ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,29	2,1	0,31	2,1	0,34	2,1	0,35	2,1	0,36	2,1	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,53	2,1	1,49	2,1	1,4	2,1	1,37	2,1	1,36	2,1	

Продовження таблиці 3.9

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		Фактичне (по інтервалах швидкостей)											
		При швидкості, км/год											
		За документац ією	40±5	Невизна- ченість, %	50±5	Невизна- ченість, %	60±5	Невизна- ченість, %	70±5	Невизна- ченість, %	80	Невизна- ченість, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прискорення кузова вертикальні $Z_{кв}$ , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,32	2,1	0,40	2,1	0,44	2,1	0,49	2,1	0,55	2,1	
Прискорення кузова горизонтальні $Y_{кг}$ , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,55 0,55	0,27	2,1	0,29	2,1	0,37	2,1	0,39	2,1	0,44	2,1	

За результатами проведених ходових динамічних випробувань вагона-хопера моделі 19-923-01 № 90687609, вагона-хопера моделі 11-715-01 № 96922539 у порожньому стані встановлено наступне:

Вагон-хопер моделі 19-923-01 № 90687609 в порожньому стані **відповідає** вимогам ДСТУ 7598-2014, ДСТУ ГОСТ 33211-2017, за наступними показниками: коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, коефіцієнт горизонтальної динаміки, прискорення кузова вертикальні та горизонтальні, коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок в діапазоні швидкостей до 80 км/год включно.

Вагон-хопер моделі 11-715-01 № 96922539 в порожньому стані **відповідає** вимогам ДСТУ 7598-2014, ДСТУ ГОСТ 33211-2017, за наступними показниками: коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, коефіцієнт горизонтальної динаміки, прискорення кузова вертикальні та горизонтальні, коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок в діапазоні швидкостей до 80 км/год включно.

### **3.4 Ходові динамічні випробування вагонів платформ моделі 13-4012**

Об'єктами досліджень були універсальна вагон-платформа моделі 13-4012 № 44908200 (рис. 3.28) з модернізацією візків за проектом С.14.01, та вагон-платформа моделі 13-4012 № 44909752 (рис. 3.29) в порожньому стані.



Рисунок 2.28 – Вагон № 44908200



Рисунок 3.29 – Вагон № 44909752

Маса вагона-платформи моделі 13-4012 № 44908200 становить 19,4 т, маса вагона-платформи моделі 13-4012 № 44909752 становить 21,3 т.

Ходові динамічні випробування проводились у складі дослідного зчепу та у складі поїзда, який був сформований з двох вагонів-платформ моделі 13-4012 (№ 44908200, № 44909752), локомотива, динамометричного вагона на ділянці «Козятин-Брівки-Попільня» Південно-Західної залізниці, які за складом прямих і кривих ділянок, відповідали вимогам до колії для проведення ходових динамічних випробувань.

Реєстрація процесів проводилась з використанням тензорезисторів, які встановлювались на елементах конструкції візків.

Результати ходових динамічних випробувань приведені в таблицях 3.10 – 3.15.

Таблиця 3.10 – Результати ходових динамічних випробувань універсального вагона-платформи моделі 13-4012 №44908200 у порожньому режимі (дослідний зчеп)

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника За документацією	Значення показника										
			Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
			40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коефіцієнт вертикальної динаміки обрешеченої маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,33	0,01	0,34	0,01	0,40	0,01	0,41	0,01	0,49	0,01	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необрешеченої рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,47	0,01	0,50	0,01	0,58	0,01	0,50	0,01	0,60	0,01	
Рамні сили Н <sub>р</sub> , т	-	-	1,4	0,02	1,5	0,02	1,5	0,02	1,8	0,02	1,8	0,02	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях Р <sub>0</sub> (Н <sub>р</sub> /Р <sub>0</sub> ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,29	0,01	0,31	0,01	0,31	0,01	0,37	0,01	0,37	0,01	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,48	0,025	1,40	0,025	1,32	0,025	1,30	0,025	1,23	0,025	

Продовження таблиці 3.10

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		Фактичне (по інтервалах швидкостей)											
		При швидкості, км/год											
		За документац ією	40±5	Невизна- ченість	50±5	Невизна- ченість	60±5	Невизна- ченість	70±5	Невизна- ченість	80	Невизна- ченість	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прискорення кузова вертикальні Z <sub>кв</sub> , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211- 2017	0,75 0,75	0,28	2,5%	0,44	2,5%	0,51	2,5%	0,58	2,5%	0,7	2,5%	
Прискорення кузова горизонтальні Y <sub>кв</sub> , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211- 2017	0,55 0,55	0,27	2,5%	0,32	2,5%	0,4	2,5%	0,45	2,5%	0,49	2,5%	

Таблиця 3.11 – Результати ходових динамічних випробувань універсального вагона-платформи моделі 13-4012 №44909752 у порожньому режимі (дослідний зчеп)

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту)	Значення показника											
		За документацією	Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
			40 ±5	Невизначеність	50 ±5	Невизначеність	60 ±5	Невизначеність	70 ±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коефіцієнт вертикальної динаміки обрешкованої маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,35	0,01	0,38	0,01	0,41	0,01	0,45	0,01	0,51	0,01	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необрешкованої рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,43	0,01	0,46	0,01	0,50	0,01	0,54	0,01	0,62	0,01	
Рамні сили $H_p$ , т	-	-	1,6	0,02	1,5	0,02	1,7	0,02	1,8	0,02	1,9	0,02	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях $P_0$ ( $H_p/P_0$ ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,30	0,01	0,28	0,01	0,32	0,01	0,34	0,01	0,36	0,01	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,4	0,025	1,46	0,025	1,32	0,025	1,25	0,025	1,23	0,025	

Продовження таблиці 3.11

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		Фактичне (по інтервалах швидкостей)											
		При швидкості, км/год											
		За документацією	40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прискорення кузова вертикальні Zкв, у	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,29	2,5%	0,46	2,5%	0,53	2,5%	0,58	2,5%	0,71	2,5%	
Прискорення кузова горизонтальні Yкг, у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,55 0,55	0,28	2,5%	0,35	2,5%	0,41	2,5%	0,47	2,5%	0,51	2,5%	

Таблиця 3.12 – Результати ходових динамічних випробувань універсального вагона-платформи моделі 13-4012 №44908200 у порожньому режимі (дослідний зчеп у голові поїзда)

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		За документацією	Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
			40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,40	0,01	0,50	0,01	0,51	0,01	0,57	0,01	0,62	0,01	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,59	0,01	0,63	0,01	0,69	0,01	0,72	0,01	0,78	0,01	
Рамні сили Н <sub>р</sub> , т	-	-	1,6	0,02	1,7	0,02	1,8	0,02	1,9	0,02	1,9	0,02	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях P <sub>0</sub> (Н <sub>р</sub> /P <sub>0</sub> ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,33	0,01	0,35	0,01	0,37	0,01	0,39	0,01	0,39	0,01	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,37	0,025	1,38	0,025	1,31	0,025	1,23	0,025	1,17	0,025	

Продовження таблиці 3.12

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		Фактичне (по інтервалах швидкостей)											
		При швидкості, км/год											
		За документацією	40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прискорення кузова вертикальні Z <sub>кв</sub> , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,38	2,5%	0,48	2,5%	0,59	2,5%	0,68	2,5%	0,70	2,5%	
Прискорення кузова горизонтальні Y <sub>кг</sub> , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,55 0,55	0,37	2,5%	0,42	2,5%	0,45	2,5%	0,5	2,5%	0,49	2,5%	

Таблиця 3.13 – Результати ходових динамічних випробувань універсального вагона-платформи моделі 13-4012 №44909752 у порожньому режимі (дослідний зчеп у голові поїзда)

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра	Значення показника За документацією	Значення показника										
			Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
1	2	3	40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,42	0,01	0,56	0,01	0,65	0,01	0,68	0,01	0,71	0,01	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,53	0,01	0,66	0,01	0,71	0,01	0,74	0,01	0,80	0,01	
Рамні сили Н <sub>p</sub> , т	-	-	1,7	0,02	1,8	0,02	1,8	0,02	2,1	0,02	2,1	0,02	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях P <sub>0</sub> (Н <sub>p</sub> /P <sub>0</sub> ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,32	0,01	0,33	0,01	0,34	0,01	0,39	0,01	0,39	0,01	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,42	0,025	1,4	0,025	1,31	0,025	1,18	0,025	1,12	0,025	

Продовження таблиці 3.13

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		Фактичне (по інтервалах швидкостей)											
		При швидкості, км/год											
		За документацією	40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прискорення кузова вертикальні Zкв, у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,31	2,5%	0,47	2,5%	0,55	2,5%	0,60	2,5%	0,72	2,5%	
Прискорення кузова горизонтальні Yкг, у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,55 0,55	0,29	2,5%	0,37	2,5%	0,43	2,5%	0,45	2,5%	0,52	2,5%	

Таблиця 3.14 – Результати ходових динамічних випробувань універсального вагона-платформи моделі 13-4012 №44908200 у порожньому режимі (дослідний зчеп у хвості поїзда)

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	За документацією	Значення показника										
			Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
1	2	3	40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,35	0,01	0,34	0,01	0,42	0,01	0,45	0,01	0,50	0,01	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,48	0,01	0,51	0,01	0,58	0,01	0,55	0,01	0,63	0,01	
Рамні сили Н <sub>р</sub> , т	-	-	1,5	0,02	1,6	0,02	1,6	0,02	1,8	0,02	1,8	0,02	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях Р <sub>0</sub> (Н <sub>р</sub> /Р <sub>0</sub> ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,31	0,01	0,33	0,01	0,33	0,01	0,37	0,01	0,37	0,01	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,47	0,025	1,46	0,025	1,34	0,025	1,31	0,025	1,25	0,025	

Продовження таблиці 3.14

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		Фактичне (по інтервалах швидкостей)											
		При швидкості, км/год											
		За документацією	40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прискорення кузова вертикальні Z <sub>кв</sub> , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,32	2,5%	0,45	2,5%	0,49	2,5%	0,60	2,5%	0,69	2,5%	
Прискорення кузова горизонтальні Y <sub>кг</sub> , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,55 0,55	0,30	2,5%	0,35	2,5%	0,40	2,5%	0,48	2,5%	0,50	2,5%	

Таблиця 3.15 – Результати ходових динамічних випробувань універсального вагона-платформи моделі 13-4012 №44909752 у порожньому режимі (дослідний зчеп у хвості поїзда)

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту, документа)	За документацією	Значення показника										
			Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
1	2	3	40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,38	0,01	0,42	0,01	0,47	0,01	0,50	0,01	0,52	0,01	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,44	0,01	0,49	0,01	0,54	0,01	0,59	0,01	0,71	0,01	
Рамні сили Н <sub>р</sub> , т	-	-	1,5	0,02	1,6	0,02	1,7	0,02	1,8	0,02	1,8	0,02	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях P <sub>0</sub> (Н <sub>р</sub> /P <sub>0</sub> ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,28	0,01	0,30	0,01	0,32	0,01	0,34	0,01	0,34	0,01	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,40	0,025	1,38	0,025	1,31	0,025	1,26	0,025	1,24	0,025	

Продовження таблиці 2.15

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		Фактичне (по інтервалах швидкостей)											
		При швидкості, км/год											
		За документацією	40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прискорення кузова вертикальні Zкв, у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,28	2,5%	0,45	2,5%	0,52	2,5%	0,58	2,5%	0,69	2,5%	
Прискорення кузова горизонтальні Yкг, у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,55 0,55	0,29	2,5%	0,36	2,5%	0,39	2,5%	0,45	2,5%	0,52	2,5%	

За результатами проведених ходових динамічних випробувань універсальних вагонів-платформ моделі 13-4012 № 44908200, 44909752 у порожньому стані встановлено наступну відповідність та невідповідність вимогам ДСТУ 7598-2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних), ДСТУ ГОСТ 33211-2017 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам».

Вагон-платформа моделі 13-4012 № 44908200 в порожньому стані **відповідає** вимогам ДСТУ 7598-2014, ДСТУ ГОСТ 33211-2017 за наступними показниками: коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, коефіцієнт горизонтальної динаміки, прискорення кузова вертикальні та горизонтальні в діапазоні швидкостей до 80 км/год включно, **відповідає** по коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок на швидкості до 60 км/год включно. Вагон-платформа моделі 13-4012 № 44908200 в порожньому стані **не відповідає** вимогам ДСТУ 7598-2014, ДСТУ ГОСТ 33211-2017 по коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок на швидкостях руху вище 60 км/год.

Вагон-платформа моделі 13-4012 № 44909752 в порожньому стані **відповідає** вимогам ДСТУ 7598-2014, ДСТУ ГОСТ 33211-2017 за наступними показниками: коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, коефіцієнт горизонтальної динаміки, прискорення кузова вертикальні та горизонтальні в діапазоні швидкостей до 80 км/год включно, **відповідає** по коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок на швидкості до 60 км/год включно. Вагон-платформа моделі 13-4012 № 44908200 в порожньому стані **не відповідає** вимогам ДСТУ 7598-2014, ДСТУ ГОСТ 33211-2017 по коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок на швидкостях руху вище 60 км/год.

### 3.5 Ходові динамічні випробування вантажних вагонів у порожньому стані в складі поїзда

Об'єктами досліджень були універсальна вагон-платформа моделі 13-4012 № 44479228 (рис. 3.30) , вагон-цистерна моделі 15-1443 № 74084252 (рис. 3.31) та вагон-хопер для цементу зі знятою кришею моделі 19-758-01 № 96914908 (рис. 3.32) в порожньому стані.



Рисунок 3.30 – Вагон № 44479228



Рисунок 3.31 – Вагон № 74084252



Рисунок 3.32 – Вагон № 96914908

Маса вагона-платформи моделі 13-4012 № 44479228 становить 20,4 т, маса вагона-цистерни моделі 15-1443 № 74084252 становить 22,15 т, маса вагона-хопера для цементу зі знятою кришею моделі 19-758-01 №96914908 становить 18,15 т.

Ходові динамічні випробування проводились у складі дослідного зчепу та у складі поїздів. Дослідний зчеп був сформований з вагона-платформи моделі 13-4012 № 44479228, вагона-цистерни моделі 15-1443 № 74084252, вагона-хопера для цементу зі знятою кришею моделі 19-758-01 №96914908, локомотива, динамометричного вагона на дільниці «Дарниця-Ніжин» Південно-Західної залізниці. Випробування у складі поїзда проводилися в 3-х варіантах: **варіант 1** – локомотив – 6 порожніх напіввагонів – дослідний зчеп – 30 завантажених напіввагонів; **варіант 2** локомотив – 15 завантажених напіввагонів – дослідний зчеп – 6 порожніх напіввагонів – 15 завантажених напіввагонів; **варіант 3** – локомотив – 30 завантажених напіввагонів –

дослідний зчеп – 6 порожніх напіввагонів. Дільниця колії на якій проводились випробування за складом прямих і кривих ділянок, відповідали вимогам до колії для проведення ходових динамічних випробувань.



Рисунок 3.33 – Дослідний зчеп



Рисунок 3.34 – Дослідний зчеп



Рисунок 3.35 – Дослідний зчеп у складі поїзда

Реєстрація процесів проводилась з використанням тензорезисторів, які встановлювались на елементах конструкції візків.

Приклади встановлених засобів вимірювальної техніки та процесу тарування візків приведені на рисунках 3.36 – 3.42.



Рисунок 3.36 – Бокова рама вагона №44479228: канал 1



Рисунок 3.37 – Бокова рама вагона №44479228: канал 2



Рисунок 3.38 – Надресорна балка вагона №44479228: канал 5, 6



Рисунок 3.39 – R55 вагона №44479228: канал 9, 10

Всі інші канали на вагоні-цистерні моделі 15-1443 № 74084252 та на вагоні-хопері для цементу зі знятою кришею моделі 19-758-01 № 96914908 було встановлено аналогічно.



Рисунок 3.40 – Прогиномір на вагоні-платформі моделі 13-4012 № 44479228

Прогиноміри на вагоні-цистерні моделі 15-1443 № 74084252 та на вагоні-хопері для цементу зі знятою кришею моделі 19-758-01 № 96914908 було встановлено аналогічно.

Для визначення поздовжніх зусиль, що діють на випробовуваний вагон застосовували автозчеп-динамометр (рисунок 3.41), обладнаний тензорезисторами і попередньо проградуєований статичним навантаженням на стенді силою до 3,5 МН.



Рисунок 3.41 – Автозчеп-динамометр

Після встановлення засобів вимірювальної техніки на дослідні вагони було проведено тарування візків від вертикальних та горизонтальних сил (рис 3.42).



Рисунок 3.42 – Тарування візка

Результати ходових динамічних випробувань. Сили на автозчепках-динамометрах під час ходових-динамічних випробувань у різних місцях розташування в поїзді (рис. 3.43 - 3.45), а показники якості руху вагонів приведені в таблицях 3.16 – 3.27.

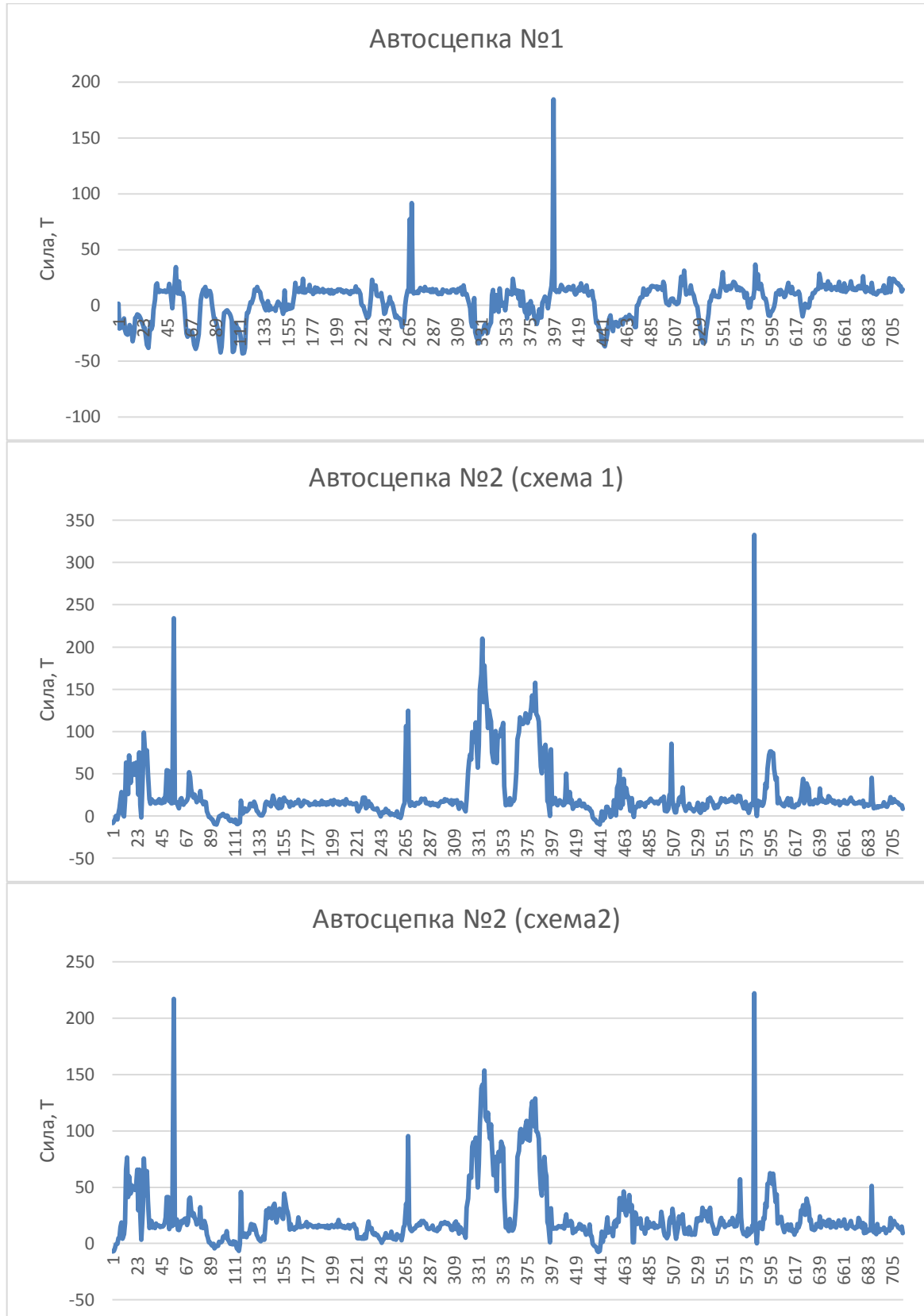


Рисунок 3.43 – Голова поїзда

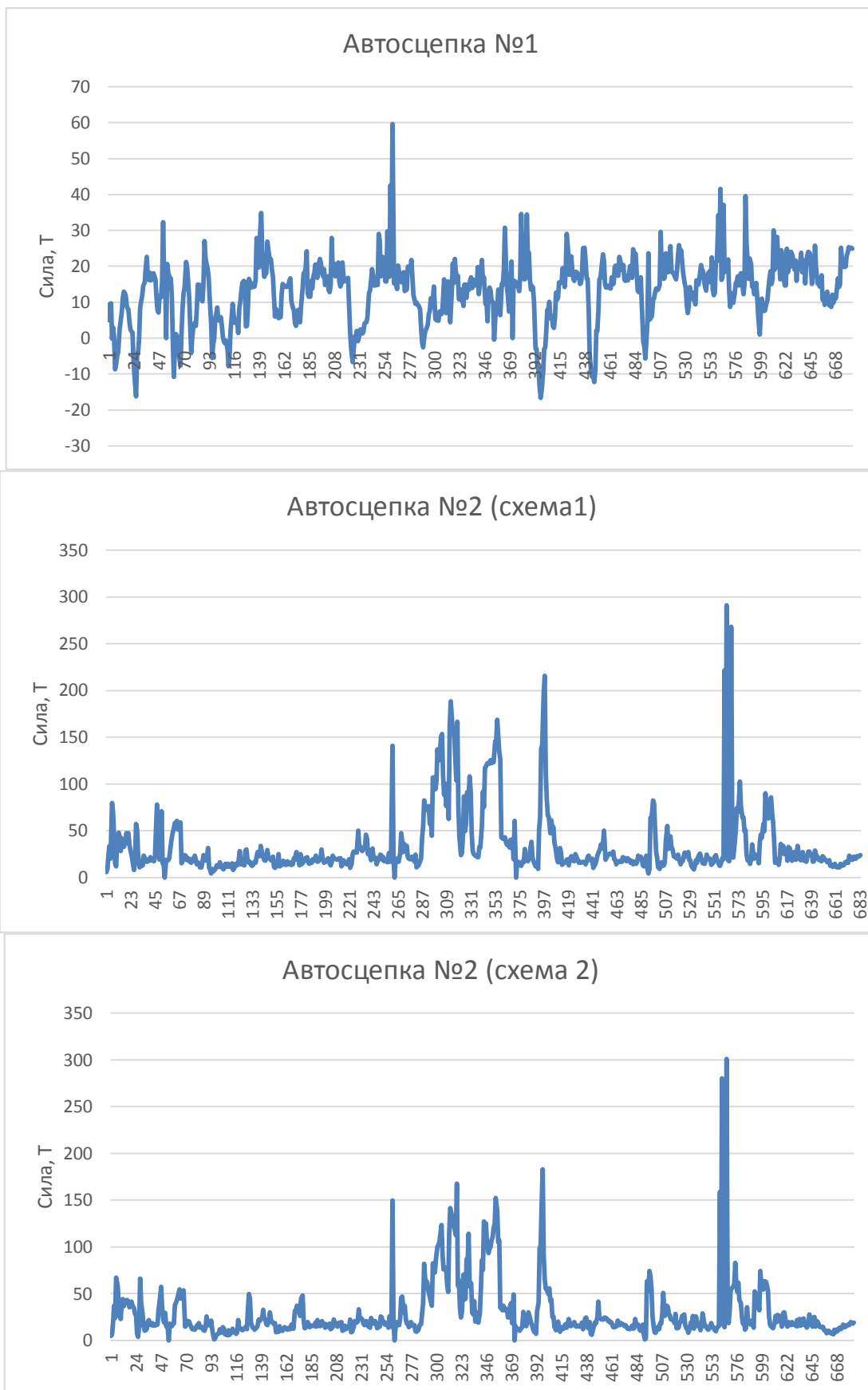


Рисунок 3.44 – Середина поїзда

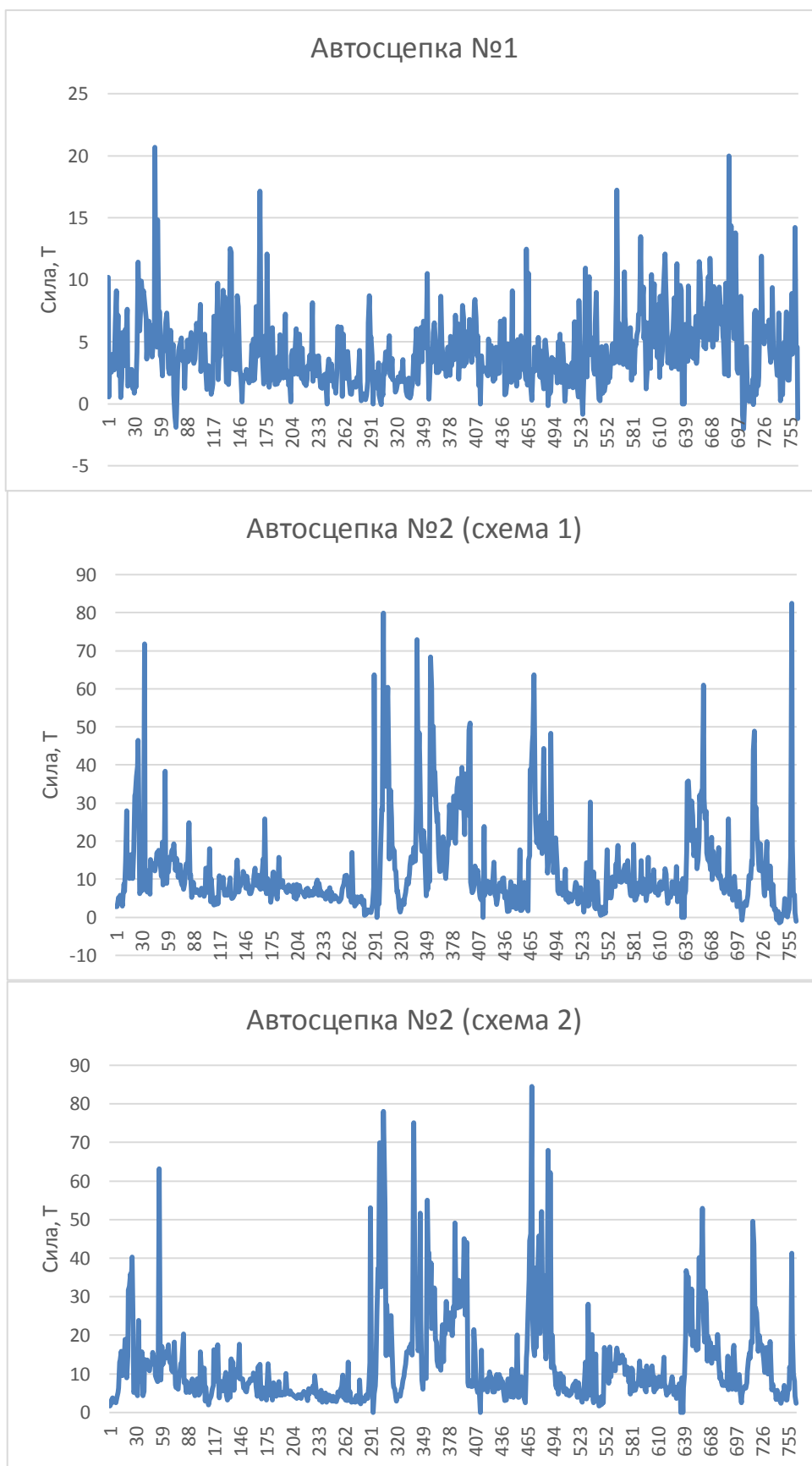


Рисунок 3.45 – Хвіст поїзда

Таблиця 3.16 – Результати ходових динамічних випробувань універсального вагона-платформи моделі 13-4012 №44479228 у порожньому режимі (дослідний зчеп)

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту)	Значення показника											
		За документацією	Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
			40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коефіцієнт вертикальної динаміки обресоленої маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,34	0,01	0,35	0,01	0,39	0,01	0,42	0,01	0,48	0,01	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необресоленої рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,45	0,01	0,48	0,01	0,56	0,01	0,52	0,01	0,63	0,01	
Рамні сили Н <sub>р</sub> , т	-	-	1,4	0,02	1,5	0,02	1,5	0,02	1,8	0,02	1,8	0,02	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях Р <sub>0</sub> (Н <sub>р</sub> /Р <sub>0</sub> ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,28	0,01	0,33	0,01	0,32	0,01	0,35	0,01	0,36	0,01	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,46	0,025	1,41	0,025	1,31	0,025	<b>1,29</b>	0,025	<b>1,24</b>	0,025	

Продовження таблиці 3.16

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		Фактичне (по інтервалах швидкостей)											
		При швидкості, км/год											
		За документацією	40±5	Невизначеність, %	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прискорення кузова вертикальні Z <sub>кв</sub> , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,29	2,5%	0,40	2,5%	0,49	2,5%	0,56	2,5%	0,71	2,5%	
Прискорення кузова горизонтальні Y <sub>кг</sub> , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,55 0,55	0,26	2,5%	0,3	2,5%	0,41	2,5%	0,47	2,5%	0,5	2,5%	

Таблиця 3.17 – Результати ходових динамічних випробувань вагона-цистерни моделі 15-1443 № 74084252 у порожньому режимі (дослідний зчеп)

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу,	Значення показника											
		За документацією	Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
			40 ±5	Невизначеність	50 ±5	Невизначеність	60 ±5	Невизначеність	70 ±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коефіцієнт вертикальної динаміки обресоленої маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,3	0,01	0,32	0,01	0,4	0,01	0,41	0,01	0,45	0,01	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необресоленої рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211	0,90 0,90	0,41	0,01	0,45	0,01	0,49	0,01	0,5	0,01	0,6	0,01	
Рамні сили Н <sub>p</sub> , т	-	-	1,6	0,02	1,7	0,02	1,6	0,02	1,8	0,02	1,9	0,02	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях P <sub>0</sub> (Н <sub>p</sub> /P <sub>0</sub> ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,21	0,01	0,23	0,01	0,3	0,01	0,31	0,01	0,33	0,01	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,5	0,025	1,47	0,025	1,38	0,025	1,35	0,025	1,33	0,025	

Продовження таблиці 3.17

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		Фактичне (по інтервалах швидкостей)											
		При швидкості, км/год											
		За документацією	40±5	Невизначеність, %	50±5	Невизначеність, %	60±5	Невизначеність, %	70±5	Невизначеність, %	80	Невизначеність, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прискорення кузова вертикальні Zкв, у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,26	2,5%	0,38	2,5%	0,42	2,5%	0,5	2,5%	0,53	2,5%	
Прискорення кузова горизонтальні Yкг, у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,55 0,55	0,23	2,5%	0,28	2,5%	0,32	2,5%	0,39	2,5%	0,42	2,5%	

Таблиця 3.18 – Результати ходових динамічних випробувань вагона-хопера моделі 19-758-01 №96914908 у порожньому режимі (дослідний зчеп)

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		За документацією	Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
			40 ±5	Невизначеність	50 ±5	Невизначеність	60 ±5	Невизначеність	70 ±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,32	0,01	0,34	0,01	0,41	0,01	0,43	0,01	0,47	0,01	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,43	0,01	0,47	0,01	0,5	0,01	0,52	0,01	0,62	0,01	
Рамні сили $N_p$ , т	-	-	1,6	0,02	1,5	0,02	1,7	0,02	1,8	0,02	1,9	0,02	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях $P_0$ ( $N_p/P_0$ ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,30	0,01	0,28	0,01	0,32	0,01	0,34	0,01	0,36	0,01	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,48	0,025	1,45	0,025	1,38	0,025	1,32	0,025	1,3	0,025	

Продовження таблиці 3.18

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		Фактичне (по інтервалах швидкостей)											
		При швидкості, км/год											
		За документацією	40±5	Невизначеність, %	50±5	Невизначеність, %	60±5	Невизначеність, %	70±5	Невизначеність, %	80	Невизначеність, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прискорення кузова вертикальні Zкв, у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,28	2,5%	0,4	2,5%	0,44	2,5%	0,52	2,5%	0,55	2,5%	
Прискорення кузова горизонтальні Yкг, у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,55 0,55	0,25	2,5%	0,26	2,5%	0,34	2,5%	0,41	2,5%	0,44	2,5%	

Таблиця 3.19 – Результати ходових динамічних випробувань універсального вагона-платформи моделі 13-4012 №44479228 у порожньому режимі (дослідний зчеп у голові поїзда)

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту)	За документацією	Значення показника										
			Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
			40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коефіцієнт вертикальної динаміки обрешореної маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,39	0,01	0,49	0,01	0,5	0,01	0,6	0,01	0,71	0,01	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необрешореної рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ	0,90 0,90	0,58	0,01	0,62	0,01	0,7	0,01	0,73	0,01	0,81	0,01	
Рамні сили Н <sub>р</sub> , т	-	-	1,6	0,02	1,7	0,02	1,8	0,02	1,9	0,02	1,9	0,02	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях P <sub>0</sub> (Н <sub>р</sub> /P <sub>0</sub> ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,3	0,01	0,33	0,01	0,34	0,01	0,37	0,01	0,39	0,01	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,38	0,025	1,36	0,025	1,31	0,025	<b>1,16</b>	0,025	<b>1,12</b>	0,025	

Продовження таблиці 3.19

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		Фактичне (по інтервалах швидкостей)											
		При швидкості, км/год											
		За документацією	40±5	Невизначеність, %	50±5	Невизначеність, %	60±5	Невизначеність, %	70±5	Невизначеність, %	80	Невизначеність, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прискорення кузова вертикальні Z <sub>кв</sub> , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,31	2,5%	0,45	2,5%	0,55	2,5%	0,69	2,5%	0,72	2,5%	
Прискорення кузова горизонтальні Y <sub>кг</sub> , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,55 0,55	0,36	2,5%	0,4	2,5%	0,43	2,5%	0,49	2,5%	0,51	2,5%	

Таблиця 3.20 – Результати ходових динамічних випробувань вагона-цистерни моделі 15-1443 № 74084252 у порожньому режимі (дослідний зчеп у голові поїзда)

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника Фактичне (по інтервалах швидкостей) При швидкості, км/год	Значення показника										
			Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
			40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коефіцієнт вертикальної динаміки обресоленої маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,36	0,01	0,47	0,01	0,48	0,01	0,53	0,01	0,61	0,01	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необресоленої рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598, ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,53	0,01	0,61	0,01	0,63	0,01	0,66	0,01	0,71	0,01	
Рамні сили $H_p$ , т	-	-	1,7	0,02	1,8	0,02	1,8	0,02	2,1	0,02	2,1	0,02	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях $P_0$ ( $H_p/P_0$ ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,29	0,01	0,3	0,01	0,31	0,01	0,36	0,01	0,36	0,01	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,43	0,025	1,4	0,025	1,34	0,025	1,32	0,025	1,3	0,025	

Продовження таблиці 3.20

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		Фактичне (по інтервалах швидкостей)											
		При швидкості, км/год											
		За документацією	40±5	Невизначеність, %	50±5	Невизначеність, %	60±5	Невизначеність, %	70±5	Невизначеність, %	80	Невизначеність, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прискорення кузова вертикальні Zкв, у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,36	2,5%	0,48	2,5%	0,51	2,5%	0,6	2,5%	0,68	2,5%	
Прискорення кузова горизонтальні Yкг, у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,55 0,55	0,26	2,5%	0,31	2,5%	0,38	2,5%	0,4	2,5%	0,52	2,5%	

Таблиця 3.21 – Результати ходових динамічних випробувань вагона-хопера моделі 19-758-01 №96914908 у порожньому режимі (дослідний зчеп у голові поїзда)

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	За документацією	Значення показника										
			Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
			40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коефіцієнт вертикальної динаміки обресоленої маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,36	0,01	0,48	0,01	0,49	0,01	0,54	0,01	0,63	0,01	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необресоленої рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598, ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,54	0,01	0,62	0,01	0,65	0,01	0,69	0,01	0,72	0,01	
Рамні сили Н <sub>p</sub> , т	-	-	1,7	0,02	1,8	0,02	1,8	0,02	2,1	0,02	2,1	0,02	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях P <sub>0</sub> (Н <sub>p</sub> /P <sub>0</sub> ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,3	0,01	0,31	0,01	0,32	0,01	0,37	0,01	0,37	0,01	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,42	0,025	1,39	0,025	1,35	0,025	1,33	0,025	1,31	0,025	

Продовження таблиці 3.21

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		Фактичне (по інтервалах швидкостей)											
		При швидкості, км/год											
		За документацією	40±5	Невизначеність, %	50±5	Невизначеність, %	60±5	Невизначеність, %	70±5	Невизначеність, %	80	Невизначеність, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прискорення кузова вертикальні Z <sub>кв</sub> , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,38	2,5%	0,49	2,5%	0,52	2,5%	0,61	2,5%	0,69	2,5%	
Прискорення кузова горизонтальні Y <sub>кг</sub> , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,55 0,55	0,27	2,5%	0,32	2,5%	0,39	2,5%	0,41	2,5%	0,47	2,5%	

Таблиця 3.22 – Результати ходових динамічних випробувань універсального вагона-платформи моделі 13-4012 №44479228 у порожньому режимі (дослідний зчеп у середині поїзда)

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		За документацією	Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
			40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коефіцієнт вертикальної динаміки обрєсореної маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,38	0,01	0,47	0,01	0,48	0,01	0,58	0,01	0,69	0,01	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необрєсореної рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,57	0,01	0,6	0,01	0,69	0,01	0,71	0,01	0,79	0,01	
Рамні сили Н <sub>p</sub> , т	-	-	1,5	0,02	1,6	0,02	1,6	0,02	1,8	0,02	1,8	0,02	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях P <sub>0</sub> (Н <sub>p</sub> /P <sub>0</sub> ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,28	0,01	0,31	0,01	0,32	0,01	0,35	0,01	0,36	0,01	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,4	0,025	1,33	0,025	1,32	0,025	<b>1,18</b>	0,025	<b>1,14</b>	0,025	

Продовження таблиці 3.22

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		Фактичне (по інтервалах швидкостей)											
		При швидкості, км/год											
		За документацією	40±5	Невизначеність, %	50±5	Невизначеність, %	60±5	Невизначеність, %	70±5	Невизначеність, %	80	Невизначеність, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прискорення кузова вертикальні $Z_{kv}$ , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,3	2,5%	0,43	2,5%	0,52	2,5%	0,68	2,5%	0,7	2,5%	
Прискорення кузова горизонтальні $Y_{kg}$ , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,55 0,55	0,33	2,5%	0,36	2,5%	0,4	2,5%	0,46	2,5%	0,49	2,5%	

Таблиця 3.23 – Результати ходових динамічних випробувань вагона-цистерни моделі 15-1443 № 74084252 у порожньому режимі (дослідний зчеп у середині поїзда)

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документації)	Значення показника											
		За документацією	Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
			40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коефіцієнт вертикальної динаміки обрешореної маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,34	0,01	0,45	0,01	0,46	0,01	0,51	0,01	0,6	0,01	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необрешореної рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,51	0,01	0,6	0,01	0,62	0,01	0,64	0,01	0,7	0,01	
Рамні сили Н <sub>р</sub> , т	-	-	1,5	0,02	1,6	0,02	1,6	0,02	1,8	0,02	1,8	0,02	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях Р <sub>0</sub> (Н <sub>р</sub> /Р <sub>0</sub> ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,28	0,01	0,29	0,01	0,3	0,01	0,34	0,01	0,35	0,01	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,45	0,025	1,42	0,025	1,34	0,025	1,33	0,025	1,31	0,025	

Продовження таблиці 3.23

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		Фактичне (по інтервалах швидкостей)											
		При швидкості, км/год											
		За документацією	40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прискорення кузова вертикальні Z <sub>кв</sub> , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,34	2,5%	0,46	2,5%	0,49	2,5%	0,58	2,5%	0,66	2,5%	
Прискорення кузова горизонтальні Y <sub>кг</sub> , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,55 0,55	0,26	2,5%	0,31	2,5%	0,36	2,5%	0,4	2,5%	0,43	2,5%	

Таблиця 3.24 – Результати ходових динамічних випробувань вагона-хопера моделі 19-758-01 №96914908 у порожньому режимі (дослідний зчеп у середині поїзда)

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		За документацією	Фактичне (по інтервалах швидкостей)										Примітка
			При швидкості, км/год										
			40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коефіцієнт вертикальної динаміки обресоленої маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,34	0,01	0,45	0,01	0,47	0,01	0,51	0,01	0,61	0,01	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необресоленої рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,52	0,01	0,6	0,01	0,63	0,01	0,67	0,01	0,7	0,01	
Рамні сили Н <sub>p</sub> , т	-	-	1,5	0,02	1,6	0,02	1,6	0,02	1,8	0,02	1,8	0,02	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях P <sub>0</sub> (H <sub>p</sub> /P <sub>0</sub> ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,29	0,01	0,3	0,01	0,31	0,01	0,35	0,01	0,35	0,01	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,42	0,025	1,4	0,025	1,37	0,025	1,35	0,025	1,33	0,025	

Продовження таблиці 3.24

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		Фактичне (по інтервалах швидкостей)											
		При швидкості, км/год											
		За документацією	40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прискорення кузова вертикальні $Z_{kv}$ , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,36	2,5%	0,47	2,5%	0,5	2,5%	0,59	2,5%	0,66	2,5%	
Прискорення кузова горизонтальні $Y_{kg}$ , у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,55 0,55	0,25	2,5%	0,31	2,5%	0,37	2,5%	0,39	2,5%	0,45	2,5%	

Таблиця 3.25 – Результати ходових динамічних випробувань універсального вагона-платформи моделі 13-4012 №44479228 у порожньому режимі (дослідний зчеп у хвості поїзда)

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	За документацією	Значення показника										
			Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
			40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коефіцієнт вертикальної динаміки обресоленої маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,35	0,01	0,36	0,01	0,4	0,01	0,43	0,01	0,5	0,01	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необресоленої рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,46	0,01	0,49	0,01	0,53	0,01	0,57	0,01	0,64	0,01	
Рамні сили $H_p$ , т	-	-	1,5	0,02	1,6	0,02	1,7	0,02	1,8	0,02	1,8	0,02	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях $P_0$ ( $H_p/P_0$ ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,29	0,01	0,34	0,01	0,32	0,01	0,36	0,01	0,37	0,01	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,45	0,025	1,4	0,025	1,3	0,025	<b>1,28</b>	0,025	<b>1,23</b>	0,025	

Продовження таблиці 3.25

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		Фактичне (по інтервалах швидкостей)											
		При швидкості, км/год											
		За документацією	40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прискорення кузова вертикальні Zкв, у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,3	2,5%	0,41	2,5%	0,5	2,5%	0,57	2,5%	0,72	2,5%	
Прискорення кузова горизонтальні Yкг, у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,55 0,55	0,27	2,5%	0,31	2,5%	0,42	2,5%	0,48	2,5%	0,51	2,5%	

Таблиця 3.26 – Результати ходових динамічних випробувань вагона-цистерни моделі 15-1443 № 74084252 у порожньому режимі (дослідний зчеп у хвості поїзда)

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		За документацією	Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
			40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коефіцієнт вертикальної динаміки обресоленої маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,32	0,01	0,33	0,01	0,41	0,01	0,42	0,01	0,47	0,01	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необресоленої рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,42	0,01	0,47	0,01	0,49	0,01	0,51	0,01	0,62	0,01	
Рамні сили Н <sub>р</sub> , т	-	-	1,5	0,02	1,6	0,02	1,7	0,02	1,8	0,02	1,8	0,02	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях P <sub>0</sub> (Н <sub>р</sub> /P <sub>0</sub> ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,22	0,01	0,24	0,01	0,31	0,01	0,32	0,01	0,34	0,01	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,48	0,025	1,46	0,025	1,37	0,025	1,34	0,025	1,33	0,025	

Продовження таблиці 3.26

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		Фактичне (по інтервалах швидкостей)											
		При швидкості, км/год											
		За документацією	40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прискорення кузова вертикальні Zкв, у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,27	2,5%	0,39	2,5%	0,43	2,5%	0,51	2,5%	0,53	2,5%	
Прискорення кузова горизонтальні Yкг, у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,55 0,55	0,24	2,5%	0,29	2,5%	0,33	2,5%	0,39	2,5%	0,42	2,5%	

Таблиця 3.27 – Результати ходових динамічних випробувань вагона-хопера моделі 19-758-01 №96914908 у порожньому режимі (дослідний зчеп у хвості поїзда)

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	За документацією	Значення показника										
			Фактичне (по інтервалах швидкостей)										
			При швидкості, км/год										
			40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коефіцієнт вертикальної динаміки обрешкованої маси візка, Кд, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,33	0,01	0,36	0,01	0,42	0,01	0,43	0,01	0,48	0,01	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необрешкованої рами візка, Кдн, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,90 0,90	0,44	0,01	0,49	0,01	0,51	0,01	0,54	0,01	0,64	0,01	
Рамні сили Н <sub>р</sub> , т	-	-	1,5	0,02	1,6	0,02	1,7	0,02	1,8	0,02	1,8	0,02	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях Р <sub>0</sub> (Н <sub>р</sub> /Р <sub>0</sub> ), від колісної пари на раму візка), не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,40 0,40	0,28	0,01	0,30	0,01	0,32	0,01	0,34	0,01	0,34	0,01	
Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії, не менше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	1,3 1,3	1,47	0,025	1,40	0,025	1,36	0,025	1,33	0,025	1,3	0,025	

## Продовження таблиці 3.27

Характеристики, що контролюються (елементи вагона, переріз, точка)	Нормативна документація, що містить значення, вимогу до параметра (позначення розділу, пункту документа)	Значення показника											
		Фактичне (по інтервалах швидкостей)											
		При швидкості, км/год											
		За документацією	40±5	Невизначеність	50±5	Невизначеність	60±5	Невизначеність	70±5	Невизначеність	80	Невизначеність	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прискорення кузова вертикальні Zкв, у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,75 0,75	0,29	2,5%	0,41	2,5%	0,45	2,5%	0,53	2,5%	0,55	2,5%	
Прискорення кузова горизонтальні Yкг, у долях g, не більше	ДСТУ 7598 ДСТУ ГОСТ 33211-2017	0,55 0,55	0,26	2,5%	0,27	2,5%	0,34	2,5%	0,42	2,5%	0,45	2,5%	

За результатами проведених ходових динамічних випробувань вагона-платформи моделі 13-4012 № 44479228, вагона-цистерни моделі 15-1443 №74084252, вагона-хопера для цементу зі знятою кришею моделі 19-758-01 №96914908 у порожньому стані встановлено:

Вагон-платформа моделі 13-4012 № 44479228 в порожньому стані **відповідає** вимогам ДСТУ 7598, ДСТУ ГОСТ 33211-2017 за наступними показниками: коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, коефіцієнт горизонтальної динаміки, прискорення кузова вертикальні та горизонтальні в діапазоні швидкостей до 80 км/год включно, **відповідає** по коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок на швидкості до 60 км/год включно. Вагон-платформа моделі 13-4012 № 44479228 в порожньому стані **не відповідає** вимогам ДСТУ 7598, ДСТУ ГОСТ 33211-2017 по коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок на швидкостях руху вище 60 км/год.

Вагон-цистерна моделі 15-1443 № 44479228 в порожньому стані **відповідає** вимогам ДСТУ 7598, ДСТУ ГОСТ 33211-2017 за наступними показниками: коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, коефіцієнт горизонтальної динаміки, прискорення кузова вертикальні та горизонтальні в діапазоні швидкостей до 80 км/год включно, **відповідає** по коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок на швидкості до 80 км/год включно.

Вагон- хопер для цементу зі знятою кришею моделі 19-758-01 №96914908 в порожньому стані **відповідає** вимогам ДСТУ 7598, ДСТУ ГОСТ 33211-2017 за наступними показниками: коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, коефіцієнт горизонтальної динаміки, прискорення кузова вертикальні та горизонтальні в діапазоні швидкостей до 80 км/год включно, **відповідає** по коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок на швидкості до 80 км/год включно.

### 3.6 Дослідження показників які впливають на якість руху вагону

#### 3.6.1 Розробка комп'ютерної моделі динаміки вантажного вагону

Для дослідження динаміки вантажного вагона було обрано вагони хопери для перевезення сипучих вантажів які не потребують захисту від атмосферного впливу переобладнаних з цементовозів та мінераловозів, розроблено динамічну модель в ліцензійному програмному комплексі «УМ 6.0». За основу взято базову модель динаміки напіввагона (дана модель представлена в програмному комплексі та широко застосовується у країнах СНД та в Україні [103, 104]), проведено коригування з урахуванням конструктивних особливостей переобладнаних вагонів-хоперів на візках моделі 18-100 (кузов, база вагона, центри мас) з можливістю варіації стану колії, технічного стану вагонів та маси тари.

Модель вагона побудовано з використанням підходу системи твердих тіл (СТТ), відповідно до якого досліджувана механічна система представляється набором твердих тіл, з'єднаних за допомогою шарнірних і силових елементів. Модель вагона включає 19 твердих тіл: кузов, 2 надресорні балки, 4 бокові рами, 8 клинів, 4 колісні пари. Для кожного твердого тіла передбачено 6 степенів вільності, таким чином механічна система має 114 степенів вільності.

При розробці комп'ютерної моделі динаміки вантажного вагона застосовано підхід підсистем. Застосування при моделюванні підходу підсистем надає можливість сформулювати однотипні підсистеми одноразово й використовувати їх в моделі потрібну кількість раз. Структурне представлення моделі вантажного вагона у вигляді дерева підсистем відображено на рисунку 3.46. Приклади проведення аналогічного комп'ютерного моделювання динаміки приведено в [106, 112].

Нижній рівень утворюють підсистеми двох типів: чотири підсистеми колісної пари «КП\_ $N$ »,  $N = 1,4$ , та вісім підсистем клинів «Клин\_ $K$ »,  $K = 1,8$ . Підсистема «Візок\_ $M$ », де  $M = 1,2$  – номер візка, утворена двома включеними підсистемами «КП\_ $N$ »,  $N = 1,2$  – для першого візка та  $N = 3,4$  – для другого

візка; чотирма включеними підсистемами «Клин\_К»,  $K = 1,4$  – для першого візка, і  $K = 5,8$  – для другого візка; а також твердими тілами: надресорна балка «Балка\_М» та дві бічні рами «Рама\_Н» ( $N = 1,2$  – для першого візка і  $N = 3,4$  – для другого). Загальна модель динаміки вантажного вагона містить одне тіло «Кузов» і дві включені підсистеми «Візок\_1» та «Візок\_2».

Структурне представлення дерева підсистем моделі представлено на рисунку 3.46. На рисунку 3.47 показано загальне структурне представлення динамічної моделі.

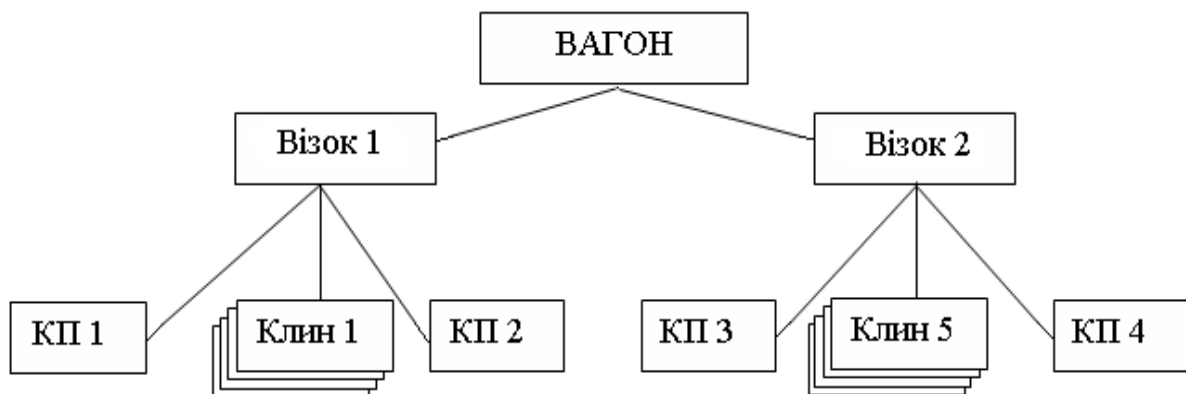


Рисунок 3.46 – Структурне представлення дерева підсистем моделі

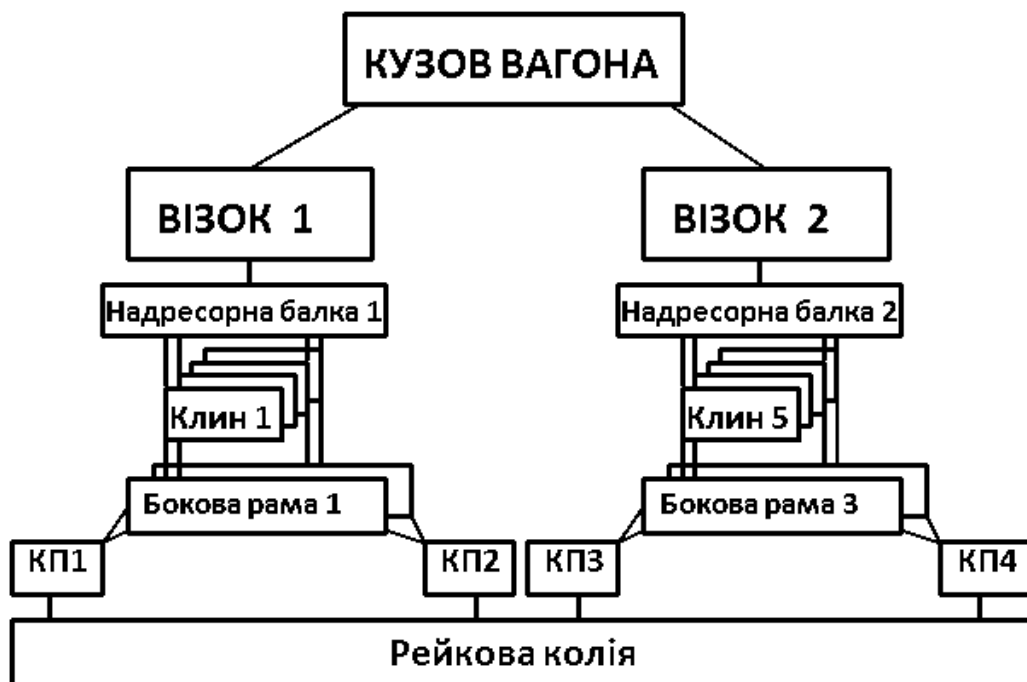


Рисунок 3.47 – Загальне структурне представлення динамічної моделі

Розроблена динамічна модель, по-перше, включає фрикційні клинові гасителі як окремі тіла, кожний з яких перебуває в контактній взаємодії з боковою рамою й надресорною балкою, по-друге, містить просторовий опис контактної взаємодії бокових рам з колісними парами в буксових вузлах, по-третє, забезпечує контактну взаємодію кузова вагона з надресорними балками в п'ятникових вузлах та ковзунах.

Колісна пара\_ Сталі характеристики підсистеми колісної пари «КП\_ $N$ » (позначення підсистеми в моделі), до яких віднесено масу і центральні моменти інерції, надані в таблиці 3.28.

Таблиця 3.28 – Параметри колісної пари

Параметр	Ідентифікатор	Значення
Маса, кг	$m_{kp}$	1450
Момент інерції щодо поздовжньої осі, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	$i_{kp}$	875
Момент інерції щодо поперечної осі, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	$i_{ky}$	200
Момент інерції щодо вертикальної осі, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	$i_{kp}$	875

Відповідно до конструктивних особливостей ходових частин вагона, які відображені в структурній схемі моделі (див. рисунок 2.36), кожний візок містить дві колісні пари. Підсистеми колісних пар «КП\_ $N$ » розміщені в підсистемі візка в поздовжньому напрямі на відстанях  $\pm x_{wheel}$  ( $N = 1,2$ ) та  $\pm x_{wheel}$  ( $N = 3,4$ ), де  $x_{wheel}$  – це напівбаза візка. На рис. 3.50 представлено 3D-модель (візуалізацію) колісної пари моделі динаміки.

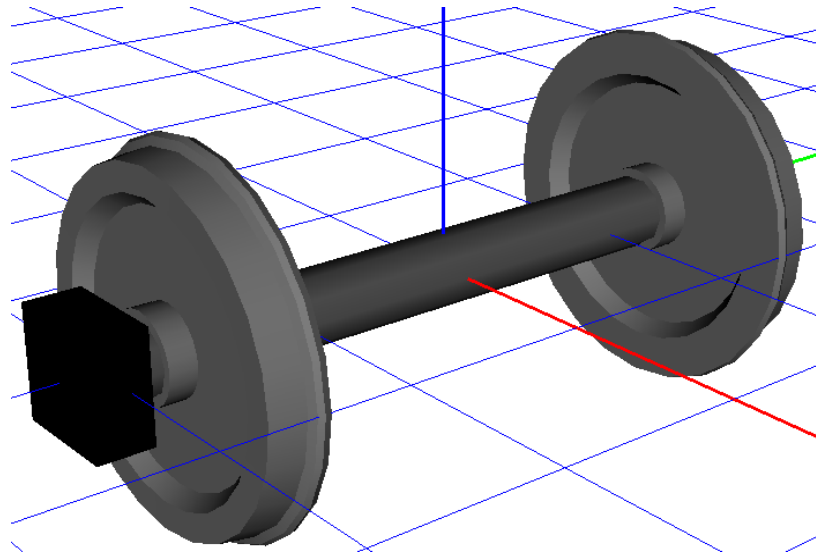


Рисунок 3.50 – 3D-модель колісної пари

Таблиця 3.29 – Інерційні й геометричні параметри клина

Параметр	Ідентифікатор	Значення
Маса клина, кг	<i>mklin</i>	21,6
Момент інерції клина щодо поздовжньої осі, кг·м <sup>2</sup>	<i>iklinx</i>	0,0810245
Момент інерції клина щодо поперечної осі, кг·м <sup>2</sup>	<i>ikliny</i>	0,103346
Момент інерції клина щодо вертикальної осі, кг·м <sup>2</sup>	<i>iklinz</i>	0,1028
Координата центра мас клина в поздовжньому напрямі, м	<i>xcklin</i>	-0,07612
Координата центра мас клина у вертикальному напрямі, м	<i>zcklin</i>	0,04842

Відповідно до конструктивних особливостей ходових частин вагона, кожний візок містить чотири клина. Координати розміщення підсистем «Клин\_К»,  $K = 1,4$  для першого візка, та  $K = 5,8$  – для другого візка, щодо систем координат візків визначено на підставі параметрів, як показано в таблиці 3.30.

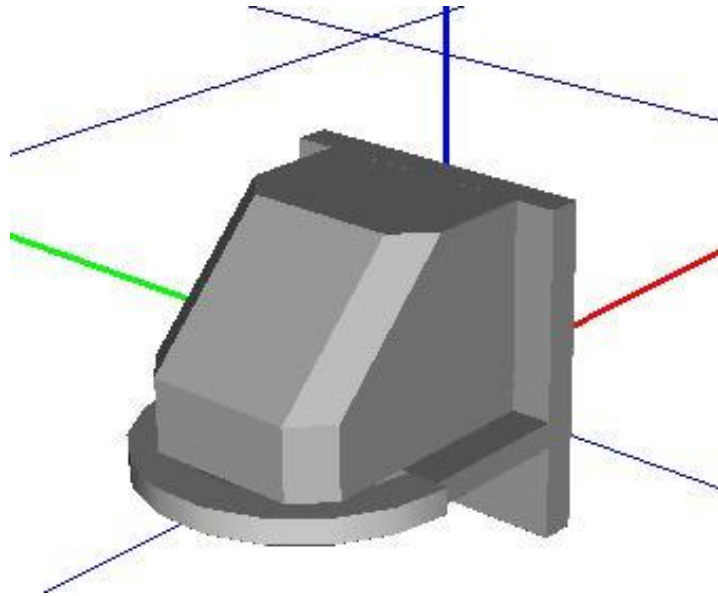


Рисунок 3.51. Підсистема клин

Таблиця 3.30 – Координати розміщення підсистем «Клин\_К»

Підсистема	x	y	z
Клин_1	xklin	b2	hkl – fst_klin + r
Клин_2	xklin	-b2	hkl – fst_klin + r
Клин_3	-xklin	b2	hkl – fst_klin + r
Клин_4	-xklin	-b2	hkl – fst_klin + r
Клин_5	xklin	b2	hkl – fst_klin + r
Клин_6	xklin	-b2	hkl – fst_klin + r
Клин_7	-xklin	b2	hkl – fst_klin + r
Клин_8	-xklin	-b2	hkl – fst_klin + r

В цій таблиці застосовано такі позначення:

$xklin$  – відстань в поздовжньому напрямі від осі візка до опорної точки на клині,  $xklin = 0,335$  м;

$b2$  – відстань в поперечному напрямі від осі візка до опорної точки на клині;  $b2 = 1,018$  м;

$hkl$  – відстань у вертикальному напрямі від колісної осі до опорної точки на клині при недеформованій пружині,  $hkl = 0,089$  м;

$fst\_klin$  – статична деформація підклинової пружини, що розраховується автоматично;

$r$  – радіус кола кочення.

Для моделювання контактної взаємодії кожного клина з надресорною балкою та боковою рамою введено чотири силових елемента типа точка-площина:

– «*InclPlane*» – контакт клина з надресорною балкою, похилий контакт з кутом  $alpha$ ;

– «*Frontal*» – контакт з боковою рамою, точки лежать в вертикальній площині;

– «*LeftPlane*» – лівий боковий контакт клина з надресорною балкою, точки лежать в вертикальній площині;

– «*RightPlane*» – правий боковий контакт клина з надресорною балкою, точки лежать в вертикальній площині.

Кожний з цих контактних елементів має чотири точки контакту на тілі клина, друге тіло, що перебуває в контакті, задано як зовнішнє. Ці силові елементи мають тип близького контакту без автовизначення нормалі. Координати точок контакту і векторів нормалей цих силових елементів визначені, як показано в таблицях 3.31 –3.34. Загальні параметри підсистеми «Клин\_K» та контактних силових елементів наведені в таблиці 3.35.

Таблиця 3.31 – Координати контактних точок елемента «*InclPlane*»

Параметр	Ідентифікатор	Значення
Точка контакту 1, м	$-x\_cont\_low$ $-w\_wedge \cdot 0,5 + dy\_wedge$ $z\_cont\_low$	-0,1504 - 0,069 0,0316
Точка контакту 2, м	$-x\_cont\_high$ $-w\_wedge \cdot 0,5 + dy\_wedge$ $z\_cont\_high$	-0,07615 -0,069 0,10585
Точка контакту 3, м	$-x\_cont\_high$ $-w\_wedge \cdot 0,5 - dy\_wedge$ $z\_cont\_high$	-0,07615 0,069 0,10585

Продовження таблиці 3.31		
Точка контакту 4, м	$-x_{cont\_low}$ $-w_{wedge} \cdot 0,5 - dy_{wedge}$ $z_{cont\_low}$	-0,1504 0,069 0,0316
Точка контакту на зовнішньому тілі, м	$-x_{cont\_low}$ $-w_{wedge} \cdot 0,5 + dy_{wedge}$ $z_{cont\_low}$	-0,1504 -0,069 0,0316
Нормаль до поверхні зовнішнього тіла		0,7071 0 -0,7071

Таблиця 3.32 – Координати контактних точок елемента «Frontal»

Параметр	Ідентифікатор	Значення
Точка контакту 1, м	$0$ $-w_{frontal} \cdot 0,5$ $-dz_{frontal}$	0 -0,089 -0,015
Точка контакту 2, м	$0$ $w_{frontal} \cdot 0,5$ $-dz_{frontal}$	0 0,089 -0,015
Точка контакту 3, м	$-hincl$ $w_{frontal} \cdot 0,5$ $h_{frontal} - dz_{frontal}$	-0,00331613 0,089 0,155
Точка контакту 4, м	$-hincl$ $-w_{frontal} \cdot 0,5$ $h_{frontal} - dz_{frontal}$	-0,00331613 -0,089 0,155
Точка контакту на зовнішньому тілі, м	$0$ $-w_{frontal} \cdot 0,5$ $-dz_{frontal}$	0 -0,089 -0,015
Нормаль до поверхні зовнішнього тіла		-0,9998 0 -0,0195

Таблиця 3.33 – Координати контактних точок елемента «leftplane»

Параметр	Ідентифікатор	Значення
Точка контакту 1, м	$-x_{cont\_high}$ $-w_{wedge} \cdot 0,5$ $z_{cont\_high} - dy_{wedge}$	-0,761513 -0,089 0,0858462
Точка контакту 2, м	$-x_{cont\_low} + dy_{wedge}$ $-w_{wedge} \cdot 0,5$ $z_{cont\_low}$	-0,1304 -0,089 0,0316
Точка контакту 3, м	$-x_{cont\_low} + dy_{wedge} + dx_{additional}$ $-w_{wedge} \cdot 0,5$ $z_{cont\_low}$	-0,1004 -0,089 0,0316
Точка контакту 4, м	$-x_{cont\_high}$ $-w_{wedge} \cdot 0,5$ $z_{cont\_high} - dy_{wedge} - dx_{additional}$	-0,761513 -0,089 0,0558462
Точка контакту на зовнішньому тілі, м	$-x_{cont\_high}$ $-w_{wedge} \cdot 0,5$ $z_{cont\_high} - dy_{wedge}$	-0,761513 -0,089 0,0858462
Нормаль до поверхні зовнішнього тіла		0 1 0

Таблиця 3.34 – Координати контактних точок елемента «rightplane»

Параметр	Ідентифікатор	Значення
Точка контакту 1, м	$-x_{cont\_high}$ $w_{wedge} \cdot 0,5$ $z_{cont\_high} - dy_{wedge}$	-0,761513 0,089 0,0858462
Точка контакту 2, м	$-x_{cont\_high}$ $w_{wedge} \cdot 0,5$ $z_{cont\_high} - dy_{wedge} - dx_{additional}$	-0,761513 0,089 0,0558462
Точка контакту 3, м	$-x_{cont\_low} + dy_{wedge}$ $w_{wedge} \cdot 0,5$ $z_{cont\_low}$	-0,1304 0,089 0,0316
Точка контакту 4, м	$-x_{cont\_low} + dy_{wedge} + dx_{additional}$ $w_{wedge} \cdot 0,5$ $z_{cont\_low}$	-0,1004 0,089 0,0316
Точка контакту на зовнішньому тілі, м	$-x_{cont\_high}$ $w_{wedge} \cdot 0,5$ $z_{cont\_high} - dy_{wedge}$	-0,761513 0,089 0,0858462
Нормаль до поверхні зовнішнього тіла		0 -1 0

Таблиця 3.35 – Загальні параметри підсистеми «Клин\_К»

Параметр	Ідентифікатор	Значення
Контактна жорсткість в одній точці, Н/м	<i>cklin</i>	$7 \cdot 10^7$
Контактна дисипація в одній точці, Н·с/м	<i>dklin</i>	$8 \cdot 10^4$
Кут нахилу фрикційної планки на боковій рамі, в градусах	<i>beta_klin</i>	1°
Кут нахилу клина до надресорної балки, в градусах	<i>alpha</i>	45°
Кут нахилу клина до надресорної балки, в радіанах	<i>ralpha</i>	0,78539816
Ширина клина	<i>w_wedge</i>	0,178
Звуження похилої контактної площини, м	<i>dy_wedge</i>	0,02
Координата точки перетину похилої площини з площиною ХУ, м	<i>l_incl</i>	0,182
Зміщення початку похилої площини, м	<i>dx_cont_incl</i>	0,0316
Висота похилої площини, м	<i>h_incl_cont</i>	0,0883883
Зменшення довжини похилої поверхні за рахунок закруглення, м	<i>dl_incl_cont_high</i>	0,02
Довжина площини похилого контакту = $l\_incl\_cont\_full - dl\_incl\_cont\_high$	<i>l_incl_cont</i>	0,10499993
x координата початку похилої поверхні (= $l\_incl - dx\_cont\_incl$ )	<i>x_cont_low</i>	0,1504
x координата верху похилої поверхні (= $x\_cont\_low - l\_incl\_cont \cdot \cos(ralpha)$ )	<i>x_cont_high</i>	0,076153836
z координата початку похилої поверхні (= $dx\_cont\_incl$ )	<i>z_cont_low</i>	0,0316
z координата верху похилої поверхні = $z\_cont\_low + l\_incl\_cont \cdot \sin(ralpha)$	<i>z_cont_high</i>	0,10584616
Ширина фронтальної контактної поверхні, м	<i>wfrontal</i>	0,178
Висота фронтальної контактної поверхні, м	<i>hfrontal</i>	0,17
Зміщення за x напрямком верхніх точок фронтальної контактної поверхні, м	$h_{incl} = 0,190 \cdot \beta_{klin} \cdot \pi / 180$	0,003316125
Зміщення вниз фронтальної контактної поверхні, м	<i>dzfrontal</i>	0,015
Зміщення пари точок на бокових контактах	<i>dxadditional</i>	0,03

Бокова рама. Інерційні параметри твердого тіла «Рама\_ $N$ », яким представлено бокові рами візків, наведені в таблиці 3.36. Також в таблиці 3.36 надані координати центра мас бокової рами в підсистемі візка.

Таблиця 3.36 – Інерційні й геометричні параметри тіла «Рама\_ $N$ »

Параметр	Ідентифікатор	Значення
Маса, кг	$msr$	526,3
Момент інерції щодо поздовжньої осі, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	$isrx$	13,96
Момент інерції щодо поперечної осі, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	$isry$	175,8
Момент інерції щодо вертикальної осі, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	$isrz$	161,8
Координата центра мас бокової рами в поперечному напрямі в системі координат візка, м	$\pm b2$	1,018
Координата центра мас бокової рами в вертикальному напрямі відносно колісної осі, м	$hr$	0,05

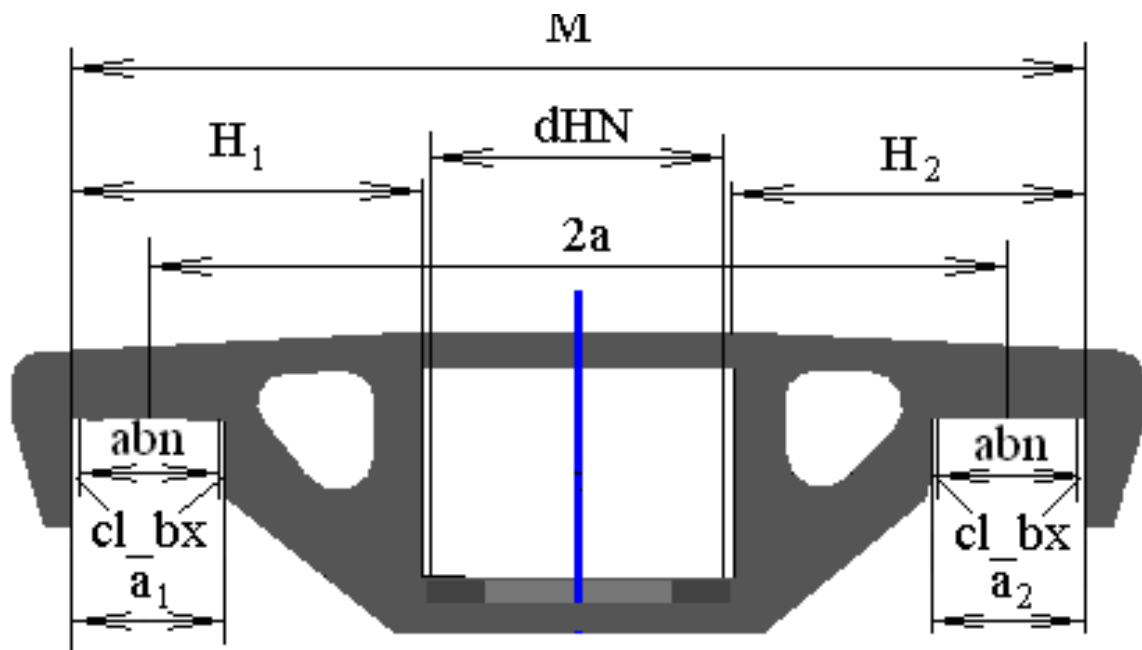


Рисунок 3.52 – 3D-модель бокової рами з параметрами зазорів в буксових прорізах в поздовжньому напрямку

Буксові вузли візків моделюються як пружно-дисипативна взаємодія бокових рам безпосередньо з осями колісних пар, при цьому характеристики

жорсткості, дисипації, обмеження переміщень задається індивідуально в кожному з трьох напрямків.

Надресорна балка. Інерційні й геометричні параметри твердого тіла «Балка\_М», яким представлена надресорна балка М-го візка, наведені в таблиці 3.37.

Таблиця 3.37 – Інерційні й геометричні параметри тіла «Балка\_М»

Параметр	Ідентифікатор	Значення
Маса, кг	<i>mnb</i>	596,2
Момент інерції щодо поздовжньої осі, кг·м <sup>2</sup>	<i>imnbx</i>	323
Момент інерції щодо поперечної осі, кг·м <sup>2</sup>	<i>imnby</i>	7,055
Момент інерції щодо вертикальної осі, кг·м <sup>2</sup>	<i>imnbz</i>	166,3
Координата центра мас балки в вертикальному напрямі при недеформованому стані пружин відносно колісної осі, м	<i>hnb</i>	0,226

Центральне ресорне підвішування вантажного вагона представлено узагальненими лінійними силовими елементами. Передбачено завдання як лінійних, так і білінійних пружин. Переключення типу пружини здійснюється за допомогою ідентифікатора *bilinear\_key*, в разі *bilinear\_key* = 0 – моделюються лінійні пружини, в разі *bilinear\_key* = 1 – білінійні. Статичні сили, задані ідентифікаторами *pst\_balka* і *pst\_klin* розраховуються автоматично для заданих значень завищення або заниження клинів.

Таблиця 3.38 – Параметри пружин та їх жорсткості при лінійному підвішуванні

Пружина	Координати	CX	CY	CZ	CaZ	Стационар на сила
ПружинаП	РамаП (0,0, -.167-hr) Балка (0, -1.018, - hb+hkl)	cy*5	cy*5	cz*5	caz	pst_balka
ПружинаЛ	РамаЛ (0,0, -.167-hr) Балка (0, 1.018, - hb+hkl)	cy*5	cy*5	cz*5	caz	pst_balka
ПружинаП КЛ1	РамаП (0.21,0, -.167- hr) Клин1П (-0.125,0,0)	cyklin	cyklin	czklin	-	pst_klin
ПружинаП КЛ2	РамаП (-0.21,0, - .167-hr) Клин2П (-0.125,0,0)	cyklin	cyklin	czklin	-	pst_klin
ПружинаЛ КЛ1	РамаЛ (0.21,0, -.167- hr) Клин1Л (-0.125,0,0)	cyklin	cyklin	czklin	-	pst_klin
ПружинаЛ КЛ2	РамаЛ (-0.21,0, - .167-hr) Клин2Л (-0.125,0,0)	cyklin	cyklin	czklin	-	pst_klin

Значення жорсткостей поза вибором  $C_y=6.43e5$  Н/м,  $C_z=6.32e5$  Н/м,  $caz=1.33e5$  Н/м.

Таблиця 3.39 – Жорсткості зовнішніх пружин білінійного підвішування

Пружина	CX	CY	CZ	CaZ
ПружинаП ПружинаЛ	cyexternal *5	cyexternal *5	czexternal *5	caz
ПружинаПКЛ1 ПружинаПКЛ2 ПружинаЛКЛ1 ПружинаЛКЛ2	Cyexterna 1	Cyexterna 1	czexternal	-

Значення жорсткостей поза вибором  $C_{yexternal}=6.43e5$  Н/м,  $C_{zexternal}=3.035e5$  Н/м,

Таблиця 3.40 – Жорсткості внутрішніх пружин білінійного підвішування

Пружина	CX	CY	CZ	CaZ
ПружинаП ПружинаЛ	cyinternal *5	cyinternal *5	czinternal *5	caz
ПружинаПКЛ1 ПружинаПКЛ2 ПружинаЛКЛ1 ПружинаЛКЛ2	Cyinterna 1	Cyinterna 1	czinternal	-

Значення жорсткостей поза вибором  $Cy_{internal}=0$  Н/м,  $Cz_{internal}=2.366e5$  Н/м.

Кузов. Параметри, які задаються для моделювання кузова наступні: висота центра мас вагона  $h_c$ , маса кузова вагона  $m_{cuz}$ , центральні моменти інерції кузова відносно горизонтальної поздовжньої, горизонтальної поперечної та вертикальної вісі відповідно  $cuzx$ ,  $icuzu$ ,  $icuzz$ , а також напівбаза вагона  $x_{bogie}$  й половину довжини вагона за осями зчеплення автозчепів  $x_{as}$ .

Таблиця 3.41 – Параметри кузова вагона

Параметр	Іденти-фікатор	Значення
Швидкість руху, м/с	$v_0$	16,667
Маса кузова, кг	$m_{cuz}$	22 000
Маса кузова з вантажем, кг	$m_{cuz1}$	84 400
Центральний момент інерції кузова відносно поздовжньої осі, $кг \cdot м^2$	$icuzx$	89 000
Центральний момент інерції кузова відносно поперечної осі, $кг \cdot м^2$	$icuzu$	1 118 000
Центральний момент інерції кузова відносно вертикальної осі, $кг \cdot м^2$	$icuzz$	1 130 000
Відстань в вертикальному напрямі від центра мас кузова з вантажем до площини спирання на п'ятники, м	$h_{cuz}$	1,396
Напівбаза вагона, м	$x_{bogie}$	4,325
Статичне навантаження від колеса на рейку, Н		230 535 (53955)

Взаємодія між кузовом і надресорними балками в п'ятникових вузлах представлена в моделі за допомогою 10 контактних силових елементів: вісім

елементів «Пятник\_MN»,  $M=1,2$ ,  $N=1,4$ , представляють контактну взаємодію в горизонтальній площині і два елементи «Верт\_Пятник\_M» – у вертикальному напрямі, тобто описують взаємодію, що передає вертикальне навантаження.

Имя	Выражение	Зн	Комментарий
contrad	0.15		Радиус пятника
hp	0.381		Положение пятника над осями КП
hb	0.226		Положение центра масс балки над осями КП
ffr_ph	0.25		Коэффициент трения в пятнике
wear_py	0		Поперечный износ в пятнике
wear_px	0		Продольный износ в пятнике

Рисунок 3.53– Ідентифікатори, що параметризують горизонтальні обмеження в пятнику

Таблица 3.42 – Параметры контактных элементов «Пятник\_MN» в горизонтальной плоскости

Ім'я контакту	Координати точок на надресорній балці	Координати точки на площині бокової рами	Нормаль до площини рами
Пятник_11	$(contrad+cl_{pp\_long1}; 0; hnp)$	$(xbogic+contrad-wearpx1; 0; -hcuz)$	$(1; 0; 0)$
Пятник_12	$(-contrad-cl_{pp\_long1}; 0; hnp)$	$(xbogic-contrad-wearpx1; 0; -hcuz)$	$(-1; 0; 0)$
Пятник_13	$(0; -contrad-cl_{pp\_lat1}; hnp)$	$(xbogic; -contrad+wearpy1; -hcuz)$	$(0; -1; 0)$
Пятник_14	$(0; contrad+cl_{pp\_lat1}; hnp)$	$(xbogic; contrad-wearpy1; -hcuz)$	$(0; 1; 0)$
Пятник_21	$(contrad+cl_{pp\_long1}; 0; hnp)$	$(-xbogic+contrad-wearpx2; 0; -hcuz)$	$(1; 0; 0)$
Пятник_22	$(-contrad-cl_{pp\_long2}; 0; hnp)$	$(-xbogic-contrad+wearpx2; 0; -hcuz)$	$(-1; 0; 0)$
Пятник_23	$(0; -contrad-cl_{pp\_lat2}; hnp)$	$(-xbogic; -contrad+wearpy2; -hcuz)$	$(0; -1; 0)$
Пятник_24	$(0; contrad+cl_{pp\_lat2}; hnp)$	$(-xbogic; contrad-wearpy2; -hcuz)$	$(0; 1; 0)$

Таблиця 3.43 – Параметри контактних елементів «Пятник\_MN» в вертикальному напрямі

Ім'я контакту	Координати точок на надресорній балці	Координати точки на площині бокової рами	Нормаль до площини рами
Верт_Пятник_1	$(-contrad\_e; 0; hnp-wearpz1)$ $(contrad\_e; 0; hnp-wearpz1)$ $(0; contrad\_e; hnp-wearpz1)$ $(0; -contrad\_e; hnp-wearpz1)$ $(contrad\_e \cdot 0.707; contrad\_e \cdot 0.707; hnp-wearpz1)$ $(contrad\_e \cdot 0.707; -contrad\_e \cdot 0.707; hnp-wearpz1)$ $(-contrad\_e \cdot 0.707; contrad\_e \cdot 0.707; hnp-wearpz1)$ $(-contrad\_e \cdot 0.707; -contrad\_e \cdot 0.707; hnp-wearpz1)$	$xbogie$ $0$ $-hcuz$	$0$ $0$ $-1$
Верт_Пятник_2	$(-contrad\_e; 0; hnp-wearpz1)$ $(contrad\_e; 0; hnp-wearpz1)$ $(0; contrad\_e; hnp-wearpz1)$ $(0; -contrad\_e; hnp-wearpz1)$ $(contrad\_e \cdot 0.707; contrad\_e \cdot 0.707; hnp-wearpz1)$ $(contrad\_e \cdot 0.707; -contrad\_e \cdot 0.707; hnp-wearpz1)$ $(-contrad\_e \cdot 0.707; contrad\_e \cdot 0.707; hnp-wearpz1)$ $(-contrad\_e \cdot 0.707; -contrad\_e \cdot 0.707; hnp-wearpz1)$	$-xbogie$ $0$ $-hcuz$	$0$ $0$ $-1$

Таблиця 3.44 – Параметри контактних елементів «Пятник\_N»

Ім'я контакту	Координати точок на надресорній балці	Координати точки поверхні на кузові	Нормаль до поверхні на кузові
Ковзун_1	(0,05; 0,762; <i>hnsk-gapSk1-wearSk1</i> ) ( 0; 0,762; <i>hnsk-gapSk1-wearSk1</i> ) (-0,05; 0,762; <i>hnsk-gapSk1-wearSk1</i> )	<i>xbogie</i> 0,762 <i>-hcuz+0,096</i>	0 0 -1
Ковзун_2	(0,05; -0,762; <i>hnsk-gapSk2-wearSk2</i> ) ( 0; -0,762; <i>hnsk-gapSk2-wearSk2</i> ) (-0,05 -0,762; <i>hnsk-gapSk2-wearSk2</i> )	<i>xbogie</i> - 0,762 <i>-hcuz+0,096</i>	0 0 -1
Ковзун_3	(0,05; 0,762; <i>hnsk-gapSk3-wearSk3</i> ) ( 0; 0,762; <i>hnsk-gapSk3-wearSk3</i> ) (-0,05; 0,762; <i>hnsk-gapSk3-wearSk3</i> )	<i>xbogie</i> 0,762 <i>-hcuz+0,096</i>	0 0 -1
Ковзун_4	(0,05; -0,762; <i>hnsk-gapSk4-wearSk4</i> ) ( 0; -0,762; <i>hnsk-gapSk4-wearSk4</i> ) (-0,05; -0,762; <i>hnsk-gapSk4-wearSk4</i> )	<i>xbogie</i> - 0,762 <i>-hcuz+0,096</i>	0 0 -1

Таблиця 3.45 – Загальні параметри контактних елементів «Пятник»

Параметр	Ідентифікатор	Значення
Контактна жорсткість в одній точці, Н/м	<i>cstiff_bz</i>	$10^8$
Контактна дисипація в одній точці, Н·с/м	<i>cdiss_bz</i>	$3 \cdot 10^4$
z координата ц.м. балки над осью кол пар в недеформ стані	<i>hnb</i>	0,226
Коэф. трения в буксов. узле x,y	<i>fr_by</i>	0,17
Коэф. трения в буксов. узле z	<i>fr_bz</i>	0,17
Статична деформація букси	<i>f0buksa</i>	

Опис опирання кузова на надресорную балку через ковзуни представлено чотирма контактними силовими елементами типа Точки-Площина «Ковзун\_N»,

$N = 1,4$ . Для кожного ковзуна на надресорній балці вводиться по три точки контакту, як показано на рисунку 3.54. Параметри цих контактних елементів наведені в таблиці 3.46.

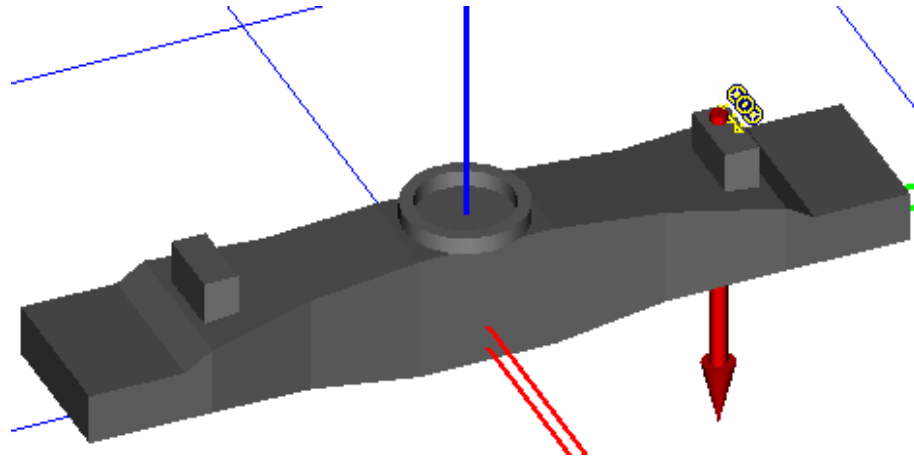


Рисунок 3.54 – Точки контакту на надресорній балці і нормаль до контактної площини на кузові елемента «Ковзун\_  $N$ »

Таблиця 3.46 – Параметри контактних елементів «Ковзун\_  $N$ »

Ім'я контакту	Координати точок на надресорній балці	Координати точки поверхні на кузові	Нормаль до поверхні на кузові
Ковзун_1	$(0,05; 0,762; hnsk-gapSk1-wearSk1)$ $(0; 0,762; hnsk-gapSk1-wearSk1)$ $(-0,05; 0,762; hnsk-gapSk1-wearSk1)$	$xbogie$ $0,762$ $-hcuz+0,096$	0 0 -1
Ковзун_2	$(0,05; -0,762; hnsk-gapSk2-wearSk2)$ $(0; -0,762; hnsk-gapSk2-wearSk2)$ $(-0,05; -0,762; hnsk-gapSk2-wearSk2)$	$xbogie$ $-0,762$ $-hcuz+0,096$	0 0 -1
Ковзун_3	$(0,05; 0,762; hnsk-gapSk3-wearSk3)$ $(0; 0,762; hnsk-gapSk3-wearSk3)$ $(-0,05; 0,762; hnsk-gapSk3-wearSk3)$	$xbogie$ $0,762$ $-hcuz+0,096$	0 0 -1
Ковзун_4	$(0,05; -0,762; hnsk-gapSk4-wearSk4)$ $(0; -0,762; hnsk-gapSk4-wearSk4)$ $(-0,05; -0,762; hnsk-gapSk4-wearSk4)$	$xbogie$ $-0,762$ $-hcuz+0,096$	0 0 -1

В цій таблиці параметром  $hnsk$  позначена відстань в вертикальному напрямі між центром мас надресорної балки і низом ковзуна на кузові,  $hnsk = 0,2434$  м. Зазори в ковзунах задані за допомогою ідентифікаторів  $gapSk_N$ ,  $N = 1,4$ , крім того за допомогою ідентифікаторів  $wearSk_N$  задані зноси ковзунів. Загальні параметри цих контактних силових елементах, зокрема жорсткість і коефіцієнт дисипації, надані в таблиці 3.47.

Профіль колеса. Профіль кожного колеса можливо визначити окремо, скориставшись відповідним інструментом програми, в спеціальній системі координат, що наведена на рисунку 3.55.

Таблиця 3.47 – Загальні параметри контактних елементів «Ковзун  $N$ »

Параметр	Ідентифікатор	Значення
Контактна жорсткість в одній точці, Н/м	$cstiff\_sk$	$10^8$
Контактна дисипація в одній точці, Н·с/м	$cdiss\_sk$	$1 \cdot 10^5$
Коефіцієнт тертя	$fr\_sk$	0,17

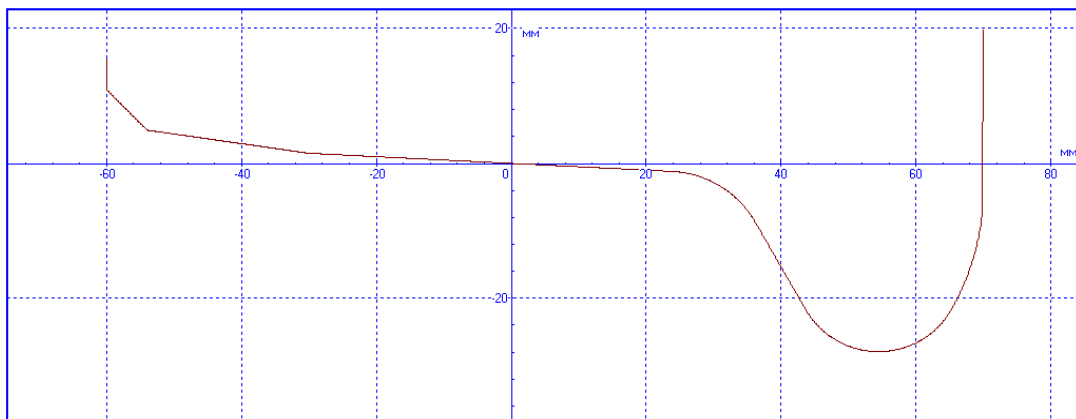
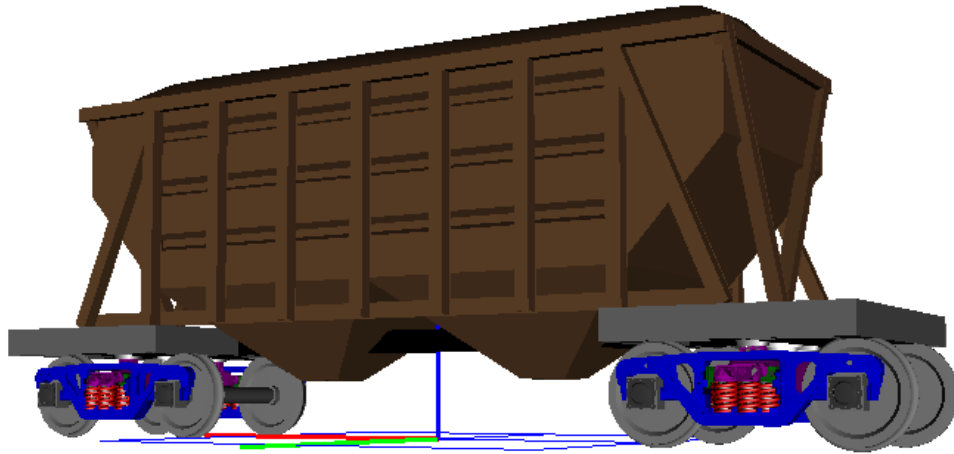
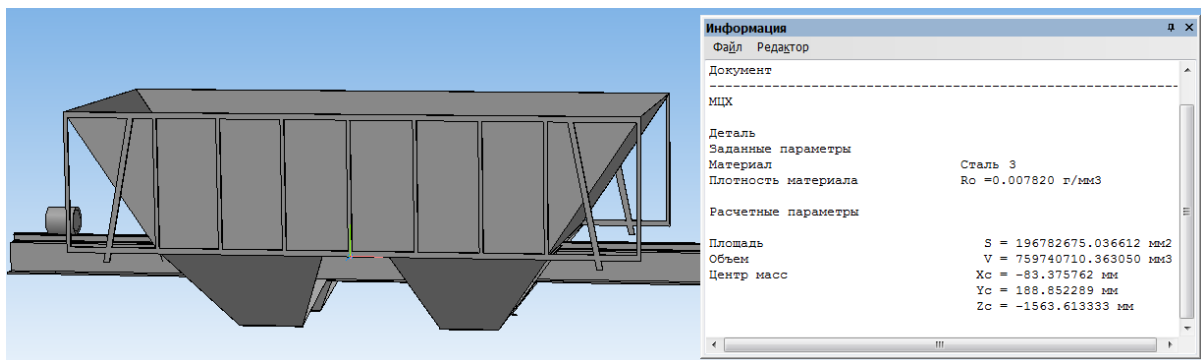


Рисунок 3.55 – Система координат профілю колеса

Загальний вигляд базової комп'ютерної моделі динаміки вагона-хопера показаний на рисунку 3.56 а., на рис. 3.57 б, в приведено дослідні кузова хоперів переобладнаних вагонів у спрощеному вигляді.

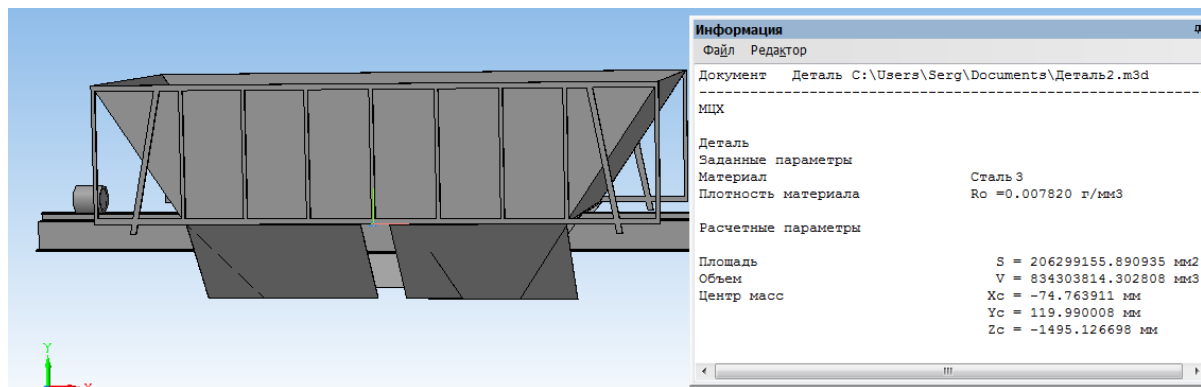


а)



б)

Рисунок 2.56 – Загальний вигляд комп'ютерної моделі динаміки вагона



в)

Рисунок 3.57 – Загальний вигляд комп'ютерної моделі динаміки вагона

### 3.6.2 Верифікація комп'ютерної моделі

У якості першого етапу перевірки (верифікації) моделі проведено розрахунок простої моделі вертикальних коливань вагону з одним ступенем свободи. Результати моделювання (численного інтегрування) комп'ютерної (математичної) моделі порівняно з результатами аналітичного рішення диференційного рівняння коливань:

$$m \cdot \ddot{z} + \beta \cdot \dot{z} + \mathcal{J} \cdot z = 0$$

де  $m$  – маса,  $\beta$  – коефіцієнт затування коливань,  $\mathcal{J}$  – пружність.

У якості другого етапу перевірки комп'ютерної моделі динаміки вагону використано дані вимірювань прискорень елементів вагону під час проведення ходових динамічних випробувань, виконаних в порожньому та навантаженому стані. Акселерометри встановлювались на буксах першого візка, боковій рамі та на надресорній балці. У якості оцінок адекватності математичної моделі використано коефіцієнт розбіжності Тейла  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i^e - x_i^m)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i^e)^2} + \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i^m)^2}},$$

де  $x_i^m$  і  $x_i^e$  – прогнозовані й експериментальні значення;  $n$  – кількість значень, що перевіряються.

За стандартними відхиленнями прискорень елементів вагона, визначених за даними вимірювань, і таких, що отримані за комп'ютерною моделлю динаміки, розраховано коефіцієнти розбіжності Тейла. Отримані значення не перевищують 0,11, що свідчить про допустимі розходження розрахункових і експериментальних даних.

За результатами спектрального аналізу реалізацій прискорень, зареєстрованих під час ходових динамічних та міцнісних випробувань і отриманих моделюванням, визначено основні частоти ходових частин. Загальне відносне середнє відхилення розрахункових і вимірних частот дорівнює 7,47 %. Отже експериментально отримані частоти достатньо близькі до розрахункових. Загальну розрахункову схему вагона для дослідження динаміки руху представлено на рисунку 3.58.

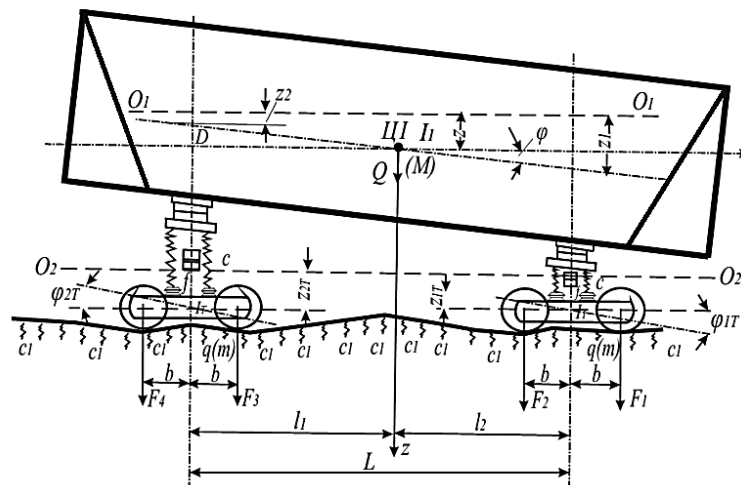


Рисунок 3.58 – Загальна розрахункова схема вагона для дослідження динаміки руху

### 3.6.3 Результати моделювання динаміки з варіацією різних показників

Дослідження динамічних якостей вагона. За результатом моделювання дослідного вагона-хопера, який відповідає загальним параметрам вагонів, переобладнаних з цементовозів і мінераловозів у залежності від стану колії, технічного стану вагонів та маси тари отримані наступні результати.

Моделювання дослідного вагону у технічно справному стані вагона та колії. Для моделювання застосовано усереднений профіль колії, розроблений з урахуванням рекомендацій [114-122] та опробований в попередніх дослідженнях. Загальні результати моделювання приведені у таблиці 3.48.

Таблиця 3.48 – Загальні результати моделювання при технічно справному стані вагона та колії

Діапазон швидкостей	Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд	Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн	Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії
40-50 км/год	0,30–0,40	0,39–0,49	1,50–2,00
50-60 км/год	0,31–0,41	0,40–0,52	1,46–1,70
60-70 км/год	0,33–0,45	0,50–0,56	1,42–1,75
70-80 км/год	0,38–0,51	0,51–0,60	1,38–1,42
80-90 км/год	0,39–0,50	0,52–0,60	1,38–1,41

Вагон, при моделюванні руху в технічно справному стані вагона та колії, має достатній рівень показників динаміки для забезпечення безпечної експлуатації.

Моделювання дослідного вагону у технічно справному стані колії при зменшенні маси тари. Для моделювання застосовано усереднений профіль колії, розроблений з урахуванням рекомендацій [114-122] та опробований в попередніх дослідженнях. Загальні результати моделювання приведені у таблицях 2.48, 2.49 з двома кроками зниження маси тари: до 18,5 т та до 17,0 т для вагона моделі 11-715-01; до 20 т та до 19 т для вагона моделі 19-923-01.

Таблиця 3.49– Загальні результати моделювання при технічно справному стані колії та зменшеній масі тари вагона моделі 11-715-01

Діапазон швидкостей	Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд		Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн		Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії	
	Маса тари - 18,5 т	Маса тари - 17,0 т	Маса тари - 18,5 т	Маса тари - 17,0 т	Маса тари - 18,5 т	Маса тари - 17,0 т
40-50 км/год	0,29–0,40	0,26–0,35	0,39–0,48	0,38–0,52	1,49–2,00	1,42–2,00
50-60 км/год	0,31–0,40	0,30–0,39	0,40–0,51	0,39–0,54	1,45–1,65	1,42–1,62
60-70 км/год	0,32–0,46	0,29–0,45	0,49–0,55	0,48–0,56	1,42–1,73	1,39–1,58
70-80 км/год	0,37–0,50	0,35–0,50	0,50–0,59	0,51–0,61	1,37–1,44	1,34–1,42
80-90 км/год	0,38–0,51	0,35–0,52	0,50–0,60	0,53–0,55	1,35–1,42	1,32–1,39

Таблиця 3.50 – Загальні результати моделювання при технічно справному стані колії та зменшеній масі тари вагона моделі 19-923-01

Діапазон швидкостей	Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд		Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн		Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії	
	Маса тари - 20,0 т	Маса тари - 19,0 т	Маса тари - 20,0 т	Маса тари - 19,0 т	Маса тари - 20,0 т	Маса тари - 19,0 т
40-50 км/год	0,29–0,39	0,29–0,38	0,40–0,48	0,39–0,51	1,55–1,90	1,53–1,88
50-60 км/год	0,31–0,39	0,31–0,38	0,41–0,52	0,39–0,53	1,50–1,68	1,48–1,64
60-70 км/год	0,32–0,45	0,31–0,44	0,48–0,56	0,48–0,56	1,43–1,70	1,40–1,60
70-80 км/год	0,38–0,49	0,38–0,50	0,51–0,60	0,52–0,62	1,39–1,50	1,39–1,46
80-90 км/год	0,39–0,52	0,39–0,51	0,51–0,60	0,52–0,61	1,39–1,49	1,38–1,44

Вагони, при моделюванні руху в технічно справному стані колії та зменшеними масами тари кузовів мають достатній рівень показників динаміки для забезпечення безпечної експлуатації. Присутня тенденція щодо зниження коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок, але значення знаходиться на допустимому рівні.

Моделювання дослідного вагону у технічно справному стані при наявності відхилень колії. Для моделювання застосовано усереднений профіль колії, розроблений з урахуванням рекомендацій та опробований в попередніх дослідженнях з додатковими коефіцієнтами нерівностей колії (коэф. нерівн. колії) - 1,5 та 2,0, що є загально прийнятою практикою [114-122]. З досвіду проведення моделювання динаміки вагонів встановлено, що коэф. нерівн. колії в діапазоні 1,0...1,5 відповідає реальному технічному стану колії АТ «Укрзалізниця», значення 1,5 приблизно відповідає гранично допустимому рівню відхилень, значення коэф. нерівн. колії на рівні 2,0 відповідає перевищенню допустимих значень відхилень.

Загальні результати моделювання приведені у таблиці 3.51.

Таблиця 3.51 – Загальні результати моделювання вагону у технічно справному стані при наявності відхилень колії

Діапазон швидкостей	Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд		Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн		Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії	
	Коеф. нерівн. колії – 1,5	Коеф. нерівн. колії – 2,0	Коеф. нерівн. колії – 1,5	Коеф. нерівн. колії – 2,0	Коеф. нерівн. колії – 1,5	Коеф. нерівн. колії – 2,0
40-50 км/год	0,38–0,48	0,40–0,49	0,44–0,50	0,48–0,56	1,51–1,81	1,50–1,81
50-60 км/год	0,39–0,52	0,41–0,48	0,45–0,58	0,49–0,66	1,44–1,55	1,43–1,56
60-70 км/год	0,40–0,52	0,45–0,59	0,51–0,65	0,53–0,71	1,38–1,42	1,32–1,40
70-80 км/год	0,41–0,51	0,51–0,68	0,55–0,71	0,57–0,75	1,32–1,37	1,29–1,37
80-90 км/год	0,41–0,53	0,55–0,71	0,59–0,74	0,60–0,80	1,32–1,37	1,28–1,36

Вагон, при моделюванні руху в технічно справному стані при наявності відхилень колії має тенденцію до зниження рівнів показників динаміки. При значному збільшенні нерівностей колії можливе зниження коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок до недопустимого рівня. Швидкість, при якій починається зменшення рівня запасу стійкості –  $70 \pm 5$  км/год.

*Моделювання дослідного вагону з відхиленнями у технічному стані.* Для моделювання застосовано усереднений профіль колії, розроблений з урахуванням рекомендацій та опробований в попередніх дослідженнях [114-122], візок з відхиленням технічного стану у вигляді максимальних зносів (буксового прорізу, фринкійних клинів, пятнику), візок з відхиленням технічного стану у вигляді максимальних зносів, збільшених на 15%. Загальні результати моделювання приведені у таблиці 3.52.

Таблиця 3.52 – Загальні результати моделювання вагону з відхиленнями у технічному стані

Діапазон швидкостей	Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд		Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн		Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії	
	Максимальні зноси	Максимальні зноси +15%	Максимальні зноси	Максимальні зноси +15%	Максимальні зноси	Максимальні зноси +15%
40-50 км/год	0,30–0,41	0,32–0,42	0,40–0,49	0,42–0,49	1,50–1,91	1,50–1,91
50-60 км/год	0,31–0,41	0,33–0,44	0,41–0,52	0,43–0,55	1,45–1,57	1,43–1,53
60-70 км/год	0,33–0,45	0,37–0,39	0,51–0,56	0,53–0,58	1,37–1,48	1,28–1,37
70-80 км/год	0,38–0,50	0,38–0,50	0,53–0,61	0,56–0,62	1,31–1,40	1,28–1,39
80-90 км/год	0,39–0,50	0,39–0,50	0,54–0,62	0,56–0,66	1,33–1,37	1,29–1,40

Вагон, при моделюванні руху з відхиленнями у технічному стані має тенденцію до зниження рівнів показників динаміки. При збільшенні відхилень (зносів) елементів візка спостерігається зниження коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок до недопустимого рівня.

За результатами комп'ютерного моделювання динаміки дослідних вагонів встановлено наступне:

При моделюванні руху дослідних вагонів, за умови технічно справного стану вагонів та колії, дослідні вагони мають рівень показників динаміки, який забезпечує безпечну експлуатацію.

При моделюванні руху дослідних вагонів, за умови технічно справного стану колії, але зменшеними масами тари кузовів, вагони мають рівень показників динаміки, який забезпечує безпечну експлуатацію.

При зменшенні мас тари присутня тенденція щодо зниження коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок, але його значення не виходять за межі допустимого.

При моделюванні руху дослідних вагонів, за умови їх технічно справного стану, але наявності відхилень в утриманні колії, вагони мають тенденцію до погіршення показників динаміки. При значному збільшенні нерівностей колії можливе зниження коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок до недопустимого рівня. Швидкість, при якій починається зменшення рівня запасу стійкості –  $70 \pm 5$  км/год.

При моделюванні руху дослідних вагонів з відхиленнями у технічному стані, вагони мають тенденцію до погіршення показників динаміки. При збільшенні відхилень (зносів) елементів візка можливе зниження коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок до недопустимого рівня.

Узагальнюючи результати ходових динамічних випробувань та комп'ютерного моделювання динаміки руху вагонів-хоперів у порожньому стані встановлено наступне:

За результатами ходових динамічних випробувань дослідних вагонів показники динаміки знаходилися в допустимих межах для руху із швидкостями до 80 км/год включно.

За результатами комп'ютерного моделювання встановлено, що:

- при справному технічному стані вагонів та колії, показники динаміки знаходяться у межах допустимих значень.
- при відхиленнях у технічному стані вагонів та колії відбувається погіршення динаміки вагонів до недопустимого рівня.
- швидкість, при якій рівень запасу стійкості зменшується менше мінімально-допустимого при наявності відхилень –  $70 \pm 5$  км/год.
- одночасна наявність відхилень в утриманні колії та у технічному стані вагону зменшує швидкість, при якій запас стійкості досягає значення менше мінімально-допустимого.

### **3.7 Економічна оцінка ефективності використання отриманих результатів**

Розрахунок реального збитку, який наноситься АТ «Укрзалізня» транспортними подіями причинами яких є вантажні вагони зі зменшеними тарами, розраховується шляхом визначення розміру збитку, пов'язаного із пошкодження вантажних і пасажирських вагонів, локомотивів, елементів інфраструктури, засобів зв'язку, витрат на роботу відновлювального поїзда, збитки від пошкоджень і втрати вантажів, та інші події.

Розрахунок загального збитку виконується за формулою:

$$Y_{\text{тр}} = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_7 + Y_8 + Y_9 + Y_{10}$$

де  $Y_{\text{тр}}$  - збитки транспортних подій;

$Y_1$  - збитки від пошкоджень вантажних вагонів;

$Y_2$  - збитки від пошкодження колії;

$Y_3$  - збитки від пошкодження контактної мережі;

$Y_4$  - збитки від пошкоджень пристроїв автоматики та телемеханіки;

$Y_5$  - збитки від пошкоджень та втрати вантажу;

$Y_6$  - витрати на роботу відновлювального поїзда;

$Y_7$  - збиток від незапланованих затримок і простою поїзда;

$Y_8$  - екологічний шкоду;

$Y_9$  - збитки від затримки в доставці вантажів

$Y_{10}$  - інші збитки.

Підйом рухомого складу, що зійшов з рейок, проводиться за допомогою відновного поїзда.

До витрат на роботу відновлювального поїзда відносяться такі складові:

- транспортування відновлювального поїзда від місця дислокації до місця роботи та назад;
- підйом рухомого складу, що зійшов з метою відновлення руху;
- підйому рухомого складу, що зійшов, раніше відставленого "в полі" для якнайшвидшого відкриття перерваного руху поїздів, під час наданого додаткового "вікна" у графіку руху;
- витрати необхідних матеріалів;
- оплата праці персоналу за понаднормову роботу;

У кожному даному випадку ці витрати залежать від тяжкості наслідків транспортної події та іншої події. Обсяг виконуваних робіт визначається часом, витраченим підйом рухомого складу на місці події.

Витрати щодо переміщення відновлювального поїзда встановлюються на основі відповідних витратних ставок.

Витрати з підйому рухомого складу, що зійшов, обумовлюються витратами з використання технічних засобів відновного поїзда. Вартість однієї

години роботи технічних засобів: кранів, бульдозерів, гідравлічного та ін. обладнання, що беруть участь у роботах, розраховується за формулою:

$$З_{\text{тп}} = \sum E_{\text{тзі}}$$

де  $E_{\text{тзі}}$  – витрати на роботу задіяних технічних засобів.

Витрати на роботу всіх технічних засобів становлять:

$$P_{\text{тз}} = З_{\text{тп}} \cdot T_{\text{прс}}$$

де  $T_{\text{прс}}$  – час, витрачене на підйом рухомого складу від початку робіт до їх завершення.

Планова калькуляція вартості 1 години робіт бульдозера, кранів, гідравлічного та іншого обладнання складається щорічно для літнього та зимового періодів відповідними підрозділами АТ «Укрзалізниця».

Статистичні дані щодо сходів вантажних вагонів в порожньому стані на ділянках залізниць України показують, що найбільше сходів за останні роки (2011-2021 рр.) відбулося з вантажними вагонами зі зменшеною тарою: універсальними платформами моделі 13-4012 та вагони-хопери для цементу зі знятою кришею моделі 19-758-01. За період з 2011 по 2021 року було більше 36 випадків сходу вагонів з рейок.

Для прикладу розглянемо одну транспортну подію з вагонами зі зменшеною тарою, 29.04.2018р. на перегоні Брівки – Попільня РФ «Південно-Західна залізниця» зійшли вагони-платформи моделі 13-4012 порядковий 19 та 20 з 20 вагонів (у ховості) на швидкості 67 км/год, пошкодження зазнали 2 вагони та ділянка колії. Збитки нанесені рухомому складу склали  $\approx 1620$  тис. грн., затрати для відновлення колії  $\approx 320$  тис. грн., робота відновлювального поїзда  $\approx 450$  тис. грн., збитки від незапланованих затримок  $\approx 80$  тис. грн., інші збитки  $\approx 50$  тис. грн.

Розрахунок загального збитку:

$$Y_{\text{тп}} = 1620 + 320 + 450 + 80 + 50 \approx 2220 \text{ тис. грн.}$$

У період з 2011 по 2021 року було 36 випадків сходу вагонів (в середньому 3 транспортні події на рік) зі зменшеними тарами з рейок та загальні збитки складають близько  $\sum_{2011}^{2021} Y_{\text{тр}} \approx 79920$  тис.грн.

Річний економічний ефект  $E = Y_{\text{тр}} \cdot 3 = 6700$  тис.грн

Отже річний розрахунковий економічний ефект буде складати близько 6,7 млн. грн.

### **3.8 Висновки за розділом 3**

Сформульовано загальні вимоги до мобільної системи для визначення показників якості та безпеки руху вантажних вагонів зі зменшеною тарою в умовах експлуатації. Описана апаратна частина та первинні перетворювачі мобільної системи.

Враховуючі основні причини та гіпотези щодо сходів з рейок вантажних вагонів зі зменшеною тарою, результати проведених ходових динамічних випробувань, комп'ютерного моделювання можна зробити висновок що основними причинами сходів вагонів є несправності ходової частини вагонів, знос елементів фрикційних гасителів коливань і вузла обпирання кузова на надресорні балки, неприпустимі відхилення розмірів візків, не дотримання вимог до утримання колії. Також важливою причиною є негативне зменшення тари вагона більш ніж як на 10% від встановленої заводом виробником.

На основі проведеного аналізу причин сходів вантажних вагонів зі зменшеною тарою з рейок, ходових динамічних випробувань та комп'ютерного моделювання розроблено технічні рішення щодо покращення показників динаміки руху вантажних вагонів зі зменшеною тарою.

На основі результатів порівняльних випробувань вагона-платформи для перевезень великовантажних контейнерів моделі 13-401-17 (№ 94227717 з модернізацією за проектом С.14.01 1983 року виготовлення та вагона-платформи № 94287356 з модернізацією за проектом С.03.04-ковзуни А.СТАКИ 1982 року виготовлення) в порожньому стані встановлено, що показники динаміки руху вагона-платформи з модернізацією за проектом

С.03.04-ковзуни А.СТАКИ краці ніж в іншого дослідного вагона, Коефіцієнт запасу стійкості на швидкості 80 км/год у вагона без модернізації складає 1,15, що менше за допустиме 1,3, а у вагона з модернізацією А.СТАКИ складає 1,45.

Складено залежності коефіцієнтів запасу стійкості колісних пар від сходу з рейок за результатами випробувань (рис. 3.59).

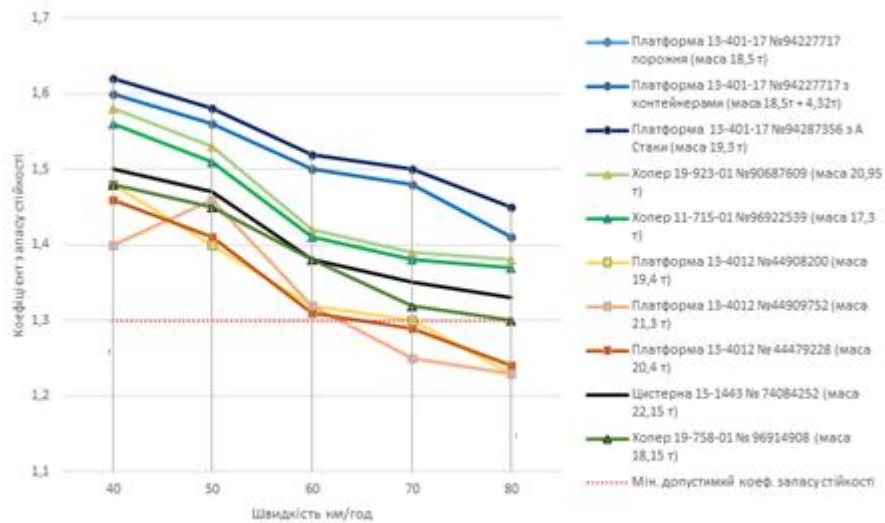


Рисунок 3.59 – Графік залежності від швидкості руху коефіцієнтів запасу стійкості колісних пар від сходу з рейок за результатами випробувань

В таблиці 3.52 приведені сформовані граничні ходові динамічні показники якості руху за результатами проведених випробувань вантажних вагонів зі зменшеною тарою.

Таблиця 3.53 – Ходові динамічні показники якості руху вантажних вагонів зі зменшеною тарою

Оцінка руху	Коефіцієнт вертикальної динаміки		Рамні сили у частках осевого навантаження $P_0$		Вертикальні $[a_v]$ і горизонтальні $[a_r]$ прискорення в частках $g$			
	$k_{дв}$ , не більше, ніж		$[H_p/P_0]$ не більше, ніж		$[a_v]$ не більше, ніж		$[a_r]$ не більше, ніж	
	порожній	завантажений	порожній	завантажений	порожній	завантажений	порожній	завантажений
Обресорена маса візка вагона								
Відмінний $\frac{[1]}{[2]}$	0,50	0,20	-	-	0,50	0,20	0,20	0,10
	0,50	0,20	-	-	0,50	0,20	0,20	0,10
Добрий $\frac{[1]}{[2]}$	0,60	0,35	-	-	0,60	0,35	0,25	0,15
	0,60	0,35	-	-	0,60	0,35	0,25	0,15
Задовільний $\frac{[1]}{[2]}$	0,70	0,40	-	-	0,70	0,45	0,40	0,30
	0,70	0,40	-	-	0,70	0,45	0,40	0,30
Допустимий $\frac{[1]}{[2]}$	0,75	0,65	-	-	0,75	0,65	0,55	0,45
	0,75	0,65	-	-	0,75	0,65	0,55	0,45
Необресорені елементи рами візка вагона								
Відмінний $\frac{[1]}{[2]}$	0,60	0,50	0,25	0,20	0,65	0,55	0,30	0,25
	0,60	0,50	0,25	0,20	0,65	0,55	0,30	0,25
Добрий $\frac{[1]}{[2]}$	0,75	0,70	0,30	0,25	0,80	0,75	0,35	0,30
	0,75	0,70	0,30	0,25	0,80	0,75	0,35	0,30
Задовільний $\frac{[1]}{[2]}$	0,85	0,80	0,38	0,30	0,90	0,85	0,50	0,35
	0,85	0,80	0,38	0,30	0,90	0,85	0,50	0,35
Допустимий $\frac{[1]}{[2]}$	$\frac{0,90^*}{0,98^*}$	$\frac{0,85^*}{0,90^*}$	0,40	0,38	0,98	0,90	0,55	0,45
	$\frac{0,90^*}{0,98^*}$	$\frac{0,85^*}{0,90^*}$	0,40	0,38	0,98	0,90	0,55	0,45

\*-у чисельнику значення для розвантаження, у знаменнику- довантаження.

За результатами досліджень можна зробити висновок, що впровадження принципу адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах в несучих системах вагона призводить до покращення показників динаміки руху порожніх вагонів.

Розрахунковий економічний ефект від практичного впровадження результатів роботи буде складати близько 6,7 млн. грн. на рік.

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які у сукупності вирішують наукове завдання з удосконалення засобів та методів оцінки показників якості та безпеки руху вантажних вагонів зі зменшеною тарою. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень зроблено наступні висновки:

1. Встановлені основні причини сходів з рейок вантажних вагонів зі зменшеною тарою: несправності ходової частини вагонів, знос елементів фрикційних гасителів коливань і вузла обпирання кузова на надресорні балки, не дотримання вимог до утримання колії. Також важливою причиною є негативне зменшення тари вагона більш ніж як на 10% від встановленої заводом виробником.

2. Результати причин сходів вантажних вагонів зі зменшеними тарами, систем визначення показників якості та безпеки руху, проектів з покращення якості руху вантажних вагонів дозволили визначити складові, які доцільно удосконалювати за допомогою математичного забезпечення процедури визначення показників якості та безпеки руху мобільними пристроями в експлуатації. До таких складових віднесено: коефіцієнт запасу стійкості, прискорення обресорених та необресорених мас вагона, горизонтальні та вертикальні сили, інструментальне та програмне забезпечення визначення цих показників.

3. Розроблені структурно-функціональні рішення з покращення показників якості руху вантажних вагонів зі зменшеними тарами є ефективними. Введення запропонованих покращень при взаємодії з відомими забезпечує появу додаткових ступенів вільності конструкції та реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники якості та безпеки руху.

4. Розроблено математичне забезпечення процедури визначення показників якості та безпеки руху, яке дозволяє з розширеною невизначеністю

вимірювань у 2.1% (при максимально допустимому 5%) визначати ці показники мобільними системами в експлуатації.

5. Сформовано та реалізовано загальні вимоги до мобільної системи з визначення показників якості та безпеки руху вантажних вагонів зі зменшеними тарами в експлуатації. Дана мобільна система дозволяє проводити ходові випробування без залучення вагона лабораторії, що скорочує витрати та час на проведення таких випробувань на 25,8%.

6. Удосконалено базу схем діагностування показників якості та безпеки руху вантажних вагонів шляхом обґрунтування місць та способів (тензорезисторів від 28 шт, акселерометрів від 8 шт) визначення завантаженості їх конструкцій зі зменшеною тарою. Зазначене досягається використанням високоточних акселерометрів з невизначеністю  $U=2.5\%$  для вимірювання віброприскорень та сучасного реєструючого обладнання.

7. На основі результатів проведених досліджень запропоновані та внесені зміни (рішення Правління АТ «Укрзалізниця» від 29.1.2020 року) в пункт 10.5 Допустимі швидкості руху поїздів доповнити: «10.5 Швидкості руху вантажних поїздів, до складу яких включені вагони-платформи моделей 13-4012, 13-4012М, 13-401-17 в порожньому стані, тара яких менша за мінімальну масу тари вагона, встановлюються не більше 60 км/год», СТП 07-003:2019 «Залізничний транспорт. Норми допустимих швидкостей рухомого складу по коліях шириною 1520 мм».

8. Результати експериментальних порівняльних випробувань вагона-платформи для перевезень великовантажних контейнерів моделі 13-401-17 з модернізацією за проектом С.14.01 та вагона-платформи з модернізацією за проектом С.03.04-ковзуни А.СТАКИ в порожньому стані, з експлуатаційними де граційними змінами встановлено, що показники динаміки руху вагона-платформи з модернізацією за проектом С.03.04-ковзуни А.СТАКИ кращі ніж в іншого дослідного вагона, Коефіцієнт запасу стійкості на швидкості 80 км/год у вагона без модернізації складає 1,15, що менше за допустиме 1,3, а у вагона з модернізацією А.СТАКИ складає 1,45, що свідчить про доцільність впровадження структурно функціональних рішень з адаптивного сприймання

експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах. Також встановлено резонансний діапазон швидкості 60-70 км/год під час якого в ряді дослідних вагонів зафіксовано різке погіршення показників динаміки руху.

9. Результати моделюванням показників які впливають на якість руху вагону, дозволило встановити вагові частини впливу основних факторів які спричинюють сход вантажних вагонів зі зменшеними тарами з рейок: тара вагона – 39,6%, стан колії – 30,3%, технічний стан вагона – 30,1%.

10. Запропоновано безпечну схему формування поїздів до складу яких включені вантажні вагони зі зменшеними тарами. Отримані під час проведення ходових динамічних випробувань значення сил стиску, які діють на автозчепні пристрої вагонів та досягають або перевищують критичних значень в головній та середній частинах поїзда за такими схемами. Доцільною є постановка порожніх вагонів в останній третині поїзда.

11. Розрахунковий економічний ефект від практичного впровадження результатів роботи на всій системі залізниць України буде складати близько 6,7 млн. грн. на рік.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Марье Г. Взаимодействие пути и подвижного состава. Марье Г. – М.: Госжелдориздат, 1933. – 338.
2. Nadal M. J. Lokomotives a Vapeur Collection Encyclopedie Scintifique Biblioteque de Mecanique Applique et Genie, Vol. 186, (Paris), 1908.
3. Мищенко К.Н. Современное состояние вопроса о всповзании колеса на рельс. К.Н. Мищенко. Труды ДИИТ. 1950. Вып. XX. С. 53-67.
4. Бромберг Е.М. Взаимодействие пути и подвижного состава. Е.М. Бромберг, М.Ф. Вериге, В.Н. Данилов, М.А. Фришман; Под общ. ред. М.А. Фришмана. М.: Гострансжелдориздат, 1956. 280 с.
5. Вериге М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава. М.Ф. Вериге, А.Я.Коган. М.: Транспорт, 1986. 559 с.
6. Вериге М.Ф. Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава и вопросы расчета пути. М.Ф. Вериге. Труды ЦНИИ МПС. 1963. Вып. 286. 125с.
7. Вершинский С.В. Динамика вагона: учебник для вузов ж.-д. транспорта. С.В. Вершинский, В.Н. Данилов, И.И. Челников. М.: Транспорт, 1978. 352 с.
8. Маслиев В.Г. Динамика локомотива с устройством для радиальной установки колесных пар в кривых. В.Г. Маслиев. Вісник Східноукр. нац.. ун-ту. Технічні науки. Серія транспорт. 2002. №6(52). с. 69-74.
9. Вериге М.Ф. Модернизация рессорного подвешивания тележек типа МТ-50. М.Ф. Вериге, Л.О. Грачева, П.С. Анисимов. ВНИИЖТ. 1968. Вип. 372. 112 с.
10. Кондратьев В.Ф. О сходе колеса с рельса. В.Ф. Кондратьев. Весник ВНИИЖТ. 1980. №6. С. 23-25.
11. Погорелов Д.Ю. Критерий для оценки опасности схода подвижного состава путем вкатывания колеса на головку рельса. Д.Ю. Погорелов, В.А. Симонов. Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты. 2009. С. 136-138.

12. Погорелов Д.Ю. Показатель для оценки опасности схода подвижного состава путем вкатывания колеса на головку рельса. Ю. Погорелов, В.А. Симонов. Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. 2010. №5(147). Частина I. С. 64-70.

13. Азовский А.П. Об оценке запаса устойчивости колеса от вкатывания на головку рельса. А.П. Азовский, В.Н. Котуранов М.Н. Овечников, И.В. Плотников. Сборник статей международной конференции «Безопасность движения поездов». М.: МИИТ. 2007. С. VI-1-VI-2.

14. Котуранов В.Н. Методика расчета запаса устойчивости колеса против схода с рельсов. В.Н. Котуранов, Д.В. Иванов, А.Г. Петров и др. Труды конференции «Безопасность движения». М.: МИИТ. 2010. С.7-24.

15. Коган А.Я. Актуальность строительства высокоскоростной железной пассажирской магистрали Санкт-Петербург. Москва (Конференция СПб). 2004.

16. Трофимов А.Н. Об устойчивости подвижного состава против схода с рельсов. А.Н. Трофимов. Труды ДИИТ. 1983. Вып. 228/25. С. 23-26.

17. Винник Л.В. Замечания по поводу использования критерия Надаля при оценке безопасности схода с рельс. Л.В. Винник, Г.П. Бучак. Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. 2005. №8(147). Частина I. С. 108-113.

18. Ишизава М. Тележки вагонов Новой линии Токайдо и результаты их применения. М. Ишизава, Н. Мицуи, С. Отсука. Ежемесячный бюллетень МАЖК. 1969. №2. С. 3-27.

19. Elkins J. New Criteria for Flange Climb Derailment. J. Elkins, Wu. Huimin. 2000 ASME/IEEE Joint Railroad Conference, April 4-6. 2000. P. 1-7.

20. Weistock H. Wheel Climb Derailment Criteria for Evaluation of Rail Vehicle Safety. Paper no 84 – WA/RT – 1, ASME Winter Annual Meeting. 1984. P. 34-42.

21. Клокова Н.П. Тензорезисторы: Теория, методики расчета, разработки. М.: Машиностроение, 1990. — 224 с.

22. Фомін О.В., Прокопенко П.М. Теоретично - експериментальне визначення коефіцієнту стійкості вагона-платформи в залежності від експлуатаційно-деградаційних змін тари. *Вісник СХУ ім. В. Даля*. Сєверодонецьк. 2018. № 2(243). С. 225-232

23. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Фоміна А.М. Експериментальне оцінювання показників якості руху вагона-платформи в умовах експлуатації. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій серія «Транспортні системи і технології»*. 2018. № 32 том 1. Київ. С. 126-134.

24. Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Mykola Gorbunov, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Vladimir Hauser. The improved hatch cover construction for universal open box-type wagon from the strength and durability point of view. *Manufacturing Technology*. 2019. Vol. 19. № 2. P 216-221. (видання індексується у БД Scopus).

25. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І., Фоміна А.М. Оцінка показника якості руху легковагових вагонів в складі поїзда. *Вісник СХУ ім. В. Даля*. Сєверодонецьк. 2019. № 2(250). С. 103-109

26. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Сапронова С.Ю., Фоміна А.М. Експериментальне оцінювання показника коефіцієнта стійкості вантажних вагонів в експлуатації. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій серія «Транспортні системи і технології»*. Київ. 2019 № 33 том 1. С. 144-155.

27. Fomin Oleksij, Lovska Alyona, Daki Olena, BohomiaVolodymyr, Tymoshchuk Olena and Prokopenko Pavlo. The substantiation of the concept of creating containers with viscous-elastic connections in fitting. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. VOL. 14 № 15. 2019. P 2771-2776 . (видання індексується у БД Scopus).

28. Фомин А.В., Прокопенко П.Н., Горбунов Н.И., Сова С.С. Способ оценки показателей качества движения легковесных пустых вагонов. *Збірник*

наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології». Київ. 2020. №35. С. 44-51.

29. 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 Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології»*. Київ. 2020. №36. С. 33-42.

30. Фомін О.В., Кара С.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І., Фомін В.В. Дослідження показників динаміки порожніх легковагових вагонів з врахуванням експлуатаційних показників. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. № 20. 2021. С. 22-32.

31. Фомін О.В., Прокопенко П.М. Теоретичні аспекти випробування вагонів-платформ з експлуатаційно-граничною зменшеною тарою. *Збірник наукових праць VIII-ї міжнародної науково-практичної конференції «Транспорт і логістика: проблеми та рішення» 23-25 травня 2018 р. м. Одеса*. Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля. 2018. С.132-134.

32. Фомін О.В., Прокопенко П.М. Експериментальне визначення коефіцієнту запасу стійкості вагона платформи в експлуатації. *Збірник наукових праць науково-практичної конференції «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» 16-17 листопада 2018 року*. Київ. 2018. С. 229-231.

33. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Фоміна А.М. Експериментальне оцінювання якості руху легковагових вантажних вагонів. *Актуальні проблеми сучасної освіти: реалії та перспективи. Матеріали Всеукраїнської конференції студентів та викладачів ЗВО. Тези доповідей учасників конференції. Маріупольський коледж ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», 17 травня 2019 р.* Маріуполь. 2019. С. 124-125.

34. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Сова С.С., Фоміна А.М. Теоретичне оцінювання залишкового ресурсу вагоповірного вагона. *Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції «Транспортні*

технології та безпека дорожнього руху» 14–15 квітня 2020 року. Запоріжжя. 2020. С. 47-49.

35. Кара С.В., Петренко В.О. Прокопенко П.М. Проведення періодичних контрольних випробувань вантажних вагонів з метою підвищення ефективності їх використання. *The 7th International scientific and practical conference “Science, society, education: topical issues and development prospects” (June 7-9, 2020) SPC “Sci-conf.com.ua”, Kharkiv. 2020. С. 328 – 330.*

36. Фомін О.В., Ловська А.О., Gerlici. J., Фоміна Ю.В., Федосов-Ніконов Д.В., Прокопенко П.М. Визначення закономірностей динамічної завантаженості несучої конструкції критого вагона при веденні з нього вогняної дії у горизонтальній площині. *Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність на транспорті», Харків, 18-20 листопада 2020 р.: Тези доповідей. УкрДУЗТ. Харків. 2020. С. 52-53.*

37. Фомин А.В., Прокопенко П.М., Горбунов Н.И., Кара С.В. Фомин В.В. Оценка динамических качеств вагона в условиях эксплуатации. *Сборник VII международной научно-практической конференции «Наука и образование в современном мире: вызовы XXI века». 22 октября 2020 г. Нур-Султан (Казахстан). 2020. С. 105-108.*

38. Фомін О.В., Кара С.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І., Фомін В.В. Вплив на інтермодальні контейнерні перевезення вагонів з експлуатаційно-граничною зменшеною тарою. *Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Дніпровські читання-2020». 23 грудня 2020 р., м. Київ. 2020. С. 186-189.*

39. Кельрих М.Б., Фомин А.В. Прокопенко П.Н. Оценка динамических качеств платформы в условиях эксплуатации. *Материалы X международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте». Часть 5. «Белорусский государственный университет транспорта». 26-27 ноября 2020. Республика Беларусь, г. Гомель. 2020. С.73-74.*

40. Прокопенко П.М., Технічне діагностування вагонів-хоперів для перевезення обкотишів та агломерату з терміном служби що перевищує

нормативний. *Збірник наукових праць – Молодий науковець : вид-во Державний університет інфраструктури та технологій*. Київ. 2018. №2. С. 57-61.

41. Фомін О.В., Прокопенко П.М. Оцінка залишкового ресурсу вантажних вагонів з терміном служби, який перевищує нормативний. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2018. № 4. С. 37-48

42. Кельріх М.Б., Брайковська Н.С., Фомін О.В., Прокопенко П.М. Особливості проведення випробувань вагона-цистерни для небезпечних вантажів. *Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. Сєверодонецьк. 2019. № 3(251). С. 77-83.

43. Фомін О.В., Прокопенко П. М., Бурлуцький О.В., Фоміна А.М. Контрольні випробування вагона-цистерни з метою оцінки залишкового ресурсу несучих конструкцій. *«Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки»*. Київ. Том 30 (69) Ч. 2 № 5. 2019. С. 154-159.

44. Кельріх М.Б., Фомін О.В., Прокопенко П.М., Сова С.С. Теоретичні аспекти визначення залишкового ресурсу вагона-цистерни для небезпечних вантажів. *Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. Сєверодонецьк. № 5 (261). 2020. С. 5-9.

45. Фомін О.В., Горбунов М.І., Кара С.В., Прокопенко П.М., Гриндей П.О. Вдосконалення литих деталей візків вантажних вагонів на основі результатів визначення ймовірних місць виникнення втомних руйнувань. *Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. Сєверодонецьк. №19. 2020. С. 1-7.

46. Фомін О.В., Прокопенко П.М. Горбунов М.І., Кара С.В., Фомін В.В. Оцінка міцності несівних конструкцій вантажного вагона з врахуванням їх деградаційних змін. *Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. Сєверодонецьк. №19. 2020. С. 8-16.

47. O.V. Fomin, P.M. Prokopenko, A.O. Lovsky. Technical diagnosis of surfaces with a terminal service which remains a semiconductor from a normative.

*Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Технології та інфраструктура транспорту»*. Харків. 14-16 травня 2018. С. 512-513.

48. Кельріх М.Б., Брайковська Н.С., Фомін О.В., Прокопенко П.М. Особливості проведення випробувань вагона-цистерни для небезпечних вантажів. *Збірник наукових праць IX-ої міжнародної науково-практичної конференції «Транспорт і логістика: проблеми та рішення» 22-24 травня 2019 року*. Одеса. 2019. С. 76-79.

49. Фомін О.В., Прокопенко П.М. Дослідження несучих систем вагонів з метою визначення їх залишкового ресурсу. *Матеріали 79 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» 16-17 травня 2019 року*. Дніпро. 2019 С. 88-89.

50. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Фоміна А.М. Технічне оцінювання залишкової несівної здатності металоконструкції напіввагона. *Збірник тез доповідей II Регіональної науково-практичної конференції «Транспортні системи та технології: проблеми та перспективи розвитку» 12 квітня 2019 року*. Запоріжжя. 2019. С. 24-26.

51. Kelrich M., Braikovskaya N., Fomin O., Prokopenko P. Features of research results of liquid cargo in a railway cister during movement. *Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects: thesis, 5-10 May 2020*. Georgia. 2020. P. 27-30.

52. M Kelrykh, O Fomin, J Gerlici, P Prokopenko, K Kravchenko and T Lack. Features of tank car testing for dangerous cargoes transportation. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. №659. 2019.

53. Musij Kelrykh, Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Pavlo Prokopenko, Kateryna Kravchenko, Tomas Lack. Tank car testing for dangerous cargoes transportation. *Book of Abstracts for the 9th International Scientific Conference [on] Research and Development of Mechanical Elements and Systems, IRMES 2019, 5-7 September 2019*. Kragujevac, Serbia. 2019. P. 226-227.

54. Oleksij Fomin, Angela Shvets, Vladimír Hauser , Pavlo Prokopenko. Transversal displacement of freight wagonsbogies. *Proceedings abstracts for the*

*international scientific conference dynamics of rigid and deformable bodies. October 9-11. 2019. Ústí nad Labem, Czech Republic. 2019.*

55. Фомін О.В, Прокопенко П.М., Крисенко Н.М., Сова С.С. Контрольні випробування вагона-цистерни з метою оцінки залишкового ресурсу несучих конструкцій. *Матеріали третьої всеукраїнській практично-пізнавальній інтернет-конференції «Наукова думка сучасності і майбутнього» 29 листопада - 5 грудня. 2019. Івано-Франківськ. С. 52-55.*

56. Фомін О.В, Прокопенко П.М., Борович Р.О., Литвиненко А.С. Теоретичні особливості визначення залишкового ресурсу несучих конструкцій вантажного вагона з строком служби який перевищує призначений. *Матеріали третьої всеукраїнській практично-пізнавальній інтернет-конференції «Наукова думка сучасності і майбутнього». 2019. 29 листопада - 5 грудня. 2019. С. 55-58.*

57. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І., Сова С.С. Оцінка залишкового ресурсу несучих конструкцій пасажирського вагона за межами призначеного терміну служби. *Логістичне управління та безпека руху на транспорті: збірник наукових праць науково-практичної конф., 14-16 жовтня 2019 р. Сєверодонецьк. СНУ ім. В. Даля. Лиман. 2019. С.160-164.*

58. Кельрих М.Б., Брайковская Н.С. Прокопенко П.Н Особенности проведения исследований по продлению назначенного срока службы вагонов-цистерн для перевозки легких порошкообразных грузов. *Материалы IX международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте». Часть 1. «Белорусский государственный университет транспорта». Республика Беларусь, г. Гомель. 2019. С.158-160.*

59. Фомін О.В., Горбунов М.І., Кара С.В., Прокопенко П.М. Вдосконалення литих деталей візків вантажних вагонів шляхом впровадження систем діагностування найбільш навантажених зон. *The 1st International scientific and practical conference “Science and education: problems, prospects and innovations” (October 7-9, 2020) CPN Publishing Group. Kyoto, Japan. 2020. С. 472 – 477.*

60. Патент України на корисну модель № 130258, МПК (2018.01) B61D 3/00, Піввагон глуходонний. Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Цимбалюк А.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: автори – № u 2018 07212; заявка 26.06.2018 ; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22.

61. Патент України на корисну модель № 129972, МПК (B61D 5/06 (2006.01)) Залізнична цистерна. Горбунов М.І., Фомін О.В., Прокопенко П.М., Кара С.В., Фоміна А.М., Лебедєв В.С. (Україна); власник: СНУ ім. В. Даля. – № u201804502; заявка 24.04.2018; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22/2018.

62. Патент України на корисну модель № 129971, МПК (B61D 5/06 (2006.01)) Залізнична цистерна. Горбунов М.І., Фомін О.В., Прокопенко П.М., Кара С.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: СНУ ім. В. Даля. – № u201804500; заявка 24.04.2018; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22/2018.

63. Патент України на корисну модель № 129970, МПК (B61D 5/06 (2006.01)) Залізнична цистерна. Горбунов М.І., Фомін О.В., Прокопенко П.М., Кара С.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: СНУ ім. В. Даля. – № u201804499; заявка 24.04.2018; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22/2018.

64. Патент України на корисну модель № 131586, МПК (2006): B61D 7/00, B61D 17/00, Критий вагон-хопер для перевезення зерна. Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Цимбалюк А.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: автори – № u 2018 07208; заявка 26.06.2018; публ. 25.01.2019, Бюл.№ 2/2019.

65. Патент України на корисну модель №131587, МПК (2016) B61D 7/00, B61F 1/14 (2006.01) Критий вагон-хопер для перевезення мінеральних добрив. Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Цимбалюк А.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: автори – № u 2018 07209; заявка 26.06.2018; публ. 25.01.2019, Бюл.№ 2/2019.

66. Патент України на корисну модель № 134401, МПК (2006), B61D 3/00, Піввагон глуходонний. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Обуховський В.В., Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № u2018 12990; заявка 27.12.2018; публ. 10.05.2019, Бюл. № 9.

67. Патент України на корисну модель №134983, МПК В61D 3/08 (2006.01) Універсальний вагон-платформа. Фомін О.В., М.І. Горбунов, Прокопенко П.М., О.О. Євсєєва, О.В. Бурлуцький, Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № u 201900302; заявка 11.01.2019; публ. 10.06.2019, Бюл. № 11.

68. Патент України на корисну модель № 134986, МПК (2006) В61D 7/00 В61D 17/00, Критий вагон-хопер для перевезення зерна. Фомін О.В., М.І. Горбунов, Прокопенко П.М., О.О. Євсєєва, О.В. Бурлуцький, Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № u 201900306; заявка 11.01.2019; публ. 10.06.2019, Бюл. № 11.

69. Патент України на корисну модель №135500, МПК (2006): В61D 17/00, В61D 17/04, Спосіб підвищення конструкційної міцності хребтової балки вантажного вагона. Зайцев Володимир Олександрович, Петренко Вячеслав Олександрович, Браславець Юрій Володимирович, Кара Сергій Віталійович, Прокопенко Павло Миколайович, Кошель Олексій Олександрович, Яценко Людмила Федорівна (Україна). власник: Філія "Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту" ПАТ "Укрзалізниця". № u201811317; заявка 11.01.2019; публ. 10.07.2019, Бюл. № 13.

70. Патент України на корисну модель №135562, МПК (2006): В61D 7/00, В61D 17/00, Критий вагон-хопер для перевезення мінеральних добрив. Фомін О.В., М.І. Горбунов, Прокопенко П.М., О.О. Євсєєва, О.В. Бурлуцький, Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № u201900308; заявка 11.01.2019; публ. 10.07.2019, Бюл. № 13.

71. Патент України на корисну модель № 138162, МПК (2006.01) В61D 3/20, (2006.01) Вагон-платформа. Фомін О.В., Горбань А.В., Прокопенко П.М., Склярєнко І.Ю. (Україна); власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № u 2019 03964; заявка 16.04.2019 ; публ. 25.11.2019, Бюл.№ 22.

72. Патент України на корисну модель № 139756, МПК 5/06 (2006.01) Залізнична цистерна. Фомін О.В., М.І. Горбунов, Прокопенко П.М., О.О.

Євсєєва, О.В. Бурлуцький, Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № u 2019 00309; заявка 11.01.2019 ; публ. 27.01.2020, Бюл.№ 2.

73. Патент України на корисну модель № 142162 , МПК (2006.01) B61D 3/00, B61D 3/18 (2006.01). 4-х вісний думпкар. Фомін Олексій Вікторович, Склярєнко Інна Юріївна, Левченко Ольга Вікторівна, Фоміна Анна Миколаївна; Прокопенко Павло Миколайович. (Україна); власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № U201907841, заявка 11.07.2019 ; публ. 25.05.2020, Бюл.№ 10.

74. Патент України на корисну модель № 142163 , МПК (2006.01) B61D 3/00, B61D 3/18 (2006.01). 4-х вісний думпкар. Фомін Олексій Вікторович, Склярєнко Інна Юріївна, Скок Павло Олександрович, Фоміна Анна Миколаївна, Прокопенко Павло Миколайович. (Україна); власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № U201907841, заявка 11.07.2019 ; публ. 25.05.2020, Бюл.№ 10.

75. Патент України на корисну модель № 146774 , МПК (2006.01) B61D 3/00, B61D 3/18 (2006.01). Критий вагон-хопер для перевезення цементу. Фомін Олексій Вікторович, Склярєнко Інна Юріївна, Прокопенко Павло Миколайович, Фоміна Анна Миколаївна, Тимощук Олена Миколаївна (Україна); власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № U202006035, заявка 21.09.2020 ; публ. 17.03.2021, Бюл.№ 11.

76. Патент України на корисну модель № 146775 , МПК (2006.01) B61D 3/00, B61D 3/18 (2006.01). 8-вісний піввагон. Фомін Олексій Вікторович, Сапронова Світлана Юріївна, Скок Павло Олександрович, Прокопенко Павло Миколайович, Фоміна Анна Миколаївна (Україна) власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № U202006036, заявка 21.09.2020 ; публ. 17.03.2021, Бюл.№ 11.

57. Ю.В. Демин, Л.А. Длугач, М.Л. Коротенко, О.М. Маркова. Автоколебания и устойчивость движения рельсовых экипажей. К.: *Наук. думка*, 1984. 160 с.

58. Лазарян В.А., Длугач Л.А., Коротенко М.Л. Устойчивость движения рельсовых экипажей. *К.: Наук. думка*. 1972. – 200 с.
59. Лазарян В.А. Динамика транспортных средств: Избр. тр. – *К.: Наук. думка*, 1985. – 528 с.
- 60 UIC 519. Method for determining the equivalent conicity. — Edition no.1, 01.12.2004. Paris: International Union of Railways, 2004. – 99 p.
61. Демин Ю.В. Ходовые части грузовых вагонов и безопасность движения поездов. *Залізничний транспорт України*. 1998. № 2-3. С. 13-16.
62. UIC 518. Testing and Approval of Railway Vehicles from the Point of View or their Dynamic Behaviour: Safety – Track fatigue – Ride quality.– Edition no.4, 01.10.2009. *Paris: International Union of Railways*. 2009. 129 p.
63. EN 14363. Railway applications – Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles – Testing of running behaviour and stationary tests. – Consummation 03.03.2005. – *Brussels: European Committee for Standardization*. 2005. – 129 p.
64. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – *М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ*, 1996. 354 с. 146
- 65 Нормы для расчета и оценки прочности несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм. *М.*, 1998. 127 с.
66. Нормы для расчета и оценки прочности несущих элементов и динамических качеств экипажной части моторвагонного подвижного состава железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм. *М.*, 1997. 147 с.
67. K. Bladon, D. Rennison, G. Izbinsky, R. Tracy, T. Bladon. Predictive condition monitoring of railway rolling stock. *Conference On Railway Engineering, Conference Proceedings*. Darwin, 2004. P. 22.1-22.12.
68. РД 24.050.37-95 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. *М.: ГосНИИВ*, 1995. 102 с.

69. Манашкин Л.А., Мямлин С.В. Об измерении вертикальных сил в тележках грузовых вагонов. *XI Міжнародна конференція «Проблеми механіки залізничного транспорту». Тези доповідей.* – Дніпропетровськ. 2004. С. 115.
70. 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.
71. Е.П. Блохин, Л.А. Манашкин, Е.Л. Стамблер и др.; Под ред. Е.П. Блохина. Расчеты и испытания тяжеловесных поездов. *М.: Транспорт*. 1986. 263 с.
72. Богомаз Г. И. Динамика железнодорожных вагонов-цистерн. *К. Наук. думка*. 2004. 224 с.
73. Лазарян В.А., Данович В.Д. Дифференциальные уравнения плоских колебаний четырехосного рельсового экипажа, движущегося по балке, лежащей на инерционном основании. *В кн.: Динамика и прочность высокоскоростного наземного транспорта*. Наук. думка, 1976. – С.142-148.
74. Математическое моделирование колебаний рельсовых транспортных средств. В.Ф. Ушкалов, Л.М. Резников, В.С. Иккол и др.; Под ред. В.Ф. Ушкалова. – *К.: Наук. думка*. 1989. 240 с.
75. Pogorelov D. Simulation of Rail Vehicle Dynamics with Universal Mechanism Software. Rail vehicle dynamics and associated problems. *Gliwice: Silesian University of Technology*, 2005. P. 13-58.
76. В.С. Коссов, В.Ф. Руденко, Д.Ю. Погорелов, В.А. Симонов, В.Н. Языков. Оценка безопасности движения поездов с помощью ПК «Универсальный механизм». *Залізничний транспорт України*. 2007. № 3. С.26-29.
77. Cherniak A.Yu. Operational definition of the possible causes of the derailment of freight cars. *Prace naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport*, z. 98. 2013. P. 109-116.

78. Ю.В. Демин, Р.Ю. Демин, А.Ю. Черняк. Математическое моделирование и динамика подвижного состава железных дорог. *Залізничний транспорт України*. 2007. №4. С.3–8.
79. Зенкевич О. Метод конечных элементов /Пер. з англ. Б.Е. Победри. М.: Мир. 1975. 541 с.
80. Алямоский А.А. COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks. М.: ДМК Пресс. 2010. 784 с.
81. Алямоский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК Пресс. 2011. 464 с.
82. Алямоский А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. СПб.: БХВ-Петербург. 2012. 448 с.
83. Алямоский А.А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации. М.: ДМК Пресс. 2014. 562 с.
84. А. Глаговский, И. Д. Пивен. Электротензометры сопротивления. Б. Изд. 2-е, перераб. и доп. Ленинград Энергия. 1972. 86 с.
85. R.L. Hannah, S.E. Reed. Strain Gage Users' Handbook. London: Chapman & Hall. 1992. 476 p.
86. Блюм П. LabVIEW: стиль программирования. Пер. с англ. Под ред. Михеева П. М. ДМК Пресс. 2008. 400 с.
87. LabVIEW для всех. Кринг Д. Трэвис Д. Пер. с англ. Под ред. П. Михеева М. ДМК Пресс. 2011. 904 с.
88. Васильев А.С., Лашманов О.Ю. Основы программирования в среде LabVIEW. СПб: Университет ИТМО. 2015. 82 с.
89. Дж. Бендат, А. Пирсол. Прикладной анализ случайных данных. М.: Мир. 1989. 540 с.
90. Динамические нагрузки ходовых частей грузовых вагонов. Под ред. Н.Н. Кудрявцева. Труды ВНИИЖТ, вып. 572. М. Транспорт. 1977. 143 с.
91. В.П. Федосов, А.К. Нестеренко. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW. М. ДМК Пресс. 2007. 427 с.

92. Рекомендації щодо розрахунків та безпосередніх вимірювань сил взаємодії коліс і рейок для визначення запасу стійкості колісної пари від сходу з рейок із метою підвищення безпеки руху поїздів. Затверджено та введено в дію наказом Укрзалізниці №004 від 05.01.2009 р.

93. Встраиваемый интеллектуальный контролер реального времени CompactRIO. Инструкция по эксплуатации и спецификация CompactRIO 9012/9014. USA, Texas, Austin: National Instruments. 2007. 19 с.

94. Инструкция по установке. CompactRIO Реконфигурируемая встраиваемая система. Шасси cRIO-9111/9112/9113/9114/9116/9118. USA, Texas, Austin: National Instruments. 2009. 19 с.

95. Operation Instructions and Safety Guidelines cRIO GPS Modules. Germany, Troisdorf: Datentechnik GmbH, 2011 28 с.

96. Пояснювальна записка до технічного проекту. Акселерометр низькочастотний експериментальний типу UM. UM.ДНДЦ.001.01.000 ПЗ. – Київ. ДНДЦ УЗ, 2014. 11 с.

97. UIC 513. Guidelines for evaluating passenger comfort in relation to vibration in railway vehicles. – Edition no 1, 01.07.1994. Paris: International Union of Railways 1994. 81 p.

98. ДСТУ 4493:2005. Вагони магістральні пасажирські дизель- та електропотягів. Вимоги щодо безпеки. Чинний з 01.07.2007. Київ. Держспоживстандарт України, 2005. 21 с.

99. ДСТУ 7598:2014 Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних).

100. ДСТУ ГОСТ 33211:2017 Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам (ГОСТ 33211-2014, IDT).

101. РД 24.050.37-90. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества.

102. РД 24.050.37-95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества.

103. Самсонкін В.М., Черняк Г.Ю. До оцінки ризиків зйдення рухомого складу з рейок на підставі комп'ютерного моделювання. *Залізничний транспорт України*. 2012. №2. С.39–42.

104. Мостович А.В. Удосконалення методів і засобів експериментальної оцінки показників безпеки руху та плавності ходу залізничного рухомого складу. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів: захищена 30.05.2016, затверджено рішенням атестаційної колегії МОН України від 29.09.2016. Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Сєверодонецьк, 2016. 276 с.

105. Фомін, О.В. Програмно-обчислювальний комплекс визначення оптимальних характеристик складових елементів вантажних вагонів. *Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту*. Донецьк: ДонІЗТ, 2013. Вип. 34. С. 105-112.

106. Фомін, О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів. *Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського»*. Кременчук: КДПУ, 2013. Вип. 6(83). С. 87-91.

107. Винокуров, М.В. Исследования колебаний и устойчивости вагонов. Днепропетровск. 1939. Вип. 12. 392 с.

108. Вериго, М.Ф., А.Я. Коган. Взаимодействие пути и подвижного состава. Транспорт. 1986. 559 с.

109. Вериго, М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава в кривых малого радиуса и борьба с боковым износом рельсов и гребней колес. *ПКТБ ЦП МПС*. 1997. 207 с.

110. М.Ф. Вериго, Г.И. Петров, В.В. Хусидов. Имитационное моделирование сил взаимодействия экипажа и пути. *Бюллетень ОС Д*. № 6. 1995. С. 3-8.

111. Кальницкий, Л.А. Влияние нелинейности упругих элементов рессорного подвешивания на ходовые качества железнодорожных вагонов Автореферат дисс. д-ра техн. наук. 1969. 41 с.

112. Погорелов Д.Ю. Моделирование механических систем с большим числом степеней свободы. Численные методы и алгоритмы. Автореферат дисс. доктора физ. мат. наук. Брянск. 1994. 26с.

113. Погорелов Д.Ю., А.Э. Павлюков, Т.А. Юдакова Разработка математической модели железнодорожного экипажа в программной среде автоматизированного синтеза уравнений движения. *Информационные технологии в моделировании и управлении: сб. научн. Труды II Международной научно-практической конференции, 20-22 июня 2000 года. СПб.* 2000. С. 298-300.

114. Черняк А.Ю., Дьомін Ю.В., Заховайко О.П., Шевчук П.А. Комп'ютерне моделювання динаміки рейкових транспортних засобів Вісник нац. техн. ун-ту України «Київський політехнічний інститут». Серія Машинобудування. 2014. – 94-98.

115. Черняк А.Ю. Применение компьютерного моделирования для определения вероятных причин схода с рельсов грузовых вагонов Залізничний транспорт України. №3, 2009. – С. 49 -52.

116. Черняк А.Ю. Компьютерная модель для оперативного определения вероятных причин схода с рельсов грузовых вагонов Вісник Східноукраїн. націон. універ. ім. В. Даля. Наук. жур. №5(147) Част. 1, 2010. – С. 40 - 46.

117. Самсонкін В.М., Черняк Г.Ю. До оцінки ризиків зйдення рухомого складу з рейок на підставі комп'ютерного моделювання Залізничний трансп. України. – 2012. – №2. – С.39–42.

118. Черняк Г.Ю. Метод визначення значущості факторів ризику зйдення рухомого складу з рейок Вісник Східноукраїн. націон. універ. ім. В. Даля. Наук. жур. №5(176) Част. 2, 2012. – С. 190 – 194.

119. Черняк Г.Ю., Щербина Ю.В. Принципи побудови комп'ютернихмоделей динаміки рухомого складу (на прикладі електровоза

серії ЧС7) // Залізничний транспорт України. – 2011. – №6. – С. – 47-51.

120. Черняк А.Ю. Моделированиеслучайныхвозмущений в системе «рельсовыйэкипаж-путь» // Вісник Східноукраїнського університету ім. В. Даля. Техн. науки. Сер. Транспорт 1. – 2003. – №9 (67). - С. 173-177.

121. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України ЦП 0269 / Е.І. Даниленко, А.М. Орловський, М.Б. Курган, В.О. Яковлев та інші. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 456 с.

122. Купер Дж., Макгиллен К. Вероятностныеметодыанализасигналов и систем: Пер. с англ. М., Мир. 1989.

ДОДАТОК А

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Заступник директора філії з  
інновацій філії «Науково-дослідний та  
конструкторсько-технологічний  
інститут залізничного транспорту»  
АТ «Укрзалізниця»



\_\_\_\_\_ Валентин ПУСТОВГАР

**АКТ**

**про впровадження результатів дисертаційної роботи**

**Прокопенка Павла Миколайовича**

**на тему: «Підвищення безпеки руху вантажних вагонів зі зменшеною тарою шляхом удосконалення засобів і підходів проведення ходових випробувань»**

Цим актом підтверджується, що на філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» впроваджені результати комплексу науково-дослідних робіт проведених Прокопенко Павлом Миколайовичем, які увійшли до його дисертації «ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ЗІ ЗМЕНШЕНОЮ ТАРОЮ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАСОБІВ І ПІДХОДІВ ПРОВЕДЕННЯ ХОДОВИХ ВИПРОБУВАНЬ» представленої на здобуття ступеня доктора філософії.

Результати дисертаційної роботи пов'язані з удосконаленням засобів і підходів під час проведення ходових динамічних випробувань вантажних вагонів зі зменшеною тарою використані у проведенні робіт «Проведення ходових динамічних випробувань вагонів-платформ для перевезення великотоннажних контейнерів моделі 13-401-17 у порожньому стані»; «Оцінювання показників якості руху універсальної платформи в порожньому стані моделі 13-4012 за результатами ходових динамічних випробувань на перегоні Брівки-Попільня Південно-Західної залізниці»; «Дослідження динамічних випробувань режимів ведення поїзда з визначенням порядку постановки порожніх вагонів у склад поїзда»; «Дослідження та визначення безпечних умов експлуатації порожніх вагонів-хоперів переобладнаних з цементовозів і мінераловозів, розробка рекомендацій».

За результатами роботи було впроваджено ряд заходів, а саме:

- Рішенням Правління від 06.09.2019 року введено в дію СТП 07-003:2019 «Залізничний транспорт. Норми допустимих швидкостей рухомого складу по коліях шириною 1520 мм».

Пунктом 10.5 якого встановлена така вимога – «Швидкості руху вантажних поїздів, до складу яких включені порожні вагони, встановлюються директором регіональної філії АТ «Укрзалізниця» залежно від технічного стану колії, але не вище ніж 65 км/год»;

- Рішенням Правління від 19.11.2020 року до СТП 07-003:2019 «Залізничний транспорт. Норми допустимих швидкостей рухомого складу по коліях шириною 1520 мм» внесені такі зміни.

Розділ 10 пункт 10.5 Допустимі швидкості руху поїздів викласти в новій редакції: «10.5 Швидкості руху вантажних поїздів, до складу яких включені порожні вагони, встановлюються директором регіональної філії АТ «Укрзалізниця» відповідно до технічної документації на їх виготовлення, вимог Правил технічної експлуатації залізниць України та технічного стану колії. Швидкості руху вантажних поїздів, до складу яких включені вагони-платформи моделей 13-4012, 13-4012М, 13-401-17 в порожньому стані, тара яких менша за мінімальну масу тари вагона, встановлюються не більше 60 км/год».

Начальник науково -  
впроваджувального центру



Володимир ПОВИСШИЙ

Начальник НДВ випробувань



Ілля МАЛИШКО

**ЗАТВЕРДЖУЮ**Ректор Державного університету  
інфраструктури та технологій

Н.С. Брайковська

вересня 2021 рік

**АКТ**

**про використання результатів дисертаційної роботи Прокопенка Павла Миколайовича на тему: «Підвищення безпеки руху вантажних вагонів зі зменшеною тарою шляхом удосконалення засобів і підходів проведення ходових випробувань»**

Цей акт складено про те, що в навчальному процесі Державного університету інфраструктури та технологій кафедрою Вагонів та вагонне господарство використовуються основні теоретичні положення та результати досліджень, які представлені в дисертації при підготовці магістрів за спеціальністю 273 «Залізничний транспорт» при викладанні дисципліни «Актуальні проблеми проектування, динаміки та розрахунку нових конструкцій вагонів».

Виконавець роботи

П.М. Прокопенко

Заступник декана факультету ІРСЗ

В.О. Демченко

Завідувач кафедри, на якій  
впроваджено результати роботи

В.М. Іщенко

## ДОДАТОК Б

ПРОГРАМИ ТА МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ТА  
БЕЗПЕКИ РУХУ ВАТАЖНИХ ВАГОНІВ ЗІ ЗМЕНШЕНОЮ ТАРОЮ



ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «УКРАЇНЬСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ»  
 ФІЛІЯ «НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ТА КОНСТРУКТОРСЬКО-  
 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ»  
 НАУКОВО-ВПРОВАДЖУВАЛЬНИЙ ЦЕНТР

**ПОГОДЖЕНО**

Департамент  
вагонного господарства

ПАТ «Укрзалізниця»



2018 р.

Департамент безпеки руху

ПАТ «Укрзалізниця»

*О. І. Іванченко*  
 «21» 06 2018 р.

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Директор філії «НДКТИ»

ПАТ «Укрзалізниця»



2018 р.

**УНІВЕРСАЛЬНИЙ ВАГОН-ПЛАТФОРМА МОДЕЛІ 13-4012  
 У ПОРОЖНЬОМУ СТАНІ**

Програма та методика ходових динамічних випробувань  
 НДКТИ/НВЦ УІ 004-18

**ПОГОДЖЕНО**

Регіональна філія

«Південно-західна залізниця»

ПАТ «Укрзалізниця»

*В.о. І.В. Малишко*  
 «21» 06 2018р.

**РОЗРОБЛЕНО**

В.о начальника управління  
інжинірингу філії «НДКТИ»

ПАТ «Укрзалізниця»

*І.В. Малишко*  
 «\_\_» 2018 р.

Начальник науково-дослідного  
відділу динаміки та міцності  
філії «НДКТИ»

ПАТ «Укрзалізниця»

*С.В. Кара*  
 «\_\_» 2018 р.

## Зміст

Вступ	3
Галузь використання, мета та завдання випробувань	4
Об'єкт випробувань та його відбір	5
Види і послідовність проведення випробувань	7
Характеристики, що визначають	7
Умови проведення випробувань	10
Методи випробувань	11
Засоби випробувань	12
Порядок проведення випробувань	15
Обробка даних та оформлення результатів випробувань	18
Вимоги до персоналу	23
Розподіл відповідальності та звітність	23
Вимоги безпеки та охорони навколишнього середовища	24
Список використаних джерел	27

## ВСТУП

Статистичні дані щодо сходів вантажних вагонів в порожньому стані на окремих ділянках Південно-Західної залізниці показують, що найбільше сходів за останні роки (2011-2018 рр.) відбувається на перегоні Брівки-Попільня з платформами для перевезення великовантажних контейнерів моделі 13-401-17 та універсальними платформами моделі 13-4012 (№ 44991630, № 44571230 - в квітні 2018р. та № 44908200 – в травні 2018 р.).

Для уточнення обставин сходів з рейок універсальних платформ доцільно проведення ходових динамічних випробувань платформи моделі 13-4012 у відповідності з протоколом апаратної наради ПАТ «Укрзалізниця» №Ц-02/14 АН від 15 травня 2018р. з метою оцінювання показників якості руху окремих поїздів з порожніми вагонами на перегоні Брівки-Попільня Південно-Західної залізниці на їх відповідність діючим в Україні нормативним документам (ДСТУ 7598-2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних) [2]» та ДСТУ ГОСТ 33211:2017 «Вагони вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей» [3]).

## **1 ГАЛУЗЬ ВИКОРИСТАННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ВИПРОБУВАНЬ**

1.1 Дана програма та методика ходових динамічних випробувань (далі- ПМ) використовується при проведенні випробувань 4-х вісних універсальних вагонів-платформ моделі 13-4012 в порожньому стані.

1.2 ПМ розроблена на підставі ОСТ 32.55-96 «Система испытаний подвижного состава. Требования к составу, содержанию, оформлению и порядку разработки программ и методик испытаний и аттестации методик испытаний»[1], ДСТУ 7598-2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)» [2], ДСТУ ГОСТ 33211:2017 «Вагони вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей» [3], РД.24.050.37.95 «Вагоны грузовые и пассажирские» Методи испытаний на прочность и ходовые качества (Вагоны вантажні й пасажирські. Методи випробувань на міцність та ходові якості). [4].

1.3 Метою ходових динамічних випробувань є визначення, оцінка та порівняння з вагоном еталоном показників ходових динамічних якостей вагона-платформи (далі - вагон) моделі 13-4012 при русі з різними швидкостями по ділянці залізничної колії Козятин – Брівки – Попільня – Фастів, а також визначення умов експлуатації на залізницях колії 1520 мм у відповідності з [2,3,4].

Вагоном-еталоном слугує вагон-платформа моделі 13-4012, яка повністю відповідає за технічними показниками діючим нормативним документам та технічній документації.

1.4. Програма та методика встановлює послідовність, методи і порядок проведення випробувань з визначення основних динамічних характеристик вагона-платформи моделі 13-4012.

1.5. Випробування проводиться Науково-впроваджувальний центр філії

«Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту" ПАТ «Укрзалізниця», який акредитований НААУ на даний вид робіт (Атестат з акредитації від 15 лютого 2018 року № 2Т1454).

1.6. Філія «НДКТИ» ПАТ «Укрзалізниця» при виконанні окремих видів робіт може залучати інші акредитовані організації та фахівців, що мають право на проведення цих робіт.

Завданням під час випробувань є визначення динамічних якостей вагона при його русі на залізничній колії з різними експлуатаційними швидкостями.

Галузь використання – залізничний транспорт, вагон-платформа для перевезення вантажів залізничним транспортом.

## **2. ОБ'ЄКТ ВИПРОБУВАНЬ ТА ЙОГО ВІДБІР**

2.1. Об'єктом випробувань є універсальна вагон-платформа моделі 13-4012 з візками типу 18-100 модернізованих за проектом С 14.01 № 44908200 (далі – вагон), виготовлений у відповідності до вимог нормативної технічної документації [5].

Чотиривісний вагон-платформа вантажопідйомністю 72 т (модель 13-4012) призначений для перевезення колісних і гусеничних машин, штучних, лісових і довгомірних вантажів, вантажів в ящиковій упаковці, контейнерів та інших вантажів, які не потребують захисту від атмосферних опадів. Крім рівномірно розподіленим по вантажній площі навантаження 72 т конструкція платформи допускає перевезення зосереджених вантажів: 45 т в середині вагона на довжині 3 м або 60 т на довжині 4,3 м з опорою на бічні балки.

Вагон-платформа має несучу зварену раму, металеві бокові і торцеві борти, ходові частини, гальмо і автозчепне обладнання. Несучі елементи конструкції платформи виконані з низьколегованої сталі марки 09Г2Д.

Рама платформи має хребтову балку змінного по висоті перетину з двотаврових балок № 70Б1. Бічні балки постійного перетину - без підрізування на консолях з двотаврових балок. Поздовжні балки рами пов'язані між собою двома шворневими, двома кінцевими і чотирма

проміжними поперечними балками звареної конструкції з листового прокату.

Поздовжні підтримують елементи настилу підлоги складаються з прокатних двотаврів № 10 і балок із спеціального гнutoго S-образного профілю.

Настил підлоги комбінований: з дерева і металу. Середня металева частина підлоги яка розташована уздовж хребтової балки платформи, має ширину 1200 мм і виконується з рифленого сталевго листа товщиною 4 мм.

Дерев'яний настил підлоги складається з коротких дощок товщиною 55 мм, що укладаються по обидва боки металевого листа поперек поздовжньої осі вагона.

Поздовжні і торцеві борти виконані зі спеціальних гнутих профілів, виготовлених з листа товщиною відповідно 3 і 4 мм. Висота поздовжніх бортів - 500 мм, торцевих - 400 мм.

На платформі застосовуються типові для вантажних вагонів гальмівне обладнання, автозчепний пристрій (СА-3) та поглинальний апарат (Ш-2-В).

Ходова частина - два візки моделі 18-100.

2.2. Ходові динамічні випробування проводяться на вагоні, укомплектованому згідно з чинною технічною документацією яка регламентує його експлуатацію з оформленням актів відбору та ідентифікації.

2.3. Ідентифікація вагону виконується за нормативною документацією, зовнішнім видом, конструкцією (складом), комплектністю й маркуванням перед початком випробувань. Відібрані, згідно з актами відбору вагона-платформи та вагона-еталона для випробувань повинні бути ідентифіковані за такими ознаками:

- найменування об'єкта;
- заводський номер;
- підприємство - виробник;
- дата виготовлення;
- фактична маса тари вагона;
- дата, вид та підприємство, яке виконувало останній плановий ремонт.

Вимоги до вагона-еталона [10]:

- Вагон повинен бути у **справному технічному стані** з масою тари не нижче мінімальної яка встановлена заводом-виробником (21,0 т.  $\pm$  2%)
- перекіс несучої рами не більше 75 мм;
- сумарний зазор між ковзунами по обидва боки візка повинен бути не більше 20 мм або не менше 4 мм;
- товщина гребня не більше 33 мм та не менше 25 мм при вимірюванні на відстані 18 мм від вершини гребня;
- відстань між внутрішніми гранями коліс повинна бути  $1140 \pm 3$  мм;
- навар до 0,5 мм;
- прокат не більше 9 мм;
- різниця між діаметрами коліс одної колісної пари повинна бути не більше 2 мм;
- у візка сумарний повздовжній зазор між направляючими боковини і корпусу букси повинен бути згідно ЦВ-0015;
- допускаються повзун не більше 1 мм.

2.4. Транспортування та зберігання вагона здійснюють відповідно до вимог, установлених нормативною та (або) експлуатаційною документацією.

В таблиці 2.1. наведенні технічні характеристики платформи 13-4012.

Таблиця 2.1- Нормативні технічні характеристики платформи [5]

<b>Характеристика</b>	<b>13-4012</b>
Вантажопідйомність, т	72,0
Маса тари вагона (min), т	21,0
Навантаження осьове (min), кН (тс)	225,4 (22,98)
Швидкість конструкційна, км / год	120
Габарит	1-Т
База вагона, мм	9720
Довжина по осях	14620

зчеплення автозчепів, мм:	
Висота від рівня верху головок рейок до рівня підлоги, мм	1310
Кількість осей, шт.	4
Модель 2-вісного візка	18-100
Наявність перехідного майданчика	ні
Наявність стоянкового гальма	так
Довжина по торцях рами, мм	13400
Рік постановки на серійне виробництво	1983

### **3. ВИДИ І ПОСЛІДОВНІСТЬ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ**

Випробування платформи моделі 13-4012 у порожньому режимі проводяться у такій послідовності:

- оформлення акту відбору зразка та акт про готовність транспортного засобу залізничного транспорту до випробувань;
- ходові динамічні випробування вагона у порожньому режимі.

### **4. ХАРАКТЕРИСТИКИ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ**

4.1 У процесі ходових динамічних випробувань вагона вимірюються, аналізуються і оцінюються такі величини і показники:

- динамічні і статичні прогини ресорного підвішування візка;
- вертикальні і горизонтальні (поперечні) прискорення обресорних мас вагону в зоні підп'ятника вагона;
- динамічні бічні (рамні) сили, що діють на букси колісних пар;
- коефіцієнт стійкості колеса від сходу з рейок;
- коефіцієнт вертикальної динаміки;

- коефіцієнт горизонтальної динаміки (відношення бічної рамної сили до осьового навантаження);

- швидкості руху.

Показники, які характеризують ходові динамічні якості вантажних вагонів встановлені та наведені в таблиці 4.1. [2, 3].

Таблиця 4.1- Ходові динамічні якості вантажних вагонів

Оцінка руху	Коефіцієнт вертикальної динаміки		Рамні сили у частках осьового навантаження $P_0$		Вертикальні $[a_B]$ і горизонтальні $[a_r]$ прискорення в частках g			
	$k_{ДВ}$ , не більше, ніж		$[H_p/P_0]$ не більше, ніж		$[a_B]$ не більше, ніж		$[a_r]$ не більше, ніж	
	порожній	завантажений	порожній	завантажений	порожній	завантажений	порожній	завантажений
Обресорена маса візка вагона								
Відмінний $\frac{[1]}{[2]}$	0,50	0,20	-	-	0,50	0,20	0,20	0,10
	0,50	0,20	-	-	0,50	0,20	0,20	0,10
Добрий $\frac{[1]}{[2]}$	0,60	0,35	-	-	0,60	0,35	0,25	0,15
	0,60	0,35	-	-	0,60	0,35	0,25	0,15
Задовільний $\frac{[1]}{[2]}$	0,70	0,40	-	-	0,70	0,45	0,40	0,30
	0,70	0,40	-	-	0,70	0,45	0,40	0,30
Допустимий $\frac{[1]}{[2]}$	0,75	0,65	-	-	0,75	0,65	0,55	0,45
	0,75	0,65	-	-	0,75	0,65	0,55	0,45
Необресорені елементи рами візка вагона								
Відмінний $\frac{[1]}{[2]}$	0,60	0,50	0,25	0,20	0,65	0,55	0,30	0,25
	0,60	0,50	0,25	0,20	0,65	0,55	0,30	0,25
Добрий $\frac{[1]}{[2]}$	0,75	0,70	0,30	0,25	0,80	0,75	0,35	0,30
	0,75	0,70	0,30	0,25	0,80	0,75	0,35	0,30
Задовільний $\frac{[1]}{[2]}$	0,85	0,80	0,38	0,30	0,90	0,85	0,50	0,35
	0,85	0,80	0,38	0,30	0,90	0,85	0,50	0,35

Допустимий $\frac{[1]}{[2]}$	$\frac{0,90^*}{0,98^*}$	$\frac{0,85^*}{0,90^*}$	0,40	0,38	0,98	0,90	0,55	0,45
	$\frac{0,90^*}{0,98^*}$	$\frac{0,85^*}{0,90^*}$	0,40	0,38	0,98	0,90	0,55	0,45

\*-у чисельнику значення для розвантаження, у знаменнику- довантаження.  
 1-ДСТУ 7598:2014 Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних).  
 2- ДСТУ ГОСТ 33211:2017 «Вагони вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей».

## 5. УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

5.1 Ходові динамічні випробування проводяться на вагонах, які укомплектовані згідно з чинною технічною документацією з оформленням актів відбору та ідентифікації.

При проведенні випробувань керуватись дорученням керівництва ПАТ «Укрзалізниця» та наказом керівництва регіональної філії Південно-західна залізниця».

До початку випробувань складаються акти огляду вагонів та стану залізничної колії на дільниці Козятин-Фастів, а в межах перегону Брівки-Попільня додатково перевіряється стан виконання робіт, передбачених листом Головного ревізора апарату безпеки руху поїздів і автотранспорту регіональної філії «Південно-Західна залізниця» Департаменту безпеки руху ПАТ «Укрзалізниця» Антонюка І.Р. № ЦРБ Н-7/213 від 14.05.2017.

Ходові динамічні випробування проводять під час дослідних поїздок у реальних умовах експлуатації на дільниці Козятин-Фастів (перегін Брівки-Попільня) у світлий час доби з реєстрацією динамічних процесів і деформацій у контрольних точках.

Етапи проведення випробування:

I етап: дослідний зчеп: локомотив – дослідний вагон-платформа – динамометричний вагон – вагон-еталон; швидкість від 30 км/год до 60-70 км/год з кроком 5-10 км/год.

II етап : поїзд: локомотив – 5...7 порожніх платформ – дослідна платформа – динамометричний вагон – вагон-еталон – не менше 20-30 порожніх платформ; швидкість від 30-80 км/год. з кроком 5-10 км/год. (після проведення I етапу випробувань, за згодою замовника філія «Південно-Західна залізниця»).

Кількість поїздок по I та II етапу не обмежується і виконується до повного забезпечення об'єму інформації необхідної для визначення всіх показників якості руху вагонів передбаченими нормативними документами.

Дозволяється в процесі проведення випробувань уточнювати схеми розташування вагонів в дослідному зчепі та поїзді.

Під час виконання I та II етапів стан вагонів-платформ контролюється при різних режимах ведення поїзда (тяга, вибіг, гальмування).

5.2 Порядок і технологія підготовки об'єкта до випробувань передбачають забезпечення максимальної зручності та безпеки проведення всіх передбачених програмою операцій.

5.3 Умовою початку проведення випробувань вважається завершення монтажу та завершальна підготовка об'єкта до проведення випробувань .

5.4 Випробування вагона на залізничних коліях, що вимагають виконання робіт під вагоном або на між коліях, проводяться тільки в світлий час доби.

5.5 Критеріями припинення випробувань є:

- виконання програми випробувань;
- досягнення критичних значень показників, що загрожує безпеці подальшого проведення випробувань;
- пошкодження, руйнування окремих частин вагону, що випробовується;
- пошкодження або руйнування випробувального обладнання.

5.6 Критерієм завершення випробувань вважається отримання повного обсягу експериментальних даних, які передбачені програмою та методикою, або порушення цілісності конструкції вагона, що загрожує безпеці подальшого проведення випробувань.

## 6. МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ

6.1 Ходові динамічні випробування проводять методом реєстрації процесів у контрольних точках деталей візка під час дослідних поїздок у діапазоні експлуатаційних швидкостей, якщо це не загрожує безпеці руху. За результатами вимірювань виконують розрахунки, оцінюють ходові динамічні якості відповідно до вимог [2, 3, 4].

6.2. Реєстрацію динамічних процесів вагона здійснюють шляхом запису величин експериментальних даних на жорсткий диск комп'ютера з використанням програмно-апаратних засобів збору інформації.

6.3 Необхідний обсяг експериментальних поїздок і вимірювань визначається нормативною документацією з урахуванням конкретних завдань, ступеня новизни конструкції і висунутих до неї вимог. У загальному випадку необхідний масив експериментальної інформації по досліджуваним величинам при ходових динамічних випробуваннях утворюється шляхом послідовного набору записів (реалізацій) процесів при різних швидкостях і режимах руху дослідного поїзда.

6.4 Реєстрація вимірюваних процесів ходових динамічних випробувань проводиться на прямих і кривих ділянках колії і стрілочних переводах у всьому проектному діапазоні допустимих експлуатаційних швидкостей.

Під час руху в кривих і стрілочних переводах потрібно дотримуватися установлених правил технічної експлуатації і нормативних вказівок щодо швидкостей руху на даній ділянці колії.

Сумарна тривалість записів (реалізацій) досліджуваних процесів в кожному інтервалі (10 ... 20 км / год) швидкостей руху на різних відрізках колії повинна бути не менше 300 с.

Загальний обсяг тривалості вимірювань основних процесів у всьому діапазоні швидкостей повинен бути не менше 50 хв. Час запису вимірювань та інтервали швидкості руху допускається змінювати.

## **7. ЗАСОБИ ВИПРОБУВАНЬ**

7.1. Для визначення характеристик (показників) вагона, а також контролю параметрів зовнішнього середовища застосовують засоби вимірювальної техніки та випробувальне обладнання, відомості про які наведені в таблиці 7.1.

7.2. Допускається використання іншого випробувального обладнання та засобів вимірювальної техніки (засобів випробувань), які забезпечують необхідну точність вимірювання обумовлених характеристик та мають основні характеристики не гірше наведених у таблиці 7.1.

7.3. Усі засоби вимірювальної техніки, пристрої й обладнання повинні бути технічно справними, оформлені документи, що засвідчують калібровку засобів вимірювальної техніки.

Таблиця 7.1. – Засоби вимірювальної техніки та засобів випробувального обладнання

№ п.п	Назва засобу вимірювальної техніки	Заводський та інвентарний номер	Основні технічні характеристики	Відомості про калібрування
1	Термогігрометр ИВА-6	Зав.№ 6764	<p>Діапазон вологості 0÷98 %; похибка вимірювань вологості ±1% на 100<sup>0</sup>С. Розширена невизначеність (вологість):            25,5% -0,6%            51,1%-0,6%            73,3%-0,6%</p> <p>Температура 40÷60<sup>0</sup>С, похибка вимірювань температури від -40 до 0<sup>0</sup>С: ±1<sup>0</sup>С; від 0 до 60<sup>0</sup>С: ±0,5<sup>0</sup>С            Розширена невизначеність (температура):            -20,0<sup>0</sup>С -0,13<sup>0</sup>С            0,0<sup>0</sup>С -0,13<sup>0</sup>С            60,0<sup>0</sup>С -0,14<sup>0</sup>С</p>	Свідоцтво калібрування № UA/24/171113/2737 від 13.11. 2017р.
2	Автоматичний реєстратор на базі контролера CompactRIO-9012			
	Канал вимірювання швидкості GPS модуль cRio-GPSIB	Зав. №050403015	Швидкість приймача- Розширена невизначеність, км/год 18-0,5 37,05-1,5	Свідоцтво калібрування № UA/22/171103/000677 від 03.11.2017
	Приймач GPS супутникових навігаційних систем cRio GPS	Зав. №050403015	Систематичне зміщення при визначенні координат-3,6 м. Невизначеність вимірювань U-9.6м	Свідоцтво калібрування № UA/23/171121/002199 від 21.11.17р.,

	Аналого-цифровий перетворювач 4-х каналний NI 9237	Зав. № 15741DA Зав. № 16B2C6B Зав. № 168FAAB Зав. № 16B2C37 Зав. № 16B2C3F	Діапазон вимірювань деформацій $\pm 2000$ млн-1	Свідоцтво калібрування UA/25/180104/000008 від 04.01.2018
3	Тензорезистор типу BF200-10AA-A(11)-BX30	-	База 10 мм, діапазон опору $R = 200,0 \pm 0,5$ Ом, $K = 2,10 \pm 1\%$	Разового наклеювання. Періодичному калібруванню в експлуатації не підлягають.
5	Вимірювач часу СЕКУНДА-М	Зав. № 170805	Діапазон вимірювання часу 0-99,99 хв, похибка вимірювань $\pm 0,2$ с Інтервал часу, хв – Відносна розширена невизначеність, (W) до $1,0 - 3,67E-03$ від $1 \div 10 - 3,67E-04$	Свідоцтво калібрування №UA/11/171120/000308 від 20.11.2017
6	Акселерометр UM500	Зав. № 090004	$\pm 500$ м/с <sup>2</sup>	Свідоцтво калібрування №UA/22/171106/000682 від 06.11.2017
7	Акселерометр UM350	Зав. № 090002	$\pm 350$ м/с <sup>2</sup>	Свідоцтво калібрування №UA/22/171106/000680 від 06.11.2017
8	Акселерометр UM350	Зав. № 090005	$\pm 350$ м/с <sup>2</sup>	Свідоцтво калібрування №UA/22/171106/000681 від 06.11.2017
9	Акселерометр UM100	Зав. № 090004	$\pm 100$ м/с <sup>2</sup>	Свідоцтво калібрування №UA/22/171106/000679 від 06.11.2017
10	Вимірювач лінійних переміщень WDS-750	Зав. № SN35955	Діапазон вимірювань від 0 до 750 мм., Відносна розширена невизначеність, $U = 2,76$ мм.	Свідоцтво калібрування №UA/23/171312/002333 від 21.11.2017

7.7. Для реєстрації показань тензорезисторів та віброперетворювачів використовується програмно – апаратний комплекс, який складається з контролера cRIO NI 9012 з модулями АЦП NI 9237 та спеціалізованого програмного забезпечення, розробленого в програмному пакеті LabVIEW.

7.8. Устаткування, засоби вимірювальної техніки та пристосування повинні знаходитися в технічно справному стані і мати комплект технічної документації (ТО, ТУ, ІЕ і ін.).

## **8. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ**

8.1. Перед початком випробувань виконується зважування дослідного вагона №44908200 та вагона-еталона.

Проводять підготовку візка моделі 18-100:

- підбір тензорезисторів;
- підготовку місць установки тензорезисторів на елементах конструкції візків згідно з рис. 8.1, 8.2;
- наклеювання тензорезисторів;
- встановлення акселерометрів;
- монтаж з'єднувальних кабелів до тензорезисторів і апаратури, що реєструє;
- налагодження та перевірку роботоздатності апаратури.

Під час підготовки дослідного вагона до ходових випробувань проводять підбір тензорезисторів, розмічання, зачистку місць та наклеювання тензорезисторів на візки. Тензорезистори з'єднуються в напівмостову схему Уїтстона. Така схема складає вимірювальний канал, який доповнюється тензометричним модулем NI 9237.

До початку випробувань проводиться інструментальна перевірка стану колії. За результатами вимірювань стану колії вагоном-колівимірювачем визначають бальну оцінку стану колії та можливість проведення випробувань вагона з необхідною швидкістю руху дослідного поїзда. Ділянка колії має допускати рух дослідного поїзда зі швидкостями, установленими технічною

документацією або наказом керівництва регіональної філії, відповідати вимогам «Інструкції з улаштування та утримання колії залізниць України» Цп-0269 [15].

8.2 Під час випробувань кількість і склад показників можуть коригуватися.

8.3 Порядок проведення ходових динамічних випробувань.

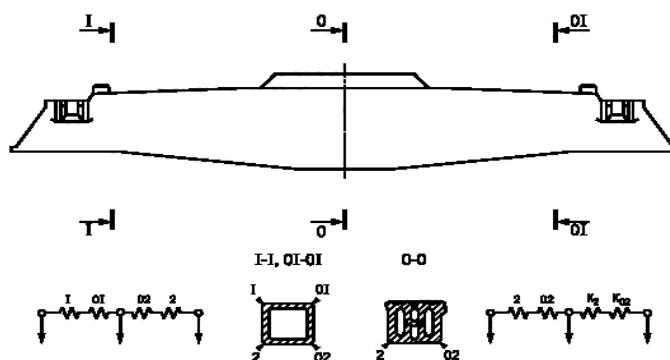
8.3.1 Вагон-платформа повинен бути обладнаний первинними вимірювальними перетворювачами і пристосуваннями для вимірювання досліджуваних величин і процесів відповідно вимог. Рекомендовані схеми установки приладів наведені на рис. 8.1, 8.2.

Масштабні перетворювачі, апарати і прилади для реєстрації (запису) і обробки даних випробувань розміщуються у динамометричному вагоні і з'єднуються за допомогою кабелів з приладами, встановленими на дослідному вагоні та вагоні-еталоні. В окремих випадках допускається розміщувати частини апаратури безпосередньо на вагоні, якщо це не порушує режиму її роботи і не впливає на точність вимірювання і реєстрації досліджуваних процесів.

8.3.2 Контрольні перевірки запису (вимірювання) реєстрованих величин рекомендується проводити щодня перед початком і після закінчення кожного циклу експериментальних поїздок, а при необхідності - частіше.

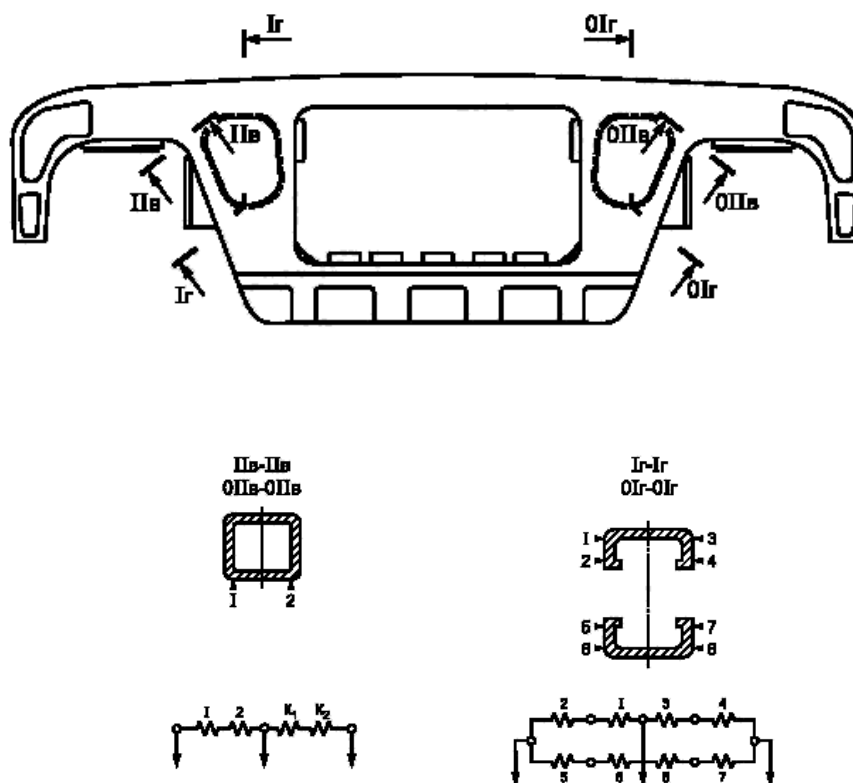
При реєстрації вимірювальної інформації декількома пристроями їх робота повинна бути синхронізована єдиними сигналами часу, допоміжними спец сигналами ("маркерами") і передбачати одночасне включення (виключення) апаратури.

8.3.3 Для визначення фактичних величин статичних прогинів ресорного підвішування напружень в елементах візків при статичному навантаженні від сили тяжіння тари вагона, перевірки чутливості вимірювальних схем т.д. виконуються контрольні піднімання кузова вагона до повного вивантаження візків.



$K_2, K_{02}$  – компенсаційні тензорезистори

Рис: 8.1 Схема установки і з'єднання тензорезисторів для визначення коефіцієнтів вертикальної динаміки в перетинах надресорної балки візка вантажного вагона



$K_1, K_2$ - композиційні тензорезистори

\*-розмір для довідки

Рис. 8.2. Схема установки і з'єднання тензорезисторів для вимірювання горизонтальних (рамних) сил (перетину з індексом «Г») і вертикальних сил (перетину з індексом «В») на рамі візка вантажного вагона.

## 9. ОБРОБКА ДАНИХ ТА ОФОРМЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ

9.1. Обробка даних при статичних навантаженнях виконується з використанням автоматизованих комплексів обробки дослідних даних. Величину напружень при статичних випробуваннях визначають за різницею показань засобів вимірювальної техніки до піднімання рами платформи та після нього:

$$\sigma_{\text{вер}} = (\Delta - \Delta_0) \cdot K \quad (9.1)$$

де:  $\Delta$  - показання засобів вимірювальної техніки у завантаженому стані об'єкта випробувань;

$\Delta_0$  - показання засобів вимірювальної техніки у порожньому стані об'єкта випробувань;

$K$  - калібрувальний коефіцієнт засобів вимірювальної техніки, що визначається за формулою (9.2):

$$K = \frac{R_d}{R_{\text{ш}} A_{\text{ш}}} \quad (9.2)$$

де:  $R_d$  - опір тензорезистора, Ом;

$R_{\text{ш}}$  - опір калібрувального шунта, Ом;

$A_{\text{ш}}$  - амплітуда (відхилення) процесу, виміряна при калібруванні, В.

9.2. Напруження  $\sigma$  МПа, в елементах конструкції у місцях установки тензорезисторів визначаються за формулою (9.3):

$$\sigma = a \cdot \frac{R_d}{R_{\text{ш}} A_{\text{ш}}} \cdot \frac{E}{K_{\text{ш}}} \quad (9.3)$$

де:  $a$  - амплітуда (відхилення) процесу, В;

$R_d$  - опір тензорезистора, Ом;

$R_{\text{ш}}$  - опір калібрувального шунта, Ом;

$A_{\text{ш}}$  - амплітуда (відхилення) процесу, виміряна при калібруванні, В.

$E$  - модуль пружності матеріалу досліджуваної деталі, МПа;

$K_{\text{ш}}$  - коефіцієнт чутливості тензорезистора.

9.3. Результати ходових динамічних випробувань визначають на підставі даних (вимірювань, розрахунків, контролю, візуального огляду) зафіксованих під час проведення вимірювань.

Попередній перегляд і обробку даних, отриманих під час проведення ходових динамічних випробувань, проводять з використанням ПЕОМ, як у реальному режимі часу, так і після проведення випробувань з використанням програмного математичного забезпечення статистичної обробки динамічних процесів. Методика обробки і оцінки результатів випробувань виконується у відповідності до вимог [2, 3, 4].

Зареєстровані динамічні процеси випробувань вагона обробляють програмою обчислення миттєвих значень амплітуд процесу. Частоту дискретизації записів динамічних процесів вибирають не менше ніж 128 Гц, що дозволяє визначати показники у потрібному частотному діапазоні. По кожній реалізації обчислюють величини процесів і їхні максимальні значення при імовірності, що відповідає нормативним значенням. Остаточні величини показників у кожному діапазоні швидкостей отримують шляхом вибору середнього значення по окремих реалізаціях. У підсумку визначають одну величину показника у межах кожного діапазону швидкостей з інтервалом 10-20 км/год, починаючи зі швидкості 30-40 км/год. За цими показниками наводять основні висновки про ходові динамічні якості дослідного вагона.

Стійкість колеса від сходу колеса з рейки визначають для найбільш небезпечних випадків поєднання великої поперечної сили взаємодії колеса, що набігає, з рейкою та малим вертикальним навантаженням на це колесо. При одночасній, протягом деякого часу, дії такого поєднання екстремальних сил можливе вкочування гребеня колеса, що набігає, на головку рейки і подальший схід вагона з рейки.

9.4. За результатами випробувань складається протокол, що затверджується начальником НВЦ «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця».

9.4.1 Протокол випробувань і всі матеріали по випробуваннях зберігаються в архіві філії «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця» на конфіденційній

основі.

### 9.5. Обробка даних ходових динамічних випробувань.

9.5.1 Обробка даних ходових динамічних випробувань вагонів передбачає

розшифровку, ідентифікацію та систематизацію параметрів зареєстрованих динамічних процесів. При обробці враховуються показники якості ходу вагона - до 20 Гц. Частота квантування при обробці дослідних даних на ЕОМ повинна бути не менше 100 Гц.

9.5.2 Дослідні дані групуються за діапазонами швидкостей руху (10-20 км / год), характерних особливостей ділянок колії (пряма, крива, стрілки і ін.).

9.5.3 При аналізі записів процесів встановлюються характерні види коливань, оцінюються залежність характеру і інтенсивності коливань від умов руху. У зв'язку з ймовірнісною природою показників динамічної завантаженості ходових частин вагонів (в тому числі під впливом особливостей технічного стану ходових частин і транспортної структури) застосовується відповідний апарат теорії ймовірностей.

9.5.4 Для оцінки ходових якостей за величинами вимірних динамічних показників вагона, з використанням співвідношень з урахуванням тарувальних даних визначаються ймовірні максимальні значення коефіцієнтів вертикальної динаміки обресорених  $K_{до}$  і необресорених  $K_{дн}$  мас вагона, бічні (рамні) сили, значення коефіцієнтів запасу стійкості від сходу з рейок  $K_{ус}$ .

Максимальні значення коефіцієнтів вертикальної динаміки і рамних сил визначаються з довірчою ймовірністю 0,97 (за амплітудним значенням) і 0,97 (по миттєвим значенням), а мінімальні значення коефіцієнтів запасу стійкості від сходу з рейок, з довірчою ймовірністю не більше 0,0001. За величину бокового (рамного) зусилля  $H_p$  приймається сума рамних зусиль, що діють в один і той самий момент часу, на раму від кожної букси однієї колісної пари.

9.5.5 Методика розрахунку коефіцієнта запасу стійкості вагона проти сходу з рейок при вповзанні гребня колеса на рейку під дією динамічних зусиль, що виникають при русі, коефіцієнтів вертикальної динаміки

обресорених і необресорених мас вагона наведені нижче. Коефіцієнт вертикальної динаміки  $K_d$  в загальному вигляді визначається з наступного виразу:

$$K_d = \frac{\sigma_d}{\sigma_{ст}}, \quad (9.4)$$

де  $\sigma_d$  - динамічне напруження від вертикального навантаження в перерізі даного елемента;

$\sigma_{ст}$ - статичне навантаження від вертикального навантаження у тому ж перерізі.

Коефіцієнти вертикальної динаміки визначаються для обресорених ( $K_{до}$ ) і необресорених ( $K_{дн}$ ) мас візки.

Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях осевого навантаження) - $K_r$  визначається за формулою [2]:

$$K_{др} = \frac{H_p}{P_o}$$

де:  $H_p$  – горизонтальна бокова рамна сила;

$P_o$  – вертикальне статичне навантаження від осі на рейки.

Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейки  $K_{ус}$  визначають розрахунковим шляхом за інтегральним коефіцієнтом, обчисленим для діапазону експлуатаційних швидкостей при імовірності 0,001, за формулою (9.5; 9.6):

Оцінка стійкості колеса проти сходу з рейки проводиться формулою [9.5; 9.6],

$$K_{ус} = \varepsilon \frac{P_B}{P_6} \geq [K_{ус}], \quad (9.5)$$

$$\varepsilon = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu tg\beta}, \quad (9.6)$$

де  $\beta$  - Кут нахилу твірної гребня колеса до горизонтальної осі;

$$\beta = 60^\circ;$$

$\mu$  - коефіцієнт тертя,  $\mu = 0,25$ ;

$P_B$  - вертикальна складова сили реакції набігаючого колеса на головку рейки;

$P_G$  - горизонтальна складова сили реакції набігаючого колеса на головку рейки, що діє одночасно з  $P_B$  ;

$[K_{yc}]$  - допустиме значення коефіцієнта запасу стійкості.

При використанні візків моделі 18-100 формула (9.7) має вигляд .;

$$K_{yc} = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu tg\beta} \cdot \frac{Q_{ш}(1,03 - 1,17K_{д}^H + K_{д}^{HH}) + 0,515q_{кп} + 0,305H_p}{Q_{ш}(0,242 + 0,042K_{д}^H - 0,285K_{д}^{HH}) + 0,121q_{кп} + 0,92H_p}, \quad (9.7)$$

де  $Q_{ш}$  - сила тяжіння надресорних частин вагона, діюча на шийку осі колісної пари, кН, визначається, за формулою:

$$Q_{ш} = \frac{Q - nq_{кп}}{2n_0}, \quad (9.8)$$

$Q$  - сила ваги вагона, кН,

$q_{кп}$  - сила тяжіння необресорених частин, яка припадає на колісну пару, кН;

$n_0$  - число осей вагона;

$K_{д}^H$  - коефіцієнт вертикальної динаміки на набігаючому колесу;

$K_{д}^{HH}$  - коефіцієнт вертикальної динаміки на ненабігаючому колесу;

$H_p$  - горизонтальна бічна рамна сила.

Значення  $H_p$  приймають позитивними в разі направлення її в сторону набігання колеса, а  $K_{д}^H$  і  $K_{д}^{HH}$  - в разі розвантаження коліс.

Оцінка ходових динамічних якостей вагона-платформи проводиться шляхом співставлення отриманих динамічних показників зі шкалою оцінок якості ходу залізничних вагонів у відповідності з [2,3], а також з відповідними показниками вагона-еталона.

## 10. ВИМОГИ ДО ПЕРСОНАЛУ

До випробувань допускають працівників, які досягли 18-річного віку і пройшли спеціальне навчання і перевірку знань, у тому числі з питань

охорони праці під час проведення випробувань.

## **11. РОЗПОДІЛ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ТА ЗВІТНІСТЬ**

11.1. Керівника випробувань призначають розпорядженням (наказом) керівника філії «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця».

11.2. Керівник випробувань несе відповідальність за виконанням фахівцями філії «НДКТІ» робіт згідно ПМ та діючого законодавства, досягнення і підтримку високого рівня організації та проведення випробувань продукції, оформлення їх результатів для отримання об'єктивної, достовірної інформації про фактичні значення характеристик.

11.3. Протокол випробувань, підписаний виконавцями робіт та затверджений начальником НВЦ філії «НДКТІ», передаються замовнику (філії ПЗЗ).

11.4. Протокол випробувань, а також записи, виконані під час проведення випробувань, є власністю філії «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця» і можуть бути передруковані тільки за рішенням директора філії за згодою замовника (регіональна філія «ПЗЗ»).

## **12. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

12.1. Під час підготовки і проведення випробувань необхідно забезпечити дотримання вимог охорони праці (стандартів, правил, інструкцій, положень тощо), що діють на залізничному транспорті [6,7, 8, 9, 10].

12.2. Роботи з підготовки і проведення випробувань необхідно виконувати під безпосереднім керівництвом і контролем призначеного розпорядженням (наказом) керівника випробувань. Усі працівники перед початком робіт з підготовки і проведення випробувань повинні пройти цільовий інструктаж з питань охорони праці з реєстрацією інструктажу в спеціальному журналі під підпис.

12.3. Забезпечення необхідних умов безпеки покладають на відповідального виконавця випробувань. Доступ сторонніх осіб у зону випробувань заборонено.

12.4. Працівники, зайняті в роботах з проведення випробувань, повинні бути забезпечені відповідними спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту, а також засобами зв'язку та відеозапису.

12.5. При підготовці і проведенні ходових динамічних випробувань повинні строго дотримуватися вимоги охорони праці та виробничої санітарії, інструкції з охорони праці, що діють в філії «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця».

12.6. Обладнання повинне забезпечувати безпеку обслуговування і використання. Учасники випробувань повинні ознайомитися з експлуатаційною документацією і виконувати вимоги безпеки по обслуговуванню і використанню засобів випробувань.

12.7. Забороняється знаходитися в (на) випробувальному вагоні під час руху вагона при проведенні всіх видів випробувань за винятком випадків, спеціально обумовлених у нормативній документації і забезпечених відповідним інструктажем.

Виконувати роботи і перебувати на (під) випробувальним вагоном, на його даху і біля нього (ближче 3 м.) при підготовці і проведенні випробувань можна тільки з дозволу керівника випробувань. Доступ стороннім особам в зону випробувань повинен бути заборонений.

12.8. При виконанні робіт на коліях, узбіччях колій, на станціях і перегонах випробувачі зобов'язані працювати у одязі, що обладнаний сигнальними елементами.

12.9. Основними джерелами небезпеки при підготовці і проведенні ходових динамічних випробувань вагонів на залізничних коліях ПАТ «Укрзалізниця» є:

- транспортні пересування випробуваного зчепу і допоміжного рухомого складу;
- пересування рухомого складу на сусідніх коліях, пересування козлових

(мостових) кранів;

- струмонесучі дроти контактної мережі на електрифікованих ділянках мережі залізниці та інші електроджерела.

12.10. При плановій або непередбаченій зупинках дослідного поїзда вихід випробувачів з динамометричного вагона без дозволу керівника випробувань заборонений. Відповідальність за безпеку проведених робіт покладається на керівника випробувань.

12.11. Матеріали і обладнання, що застосовуються, не повинні шкідливо впливати на людей і оточуюче середовище.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ОСТ 32.55-96 «Система испытаний подвижного состава. Требования к составу, содержанию, оформлению и порядку разработки программ и методик испытаний и аттестации методик испытаний»
2. ДСТУ 7598-2014 «Вагоны вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)»
3. ДСТУ ГОСТ 33211:2017 «Вагоны вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей»
4. РД.24.050.37.95 «Вагоны грузовые и пассажирские» Методи испытаний на прочность и ходовые качества (Вагоны вантажні й пасажирські. Методи випробувань на міцність та ходові якості).
5. Альбом-справочник "Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм". 002И-2009 ПКБ ЦВ.
6. НПАОП 60.1-1.48-00 Правила безпеки для працівників залізничного транспорту на електрифікованих лініях.
7. НПАОП 63.21–1.24–03 (НАОП 5.1.11–1.24–03) Правила охорони праці під час технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів та рефрижераторного рухомого складу. – Київ, 2003
8. НПАОП 0.00–4.12–05 Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. – Київ, 2005
9. «Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України» ЦП-0269.
10. Правила технічної експлуатації залізниць України. Наказ Міністерства транспорту України від №411 від 20.12.96р. №962 від 10.12.2003 р., зі змінами.
11. Вантажні вагони залізниць України колії 1520 (1524) мм. Настанова з деповського ремонту ЦВ – 0142.



2Т1454  
ДСТУ ISO/IEC 17025

ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «УКРАЇНЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ»  
ФІЛІЯ «НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ТА КОНСТРУКТОРСЬКО-  
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ»  
НАУКОВО-ВПРОВАДЖУВАЛЬНИЙ ЦЕНТР  
Управління інжинірингу  
Атестат акредитації від 15.02.2018р. №2Т1454

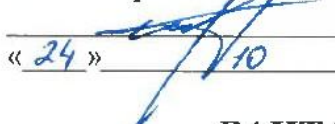
ПОГОДЖЕНО

Департамент  
вагонного господарства  
ПАТ «Укрзалізниця»



« 24 » 10 2018 р.

Департамент безпеки руху  
ПАТ «Укрзалізниця»



« 24 » 10 2018 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор філії «НДКТИ»  
ПАТ «Укрзалізниця»



« 24 » 10 2018 р.

**ВАНТАЖНІ ВАГОНИ У ПОРОЖНЬОМУ СТАНІ**

Програма та методика ходових динамічних випробувань  
НДКТИ/НВЦ У1 006-18

РОЗРОБЛЕНО

В.о. начальника управління інжинірингу  
філії «НДКТИ» ПАТ «Укрзалізниця»

 І.В. Малишко

« 16 » 10 2018 р.

Провідний інженер науково-дослідного  
відділу динаміки та міцності філії «НДКТИ»  
ПАТ «Укрзалізниця»

 П.М. Прокопенко

« 16 » 10 2018 р.

**ЗМІСТ**

Вступ.....	3
Галузь використання, мета та завдання випробувань.....	4
Об'єкти випробувань та його відбір.....	5
Види і послідовність проведення випробувань.....	7
Характеристики, що визначають.....	7
Умови проведення випробувань.....	9
Методи випробувань.....	14
Засоби випробувань.....	15
Порядок проведення випробувань.....	18
Обробка даних та оформлення результатів випробувань.....	22
Вимоги до персоналу.....	27
Розподіл відповідальності та звітність.....	28
Вимоги безпеки та охорони навколишнього середовища.....	28
Список використаних джерел.....	31
Додаток А .....	32

## ВСТУП

Суттєвим недоліком роботи залізничного транспорту України є обмеження швидкості руху поїздів з вантажними вагонами в порожньому стані, які обладнані візками моделі 18-100.

У числі причин сходів коліс вагонів з рейок, пов'язаних з несправностями ходової частини вагонів, можна назвати наступні: злам бічних рам і надресорних балок візків, злам осей і коліс, несправності роликових підшипників буксового вузла, зрушення ступці колеса на осі, відмови автозчепного пристрою, знос елементів фрикційних гасителів коливань і вузла обпирання кузова на надресорні балки, неприпустимі відхилення розмірів елементів візка і т.д.

Серед вагонів, які частіше за все сходили першими є платформи універсальні або для перевезень великовантажних контейнерів, а також інші легковагові вагони.

Для з'ясування причин виникнення сходження з рейок порожніх вагонів-платформ моделей 13-4012, вагон-хопера для цементу зі знятою кришею моделі 19-758-01, вагона-цистерни моделі 15-1443 протоколом № Ц-96/5 від 20.10.2017 засідання Комісії з безпеки руху поїздів і автотранспорту, охорони праці і пожежної безпеки ПАТ «Українська залізниця» передбачено проведення динамічних випробувань на дільниці Дарниця - Ніжин з метою дослідження впливу маси вагонів, режимів ведення поїздів та постановки порожніх вагонів у склад поїздів на показники безпеки руху та на їх відповідність діючим в Україні нормативним документам (ДСТУ 7598-2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних) [2]» та ДСТУ ГОСТ 33211:2017 «Вагони вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей» [3]).

За результатами аналізу обставин сходів порожніх вагонів за період 2016-2018 рр. встановлено, що наслідками сходів є серйозні пошкодження

рухомого складу, залізничної колії та інших елементів інфраструктури залізниці, зниження швидкості та порушення графіку руху поїздів.

## **1 ГАЛУЗЬ ВИКОРИСТАННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ВИПРОБУВАНЬ**

1.1 Дана програма та методика ходових динамічних випробувань (далі- ПМ) використовується при проведенні випробувань 4-х вісних вантажних вагонів в порожньому стані.

1.2 ПМ розроблена на підставі ОСТ 32.55-96 «Система испытаний подвижного состава. Требования к составу, содержанию, оформлению и порядку разработки программ и методик испытаний и аттестации методик испытаний»[1], ДСТУ 7598-2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)» [2], ДСТУ ГОСТ 33211:2017 «Вагони вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей» [3], РД.24.050.37.95 «Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества» (Вагони вантажні й пасажирські. Методи випробувань на міцність та ходові якості). [4].

1.3 Метою ходових динамічних випробувань є визначення, оцінка показників ходових динамічних якостей вантажних вагонів при русі з різними швидкостями по ділянці залізничної колії Дарниця – Ніжин регіональної філії «Південно-західна залізниця», а також визначення умов експлуатації на залізницях колії 1520 мм при різних режимах ведення поїзда та схемах формування поїздів.

1.4. Програма та методика встановлює послідовність, методи і порядок проведення випробувань з визначення основних динамічних характеристик вантажних вагонів у порожньому стані.

1.5. Випробування проводяться Науково-впроваджувальним центром філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» ПАТ «Укрзалізниця», який акредитований НААУ на даний вид робіт (Атестат з акредитації від 15 лютого 2018 року № 2Т1454).

1.6. Філія «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця» при виконанні окремих видів робіт може залучати інші акредитовані організації та фахівців, що мають право на проведення цих робіт.

Завданням під час випробувань є визначення динамічних якостей вагона при його русі на залізничній колії з різними експлуатаційними швидкостями та схемами формування поїзда.

Галузь використання – залізничний транспорт, вагони для перевезення вантажів залізничним транспортом.

## 2. ОБ'ЄКТИ ВИПРОБУВАНЬ ТА ЇХ ВІДБІР

2.1. Об'єктами випробувань є вантажні вагони, перелік яких погоджений Департаментами вагонного господарства та безпеки руху (вагони-платформи моделі 13-4012, вагон-хопер для цементу зі знятою кришею моделі 19-758-01, вагон цистерна моделі 15-1443) на візках, які мають встановлені відхилення в вузлах і деталях та не мають таких відхилень.

Технічні характеристики даних вагонів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Технічні характеристики вагонів [5]

Модель	Вагон-цистерна моделі 15-1443	Вагон-хопер для цементу зі знятою кришею моделі 19-758-01	Вагон-платформа моделі 13-4012
Завод-виробник	ВАТ «Маріупольський завод важкого машинобудування»	ПАО «Крюковський вагонобудівний завод»	ВАТ «Дніпровагонмаш»
Матеріал кузова та рами	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2, 09Г2СД-12	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2, 09Г2СД-12	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2, 09Г2СД-12
Тара вагона (min), т	22,5	18,6	21,0
Тара вагона (max), т	24,0	19,8	24,0
Вантажопідйомність, т	60,0	72,0	68,0
Об'єм, м <sup>3</sup>	73,1	45,5	-
Максимальне розрахункове	206,0	228,0	225,4

статичне навантаження від колісної пари на рейки, кН			
Максимальне розрахункове погонне навантаження, кН/м	68,6	77,1	61,7
База вагона, мм	7800	7700	9720
Габарит	02-ВМ	1-Т	0-ВМ
Довжина по осях автозчепів, мм	12020	11920	14620
Довжина по рамі	10800	10700	13400
Рік постановки на серійне виробництво	1969	1986	1983
Нормативний строк служби, роки	32	26	32

На вагонах застосовуються типові для вантажних вагонів гальмівне обладнання та автозчепний пристрій СА-3. Ходова частина – два візки моделі 18-100.

2.2. Ідентифікація вагонів виконується за нормативною документацією, зовнішнім видом, конструкцією (складом), комплектністю й маркуванням перед початком випробувань. Відбір вагонів для випробувань проводиться за участю представників філії «Південно-західна залізниця», філії «НДКТІ», ЦРБ та фахівців експлуатаційного вагонного депо Дарниця.

Відібрані, згідно з актами відбору вантажні вагони для випробувань повинні бути ідентифіковані за такими ознаками:

- найменування об'єкта;
- заводський номер;
- підприємство - виробник;
- дата виготовлення;

- дата ремонту;
- фактична маса тари вагона.

Після відбору оформлюється відповідний акт з занесенням показників до таблиці (додаток А)

Відібрані для випробувань вагони повинні бути у **справному технічному стані з виконаним деповським ремонтом** та відповідати діючим нормативним документам [10, 11].

У процесі відбору дослідних зразків вагонів допускається заміна аналогічних зразків з відповідним погодженням з організаціями, які погодили ПМ № НДКТІ/НВЦ УІ 006-18

#### **4. ВИДИ І ПОСЛІДОВНІСТЬ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ**

Випробування вагонів у порожньому стані проводяться у такій послідовності:

- оформлення акту відбору зразків та актів про готовність транспортних засобів залізничного транспорту до випробувань;
- випробування скидання з клинів;
- ходові динамічні випробування вагонів у порожньому режимі.

#### **6. ХАРАКТЕРИСТИКИ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ**

4.1 При випробуваннях скидання з клинів визначається частота коливань і напруження в надресорній балці та боковині рами візка, динамічні і статичні прогини ресорного підвішування візка.

4.2 У процесі ходових динамічних випробувань вагона вимірюються, аналізуються і оцінюються такі величини і показники:

- вертикальні і горизонтальні (поперечні) прискорення обресорних мас вагону в зоні підп'ятника вагона;
- динамічні бічні (рамні) сили, що діють на букси колісних пар;
- коефіцієнт стійкості колеса від сходу з рейок;

- коефіцієнти вертикальної динаміки обресорених та не обресорених мас;
- коефіцієнт горизонтальної динаміки (відношення бічної рамної сили до осьового навантаження);
- швидкості руху.

Показники, які характеризують ходові динамічні якості вантажних вагонів встановлені та наведені в таблиці 4.1. [2, 3].

Таблиця 4.1- Ходові динамічні показники якості вантажних вагонів

Оцінка руху	Коефіцієнт вертикальної динаміки		Рамні сили у частках осьового навантаження $P_0$		Вертикальні $[a_v]$ і горизонтальні $[a_r]$ прискорення в частках $g$			
	$k_{дв}$ , не більше, ніж		$[H_p/P_0]$ не більше, ніж		$[a_v]$ не більше, ніж		$[a_r]$ не більше, ніж	
	порожній	завантажений	порожній	завантажений	порожній	завантажений	порожній	завантажений
Обресорена маса візка вагона								
Відмінний <sup>[1]</sup> / <sub>[2]</sub>	0,50	0,20	-	-	0,50	0,20	0,20	0,10
	0,50	0,20	-	-	0,50	0,20	0,20	0,10
Добрий <sup>[1]</sup> / <sub>[2]</sub>	0,60	0,35	-	-	0,60	0,35	0,25	0,15
	0,60	0,35	-	-	0,60	0,35	0,25	0,15
Задовільний <sup>[1]</sup> / <sub>[2]</sub>	0,70	0,40	-	-	0,70	0,45	0,40	0,30
	0,70	0,40	-	-	0,70	0,45	0,40	0,30
Допустимий <sup>[1]</sup> / <sub>[2]</sub>	0,75	0,65	-	-	0,75	0,65	0,55	0,45
	0,75	0,65	-	-	0,75	0,65	0,55	0,45
Необресорені елементи рами візка вагона								
Відмінний <sup>[1]</sup> / <sub>[2]</sub>	0,60	0,50	0,25	0,20	0,65	0,55	0,30	0,25
	0,60	0,50	0,25	0,20	0,65	0,55	0,30	0,25
Добрий <sup>[1]</sup> / <sub>[2]</sub>	0,75	0,70	0,30	0,25	0,80	0,75	0,35	0,30
	0,75	0,70	0,30	0,25	0,80	0,75	0,35	0,30
	0,85	0,80	0,38	0,30	0,90	0,85	0,50	0,35

Задовільний <sup>[1]</sup> [2]	0,85	0,80	0,38	0,30	0,90	0,85	0,50	0,35
Допустимий <sup>[1]</sup> [2]	$\frac{0,90^*}{0,98^*}$	$\frac{0,85^*}{0,90^*}$	0,40	0,38	0,98	0,90	0,55	0,45
	$\frac{0,90^*}{0,98^*}$	$\frac{0,85^*}{0,90^*}$	0,40	0,38	0,98	0,90	0,55	0,45

\*-у чисельнику значення для розвантаження, у знаменнику- довантаження.  
1-ДСТУ 7598:2014 Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних).  
2- ДСТУ ГОСТ 33211:2017 «Вагони вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей».

## 7. УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

5.1 Ходові динамічні випробування проводяться на вагонах, які укомплектовані згідно з чинною технічною документацією з оформленням актів відбору та ідентифікації.

Для проведення випробувань оформлюється доручення керівництва ПАТ «Укрзалізниця» та наказ керівництва регіональної філії «Південно-Західна залізниця».

Ходові динамічні випробування проводять під час дослідних поїздок у реальних умовах експлуатації на дільниці Дарниця-Ніжин регіональної філії «Південно-західна залізниця» у світлий час доби з реєстрацією динамічних процесів у контрольних точках.

Етапи проведення випробування:

I етап: дослідний зчеп: локомотив – вагон-цистерни моделі 15-1443 – вагон-платформа моделі 13-4012 — динамометричний вагон– вагон-хопер зі знятою кришею моделі 19-758-01– (рисунок 5.1), швидкість від 30 км/год до 60-70 км/год з кроком 5-10 км/год.

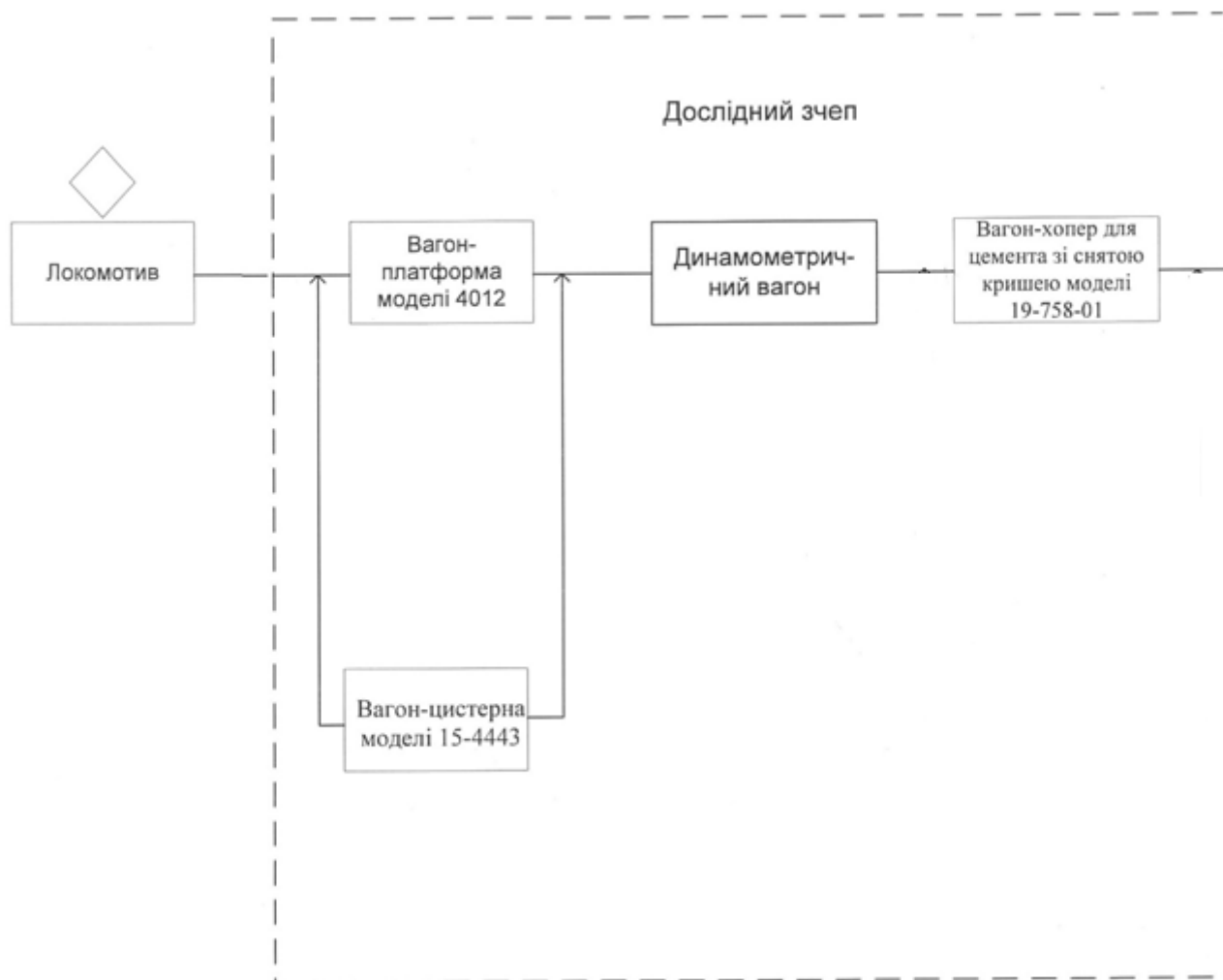


Рисунок 5.1 – Схема розташування рухомого складу під час 1 етапу

II етап : поїзд: локомотив – 6 порожніх напіввагонів – вагон-цистерна моделі 15-1443 – вагон-платформа моделі 13-4012 — динамометричний вагон – вагон-хопер зі знятою кришею моделі 19-758-01 — 30 завантажених напіввагонів (рисунок 5.2; швидкість 30-80 км/год. з кроком 5-10 км/год.

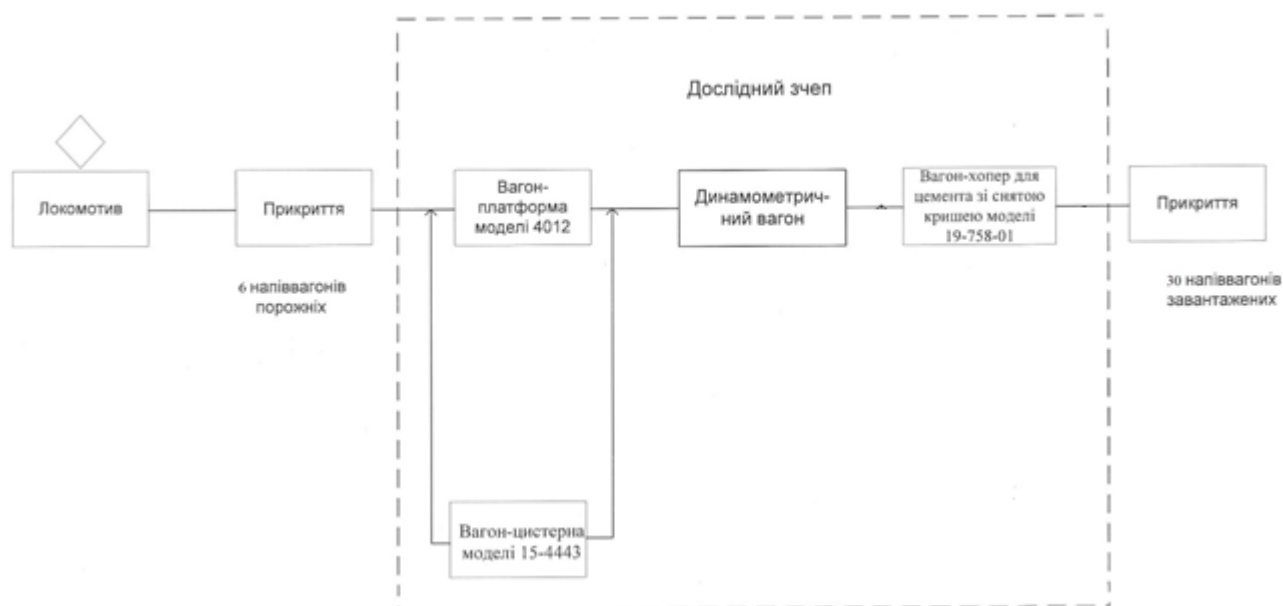


Рисунок 5.2 – Схема розташування рухомого складу під час 2 етапу

III етап: поїзд: Варіант 1 – локомотив – 6 порожніх напіввагонів – дослідний зчеп – 30 завантажених напіввагонів; Варіант 2 локомотив – 15 завантажених напіввагонів – дослідний зчеп – 6 порожніх напіввагонів – 15 завантажених напіввагонів; Варіант 3 – локомотив – 30 завантажених напіввагонів – дослідний зчеп – 6 порожніх напіввагонів (рисунок 5.3).

*Варіант 1**Варіант 2**Варіант 3*

Рисунок 5.3 – Схема розташування рухомого складу під час 3 етапу

Дозволяється в процесі проведення випробувань уточнювати схеми розташування вагонів в дослідному зчепі та поїзді.

IV етап – випробування в перехідних режимах (тяга, вибіг, гальмування) схема розташування рухомого складу наведена на рисунку 5.4.

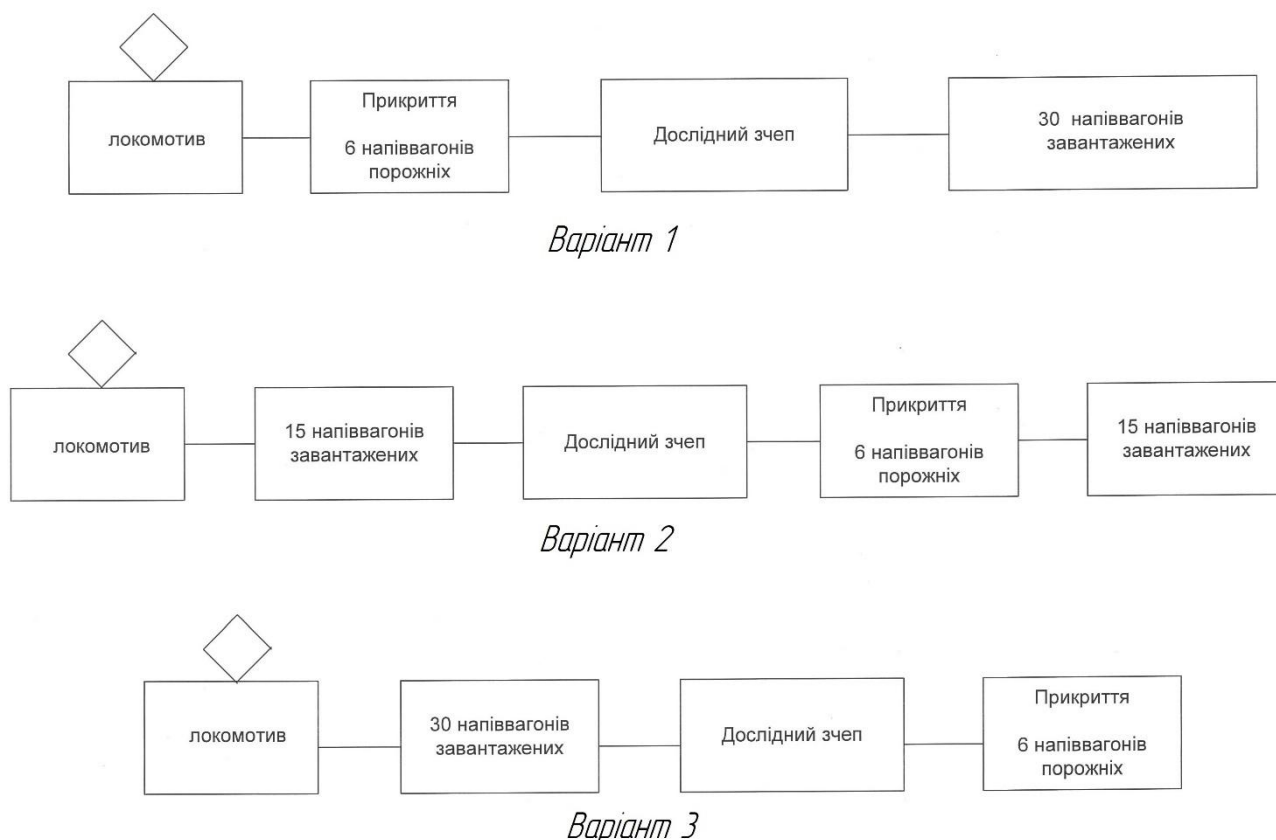


Рисунок 5.4 – Схема розташування рухомого складу підчас 4 етапу

5.2 Порядок і технологія підготовки об'єкта до випробувань передбачають забезпечення максимальної зручності та безпеки проведення всіх передбачених програмою операцій.

5.3 Умовою початку проведення випробувань вважається завершення монтажу та завершальна підготовка об'єкта до проведення випробувань .

5.4 Випробування вагона на залізничних коліях, що вимагають виконання робіт під вагоном або на між коліях, проводяться тільки в світлий час доби.

5.5 Критеріями припинення випробувань є:

- виконання програми випробувань;
- досягнення критичних значень показників, що загрожує безпеці подальшого проведення випробувань;
- пошкодження, руйнування окремих частин вагону, що випробовується;
- пошкодження або руйнування випробувального обладнання.

5.6 Критерієм завершення випробувань вважається отримання повного

обсягу експериментальних даних, які передбачені програмою та методикою, або порушення цілісності конструкції вагона, що загрожує безпеці подальшого проведення випробувань.

## **6. МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ**

6.1 Ходові динамічні випробування проводять методом реєстрації процесів у контрольних точках деталей візка під час дослідних поїздок у діапазоні експлуатаційних швидкостей, якщо це не загрожує безпеці руху. За результатами вимірювань виконують розрахунки, оцінюють ходові динамічні якості відповідно до вимог [2, 3, 4].

6.2. Реєстрацію динамічних процесів вагона здійснюють шляхом запису величин експериментальних даних на жорсткий диск комп'ютера з використанням програмно-апаратних засобів збору інформації.

6.3 Необхідний обсяг експериментальних поїздок і вимірювань визначається нормативною документацією з урахуванням конкретних завдань, ступеня новизни конструкції і висунутих до неї вимог. У загальному випадку необхідний масив експериментальної інформації по досліджуваним величинам при ходових динамічних випробуваннях утворюється шляхом послідовного набору записів (реалізацій) процесів при різних швидкостях і режимах руху дослідного поїзда, схемах формування поїздів.

6.4 Реєстрація вимірюваних процесів ходових динамічних випробувань проводиться на прямих і кривих ділянках колії і стрілочних переводах у всьому проектному діапазоні допустимих експлуатаційних швидкостей.

Під час руху в кривих і стрілочних переводах потрібно дотримуватися установлених правил технічної експлуатації і нормативних вказівок щодо швидкостей руху на даній ділянці колії.

Сумарна тривалість записів (реалізацій) досліджуваних процесів в кожному інтервалі (10 ... 20 км / год) швидкостей руху на різних відрізках колії повинна бути не менше 300 с.

Загальний обсяг тривалості вимірювань основних процесів у всьому діапазоні швидкостей повинен бути не менше 50 хв. Час запису вимірювань та

інтервали швидкості руху допускається змінювати.

## **8. ЗАСОБИ ВИПРОБУВАНЬ**

7.1 Оцінка власних частот коливань здійснюється за результатами випробувань «скидання з клинів». Відповідно до розробленої схеми контрольних точок проводиться установка тензорезисторів на боковій рамі та надресорній балці візка вагона. Під колеса вагона в залежності від досліджуваних частот власних коливань встановлюються клини, а потім проводиться скидання вагона шляхом його нахату на клин.

7.2. Для визначення характеристик (показників) вагона, а також контролю параметрів зовнішнього середовища застосовують засоби вимірювальної техніки та випробувальне обладнання, відомості про які наведені в таблиці 7.1.

7.3. Допускається використання іншого випробувального обладнання та засобів вимірювальної техніки (засобів випробувань), які забезпечують необхідну точність вимірювання обумовлених характеристик та мають основні характеристики не гірше наведених у таблиці 7.1.

7.4. Усі засоби вимірювальної техніки, пристрої й обладнання повинні бути технічно справними, оформлені документи, що засвідчують калібровку засобів вимірювальної техніки.

Таблиця 7.1. – Засоби вимірювальної техніки та засобів випробувального обладнання

№ п.п	Назва засобу вимірювальної техніки	Заводський та інвентарний номер	Основні технічні характеристики	Відомості про калібрування
1	Термогігрометр ИВА-6	Зав.№ 6764	<p>Діапазон вологості 0÷98 %; похибка вимірювань вологості ±1% на 100<sup>0</sup>С. Розширена невизначеність (вологість):            25,5% -0,6%            51,1%-0,6%            73,3%-0,6%</p> <p>Температура 40÷60<sup>0</sup>С, похибка вимірювань температури від -40 до 0<sup>0</sup>С: ±1<sup>0</sup>С;            від 0 до 60<sup>0</sup>С: ±0,5<sup>0</sup>С</p> <p>Розширена невизначеність (температура):            -20,0<sup>0</sup>С -0,13<sup>0</sup>С            0,0<sup>0</sup>С -0,13<sup>0</sup>С            60,0<sup>0</sup>С -0,14<sup>0</sup>С</p>	Свідоцтво калібрування № UA/24/171113/2737 від 13.11. 2017р.
2	Автоматичний реєстратор на базі контролера CompactRIO-9012			
	Канал вимірювання швидкості GPS модуль cRio-GPSIB	Зав. №050403015	Швидкість приймача- Розширена невизначеність, км/год 18-0,5 37,05-1,5	Свідоцтво калібрування № UA/22/171103/000677 від 03.11.2017
	Приймач GPS супутникових навігаційних систем cRio GPS	Зав. №050403015	Систематичне зміщення при визначенні координат-3,6 м. Невизначеність вимірювань U-9.6м	Свідоцтво калібрування № UA/23/171121/002199 від 21.11.17р.

	Аналого-цифровий перетворювач 4-х канальний NI 9237	Зав. № 15741DA Зав. № 16B2C6B Зав. № 168FAAB Зав. № 16B2C37 Зав. № 16B2C3F	Діапазон вимірювань деформацій $\pm 2000$ млн-1	Свідоцтво калібрування UA/25/180104/000008 від 04.01.2018
3	Тензорезистор типу BF200-10AA-A(11)-BX30	-	База 10 мм, діапазон опору $R = 200,0 \pm 0,5$ Ом, $K = 2,10 \pm 1\%$	Разового наклеювання. Періодичному калібруванню в експлуатації не підлягають.
4	Акселерометр UM500	Зав. №090004	$\pm 500$ м/с <sup>2</sup>	Свідоцтво калібрування №UA/22/171106/000682 від 06.11.2017
5	Акселерометр UM350	Зав. №090002	$\pm 350$ м/с <sup>2</sup>	Свідоцтво калібрування №UA/22/171106/000680 від 06.11.2017
6	Акселерометр UM350	Зав. №090005	$\pm 350$ м/с <sup>2</sup>	Свідоцтво калібрування №UA/22/171106/000681 від 06.11.2017
7	Акселерометр UM100	Зав. №090004	$\pm 100$ м/с <sup>2</sup>	Свідоцтво калібрування №UA/22/171106/000679 від 06.11.2017
8	Вимірювач лінійних переміщень WDS-750	Зав. №SN35955	Діапазон вимірювань від 0 до 750 мм., Відносна розширена невизначеність, $U=2,76$ мм.	Свідоцтво калібрування №UA/23/171312/002333 від 21.11.2017

7.5. Для реєстрації показань тензорезисторів та віброперетворювачів використовується програмно – апаратний комплекс, який складається з контролера cRIO NI 9012 з модулями АЦП NI 9237 та спеціалізованого програмного забезпечення, розробленого в програмному пакеті LabVIEW.

7.6. Устаткування, засоби вимірювальної техніки та пристосування повинні знаходитися в технічно справному стані і мати комплект технічної документації (ТО, ТУ, ІЕ і ін.).

## 8. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

### 8.1. Випробування по скиданню з клинів

Порожній вагон, накочується за допомогою локомотива на клини (висота

клинів складає не менше 25 мм, довжина – 350 мм, ширина – 50 мм). Клини встановлюються по черзі (табл. 8.1):

- 1) під всі колеса вагона (імітація підсакування);
- 2) під колеса одного боку одного візка й іншого боку другого візка (імітація скручування);
- 3) під всі колеса одного візка (імітація галопування);
- 4) під колеса одного боку вагона (імітація бокової хитавиці).

Таблиця 8.1 – Схема установки клинів під колеса вагона

№	Вид коливань	Номер колісної пари			
		1	2	3	4
1	Підсакування	■	■	■	■
2	Скручування кузова	■	■		
				■	■
3	Галопування	■	■		
4	Бокова хитавиця	■	■	■	■

В залежності від кількості використаних клинів і місця їх розташування під відповідними колесами вагонів визначають прогини, частоти та напруження, при проході і скиданні вагонів з клинів.

Кількість скидань з клинів за кожною схемою їх встановлення – 3 рази.

8.2. Перед початком випробувань виконується зважування дослідних вагонів.

Проводять підготовку візків моделі 18-100:

- підбір тензорезисторів;
- підготовку місць установки тензорезисторів на елементах конструкції візків

згідно з рис. 8.1, 8.2;

- наклеювання тензорезисторів;
- встановлення акселерометрів;
- монтаж з'єднувальних кабелів до тензорезисторів і апаратури, що реєструє;
- налагодження та перевірку роботоздатності апаратури.

Під час підготовки дослідного вагона до ходових випробувань проводять підбір тензорезисторів, розмічання, зачистку місць та наклеювання тензорезисторів на візки. Тензорезистори з'єднуються в напівмостову схему Уїтстона. Така схема складає вимірювальний канал, який доповнюється тензометричним модулем NI 9237.

До початку випробувань проводиться інструментальна перевірка стану колії. За результатами вимірювань стану колії вагоном-колієвимірником визначають бальну оцінку стану колії, відхилення за шириною колії, просадку колії, боковий знос, наявність окремих перегонів з встановленими максимально допустимими та обмеженими швидкостями руху. Ділянка колії має допускати рух дослідного поїзда зі швидкостями, установленими технічною документацією або наказом керівництва регіональної філії.

8.3 Під час випробувань кількість і склад показників можуть коригуватися.

8.4 Порядок проведення ходових динамічних випробувань.

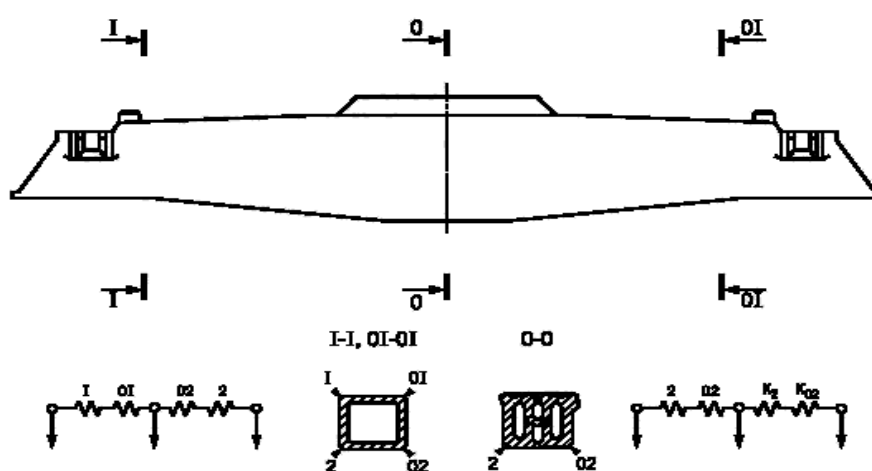
8.4.1 Дослідні вантажні вагони повинні бути обладнані первинними вимірювальними перетворювачами і пристосуваннями для вимірювання досліджуваних величин і процесів відповідно вимог. Рекомендовані схеми установки приладів наведені на рис. 8.1, 8.2. Вагон-платформа моделі 13-4012 випробовується у двох варіантах візків:

- візки які не мають відхилень у вузлах та деталях;
- візки які мають відхилення.

Масштабні перетворювачі, апарати і прилади для реєстрації (запису) і обробки даних випробувань розміщуються у динамометричному вагоні.

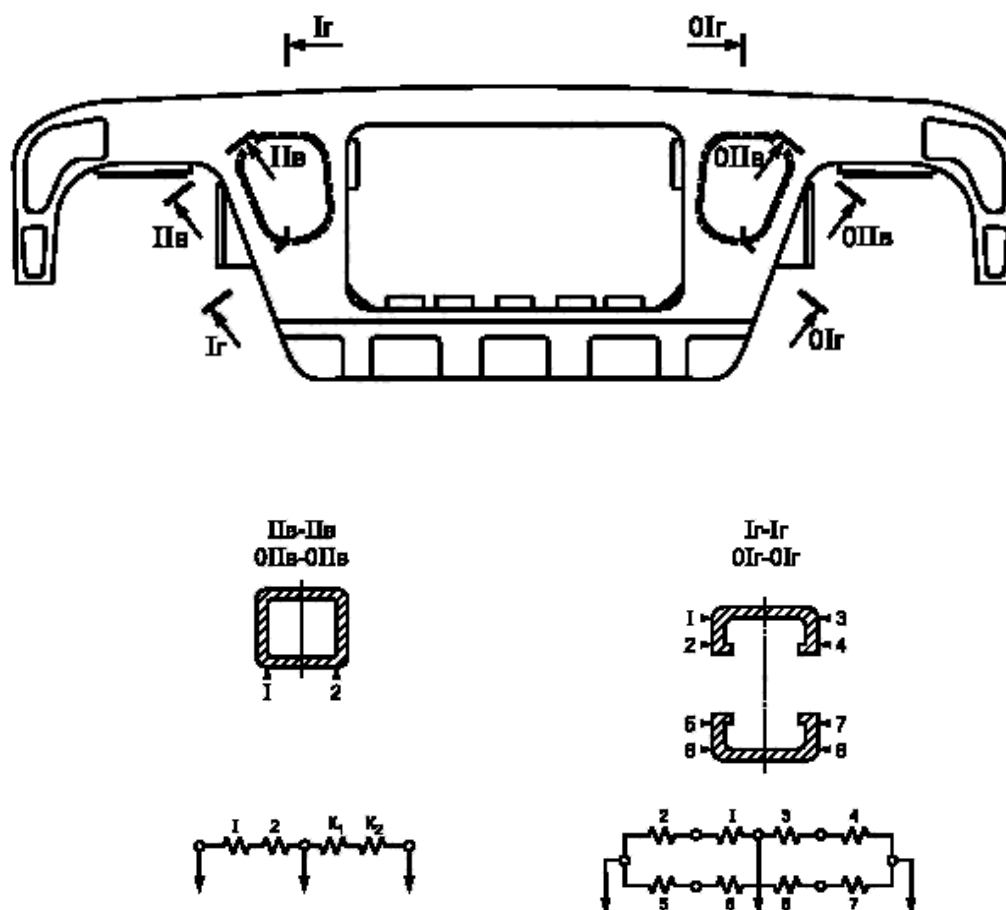
8.4.2 Контрольні перевірки запису (вимірювання) реєстрованих величин рекомендується проводити щодня перед початком і після закінчення кожного циклу експериментальних поїздок, а при необхідності - частіше.

8.4.3 Для визначення фактичних величин статичних прогинів ресорного підвішування, напружень в елементах візків при статичному навантаженні від сили тяжіння тари вагона, перевірки чутливості вимірювальних схем т.д. виконуються контрольні піднімання кузовів вагонів до повного розвантаження візків.



$K_2, K_{02}$  – компенсаційні тензорезистори

Рис: 8.1 Схема установки і з'єднання тензорезисторів для визначення коефіцієнтів вертикальної динаміки в перетинах надресорної балки візка вантажного вагона



$K_1, K_2$ - композиційні тензорезистори

\*-розмір для довідки

Рис. 8.2. Схема установки і з'єднання тензорезисторів для вимірювання горизонтальних (рамних) сил (перетину з індексом «Г») і вертикальних сил (перетину з індексом «В») на рамі візка вантажного вагона.

## 10. ОБРОБКА ДАНИХ ТА ОФОРМЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ

9.1. Обробка даних при статичних навантаженнях виконується з використанням автоматизованих комплексів обробки дослідних даних. Величину напружень при статичних випробуваннях визначають за різницею показань засобів вимірювальної техніки до піднімання рами платформи та після нього:

$$\sigma_{\text{вер}} = (\Delta - \Delta_0) \cdot K \quad (9.1)$$

де:  $\Delta$  - показання засобів вимірювальної техніки у завантаженому стані об'єкта випробувань:

$\Delta_0$  - показання засобів вимірювальної техніки у порожньому стані об'єкта випробувань:

$K$  - калібрувальний коефіцієнт засобів вимірювальної техніки, що визначається за формулою (9.2):

$$K = \frac{R_d}{R_{\text{ш}} A_{\text{ш}}} \quad (9.2)$$

де:  $R_d$  - опір тензорезистора, Ом;

$R_{\text{ш}}$  - опір калібрувального шунта, Ом;

$A_{\text{ш}}$  - амплітуда (відхилення) процесу, виміряна при калібруванні, В.

9.2. Напруження  $\sigma$  МПа, в елементах конструкції у місцях установки тензорезисторів визначаються за формулою (9.3):

$$\sigma = a \cdot \frac{R_d}{R_{\text{ш}} A_{\text{ш}}} \cdot \frac{E}{K_{\text{ш}}} \quad (9.3)$$

де:  $a$  - амплітуда (відхилення) процесу, В;

$R_d$  - опір тензорезистора, Ом;

$R_{\text{ш}}$  - опір калібрувального шунта, Ом;

$A_{\text{ш}}$  - амплітуда (відхилення) процесу, виміряна при калібруванні, В.

$E$  - модуль пружності матеріалу досліджуваної деталі, МПа;

$K_{\text{ш}}$  - коефіцієнт чутливості тензорезистора.

9.3. Результати ходових динамічних випробувань визначають на підставі даних (вимірювань, розрахунків, контролю, візуального огляду) зафіксованих під час проведення вимірювань.

Попередній перегляд і обробку даних, отриманих під час проведення ходових динамічних випробувань, проводять з використанням ПЕОМ, як у реальному режимі часу, так і після проведення випробувань з використанням програмного математичного забезпечення статистичної обробки динамічних процесів. Методика обробки і оцінки результатів випробувань виконується у відповідності до вимог [2, 3, 4].

Зареєстровані динамічні процеси випробувань вагона обробляють програмою обчислення миттєвих значень амплітуд процесу. Частоту дискретизації записів динамічних процесів вибирають не менше ніж 128 Гц, що дозволяє визначати показники у потрібному частотному діапазоні. По кожній реалізації обчислюють величини процесів і їхні максимальні значення при імовірності, що відповідає нормативним значенням. Остаточні величини показників у кожному діапазоні швидкостей отримують шляхом вибору середнього значення по окремих реалізаціях. У підсумку визначають одну величину показника у межах кожного діапазону швидкостей з інтервалом 10-20 км/год, починаючи зі швидкості 30-40 км/год. За цими показниками наводять основні висновки про ходові динамічні якості дослідних вагонів.

Стійкість колеса від сходу колеса з рейки визначають для найбільш небезпечних випадків поєднання великої поперечної сили взаємодії колеса, що набігає, з рейкою та малим вертикальним навантаженням на це колесо. При одночасній, протягом деякого часу, дії такого поєднання екстремальних сил можливе вкочування гребеня колеса, що набігає, на головку рейки і подальший схід вагона з рейки.

9.4. За результатами випробувань складається протокол, що затверджується начальником НВЦ «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця».

9.4.1 Протокол випробувань і всі матеріали по випробуваннях зберігаються в архіві філії «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця» на конфіденційній основі.

9.5. Обробка даних ходових динамічних випробувань.

9.5.1 Обробка даних ходових динамічних випробувань вагонів передбачає

розшифровку, ідентифікацію та систематизацію параметрів зареєстрованих динамічних процесів. При обробці враховуються показників якості ходу вагона - до 20 Гц. Частота квантування при обробці дослідних даних на ЕОМ повинна бути не менше 100 Гц.

9.5.2 Дослідні дані групуються за діапазонами швидкостей руху (10-20

км/год), характерних особливостей ділянок колії (пряма, крива, стрілки і ін.).

9.5.3 При аналізі записів процесів встановлюються характерні види коливань, оцінюються залежність характеру і інтенсивності коливань від умов руху. У зв'язку з ймовірнісною природою показників динамічної завантаженості ходових частин вагонів (в тому числі під впливом особливостей технічного стану ходових частин і транспортної структури) застосовується відповідний апарат теорії ймовірностей.

9.5.4 Для оцінки ходових якостей за величинами вимірних динамічних показників вагона, з використанням співвідношень з урахуванням тарувальних даних визначаються ймовірні максимальні значення коефіцієнтів вертикальної динаміки обресорених  $K_{до}$  і необресорених  $K_{дн}$  мас вагона, бічні (рамні) сили, коефіцієнт горизонтальної динаміки  $K_{дг}$ , значення коефіцієнтів запасу стійкості від сходу з рейок  $K_{ус}$ .

Максимальні значення коефіцієнтів вертикальної та горизонтальної динаміки і рамних сил визначаються з довірчою ймовірністю 0,999 (за амплітудним значенням) і 0,001 (по миттєвим значенням), а мінімальні значення коефіцієнтів запасу стійкості від сходу з рейок, з довірчою ймовірністю не більше 0,001. За величину бокового (рамного) зусилля  $H_p$  приймається сума рамних зусиль, що діють в один і той самий момент часу, на раму від кожної букси однієї колісної пари.

9.5.5 Методика розрахунку коефіцієнта запасу стійкості вагона проти сходу з рейок при вповзанні гребня колеса на рейку під дією динамічних зусиль, що виникають при русі, коефіцієнтів вертикальної динаміки обресорених і необресорених мас вагона наведені нижче. Коефіцієнт вертикальної динаміки  $K_d$  в загальному вигляді визначається з наступного виразу:

$$K_d = \frac{\sigma_d}{\sigma_{ст}}, \quad (9.4)$$

де  $\sigma_d$  - динамічне напруження від вертикального навантаження в перерізі

даного елемента;

$\sigma_{ст}$ - статичне навантаження від вертикального навантаження у тому ж перерізі.

Коефіцієнти вертикальної динаміки визначаються для обресорених ( $K_{до}$ ) і необресорених ( $K_{дн}$ ) мас візки.

Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях осевого навантаження) - $K_r$  визначається за формулою [2, 3]:

$$K_{дг} = \frac{H_p}{P_o}$$

де:  $H_p$  – горизонтальна бокова рамна сила;

$P_o$  – вертикальне статичне навантаження від осі на рейки.

Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейки  $K_{ус}$  визначають розрахунковим шляхом за інтегральним коефіцієнтом, обчисленим для діапазону експлуатаційних швидкостей при імовірності 0,001, за формулою (9.5; 9.6):

Оцінка стійкості колеса проти сходу з рейки проводиться формулою [9.5; 9.6],

$$K_{ус} = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu tg\beta} \cdot \frac{Q_{ш} \left( \frac{2(b-a_2)}{l} - K_{дн} \frac{2b-a_2}{l} + K_{днн} \frac{a_2}{l} \right) + q \frac{b-a_2}{l} + \frac{r}{l} H_p}{\mu Q_{ш} \left( \frac{2(b-a_1)}{l} + K_{дн} \frac{a_1}{l} - K_{днн} \frac{2b-a_2}{l} \right) + \mu q \frac{b-a_1}{l} + \left(1 - \frac{r}{l}\right) \mu H_p}, \quad (9.5)$$

де  $\beta$  - Кут нахилу твірної гребня колеса до горизонтальної осі;

$$\beta = 60^\circ;$$

$\mu$  - коефіцієнт тертя,  $\mu = 0,25$ ;

$q$  – сила тяжіння маси непідресорених частин, які приходять на колісну пару, Н ;

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

$a_1, a_2$  – розрахункова відстань від точок контакту коліс з рейками до середини відповідних (набігаючих і ненабігаючих) шийок осі колісної пари приймаються відповідно 0,250 і 0,220м;

$r$  – радіус кола кочення колеса,  $r=0,45$ м (для середньо зношеного колеса) або за результатами вимірювання колес дослідного зразка;

$K_D^H$  – коефіцієнт вертикальної динаміки на набігаючому колесі; значення коефіцієнта приймається додатнім у випадку розвантаження коліс;

$K_D^{HH}$  – коефіцієнт вертикальної динаміки на небігаючому колесі; значення коефіцієнта приймається додатнім у випадку розвантаження коліс;

$H_p$  – горизонтальна бокова рамна сила.

$Q_{ш}$  - сила тяжіння надресорних частин вагона, діюча на шийку осі колісної пари, кН, визначається, за формулою:

$$Q_{ш} = \frac{Q - nq_{кп}}{2n_0}, \quad (9.6)$$

$Q$  - сила ваги вагона, кН,

$q_{кп}$  - сила тяжіння необресорених частин, яка припадає на колісну пару, кН;

$n_0$  - число осей вагона;

$K_D^H$  - коефіцієнт вертикальної динаміки на набігаючому колесу;

$K_D^{HH}$  - коефіцієнт вертикальної динаміки на ненабігаючому колесу;

$H_p$  - горизонтальна бічна рамна сила.

Значення  $H_p$  приймають позитивними в разі направлення її в сторону набігання колеса, а  $K_D^H$  і  $K_D^{HH}$  - в разі розвантаження коліс.

Оцінка ходових динамічних якостей вагона-платформи проводиться шляхом співставлення отриманих динамічних показників зі шкалою оцінок якості ходу залізничних вагонів у відповідності з [2,3], а також з відповідними показниками вагона-еталона.

## 10. ВИМОГИ ДО ПЕРСОНАЛУ

До випробувань допускають працівників, які досягли 18-річного віку і пройшли спеціальне навчання і перевірку знань, у тому числі з питань охорони праці під час проведення випробувань.

## **11. РОЗПОДІЛ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ТА ЗВІТНІСТЬ**

11.1. Керівника випробувань призначають розпорядженням (наказом) керівника філії «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця».

11.2. Керівник випробувань несе відповідальність за виконанням фахівцями філії «НДКТІ» робіт згідно ПМ та діючого законодавства, досягнення і підтримку високого рівня організації та проведення випробувань продукції, оформлення їх результатів для отримання об'єктивної, достовірної інформації про фактичні значення характеристик.

11.3. Протокол випробувань, підписаний виконавцями робіт та затверджений начальником НВЦ філії «НДКТІ», передаються у відповідності з ТЗ.

11.4. Протокол випробувань, а також записи, виконані під час проведення випробувань, є власністю філії «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця» і можуть бути передруковані тільки за рішенням директора філії.

## **12. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

12.1. Під час підготовки і проведення випробувань необхідно забезпечити дотримання вимог охорони праці (стандартів, правил, інструкцій, положень тощо), що діють на залізничному транспорті [6,7, 8, 9, 10].

12.2. Роботи з підготовки і проведення випробувань необхідно виконувати під безпосереднім керівництвом і контролем призначеного розпорядженням (наказом) керівника випробувань. Усі працівники перед початком робіт з підготовки і проведення випробувань повинні пройти цільовий інструктаж з питань охорони праці з реєстрацією інструктажу в спеціальному журналі під підпис.

12.3. Забезпечення необхідних умов безпеки покладають на відповідального виконавця випробувань. Доступ сторонніх осіб у зону випробувань заборонено.

12.4. Працівники, зайняті в роботах з проведення випробувань, повинні

бути забезпечені відповідними спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту, а також засобами зв'язку та відеозапису.

12.5. При підготовці і проведенні ходових динамічних випробувань повинні строго дотримуватися вимоги охорони праці та виробничої санітарії, інструкції з охорони праці, що діють в філії «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця».

12.6. Обладнання повинне забезпечувати безпеку обслуговування і використання. Учасники випробувань повинні ознайомитися з експлуатаційною документацією і виконувати вимоги безпеки по обслуговуванню і використанню засобів випробувань.

12.7. Забороняється знаходитися в (на) випробувальному вагоні під час руху вагона при проведенні всіх видів випробувань за винятком випадків, спеціально обумовлених у нормативній документації і забезпечених відповідним інструктажем.

Виконувати роботи і перебувати на (під) випробувальним вагоном, на його даху і біля нього (ближче 3 м.) при підготовці і проведенні випробувань можна тільки з дозволу керівника випробувань. Доступ стороннім особам в зону випробувань повинен бути заборонений.

12.8. При виконанні робіт на коліях, узбіччях колій, на станціях і перегонах випробувачі зобов'язані працювати у одязі, що обладнаний сигнальними елементами.

12.9. Основними джерелами небезпеки при підготовці і проведенні ходових динамічних випробувань вагонів на залізничних коліях ПАТ «Укрзалізниця» є:

- транспортні пересування випробуваного зчепу і допоміжного рухомого складу;
- пересування рухомого складу на сусідніх коліях, пересування козлових (мостових) кранів;
- струмонесучі дроти контактної мережі на електрифікованих ділянках мережі залізниці та інші електроджерела.

12.10. При плановій або непередбаченій зупинках дослідного поїзда

вихід випробувачів з динамометричного вагона без дозволу керівника випробувань заборонений. Відповідальність за безпеку проведених робіт покладається на керівника випробувань.

12.11. Матеріали і обладнання, що застосовуються, не повинні шкідливо впливати на людей і оточуюче середовище.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ОСТ 32.55-96 «Система испытаний подвижного состава. Требования к составу, содержанию, оформлению и порядку разработки программ и методик испытаний и аттестации методик испытаний»
2. ДСТУ 7598-2014 «Вагоны вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)»
3. ДСТУ ГОСТ 33211:2017 «Вагоны вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей»
4. РД.24.050.37.95 «Вагоны грузовые и пассажирские» Методи испытаний на прочность и ходовые качества (Вагоны вантажні й пасажирські. Методи випробувань на міцність та ходові якості).
5. Альбом-справочник "Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм". 002И-2009 ПКБ ЦВ.
6. НПАОП 60.1-1.48-00 Правила безпеки для працівників залізничного транспорту на електрифікованих лініях.
7. НПАОП 63.21–1.24–03 (НАОП 5.1.11–1.24–03) Правила охорони праці під час технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів та рефрижераторного рухомого складу. – Київ, 2003
8. НПАОП 0.00–4.12–05 Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. – Київ, 2005
9. «Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України» ЦП-0269.
10. Правила технічної експлуатації залізниць України. Наказ Міністерства транспорту України від №411 від 20.12.96р. №962 від 10.12.2003 р., зі змінами.
11. Вантажні вагони залізниць України колії 1520 (1524) мм. Настанова з деповського ремонту ЦВ – 0142.

## ДОДАТОК В

### СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНІ РІШЕННЯ З ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ РУХУ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ЗІ ЗМЕНШЕНИМИ ТАРАМИ

#### Концепт піввагона глуходонного з листових ресор

Концепт відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення залізничних перевезень насипних та навалочних вантажів, що не потребують захисту від атмосферних опадів.

В основу концепту поставлена задача удосконалення 8-ми вісного напіввагона глуходонного шляхом виконання середньої частини хребтової балки, проміжних балок, вертикальних стійок бокових стін у вигляді листових ресор (рисунок В.1). Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечують поглинання енергії коливань, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності 8-ми вісного напіввагона, забезпечує зменшення матеріалоємності відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби вагона.

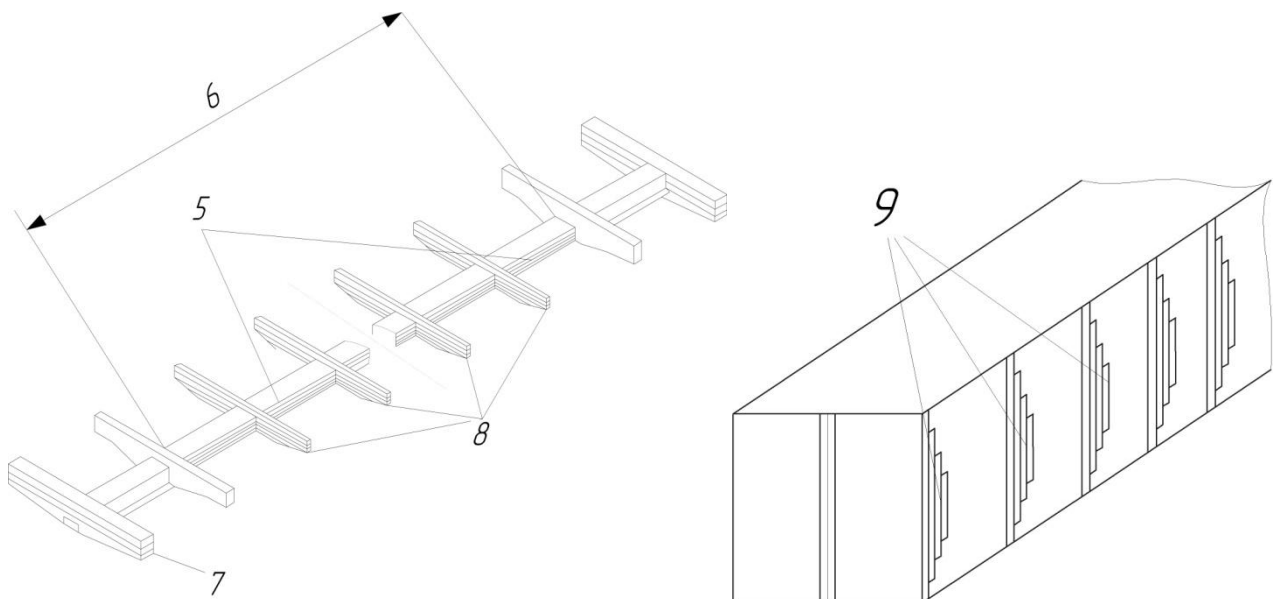


Рисунок В.1 – Концепт рами піввагона

## Концепт вагона-цистерни з листових ресор

Концепт належить до залізничного транспорту, а саме залізничних цистерн і може бути використана для перевезення рідких вантажів.

В концепта поставлена задача удосконалення 8-ми вісної залізничної цистерни шляхом виконання опор, які знаходяться між котлом і з'єднувальною балкою візків, у вигляді листових ресор, та удосконалення конструкції з'єднувальної балки візка на основі виконання її із листових ресор, які поглинають енергію коливань, що, як наслідок, покращує показники динаміки залізничної цистерни.

Поставлена задача досягається тим, що у 8-ми вісній залізничній цистерні, яка містить візки, з'єднувальні балки, гальмівне обладнання, автозчепні пристрої, котел, кріплення котла до з'єднувальних балок візків та опори котла на з'єднувальні балки візків, опори котла на з'єднувальні балки візків виконані у вигляді листових ресор та з'єднувальні балки візка виконано з листових ресор (рисунок В.2).

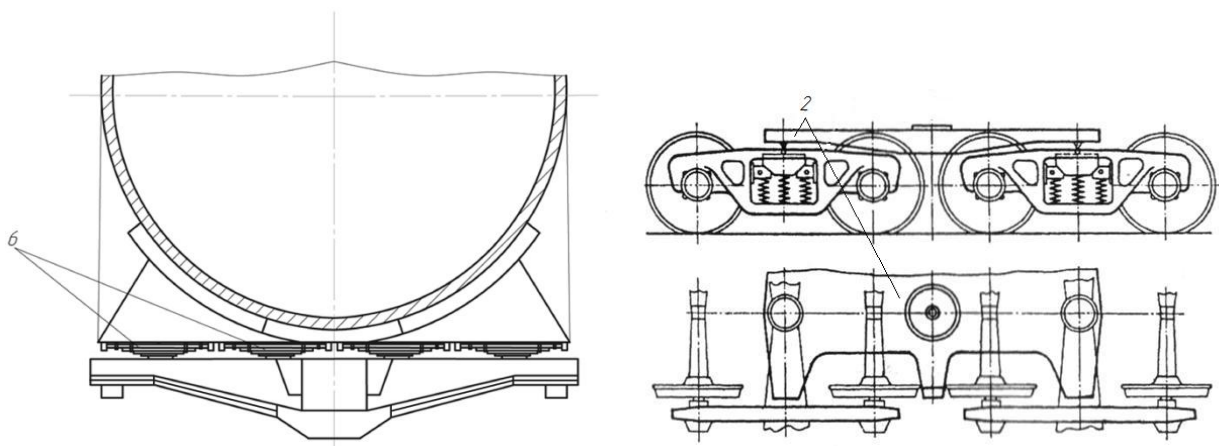


Рисунок В.2 – Концепт з'єднувальних балок залізничної цистерни

## Концепт 8-ми вісного вагона-цистерни з шарнірними елементами

В основу концепта поставлена задача удосконалення 8-ми вісного напіввагона шляхом застосування шарнірних елементів в його конструкції замість існуючих нерухомих елементів (суцільні балки, зварні з'єднання), а саме встановлення шарнірного елемента в середню частину хребтової балки; встановлення шарнірних елементів в місцях з'єднання хребтової балки з: кінцевими, шворневими та проміжними балками; встановлення шарнірних елементів в місцях з'єднання балок кінцевих, шворневих та проміжних з стінами боковими; встановлення шарнірних елементів в місцях з'єднання стійок вертикальних стін бокових з верхнім обв'язуванням (рисунок В.3). Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечує появу додаткових ступенів вільності конструкції та реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності 8-ми вісного напіввагона, забезпечує зменшення матеріалоємності і відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби вагона.

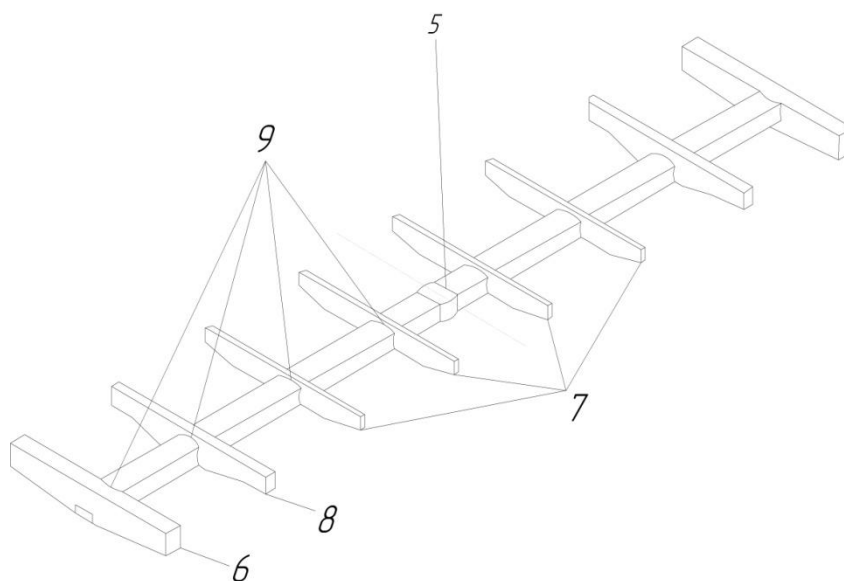


Рисунок В.3 – Концепт рами вагона-цистерни

## Концепт вагона-хопера з шарнірними елементами

В основу концепта поставлена задача удосконалення вагона-хопера шляхом застосування шарнірних елементів в його конструкції замість існуючих нерухомих елементів (суцільні балки, зварні з'єднання), а саме наявність шарнірних елементів в місцях з'єднання кінцевих, шворневих та проміжних балок. Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечує появу додаткових ступенів вільності конструкції та реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності вагона-хопера, забезпечує зменшення матеріалоемності і відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби вагона.

Поставлена задача досягається тим, що у вагоні-хопера, який містить візки, автозчепні пристрої, гальмівне обладнання, кузов який включає раму з хребтовою, кінцевими балками, проміжними балками, наявні шарнірні елементи в місцях з'єднання хребтової балки з: кінцевими, шворневими та проміжними балками (рисунок В.4).

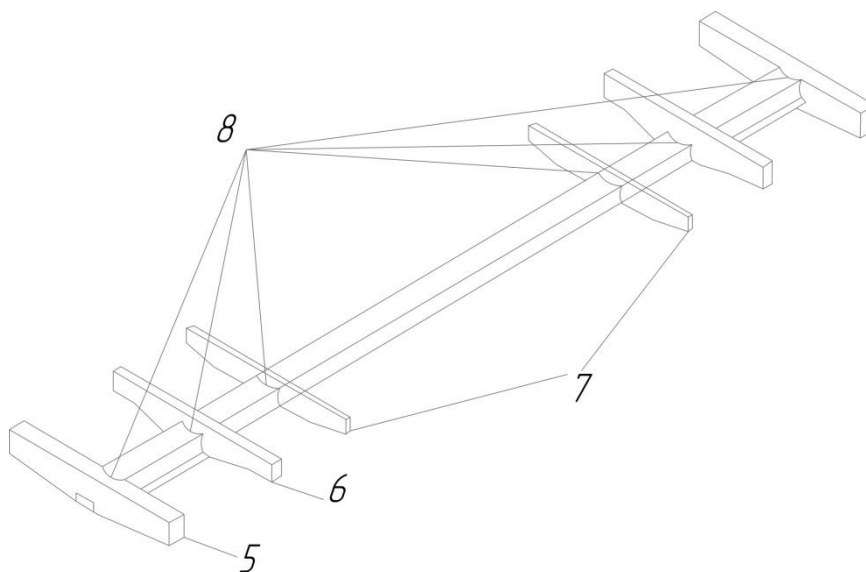


Рисунок В.4 – Концепт рами вагона-хопера

## ДОДАТОК Г

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

**Основні наукові результати дисертації опубліковані в наступних наукових працях:**

1. Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Mykola Gorbunov, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Vladimir Hauser. The improved hatch cover construction for universal open box-type wagon from the strength and durability point of view. *Manufacturing Technology*. Ústí nad Labem, Czech Republic 2019. Vol. 19. № 2. P 216-221. doi: 10.21062/ujep/272.2019/a/1213-2489/MT/19/2/216 (періодичне іноземне (чеське) наукове видання, яке проіндексовано у базі даних Scopus та віднесене до другого квантилю Q 2)
2. Fomin Oleksij, Lovska Alyona, Daki Olena, BohomiaVolodymyr, Tymoshchuk Olena and Prokopenko Pavlo. The substantiation of the concept of creating containers with viscous-elastic connections in fitting. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. VOL. 14 № 15. 2019. P 2771-2776. [http://www.arnpjournals.org/jeas/research\\_papers/rp\\_2019/jeas\\_0819\\_7871.pdf](http://www.arnpjournals.org/jeas/research_papers/rp_2019/jeas_0819_7871.pdf) (періодичне іноземне (пакистанське) наукове видання, яке проіндексовано у базі даних Scopus та віднесене до другого квантилю Q 2)
3. Фомін О.В., Прокопенко П.М. Теоретично - експериментальне визначення коефіцієнту стійкості вагона-платформи в залежності від експлуатаційно - деградаційних змін тари. *Вісник СХУ ім. В. Даля*. Сєверодонецьк. 2018. № 2(243). С. 225-232 (наукове фахове видання України)
4. Фомін О.В., Прокопенко П.М. Горбунов М.І., Кара С.В., Фомін В.В. Оцінка міцності несівних конструкцій вантажного вагона з врахуванням їх деградаційних змін. *Наукові вісті Дніпровського університету* №19. 2020. <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2020-19-9> (наукове фахове видання України)

5. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І., Фоміна А.М. Оцінка показника якості руху легковагових вагонів в складі поїзда. *Вісник СНУ ім. В. Даля. Сєверодонецьк*. 2019. № 2(250). С. 103-109. (наукове фахове видання України)

6. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Сапронова С.Ю., Фоміна А.М. Експериментальне оцінювання показника коефіцієнта стійкості вантажних вагонів в експлуатації. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій серія «Транспортні системи і технології»*. Київ. 2019 № 33 том 1. С. 144-155. (наукове фахове видання України)

7. Фомин А.В., Прокопенко П.Н., Горбунов Н.И., Сова С.С. Способ оценки показателей качества движения легковесных пустых вагонов. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології»*. Київ. 2020. №35. С. 44-51. (наукове фахове видання України)

8. 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 Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології»*. Київ. 2020. №36. С. 33-42. (наукове фахове видання України)

9. Фомін О.В., Кара С.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І., Фомін В.В. Дослідження показників динаміки порожніх легковагових вагонів з врахуванням експлуатаційних показників. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. № 20. 2021. С. 22-32. (наукове фахове видання України)

#### **Наукові праці апробаційного характеру:**

10. Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Alyona Lovskaya, Mykola Gorbunov, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko and Tomas Lack Dynamic loading of the tank container on a flat wagon considering fittings displacement relating to the stops. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 234. 05002.

<https://doi.org/10.1051/mateconf/201823405002> (матеріали міжнародної науково-практичної конференції, видання проіндексоване у базі даних Scopus)

11. Фомін О.В., Прокопенко П.М. Теоретичні аспекти випробування вагонів-платформ з експлуатаційно-граничною зменшеною тарою. *Збірник наукових праць VIII-ї міжнародної науково-практичної конференції «Транспорт і логістика: проблеми та рішення» 23-25 травня 2018 р. м. Одеса.* Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля. 2018. С.132-134.

12. Фомін О.В., Прокопенко П.М. Експериментальне визначення коефіцієнту запасу стійкості вагона платформи в експлуатації. *Збірник наукових праць науково-практичної конференції «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» 16-17 листопада 2018 року.* Київ. 2018. С. 229-231.

13. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Фоміна А.М. Експериментальне оцінювання якості руху легковагових вантажних вагонів. *Актуальні проблеми сучасної освіти: реалії та перспективи. Матеріали Всеукраїнської конференції студентів та викладачів ЗВО. Тези доповідей учасників конференції. Маріупольський коледж ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», 17 травня 2019 р.* Маріуполь. 2019. С. 124-125.

14. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Сова С.С., Фоміна А.М. Теоретичне оцінювання залишкового ресурсу вагоповірного вагона. *Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції «Транспортні технології та безпека дорожнього руху» 14–15 квітня 2020 року.* Запоріжжя. 2020. С. 47-49.

15. Кара С.В., Петренко В.О. Прокопенко П.М. Проведення періодичних контрольних випробувань вантажних вагонів з метою підвищення ефективності їх використання. *The 7th International scientific and practical conference “Science, society, education: topical issues and development prospects” (June 7-9, 2020) SPC “Sci-conf.com.ua”,* Kharkiv. 2020. С. 328 – 330.

16. Фомін О.В., Ловська А.О., Gerlici. J., Фоміна Ю.В., Федосов-Ніконов Д.В., Прокопенко П.М. Визначення закономірностей динамічної завантаженості несучої конструкції критого вагона при веденні з нього вогняної

дії у горизонтальній площині. *Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність на транспорті», Харків, 18-20 листопада 2020 р.: Тези доповідей.* УкрДУЗТ. Харків. 2020. С. 52-53.

17. Фомин А.В., Прокопенко П.М., Горбунов Н.И., Кара С.В. Фомин В.В. Оценка динамических качеств вагона в условиях эксплуатации. *Сборник VII международной научно-практической конференции «Наука и образование в современном мире: вызовы XXI века». 22 октября 2020 г.* Нур-Султан (Казахстан). 2020. С. 105-108.

18. Фомін О.В., Кара С.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І., Фомін В.В. Вплив на інтермодальні контейнерні перевезення вагонів з експлуатаційно-граничною зменшеною тарою. *Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Дніпровські читання-2020». 23 грудня 2020 р., м. Київ.* 2020. С. 186-189.

19. Кельрих М.Б., Фомин А.В. Прокопенко П.Н. Оценка динамических качеств платформы в условиях эксплуатации. *Материалы X международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте». Часть 5. «Белорусский государственный университет транспорта». 26-27 ноября 2020.* Республика Беларусь, г. Гомель. 2020. С.73-74.

**Додатково відображають наукові результати дисертації:**

20. M Kelrykh, O Fomin, J Gerlici, P Prokopenko, K Kravchenko and T Lack. Features of tank car testing for dangerous cargoes transportation. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.* №659. 2019. (матеріали міжнародної науково-практичної конференції, видання проіндексоване у базі даних Scopus)

21. Фомін О.В., Прокопенко П.М. Оцінка залишкового ресурсу вантажних вагонів з терміном служби, який перевищує нормативний. *Залізничний транспорт України.* Київ. 2018. № 4. С. 37-48

22. Кельріх М.Б., Брайковська Н.С., Фомін О.В., Прокопенко П.М. Особливості проведення випробувань вагона-цистерни для небезпечних вантажів. *Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.* Сєверодонецьк. 2019. № 3(251). С. 77-83.

23. Фомін О.В., Прокопенко П. М., Бурлуцький О.В., Фоміна А.М. Контрольні випробування вагона-цистерни з метою оцінки залишкового ресурсу несучих конструкцій. *«Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки»*. Київ. Том 30 (69) Ч. 2 № 5. 2019. С. 154-159.

24. Кельріх М.Б., Фомін О.В., Прокопенко П.М., Сова С.С. Теоретичні аспекти визначення залишкового ресурсу вагона-цистерни для небезпечних вантажів. *Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. Сєверодонецьк. № 5 (261). 2020. С. 5-9.

25. Фомін О.В., Горбунов М.І., Кара С.В., Прокопенко П.М., Гриндей П.О. Вдосконалення литих деталей візків вантажних вагонів на основі результатів визначення ймовірних місць виникнення втомних руйнувань. *Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. Сєверодонецьк. №19. 2020. С. 1-7.

26. Фомін О.В., Прокопенко П.М. Горбунов М.І., Кара С.В., Фомін В.В. Оцінка міцності несівних конструкцій вантажного вагона з врахуванням їх деградаційних змін. *Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. Сєверодонецьк. №19. 2020. С. 8-16.

27. O.V. Fomin, P.M. Prokopenko, A.O. Lovsky. Technical diagnosis of surfaces with a terminal service which remains a semiconductor from a normative. *Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Технології та інфраструктура транспорту»*. Харків. 14-16 травня 2018. С. 512-513.

28. Кельріх М.Б., Брайковська Н.С., Фомін О.В., Прокопенко П.М. Особливості проведення випробувань вагона-цистерни для небезпечних вантажів. *Збірник наукових праць IX-ої міжнародної науково-практичної конференції «Транспорт і логістика: проблеми та рішення» 22-24 травня 2019 року*. Одеса. 2019. С. 76-79.

29. Фомін О.В., Прокопенко П.М. Дослідження несучих систем вагонів з метою визначення їх залишкового ресурсу. *Матеріали 79 Міжнародної*

науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» 16-17 травня 2019 року. Дніпро. 2019 С. 88-89.

30. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Фоміна А.М. Технічне оцінювання залишкової несівної здатності металоконструкції напіввагона. *Збірник тез доповідей II Регіональної науково-практичної конференції «Транспортні системи та технології: проблеми та перспективи розвитку» 12 квітня 2019 року.* Запоріжжя. 2019. С. 24-26.

31. Kelrich M., Braikovskaya N., Fomin O., Prokopenko P. Features of research results of liquid cargo in a railway cister during movement. *Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects: thesis, 5-10 May 2020.* Georgia. 2020. P. 27-30.

32. Musij Kelrykh, Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Pavlo Prokopenko, Kateryna Kravchenko, Tomas Lack. Tank car testing for dangerous cargoes transportation. *Book of Abstracts for the 9th International Scientific Conference [on] Research and Development of Mechanical Elements and Systems, IRMES 2019, 5-7 September 2019.* Kragujevac, Serbia. 2019. P. 226-227.

33. Oleksij Fomin, Angela Shvets, Vladimír Hauser , Pavlo Prokopenko. Transversal displacement of freight wagonsbogies. *Proceedings abstracts for the international scientific conference dynamics of rigid and deformable bodies. October 9-11. 2019.* Ústí nad Labem, Czech Republic. 2019.

34. . Фомін О.В, Прокопенко П.М., Крисенко Н.М., Сова С.С. Контрольні випробування вагона-цистерни з метою оцінки залишкового ресурсу несучих конструкцій. *Матеріали третьої всеукраїнській практично-пізнавальній інтернет-конференції «Наукова думка сучасності і майбутнього» 29 листопада - 5 грудня.* 2019. Івано-Франківськ. С. 52-55.

35. . Фомін О.В, Прокопенко П.М., Борович Р.О., Литвиненко А.С. Теоретичні особливості визначення залишкового ресурсу нечучих конструкцій вантажного вагона з строком служби який перевищує призначений. *Матеріали третьої всеукраїнській практично-пізнавальній інтернет-конференції*

«Наукова думка сучасності і майбутнього». 2019. 29 листопада - 5 грудня. 2019. С. 55-58.

36. Фомін О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І., Сова С.С. Оцінка залишкового ресурсу несучих конструкцій пасажирського вагона за межами призначеного терміну служби. *Логістичне управління та безпека руху на транспорті: збірник наукових праць науково-практичної конф., 14-16 жовтня 2019 р.* Сєвєродонецьк. СНУ ім. В. Даля. Лиман. 2019. С.160-164.

37. Кельрих М.Б., Брайковская Н.С. Прокопенко П.Н Особенности проведения исследований по продлению назначенного срока службы вагонов-цистерн для перевозки легких порошкообразных грузов. *Материалы IX международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте». Часть 1. «Белорусский государственный университет транспорта».* Республика Беларусь, г. Гомель. 2019. С.158-160.

38. Фомін О.В., Горбунов М.І., Кара С.В., Прокопенко П.М. Вдосконалення литих деталей візків вантажних вагонів шляхом впровадження систем діагностування найбільш навантажених зон. *The 1st International scientific and practical conference "Science and education: problems, prospects and innovations" (October 7-9, 2020) CPN Publishing Group.* Kyoto, Japan. 2020. С. 472 – 477.

39. Патент України на корисну модель № 130258, МПК (2018.01) B61D 3/00, Піввагон глуходонний. Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Цимбалюк А.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: автори – № и 2018 07212; заявка 26.06.2018 ; публ. 26.11.2018, Бюл.№ 22.

40. Патент України на корисну модель № 138162, МПК (2006.01) B61D 3/20, (2006.01) Вагон-платформа. Фомін О.В., Горбань А.В., Прокопенко П.М., Склярєнко І.Ю. (Україна); власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № и 2019 03964; заявка 16.04.2019 ; публ. 25.11.2019, Бюл.№ 22.

41. Патент України на корисну модель № 146774 , МПК (2006.01) B61D 3/00, B61D 3/18 (2006.01). Критий вагон-хопер для перевезення цементу. Фомін Олексій Вікторович, Склярєнко Інна Юріївна, Прокопенко Павло

Миколайович, Фоміна Анна Миколаївна, Тимощук Олена Миколаївна (Україна); власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № U202006035, заявка 21.09.2020 ; публ. 17.03.2021, Бюл.№ 11.

42. Патент України на корисну модель № 146775 , МПК (2006.01) B61D 3/00, B61D 3/18 (2006.01). 8-вісний піввагон. Фомін Олексій Вікторович, Сапронова Світлана Юріївна, Скок Павло Олександрович, Прокопенко Павло Миколайович, Фоміна Анна Миколаївна (Україна) власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № U202006036, заявка 21.09.2020 ; публ. 17.03.2021, Бюл.№ 11.

43. Патент України на корисну модель № 148801 , МПК (2006.01) B61F 5/04, B61F 5/16 (2006.01). Надресорна балка візка вантажного вагона. Фомін О.В., Горбунов М.І., Кара С.В., Фомін В.В., Прокопенко П.М. (Україна) власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № U202007877, заявка 09.12.2020 ; публ. 22.09.2021, Бюл.№ 38.

44. Патент України на корисну модель № 148800 , МПК (2006.01) B61D 5/06 (2006.01). 8-ми вісна залізнична цистерна. Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Фомін В.В., Кара С.В., Ковтанець М.В. (Україна) власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № U202007876, заявка 09.12.2020 ; публ. 22.09.2021, Бюл.№ 38.

45. Патент України на корисну модель № 148799 , МПК (2006.01) B61D 5/06 (2006.01). 8-ми вісна залізнична цистерна. Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Фомін В.В., Кара С.В., Ковтанець М.В. (Україна) власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № U202007875, заявка 09.12.2020 ; публ. 22.09.2021, Бюл.№ 38.

46. Патент України на корисну модель № 148802 , МПК (2006.01) B61F 5/52 (2006.01). Бічна рама візка вантажного вагона. Фомін О.В., Горбунов М.І., Кара С.В., Фомін В.В., Прокопенко П.М. (Україна) власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № U202007878, заявка 09.12.2020 ; публ. 22.09.2021, Бюл.№ 38.

47. Патент України на корисну модель № 148798 , МПК (2006.01) B61D 5/06 (2006.01). 8-ми вісна залізнична цистерна. Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Фомін В.В., Кара С.В., Ковтанець М.В. (Україна) власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № U202007874, заявка 09.12.2020 ; публ. 22.09.2021, Бюл.№ 38.

48. Науковий твір. Програма та методика ходових динамічних випробувань вагонів. Малишко І.В., Коломієць О.П., Прокопенко П.М., Повисший В.М., Кара С.В., Бідун О.М., Петренко В.О., Кошель О.О., Буліч Д.І. Реєстраційний номер 98799 від 10 серпня 2020 р.

49. Науковий твір. Програма та методика ходових динамічних випробувань універсального вагона-платформи моделі 13-4012. Малишко І.В., Коломієць О.П., Прокопенко П.М., Кара С.В., Повисший В.М., Ігнатенко В.С., Бідун О.М., Петренко В.О., Кошель О.О., Буліч Д.І. Реєстраційний номер 98816 від 10 серпня 2020 р.